

ISSN 1816-210X

# ТРУДЫ НГТУ

им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

Нижний Новгород

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

**ТРУДЫ  
НИЖЕГОРОДСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**№ 4 (106)**

**Нижний Новгород 2014**

УДК 050(06)  
ББК 9я54  
Т 78

Т 78 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева / НГТУ им. Р.Е. Алексева. – Нижний Новгород, 2014. № 4 (106). – 383 с.

*Выходит 4 раза в год*

**Главный редактор С.М. Дмитриев**

### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Н.Ю. Бабанов (зам. гл. редактора), М.В. Ширяев (зам. гл. редактора), Е.Г. Ивашкин (зам. гл. редактора),  
О.В. Пугина (отв. редактор), А.В. Крылова (глав. редактор выпуска)

**Члены редколлегии:** В.Г. Баранов, В.Д. Вавилов, А.М. Groшев, В.М. Галкин, А.Е. Жуков,  
А.Б. Дарьенков, В.Е. Колотилин, А.А. Куркин, Д.Н. Лапаев, М.Г. Михаленко, А.Ю. Панов,  
В.П. Хранилов, А.Е. Хробостов, Е.А. Чернышов

### **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**Председатель**

**Федор Михайлович Митенков**

(академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
директор ОКБМ Африкантов)

**Заместитель председателя**

**Сергей Михайлович Дмитриев**

(д-р техн. наук, проф., ректор НГТУ им. Р.Е. Алексева)

**Ответственный секретарь**

**Владимир Викторович Беляков**

(д-р техн. наук, проф., начальник УНИИР)

### **ЗАРУБЕЖНЫЕ ЧЛЕНЫ СОВЕТА**

**Дмитрий Ефимович**

**Пелиновский**

**Ласло Палкович**

**Варлаки Петер**

**Виджай Кумар**

**Ялчнер Ахмед К.**

PhD, проф. Математики, Университет Мак Мастера,  
Хамилтон, Онтарио, Канада

Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия

Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия

Д-р философии, проф. – исследователь,

Шив Надар Университет, Индия

Д-р, профессор, METU, директор OERC, Турция

### **ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА**

**Гуляев Юрий Васильевич**

Член Президиума РАН, академик, д-р физ.-мат. наук, проф.,

директор Института радиоэлектроники РАН им. В.А. Котельникова

**Гринберг Руслан Семенович**

Член-кор. РАН, д-р эконом. наук, проф.,

Директор Института ФГБУН экономики РАН

**Бабанов Николай Юрьевич**

Канд. техн. наук, доцент, проректор на научной работе НГТУ

**Ширяев**

Канд. техн. наук, доцент, проректор по развитию НГТУ

**Михаил Виссарионович**

**Ивашкин**

Канд. техн. наук, доцент, проректор по учебной работе НГТУ

**Евгений Геннадьевич**

**Митяков Сергей Николаевич**

Д-р физ.-мат. наук, проф., директор ИНЭУ НГТУ

**Куркин Андрей Александрович**

Д-р мат. наук, проф., зав. кафедрой ПМ

**Воротынцев**

Д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой ФТМКЭТ

**Владимир Михайлович**

**Кондратьев**

Член-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ВСТ

**Вячеслав Васильевич**

**Рындык Александр Георгиевич**

Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ИР

**Раевский Сергей Борисович**

Д-р техн. наук, профессор

**Кошелев Олег Сергеевич**

Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТКОДСП

**Кулепов Виктор Федорович**

Д-р техн. наук, профессор, директор ДПИ (филиал НГТУ)

УДК 050(06)  
ББК 9я54

Электронная версия журнала:  
<http://www.nntu.nnov.ru>

Свидетельство о регистрации СМИ  
в Роскомнадзоре ПИИ № ФС 77-56417

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION**  
**FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION**  
**OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION**  
**NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**n.a. R.E. ALEXEEV**

**TRANSACTIONS**  
**of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL**  
**UNIVERSITY**  
**n.a. R.E. ALEXEEV**

**№ 4 (106)**

**Nizhni Novgorod 2014**

**Editor-in-Chief S.M. Dmitriev**

**EDITORIAL BOARD**

N.Y. Babanov (Deputy Editor-in-Chief), M.V. Shiryaev (Deputy Editor-in-Chief),  
Y.G. Ivashkin (Deputy Editor-in-Chief), V.V. Belyakov (Executive Secretary), O.V. Pugina (Executive Editor), A.V. Krylova  
(Executive Editor), T.P. Novikova (Technical Editor)

**Members of Editorial Board:** V.G. Baranov, V.D. Vavilov, V.M. Galkin, A.M. Groshev, A.B. Darenkov,  
A.E. Zhukov, V.Y. Kolotilin, A.A. Kurkin, D.H. Lapaev, M.G. Mikhalenko,  
A.Y. Panov, V.P. Khranilov, A.E. Khrobostov, Y.A. Chernyshov,

**EDITORIAL COUNCIL**

**Chairman**

**Fedor Mikhailovich Mitenkov**

Member of Russian Academy of Sciences  
Head of OAO I.I. Afrikantov OKB Mechanical Engineering  
Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
(Nizhniy Novgorod, Russia)

**Vice – chairman**

**Sergei Mikhailovich Dmitriev**

Doctor of technical sciences, professor  
Rector of NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Executive Secretary**

**Vladimir Viktorovich Beliakov**

Doctor of technical sciences, professor  
Head of NNSTU Research and innovative works office  
(Nizhniy Novgorod, Russia)

**Foreign members of Editorial council**

*Dmitri Efimovich  
Pelenovski  
Laslo Palkovich  
Varlaki Peter  
Vidzhai Kumar*

PhD, Doctor of mathematical sciences, professor  
McMaster University (Ontario, Canada)  
The Széchenyi István University (Győr, Hungary)  
The Széchenyi István University (Győr, Hungary)  
PhD, Doctor of philosophical sciences, professor  
Shiv Nadar University (India)  
professor, head of Ocean Engineering Research Center  
Middle East Technical University (Turkey)

*Ialchner Akhmed K.*

**Members of Editorial council**

*Guliaev Yuri Vasilevich*

Member of Russian Academy of Sciences  
Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE) named after Academician V.A. Kotelnikov  
(Moscow, Russia)

*Grinberg Ruslan Semenovich*

Associate member of the Russian Academy of Sciences  
Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
Director of the Institute for International Economic and Political Studies at the Russian Academy  
of Sciences  
(Moscow, Russia)

*Babanov Nikolai Iurevich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Shiryaev*

*Mikhail Vissarionovich*

Candidate of technical sciences, docent  
Vice-rector for perspective projects  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Ivashkin*

*Evgeni Gennadevich*

Candidate of technical sciences, docent  
Vice-rector for teaching and learning enhancement  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Mitiakov Sergei Nikolaevich*

Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Kurkin Andrey Aleksandrovich*

Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Vorotyntsev*

*Vladimir Mikhailovich*

Doctor of chemical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Kondratev*

*Viacheslav Vasilevich*

Associate member of the Russian Academy of Sciences,  
Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Ryndyk Alexander Georgievich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Raevski Sergei Borisovich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Koshelev Oleg Sergeevich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Kulepov Viktor Fedorovich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Electronic version of the journal:  
<http://www.nntu.nnov.ru>*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ.....</b>	<b>13</b>
Алимов В.А., Есипенко В.И., Коробков Ю.С., Морозов В.И. Некоторые результаты исследований распространения радиоволн на трассе большой протяжённости в тропосфере.....	13
Бабанов Н.Ю., Самарин В.П., Ларцов С.В. Применение ЛЧМ радиоимпульсов для поиска параметрических рассеивателей.....	18
<b>МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ.....</b>	<b>21</b>
Козелков А.С, Дерюгин Ю.Н., Циберева Ю.А., Корнев А.В., Денисова О.В., Стрелец Д.Ю., Куркин А.А., Курулин В.В., Шарипова И.Л., Рубцова Д.П., Легчанов М.А., Тятюшкина Е.С., Лашкин С.В., Ялозо А.В., Яцевич С.В., Тарасова Н.В., Гинниятуллин Р.Р., Сизова М.А., Крутякова О.Л. Минимальный базис задач для валидации методов численного моделирования турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости.....	21
<b>ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....</b>	<b>70</b>
Пособилов Н.Е, Борзая Е.А. О модели принятия решений в рефлексивных играх...	70
<b>МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ.....</b>	<b>75</b>
Метелёв Б.А. К вопросу нормативного проектирования технологических процессов механической обработки деталей в машиностроении.....	75
<b>ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....</b>	<b>83</b>
Конурин Д.В., Сиротов А.И. Натурные исследования напряженно-деформированного состояния корпусов реакторной установки БН-800 на этапе монтажных работ.....	83
<b>ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ.....</b>	<b>89</b>
Андрианов Л.В., Мухина М.Л. Схема гидродинамической компоновки – приоритетная задача проектирования судна на подводных крыльях.....	89
<b>ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.....</b>	<b>97</b>
Вуколов В.Ю. Максимов Ю.М. Вопросы обеспечения надежности и эффективности электроснабжения коммунально-бытовых потребителей.....	97
<b>МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>104</b>
Володин В.А., Братухин В.А. Крепежные системы с тарированной затяжкой для высоконагруженных авиационных конструкций.....	104

<b>ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ</b> .....	110
А.С. Узбекова А.С., Малышева И.С. Перспективы и проблемы создания масложирового кластера в Нижегородской области.....	110
<b>СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	118
Ивакин Г.А. Черносотенное движение начала XX века: от организационного оформления к попыткам объединения.....	118
<b>МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</b> .....	125
Волков В.Л., Жидкова Н.В., Жидков А.А. Комплексная обработка информации в микроэлектромеханической системе.....	125
<b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ</b> .....	133
Козицин А.С., Шадрин Е.В. Изучение влияния микропроцессов на состояние системы на примере компьютерной модели «Маргаритковый мир».....	133
<b>МАТЕРИАЛЫ 87-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»</b> .....	143
<b>Секция 1. «АКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ДИНАМИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»</b> .....	143
Савельев В.А. Определение частоты резонансных изгибных колебаний карданного вала при действии неуравновешенных сил инерции второго порядка рядного четырехцилиндрового двигателя.....	143
Кристалный С.Р., Фомичёв В.А., Попов Н.В. Эффективность действия АБС на автомобиле, оснащённом шипованными шинами, и её экспериментальное определение.....	149
Истомин Д.И., Келлер А.В., Шелепов А.А. Оценка влияния винтошарикового дифференциала на колесное транспортное средство.....	157
Дыгало В.Г., Котов В.В., Дыгало Л.В., Ревин А.А. Применение виртуально-физической технологии моделирования при исследовании влияния на рабочий процесс неисправностей пневматической тормозной системы с АБС.....	163
Дыгало В.Г., Котов В.В., Дыгало Л.В., Ревин А.А. Верификация результатов моделирования тормозной динамики автомобиля с пневматической АБС.....	169
Сергиевский С.А. Компьютерное виртуальное моделирование динамики двухсекционной гусеничной машины.....	176
Соловьев Д.В., Герасин А.В., Штурмин А.А., Отмахов В.И. Исследование влияния силового агрегата на виброакустические показатели легкого коммерческого грузового автомобиля.....	183
Анучин И.Е., Тумасов А.В., Беляков В.В. Влияние расположения антикрыльев на аэродинамические характеристики спортивного автомобиля класса формула-студент.....	189

---

<b>Кравец В.Н., Мусарский Р.А.</b> Влияние макропрофиля дороги на расход топлива грузового автомобиля.....	196
<b>Секция 2. «ПРОЧНОСТЬ И ПАССИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»</b> .....	201
<b>Зеленов М.Ю., Шабров Р.Н., Тумасов А.В., Орлов Л.Н.</b> Расчетная оценка прочности защитных устройств, устанавливаемых на грузовые транспортные средства....	201
<b>Багичев С.А., Кочанов Е.В., Шатилов А.В., Вашурин А.С., Трусов Ю.П.</b> Расчетно-экспериментальное исследование прочности каркаса сиденья.....	207
<b>Вашурин А.С., Волков А.С., Сизоненко Д.И., Орлов Л.Н.</b> Расчетно-экспериментальная оценка пассивной безопасности кузовов вахтовых автобусов, выполненных из многослойных сэндвич – панелей.....	213
<b>Секция 3. «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА»</b> .....	219
<b>Гаевский В.В.</b> Кузовной одноколейный транспорт (КОТ) - перспективный вид городского компактного одноколейного транспортного средства.....	219
<b>Кустиков А.Д., Кузьмин Н.А, Корчажкин М.Г.</b> Влияние наличия подъемов городских маршрутов на эксплуатационную надежность механических коробок передач автобусов.....	224
<b>Корчажкин М.Г., Архипов А.Н.</b> Определение тормозных усилий инерционных тормозных систем легковых автопоездов.....	235
<b>Голиков Р.О., Лозовский Н.Т.</b> О целесообразности применения газомоторных автомобилей.....	243
<b>Ясенов В.В., Елисеев М.Е., Липенков А.В.</b> Анализ проблем в работе городского пассажирского транспорта г. Нижнего Новгорода.....	249
<b>Кочкуров Е.Н., Корчажкин М.Г.</b> Определение параметров регулирования транспортными потоками на основе моделирования.....	255
<b>Негодяев А.С., Бердников Л.А., Федосова М.Е.</b> Перспективы решения проблем осадкообразования в двигателях внутреннего сгорания.....	261
<b>Федосова М.Е., Федосов А.Е., Бердников Л.А., Ильянов С.В., Горбунов К.А., Шишкин А.И.</b> Методы выявления возможных причин потери моторным маслом рабочих характеристик.....	267
<b>Секция 4. «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»</b> .....	273
<b>Коркин С.Н., Курмаев Р.Х.</b> Повышение экологической безопасности движения автопоездов в тяжелых дорожных условиях.....	273
<b>Петров Р.Л.</b> Энергетическая и экологическая безопасность автотранспорта как факторы влияния на глобальное развитие.....	280
<b>Хрипач Н.А., Папкин Б.А., Коротков В.С.</b> Повышение экологической безопасности транспортных средств применением термоэлектрического генератора.....	291
<b>Теренченко А.С., Карпухин К.Е.</b> Энергоэффективность, как способ улучшения экологической безопасности транспортных средств.....	299
<b>Козлов А.В., Теренченко А.С., Миренкова Е.А.</b> Методика расчета затрат на утилизацию транспортных средств, вышедших из эксплуатации.....	306

<b>Секция 5. «СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ. ПОДВИЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»</b> .....	313
<b>Молев Ю.И., Тютнев И.А., Худяков В.Н.</b> Районирование территории российской федерации по критерию опасности ведения работ по ремонту и содержанию трубопроводов с точки зрения возможности опрокидывания трубоукладчиков.....	313
<b>Дорофеев Р.А., Крашенинников М.С., Кошурина А.А., Обрезкова В.Е.</b> Концепция применения роторно-винтового движителя в конструкции мелиоративной машины для очистки рек.....	319
<b>Кошурина А.А., Крашенинников М.С., Дорофеев Р.А., Обрезкова В.Е.</b> Анализ и подбор материалов для универсального спасательного средства на основе требований и условий эксплуатации.....	326
<b>Папунин А.В., Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В.</b> О влиянии ландшафта местности на характеристики снежного покрова и на проходимость транспортных средств.....	331
<b>Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Федоренко А.В., Беляев А.М., Беляков В.В.</b> Транспортное средство "КОРСАК" для обслуживания линейных объектов.....	336
<b>Макаров В.С., Колотилин В.Е., Беляков В.В., Зезюлин Д.В.</b> Оценка эффективности колесных машин в течение зимы с учетом изменчивости характеристик снежного покрова.....	342
<b>Редкозубов А.В., Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Беляков В.В.</b> Математическая модель поверхности движения лесных дорог.....	348
<b>Беляков В.В., Куркин А.А., Зезюлин Д.В., Макаров В.С.</b> Шасси робототехнического комплекса мониторинга прибрежной зоны.....	353
<b>Секция 6. «ОРГАНИЗАЦИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ. КОНТРОЛЬ ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»</b> .....	358
<b>Черненко А.В.</b> Внедрение в производство коммерческих автомобилей с тахографами с целью выполнения законодательных требований и повышения безопасности дорожного движения.....	358
<b>Пряхина А.Н., Чилеев А.М., Стрижак А.Д., Месяченко Д.А., Липин А.А., Шапкин В.А.</b> Состояние безопасности движения на улично-дорожной сети крупных городов.....	364
<b>Тихомирова О.Б., Тихомиров А.Н.</b> Особенности проверки тормозных свойств автомобиля в эксплуатации по международным требованиям.....	370

## CONTENTS

<b>RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATION SYSTEMS, AERIALS AND SHF DEVICES.....</b>	<b>13</b>
<i>Alimov V.A., Esipenko V.I., Korobkov U.S., Morozov V.I.</i> Some results of research of radio-wave propagation on the road a large extent in the troposphere.....	13
<i>Babanov N.Iu., Samarin V.P., Lartsov S.V.</i> Application LFM-radioimpulses for search parametric scatterers.....	
<b>MECHANICS OF FLUID, GAS AND PLASMA .....</b>	<b>21</b>
<i>Kozelkov A.S., Deryugin Yu.N., Tsibereva Yu.A., Kornev A.V., Denisova O.V., Strelets D.Yu., Kurkin A.A., Kurulin V.V., Sharipova I.L., Rubtsova D.P., Legchanov M.A., Tyatyushkina E.S., Lashkin S.V., Yalozo A.V., Yatsevich S.V., Tarasova N.V., Giniyatullin R.R., Sizova M.A., Krutyakova O.L.</i> Minimal basis tasks for validation of methods of numerical simulation of turbulent flows of incompressible viscous fluids....	21
<b>INFORMATION SCIENCE AND CONTROL SYSTEMS.....</b>	<b>70</b>
<i>Posobilov N.E., Borzaya E.A.</i> Model decision reflexive games.....	70
<b>MECHANICAL ENGINEERING AND AUTOMATION .....</b>	<b>75</b>
<i>Metelev B.A.</i> Revisiting the normative design of technological processes of mechanical processing in mechanical engineering.....	75
<b>NUCLEAR POWER ENGINEERING AND APPLIED PHYSICS .....</b>	<b>83</b>
<i>Konurin D.V., Sirotov A.I.</i> Investigations of stress-strain state cases of BN-800 during construction works.....	83
<b>PROBLEMS OF SHIPBUILDING AND OCEAN TECHNOLOGY.....</b>	<b>89</b>
<i>Andrianov L.V., Mukhina M.L.</i> The hydrodynamic scheme of arranging as a priority problem in the design of hydrofoils.....	89
<b>ELECTRICAL ENGINEERING AND POWER INDUSTRY .....</b>	<b>97</b>
<i>Vukolov V.Y.</i> The reliability and efficiency of power supply to residential consumers...	97
<b>METALLURGY AND SCIENCE MATERIALS .....</b>	<b>104</b>
<i>Volodin V.A., Bratukhin V.A.</i> Fasteners with the calibrated bolt tension for the high-load aeronautical structure.....	104
<b>ECONOMICS, INNOVATIONS AND MANAGEMENT .....</b>	<b>110</b>
<i>Uzbekova A.S., Malysheva I.S.</i> Analysis of contemporary russian corporate law. Challenges and solutions.....	110

<b>SOCIAL SCIENCES, EDUCATIONAL INNOVATIONS, PR-TECHNOLOGIES...</b>	118
<b>Ivakin G.A.</b> The black-hundred movement in Russia at the beginning of XX century: from institutionalization to association .....	118
<b>MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS</b> .....	125
<b>Volkov V.L., Zhidkova N.V., Zhidkov A.A.</b> Complex information handling in micro-electromechanic system.....	125
<b>MATHEMATICAL METHODS IN NATURAL, TECHNICAL AND SOCIAL SCIENCES</b> .....	133
<b>Kozitzyn A.S., Shadrina E.V.</b> Study of the effect of micro-processes on the system of the example of a computer model daisyworld .....	133
<b>PROCEEDINGS OF 87<sup>TH</sup> INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE « OPERATING SAFETY OF GROUND VEHICLES »</b> .....	143
<b>Session 1. «ACTIVE SAFETY AND VEHICLES»</b> .....	143
<b>Saveliev V.A.</b> Influence of unbalanced forces of inertia of the second order of the four-cylinder row engine on flexural oscillations of cardan drive shafts of a vehicle.....	143
<b>Kristalniy S.R., Fomitchev V.A., Popov N.V.</b> The Efficiency of the ABS on vehicles equipped with studded tires and its experimental deduction.....	149
<b>Istomin D.I., Keller A.V., Shelepov A.A.</b> Evaluation of the effect of screw-ball differential wheeled vehicle .....	157
<b>Dygalo V.G., Kotov V.V., Dygalo L.V., Revin A.A.</b> Application of virtual-physical techniques of modeling, when studying the effects on working process of fault-ness air brake system ABS.....	163
<b>Dygalo V.G., Kotov V.V., Dygalo L.V., Revin A.A.</b> Verification in the process of modeling brake dynamics vehicle with pneumatics ABS.....	169
<b>Sergievskiy S.A.</b> Computer virtual simulation of the two section articulated tracked vehicle dynamics.....	176
<b>Solovyov D.V., Gerasin A.V., Shturmin A.A., Otmahov V.I.</b> The research of power unit influence on vibroacoustic performances of light commercial vehicle .....	183
<b>Anuchin I.E., Tumasov A.V., Belyakov V.V.</b> Effects of wing location on the aerodynamic characteristics of a sports car of formula-student class .....	189
<b>Kravets V.N., Musarsky R.A.</b> Influence macro profile of the road on fuel consumption of truck .....	196
<b>Session 2. «STRUCTURAL STRENGTH AND PASSIVE SAFETY OF GROUND VEHICLES»</b> .....	201
<b>Zelenov M.Y., Shabrov R.N., Tumasov A.V., Orlov L.N.</b> Calculative estimation of robustness of protecting devices mounted on trucks.....	201
<b>Bagichev S.A., Kochanov E.V., Shatilov A.V., Vashurin A.S., Trusov U.P.</b> Computational and experimental study of strength of a seat frame.....	207
<b>Vashurin A.S., Volkov A.S., Sizonenko D.I., Orlov L.N.</b> Calculative-experimental estimation of passive safety of bus bodies made from multilayer sandwich-panels.....	213

<b>Session 3. «TOPICAL PROBLEMS OF AUTOMOBILE TRANSPORT».....</b>	<b>219</b>
<b>Gaevskiy V.V.</b> Cover one-track (COT) - perspective view of the city compact single-track vehicle.....	219
<b>Kustikov A.D., Kuzmin N.A., Korchazhkin M.G.</b> The impact of the presence of liftings urban routes on the operational reliability of the buses mechanical gear boxes.....	224
<b>Korchazhkin M.G., Arhipov A. N.</b> Definition of brake efforts of inertial brake systems of automobile road trains.....	235
<b>Golikov R.O., Lozovsky N.T.</b> About whether the use of ngvs .....	243
<b>Yasenov V.V., Eliseev M.E., Lipenkov A. V.</b> The analysis of problems in operation of Nizhny Novgorod urban passenger transport .....	249
<b>Kochkurov E.N., Korchazhkin M.G.</b> Determination of parameters of regulation by transport streams on the basis of modelling .....	255
<b>Negodyaev A.S., Berdnikov L.A., Fedosova M.E.</b> Perspectives on issues of sedimentation in interal combustion engines.....	261
<b>Fedosova M.E., Fedosov A.E., Ilyanov S.V., Berdnikov L.A., Gorbunov K.A., Shishkin A.I.</b> Methods of identify possible causes loss engine oil's performance characteristics .....	267
<b>Session 4. «GROUND VEHICLES ECOLOGICAL SAFETY».....</b>	<b>273</b>
<b>Korkin S.N., Kurmaev R.H.</b> Increase of ecological safety of movement of trains in heavy traffic conditions.....	273
<b>Petrov R.L.</b> Vehicles energy and environmental safety as factors having impact on global development.....	280
<b>Khripach N.A., Papkin B.A., Korotkov V.S.</b> Improving environmental safety of vehicles using thermoelectric generators.....	291
<b>Terenchenko A.S., Karpuhin K.E.</b> Energy efficiency as a way of improving the environmental safety of vehicles.....	299
<b>Kozlov A.V., Terenchenko A.S., Mirenkova E.A.</b> Technique of calculation of end of life vehicles recycling cost.....	306
<b>Session 5. «BUILDING AND ROAD MACHINES. MOBILITY OF GROUND VEHICLES».....</b>	<b>313</b>
<b>Molev Y.I., Tutnev P.A., Khudyakov V.N.</b> Zoning of the territory of the Russian federation according to the criterion of danger work on the repair and maintenance of piping from the point of view of the possibility of overturning pipelayers.....	313
<b>Dorofeev R.A., Krasheninnikov M.S., Koshurina A.A., Obrezkova V.E.</b> Concept of using of the rotary-screw mover in the construction of the reclamation machine for a cleaning of rivers.....	319
<b>Koshurina A.A., Krasheninnikov M.S., Dorofeev R.A., Obrezkova V.E.</b> Analysis and selection of materials for versatile rescue tool based on the requirements and operating conditions.....	326
<b>Papunin A.V., Makarov V.S., Zezyulin D.V., Belyakov V.V.</b> About influence of topography on characteristics of snow cover and vehicles trafficability.....	331
<b>Zeziulin D.V., Makarov V.S., Fedorenko A.V., Belyaev A.M., Belyakov V.V.</b> Vehicle «Korsak» for servicing of linear objects.....	336
<b>Makarov V.S., Kolotilin V.E., Belyakov V.V., Zeziulin D.V.</b> Estimation of efficiency of wheeled vehicles during the winter, taking into account the variability of snow characteristics.....	342

<b>Redkozubov A.V., Makarov V.S., Zeziulin D.V., Belyakov V.V.</b> Mathematical model of surface of movement of forest roads.....	348
<b>Belyakov V.V., Kurkin A.A., Zeziulin D.V., Makarov V.S.</b> Chassis of robotic systems for coastal monitoring.....	353
<b>Session 6. «ROAD TRAFFIC SAFETY. CONTROL FOR OPERATING CONDITIONS OF VEHICLES».....</b>	358
<b>Chernenko A.V.</b> Introduction of the tachograph in the production of commercial vehicles to increase road safety.....	358
<b>Pryakhina A.N., Chileev A.M., Strizhak A.D., Mesyachenko D.A., Lipin A.A., Shapkin V.A.</b> Movement security status on the street road network of the large cities ...	364
<b>Tikhomirova O.B., Tikhomirov A.N.</b> Features of inspection of braking behavior of the vehicle according to international requirements.....	370

# РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 621.371

В.А. Алимов<sup>1</sup>, В.И. Есипенко<sup>2</sup>, Ю.С. Коробков<sup>1</sup>, В.И. Морозов<sup>1</sup>

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НА ТРАССЕ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЁННОСТИ В ТРОПОСФЕРЕ

Нижегородский научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Приведены некоторые результаты исследований распространения радиоволн СВЧ диапазона в тропосфере на аэростатной радиотрассе протяжённостью 184 км в Нижегородской области. В ходе эксперимента зарегистрированы быстрые (10–15 %) флуктуации амплитуды принимаемого сигнала, наблюдалась деполяризация радиоизлучения при его распространении в атмосфере Земли. Дана соответствующая физическая интерпретация результатов исследования. Показано, в частности, что заметные амплитудные флуктуации СВЧ сигналов на трассах большой протяжённости могут вызываться турбулентными неоднородностями тропосферы. Вместе с тем, поляризационные эффекты в турбулентной атмосфере даже на таких протяжённых трассах оказываются незначительными. Но отражение радиоволн от сильно шероховатой земной поверхности может вызывать заметную деполяризацию СВЧ-радиоизлучения при распространении его на аэростатной трассе большой протяжённости.

*Ключевые слова:* тропосфера, распространение радиоволн СВЧ диапазона, аэростатная радиотрасса большой протяжённости, флуктуации амплитуды сигнала, деполяризация радиоизлучения.

Вопросы распространения радиоволн на наземных трассах в пределах прямой видимости и влияние атмосферы Земли на прохождение через неё радиоволн изучались в ряде работ (см., например, [1,2] и цитированную там литературу). Однако при этом соответствующие исследования касались распространения радиоволн сверхвысоких частот в основном на трассах протяжённостью 20–60 км. В то же время особенности распространения радиоволн СВЧ диапазона на трассах большой (до 200 км) протяженности в тропосфере изучались лишь в специфических условиях гористой местности [1, 3, 4]. Применение аэростатов в качестве радиоретрансляторов открывает возможности исследований распространения СВЧ радиоволн на тропосферных трассах большой протяжённости с обычным рельефом земной поверхности. Некоторые результаты соответствующих исследований на одной из таких радиотрасс изложены далее.

### Схема эксперимента

Эксперимент по распространению радиоволн в тропосфере проводился на аэростатной радиотрассе протяжённостью 184 км в Горьковской области в дневное время суток. Передатчик, установленный на борту аэростата, излучал монохроматический сигнал. Длина волны излучения составляла 6 см. На борту аэростата применялась слабонаправленная дипольная антенна вертикальной поляризации. Приём осуществлялся в наземном пункте на остронаправленные (коэффициент направленного действия порядка 40 дБ) антенны вертикальной и горизонтальной поляризации, ориентированные на аэростат. Высота подъёма

аэростата над поверхностью Земли составляла  $H \sim 2000$  м, так что передатчик находился в пределах прямой видимости приёмника. Принимаемый сигнал контролировался на спектроанализаторе СЧ-60 и регистрировался на бумажной ленте самописца Н-338-1П.

### Результаты эксперимента и их интерпретация

В ходе эксперимента устойчиво регистрировалась основная, вертикально поляризованная компонента излучения. Отношение мощностей принимаемого сигнала и собственного шума приёмника соответствовало расчётному значению 25 дБ, характерному для условий распространения сигнала в свободном пространстве на трассе протяжённостью 184 км. Амплитуда сигнала вертикальной поляризации, как правило, испытывала быстрые (10 - 15)% флуктуации. На антенну горизонтальной поляризации принимался быстро флуктуирующий полностью рассеянный (индекс амплитудных флуктуаций практически был равен единице) сигнал с уровнем на 22 дБ ниже уровня сигнала вертикальной поляризации.

Амплитудные флуктуации основного сигнала (сигнала вертикальной поляризации) были, по-видимому, обусловлены влиянием турбулентных неоднородностей приземного слоя (на высотах до  $H \sim 1$  км) тропосферы.

Действительно, рассмотрим следующую модельную задачу. Пусть точечный источник, расположенный на расстоянии от плоского слоя с турбулентными неоднородностями, характеризуемыми трёхмерным пространственным спектром диэлектрической проницаемости [2]:

$$\Phi_{\varepsilon}(\chi) = 0.033 C_{\varepsilon}^2 \chi^{-\frac{11}{3}} \exp\left(-\frac{\chi^2}{\chi_m^2}\right) \quad (1)$$

( $\chi_m = \frac{5,92}{l_0}$ ,  $l_0$  – внутренний масштаб турбулентности,  $C_{\varepsilon}^2$  – структурная константа) излучает монохроматический сигнал, который принимается на выходе неоднородного слоя толщиной  $Z$ .

Относительные флуктуации принимаемого излучения в этом случае описываются следующим выражением [2]:

$$\overline{\left(\frac{\Delta A}{A_0}\right)} \cong 0,14 C_{\varepsilon}^2 k^{\frac{7}{6}} \int_0^z \left[ \frac{(z_0 + x)(z - x)}{z} \right]^{\frac{5}{6}} dx. \quad (2)$$

Здесь  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число.

Интеграл в (2) вычисляется [5] и при  $z_0 \cong z$  имеем:

$$\overline{\left(\frac{\Delta A}{A_0}\right)^2} \cong 0,035 \sqrt{\pi} C_{\varepsilon}^2 k^{\frac{7}{6}} z^{\frac{11}{6}} \frac{\Gamma\left(\frac{11}{6}\right)}{\Gamma\left(\frac{7}{3}\right)}, \quad (3)$$

где  $\Gamma(\alpha)$  – гамма-функция [5].

Учитывая, что в нашем случае

$$\sqrt{\overline{\left(\frac{\Delta A}{A_0}\right)^2}} \cong 0,1 \div 0,15, \quad k \cong 1 \text{ см}^{-1}, \quad z \cong 10^7 \text{ см},$$

из соотношения (3) получаем  $C_{\varepsilon}^2 \cong 5 \cdot 10^{-14} \text{ см}^{\frac{2}{3}}$ .

Это значение находится в хорошем соответствии с известными характерными значениями величины  $C_{\varepsilon}^2$  для атмосферной турбулентности приземного слоя тропосферы [2].

Обратимся теперь к эффекту деполяризации принимаемого излучения, наблюдавшемуся в нашем эксперименте. Согласно существующим представлениям [2], явление деполя-

ризации СВЧ радиоволн при распространении их в тропосфере Земли пренебрежимо мало. Однако следует заметить, что это утверждение базируется на анализе эффекта деполяризации света турбулентными неоднородностями атмосферы [6,7] и, строго говоря, справедливо лишь для случая, когда основное влияние на деполяризацию излучения оказывают крупномасштабные (в размерах длины волны излучения) неоднородности. Если же последнее условие не выполняется, а в условиях нашего эксперимента длина волны излучения могла быть и больше некоторых характерных размеров турбулентных неоднородностей тропосферы, то необходим более общий подход к решению соответствующей задачи.

Рассмотрим следующую задачу. Слабонаправленный источник, расположенный на расстоянии  $z_0$  от плоского слоя с турбулентными неоднородностями диэлектрической проницаемости  $\epsilon_1(x, y, z)$ , излучает линейно поляризованную (вдоль оси  $\vec{x}$ ) волну  $\vec{E}_0(E_{0x}, 0, 0)$ , а приём ведётся на линейно поляризованную вдоль  $\vec{y}$  антенну на выходе неоднородного слоя толщиной  $Z$ . Тогда для поля  $E_y$  сигнала на выходе приёмной антенны имеем [6, 8]:

$$E_y = \int_0^z \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\vec{n}_s) e^{ik|\vec{r}-\vec{r}'|} \frac{\partial}{\partial y} \left[ E_{0x} \frac{\partial \epsilon_1}{\partial x'} \right] dx' dy' dz', \quad (4)$$

где  $\vec{r}(0, 0, z)$  и  $\vec{r}'(x', y', z')$  – радиусы-векторы точки наблюдения и точки рассеяния излучения в неоднородном слое соответственно;  $f(\vec{n}_s)$  – диаграмма направленности приёмной антенны [8];  $\vec{n}_s = \frac{\vec{r}-\vec{r}'}{|\vec{r}-\vec{r}'|}$  (начало координат расположено на оси  $\vec{x}$  в начале неоднородного слоя).

Учтём, что по условиям нашего эксперимента приём излучения ведётся на остронаправленную антенну так, что рассеяние радиоволн происходит в узком конусе с раствором порядка  $\frac{\lambda}{d} \ll 1$  ( $d$  – характерный масштаб приёмной антенны) и падающая на неоднородный слой волна (при  $z_0 \geq z$ ) является квазиплоской. Проводя необходимые преобразования, во многом аналогичные [6], несложно получить следующее выражение для относительной величины средней интенсивности деполяризованной компоненты электрического поля принимаемого излучения:

$$\frac{E_y^2}{E_{0x}^2} = \frac{\pi^2 z}{8k^2} \int_0^\infty \chi_1^5 \Phi_\epsilon(\chi) d\chi_1, \quad (5)$$

где  $\chi = |\vec{\chi}| = \sqrt{\chi_1^2 + \left( \frac{\chi_1^2}{2k} \cdot \frac{z_0}{z+z_0} \right)^2}$  (ср. [6]).

Для случая колмогоровской турбулентности (1) интеграл в соотношении (5) вычисляется. В результате, с учётом [5], имеем:

$$\frac{E_y^2}{E_{0x}^2} = 0.5A\alpha^{-\frac{11}{6}} \left[ p^{\frac{1}{3}} \Gamma\left(-\frac{1}{3}\right) {}_2F_2\left(\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}; \frac{1}{2}, \frac{4}{3}; p\gamma\right) - 2p^{\frac{5}{6}} z^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(-\frac{5}{6}\right) + \right. \\ \left. + 2^{\frac{1}{3}} z^{-\frac{1}{3}} \frac{\Gamma\left(\frac{7}{6}\right) \Gamma\left(\frac{2}{3}\right)}{\Gamma\left(\frac{11}{6}\right)} \cdot {}_2F_2\left(-\frac{5}{6}, -\frac{5}{6}; \frac{2}{3}, \frac{1}{6}; p\gamma\right) \right]. \quad (6)$$

В (6) введены следующие обозначения:

$$A = 0.033 C_\varepsilon^2 \frac{\pi^2 z}{16k^2}; \quad \alpha = \left( \frac{1}{2k} \cdot \frac{z_0}{z + z_0} \right)^2; \quad p = \alpha \chi_m^{-2}; \quad \gamma = (2\alpha)^{-2};$$

${}_2F_2(\alpha_1, \alpha_2; \beta_1, \beta_2; p\gamma)$  – обобщённая гипергеометрическая функция [5].

В предельном случае, когда внутренний масштаб турбулентности во много раз меньше длины волны излучения  $\lambda$ , а точнее параметр

$$p\gamma \cong \left( \frac{l_0}{\lambda} \cdot \frac{z_0}{z + z_0} \right)^2 \ll 1,$$

(в нашем случае  $\lambda \cong 6$  см,  $l_0 \cong 10^{-1}$  см [2],  $z \cong z_0$ ) из соотношения (6) находим

$$\frac{E_y^2}{E_{ox}^2} \cong 0,033 C_\varepsilon^2 \frac{\pi^2 z}{16k^2} \left[ \frac{2k(z + z_0)}{z_0} \right]^{\frac{7}{3}} \frac{\tilde{A}(\frac{7}{6}) \cdot \tilde{A}(\frac{2}{3})}{\tilde{A}(\frac{11}{6})}. \quad (7)$$

Учитывая характерные значения параметров задачи, соответствующие условиям выполнения эксперимента ( $C_\varepsilon^2 \approx 5 \cdot 10^{-14}$  (см $^{-\frac{2}{3}}$ ),  $z \approx z_0 \cong 10^7$  (см),  $k > 1$  (см $^{-1}$ )), из соотношения (7) получаем

$$\frac{E_y^2}{E_{ox}^2} \cong 3,3 \cdot 10^{-7}.$$

Это значение выше характерных значений величины  $\frac{E_y^2}{E_{ox}^2}$  для эффектов деполяризации света в турбулентной тропосфере [6,7]. Однако оно заметно ниже величины деполяризации сантиметрового радиоизлучения, наблюдавшейся в нашем эксперименте (см. ранее)

$$\frac{E_y^2}{E_{ox}^2} \cong 7 \cdot 10^{-3}.$$

Объяснение эффекта деполяризации СВЧ-радиоизлучения во время нашего аэростатного эксперимента, по-видимому, состоит в следующем. На радиотрассе была довольно протяжённая возвышенность. Угол скольжения волны, падающей от бортового источника аэростата на эту отражающую земную поверхность, составлял  $\theta \approx 5 \cdot 10^{-3}$ . Возвышенность была покрыта лесом, так что её можно рассматривать как сильно шероховатую поверхность с крутыми наклонами неровностей (отдельных деревьев). Как известно [9], при отражении от такой поверхности должна наблюдаться практически полная хаотизация и деполяризация падающего излучения. При этом относительная величина мощности диффузной горизонтально поляризованной компоненты сигнала будет равна (с учётом ламбертовского характера рассеяния и экранировки отражённого сигнала при  $\theta \ll 1$ ) [9]:

$$\frac{E_y^2}{E_{ox}^2} \cong \bar{R}^2 \cdot \theta,$$

где  $\bar{R}$  – среднее значение коэффициента отражения радиоволн от земной поверхности.

В условиях нашего эксперимента (малые углы ( $\theta \ll 1$ ) скольжения падающего сантиметрового излучения на отражающую поверхность, высокий уровень влажности в приземном слое тропосферы) величина  $\bar{R} \cong 1$  [1]. Тогда из последнего соотношения имеем

$$\frac{E_y^2}{E_{ox}^2} \cong 5 \cdot 10^{-3},$$

что находится в хорошем соответствии с измеренным значением интенсивности деполяризованной, горизонтальной компоненты принимаемого сигнала.

Итак, турбулентные неоднородности тропосферы могут вызывать заметные амплитудные флуктуации СВЧ сигналов при распространении их на трассе большой протяжённости. Вместе с тем, поляризационные эффекты в турбулентной тропосфере даже на таких протяжённых радиотрассах незначительны. Однако отражение радиоволн от сильно шероховатой земной поверхности может вызывать заметную деполяризацию СВЧ-радиоизлучения при распространении его на аэростатной радиотрассе большой протяжённости.

### Библиографический список

1. **Калинин, А.И.** Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолиний / А.И. Калинин. – М.: Связь, 1979.
2. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли / Ю.А. Кравцов [и др.]. – М.: Радио и связь, 1983.
3. **Троицкий, В.Н.** Распространение ультракоротких волн в горах / В.Н. Троицкий. – М.: Связь, 1968.
4. **Алимов, В.А.** // Радиотехника. 1987. № 10. С. 49.
5. Интегралы и ряды. Элементарные функции / А.П. Прудников [и др.]. – М.: Наука, 1981.
6. **Татарский, В.И.** // Известия вузов. Радиофизика. 1967. Т.10, Л 12. С. 1762.
7. **Кравцов, Ю.А.** // Известия вузов. Радиофизика. 1970. Т. 13, Л 2. С. 281.
8. **Рытов, С.М.** Введение в статистическую радиофизику. Ч. II / С.М. Рытов, Ю.А. Кравцов, В.И. Татарский. – М.: Наука, 1978.
9. **Басс, Ф.Г.** Рассеяние волн на статистически неровной поверхности / Ф.Г. Басс, И.М. Фукс. – М.: Наука, 1972.

*Дата поступления  
в редакцию 03.10.2014*

**V.A. Alimov, V.I. Esipenko, U.S. Korobkov, V.I. Morozov**

### **SOME RESULTS OF RESEARCH OF RADIO-WAVE PROPAGATION ON THE ROAD A LARGE EXTENT IN THE TROPOSPHERE**

Nizhny Novgorod research Institute of Radiophysics,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Results of research on the propagation of microwave range in the troposphere on the balloon radiotrance length of 184 km.

**Desing/methodology/approach:** Experimental results on the detection of fast fluctuations of signal amplitude are re-dused.

**Findings:** Given the physical interpretation of the study results. It is shown that significant fluctuations in amplitude may be caused by turbulent inhomogeneities in the troposphere.

**Research limitations/implications:** The reflection of radio waves from very rough earth surface can cause significant depolarization of microwave radiation on the slopes of great extent.

**Originality/value:** Polarization effects in turbulent troposphere on the slopes of the large extent be insignificant.

*Key words:* troposphere, results, spreading microwave frequency range, radio wave, troposphere balloon radio route, fast amplitude fluctuation, visible depolarization.

УДК 573.868.7

Н.Ю. Бабанов, В.П. Самарин, С.В. Ларцов

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛЧМ РАДИОИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ПОИСКА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РАССЕЙВАТЕЛЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается возможность использования ЛЧМ сигнала в системах поиска параметрических рассеивателей. Представлены результаты машинного эксперимента.

*Ключевые слова:* параметрический рассеиватель, ЛЧМ радиоимпульс, субгармоника.

Существует целый ряд прикладных задач, связанных с необходимостью обнаружения различных предметов, грузов, терпящих бедствие людей в природных условиях и на больших расстояниях. Если отсутствует возможность использования гальванических элементов для питания активных радиомаяков, то, учитывая необходимость селекции переотражений электромагнитных волн от границы раздела сред и складок местности, решение задачи приходится искать на основе применения маркеров - нелинейных пассивных радиоответчиков [1]. Такими задачами являются: маркировка военной техники, поиск раненых на поле боя и жертв снежных лавин, облегчение поиска грузов, сброшенных с самолета, поиск терпящих бедствие на воде, разметка путей следования, в частности, фарватеров или проходов в минных полях, и т.д.

Для решения таких задач перспективным маркером могут оказаться параметрические рассеиватели (ПР). ПР отличаются тем, что при их облучении радиоимпульсом сигнала накачки (СН) они формируют радиоимпульс ответного сигнала (ОС) на частоте половинной субгармоники СН, что позволяет хорошо селектироваться от помех, вызванных переотражениями запросного сигнала. Для формирования когерентной последовательности радиоимпульсов ОС необходимо в области переднего фронта радиоимпульса СН излучать радиоимпульс синхронизирующего сигнала (СС) на частоте ОС. Как показано в [1], радиоимпульс СС должен иметь форму двух одинаковых, противофазных, коротких, следующих друг за другом радиоимпульсов.

ПР представляют сегодня простейшую антенну, нагруженную на параметрический электрический контур, образованный проволочной индуктивностью и нелинейной емкостью, в качестве которой используется полупроводниковый диод. Экспериментальные исследования [2] показали, что ПР могут генерировать ОС в полосе ~30%. Там же предложена конструкция ПР с расширенной до ~40% рабочей полосой частот за счет увеличения до двух числа нелинейных электрических контуров (рис. 1).

Одним из методов повышения чувствительности поисковых радарных установок при обработке одиночных радиоимпульсов является применение сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Так как существуют широкополосные ПР, представляется интересным рассмотреть: можно ли использовать технологию зондирования ЛЧМ радиоимпульсами при поиске ПР.

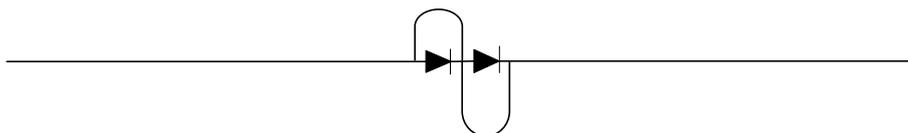


Рис. 1. Широкополосный дипольный параметрический рассеиватель

Использование ОС в виде последовательностей ЛЧМ радиоимпульсов в задаче обнаружения ПР соответствует задаче анализа результата воздействия на фильтр, согласованный

с ЛЧМ радиоимпульсом ОС, смеси ЛЧМ радиоимпульса ОС и парного радиоимпульса СС. В идеальном случае парный радиоимпульс СС, выполнив задачу синхронизации радиоимпульса ОС в ПР, должен «уничтожиться» на выходе фильтра, согласованного с ЛЧМ радиоимпульсом ОС. Для этого импульсы СС и ОС должны быть ЛЧМ сигналами с взаимно обратными законами модуляции, так как из общих физических соображений такие радиоимпульсы СС должны «растягиваться» в согласованном фильтре (СФ) с радиоимпульсом ОС.

Для определения отклика СС на выходе фильтра СФ необходимо найти взаимно корреляционную функцию (ВКФ) СС и копии ОС. Будем полагать, что СС и ОС представляются ЛЧМ сигналами с взаимно обратными законами модуляции, т.е. СС задается как

$$u_{cc}(t) = u_1(t) = A_1 \cos\left(\omega_0 t - \beta \frac{t^2}{2}\right); |t| \leq \frac{t_u}{2}, \quad (1)$$

где  $t_u$  - длительность СС.

В то время как ОС

$$u_{oc}(t) = u_2(t) = A_2 \cos\left(\omega_0 t + \beta \frac{t^2}{2}\right); |t| \leq \frac{T}{2}, \quad (2)$$

где  $T$  - длительность ОС.

По определению ВКФ вычисляется следующим выражением:

$$\psi_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} u_1(t)u_2(t-\tau) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} u_1(t+\tau)u_2(t) dt. \quad (3)$$

Вычисление (3) упрощается, если сигналы представить в комплексной форме

$$\left. \begin{aligned} u_1(t) &= \frac{1}{2}A_1 e^{i\left(\omega_0 t - \beta \frac{t^2}{2}\right)} + \frac{1}{2}A_1 e^{-i\left(\omega_0 t - \beta \frac{t^2}{2}\right)} = \frac{1}{2}[z_1(t) + z_1^*(t)] \\ u_2(t) &= \frac{1}{2}A_2 e^{i\left(\omega_0 t + \beta \frac{t^2}{2}\right)} + \frac{1}{2}A_2 e^{-i\left(\omega_0 t + \beta \frac{t^2}{2}\right)} = \frac{1}{2}[z_2(t) + z_2^*(t)] \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $z(t)$  - аналитический сигнал, соответствующий физическому сигналу  $u(t)$ , а  $z^*(t)$  - функция комплексно-сопряженная  $z(t)$ .

Подставляя (3) в (4) и пренебрегая слагаемыми, содержащими быстро осциллирующие множители с частотой  $2\omega_0$ , получим:

$$\psi_{12}(\tau) = \frac{A_1 A_2}{4} \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\left[\omega_0 \tau - \beta \left(\frac{t^2}{2} - \frac{(t-\tau)^2}{2}\right)\right]} dt + \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i\left[\omega_0 \tau - \beta \left(\frac{t^2}{2} - \frac{(t-\tau)^2}{2}\right)\right]} dt \right\}. \quad (5)$$

Подынтегральные функции в этих интегралах являются комплексно-сопряженными и при суммировании мнимые части взаимно уничтожаются, поэтому

$$\psi_{12}(\tau) = \frac{A_1 A_2}{2} \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\left[\omega_0 \tau - \beta \left(\frac{t^2}{2} - \frac{(t-\tau)^2}{2}\right)\right]} dt. \quad (6)$$

Проведя несложные преобразования, окончательно приходим к выражению для ВКФ СС и ОС:

$$\psi_{12}(\tau) = \frac{A_1 A_2}{2} \frac{T}{\sqrt{2B}} e^{i\left[\omega_0 \tau - \frac{3}{4}\beta \tau^2\right]} \{[C(x_2) - C(x_1)] - i[S(x_2) - S(x_1)]\}. \quad (7)$$

Как следует из (7) ВКФ представляет собой ЛЧМ колебание, закон изменения частоты которого совпадает с законом СС. Огибающая ВКФ представляется выражением

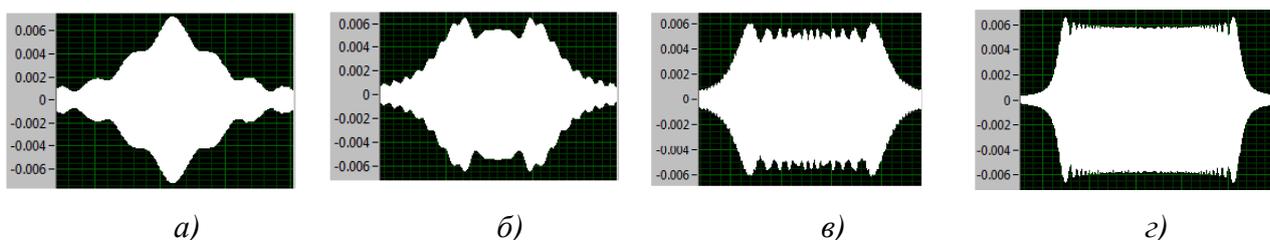
$$\psi_{12}(\tau) = \frac{A_1 A_2}{2} \frac{T}{\sqrt{2B}} \sqrt{[C(x_2) - C(x_1)]^2 + [S(x_2) - S(x_1)]^2}, \quad (8)$$

где  $x_{1,2}$  при  $\tau \geq 0$

– для интервала  $\tau \leq \frac{T-t_u}{2}$ :  $x_1 = \frac{\sqrt{2B}}{2} \left(\frac{3\tau}{T} - \frac{t_u}{T}\right)$ ;  $x_2 = \frac{\sqrt{2B}}{2} \left(\frac{3\tau}{T} + \frac{t_u}{T}\right)$ ;

– для интервала  $\left(\frac{T-t_H}{2}\right) \leq \tau \leq \left(\frac{T+t_H}{2}\right): x_1 = \frac{\sqrt{2B}}{2} \left(\frac{3\tau}{T} - \frac{t_H}{T}\right); x_2 = \frac{\sqrt{2B}}{2} \left(\frac{\tau}{T} + 1\right)$ .

Анализ полученных выражений показывает, что форма огибающей ВКФ в основном определяется отношением  $\frac{t_H}{T}$ . Множитель  $\sqrt{2B}$  задает масштаб величин  $x_{1,2}$  и в основном влияет на амплитуду огибающей ВКФ, которая практически не зависит от  $\frac{t_H}{T}$ . На рис. 2 представлены данные машинного эксперимента, полученные на виртуальной модели приемного устройства, реализованной средствами LabVIEW для разных соотношений длительностей ОС и СС.



**Рис. 2. Данные машинного эксперимента:**  
 $a - t_H/T = 0,02$ ;  $b - t_H/T = 0,04$ ;  $c - t_H/T = 0,08$ ;  $d - t_H/T = 0,2$

Экспериментальные данные соответствуют следующим параметрам ОС и СС: полная девиация  $2\Delta f_d = 50$  МГц; центральная частота  $f_0 = 275$  МГц; длительность ответного сигнала  $T = 20$  мкс.

Из проведенного анализа и рис. 2 следует, что длительность каждого из парных СС для их эффективного подавления в фильтре, согласованном с ОС, должна быть  $\leq (2 \div 4)\%$  от длительности ОС.

#### Библиографический список

1. **Бабанов, Н.Ю.** О когерентном накоплении при приеме сигналов от параметрических рассеивателей // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. №6. С. 82–92.
2. **Бабанов, Н.Ю.** Экспериментальное исследование амплитудно-частотных свойств субгармонических рассеивателей / Н.Ю. Бабанов, А.С. Корсаков, С.В. Ларцов // Проектирование и технология электронных средств: тр. Владимирского госуниверситета. 2008. №3. С. 22–26

Дата поступления  
 в редакцию 10.10.2014

**N.Iu. Babanov, V.P. Samarin, S.V. Lartsov**

#### APPLICATION LFM-RADIOIMPULSES FOR SEARCH PARAMETRIC SCATTERERS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

A possibility of using an LFM signal in parametric scatterers search systems is studied. Results of a machine experiment are demonstrated.

*Key words:* parametric scatterers, LFM radiopulses, subharmonics.

---

# МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

---

УДК 532.54

А.С. Козелков<sup>1,2</sup>, Ю.Н. Дерюгин<sup>1</sup>, Ю.А. Циберева<sup>1</sup>, А.В. Корнев<sup>3</sup>, О.В. Денисова<sup>1</sup>,  
Д.Ю. Стрелец<sup>3</sup>, А.А. Куркин<sup>2</sup>, В.В. Курулин<sup>1</sup>, И.Л. Шарипова<sup>1</sup>, Д.П. Рубцова<sup>1</sup>,  
М.А. Легчанов<sup>2</sup>, Е.С. Тятюшкина<sup>1</sup>, С.В. Лашкин<sup>1</sup>, А.В. Ялозо<sup>1</sup>, С.В. Яцевич<sup>1</sup>,  
Н.В. Тарасова<sup>1</sup>, Р.Р. Гинниятуллин<sup>1</sup>, М.А. Сизова<sup>1</sup>, О.Л. Крутякова<sup>1</sup>

## МИНИМАЛЬНЫЙ БАЗИС ЗАДАЧ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»<sup>1</sup>,

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>,

ОАО «Компания Сухой»<sup>3</sup>

**Цель:** В работе обсуждается процесс валидации, являющийся важным этапом на пути промышленного внедрения инженерных пакетов программ.

**Метод:** В основе исследования лежат физико-математические и численные модели, предназначенные для моделирования турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости.

**Результаты:** В целях улучшения и систематизации знаний в настоящей работе разработан базис задач валидации, необходимый для оценки точности моделирования программных решений, предназначенных для моделирования турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости. Проведена его систематизация и обобщение.

**Область применения:** Представленные результаты позволяют разработчику инженерных пакетов программ сконцентрироваться на вычислении погрешности моделирования, а не на поиске достоверных данных.

*Ключевые слова:* валидация, инженерные пакеты программ, турбулентные течения, вязкая несжимаемая жидкость, численное моделирование.

### Введение

Быстрое развитие в последние десятилетия различных областей науки и техники отчасти явилось следствием колоссального прогресса в применении численных методов в исследовании гидродинамики жидкостей, как теоретической, так и экспериментальной. Вычислительная гидродинамика по своей полноте, разнообразию задач, и что особенно актуально, практическому применению выделилась в отдельную самостоятельную науку. Практическому внедрению вычислительной гидродинамики (CFD—Computational Fluid Dynamics) способствует бурный рост производительности вычислительной техники, введение в строй суперкомпьютеров терафлопного и даже петафлопного класса, а также серьезные успехи, достигнутые в последние годы в области построения эффективных численных методов, которые позволяют успешно решать достаточно широкий класс практически важных задач в различных прикладных областях.

Применение вычислительных технологий для решения сложных прикладных задач имеет в каждом конкретном случае свои специфические особенности. Тем не менее во

многих областях можно выделить задачи, имеющие общие характерные черты, позволяющие говорить о единой структуре этого процесса. Например, использование в авиационной промышленности современных физико-математических моделей становится все более активным и всесторонним. Это связано с целым рядом требований:

- необходимостью снижения сроков разработки и стоимости новых образцов;
- снижением количества ошибок проектирования за счет качественного прогноза условий функционирования различных сильно интегрированных самолетных систем в широком спектре эксплуатационных режимов.

1. Расчет температурных полей в отсеке оборудования;
2. Расчет температурных полей в кабине экипажа;
3. Расчет теплогидравлических характеристик теплообменника в составе самолета;
4. Моделирование условий возникновения кавитации в гидросистеме;
5. Расчет условий воспламенения и горения углеводородных топлив для обеспечения пожаробезопасности;
6. Расчет топливной системы

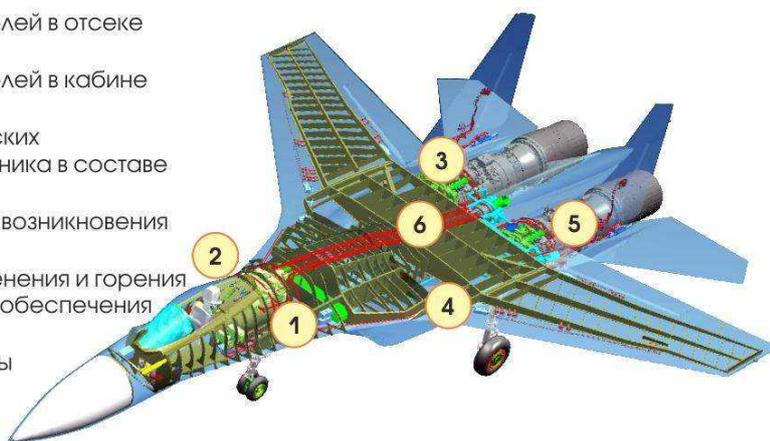


Рис. 1. Основные задачи при моделировании систем самолета

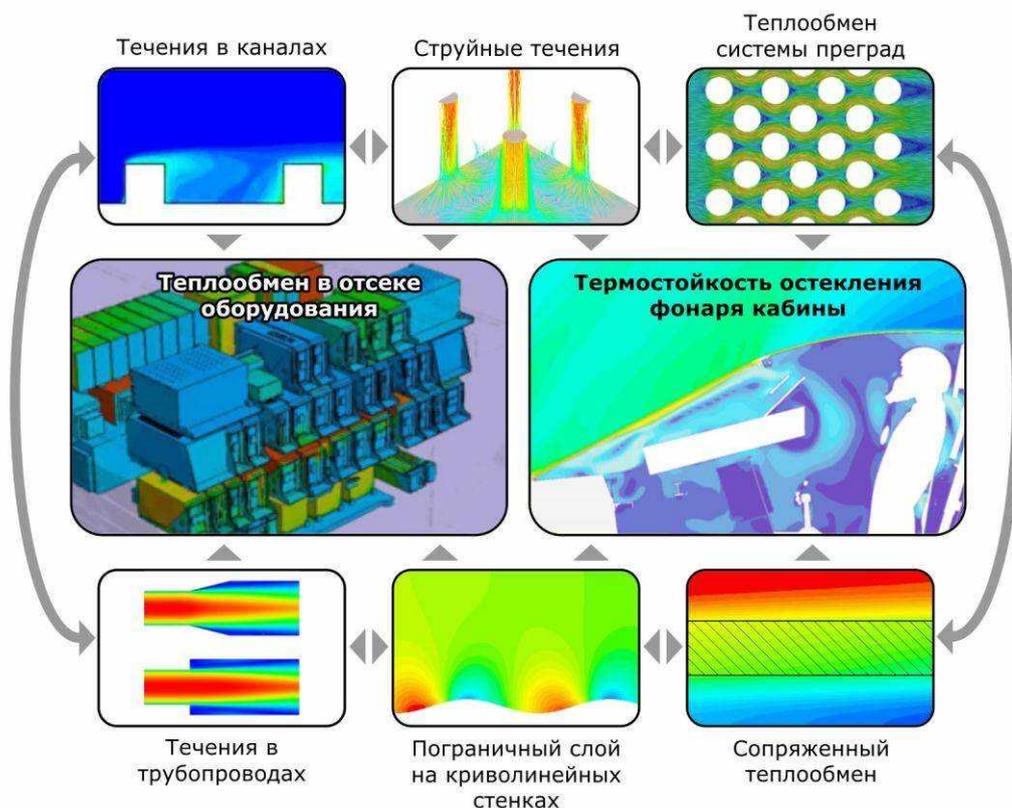


Рис. 2. Классы практических задач и соответствующие задачи валидации

Основные задачи моделирования систем самолета приведены на рис. 1. Современные самолетные системы характеризуются сложностью геометрических форм проточной части и широким диапазоном условий течения рабочего тела. Поэтому валидация отдельных физико-математических моделей и их различных сочетаний проводится сначала на упрощенных

задачах, а только после этого проверенные модели используются для решения практических задач. На рис. 2 показана сокращенная группа задач валидации, обеспечивающая обоснованное решение ряда практических задач.

До проведения численного эксперимента необходимо выявить границы применимости физико-математической модели, которые позволяют моделировать физическое явление, протекающее в естественных условиях. Достоверность физико-математической модели, предназначенной для описания того или иного процесса, можно определить, оценив уровень вносимый ею погрешности и неопределенности по сравнению с натурным экспериментом.

Отметим, что использование численного моделирования ограничивается именно математическими моделями, задействованными в исследовании. Именно ввиду существования определенных ограничений, вычислительный эксперимент не может полностью заменить натурный.

Оценить уровень неопределённости и погрешности физико-математической модели позволяет процесс валидации. В процессе валидации проверяются научные основы модели путем сравнения с экспериментальными данными и устанавливается, согласуются ли результаты численного моделирования с физическими реалиями. Степень точности, требуемая от результатов моделирования, зависит от предполагаемого их использования. Как правило, к каждой расчетной величине, будь то интегральная или абсолютная характеристика, предъявляются свои требования. Обычно анализируемые характеристики разделяют по двум основным принципам – качественный и количественный. При качественном анализе анализируются данные, которые невозможно получить при экспериментальной обработке, например, распределение давления и скорости по всему полю течения, по всей конструкции в целом. Они необходимы для понимания протекающего процесса на качественном уровне и требования к точности моделирования невелики. Абсолютно иная ситуация с оценкой абсолютных величин – здесь требования к точности весьма и весьма строги. Требуемая точность обычно задается как один из достижимых индикаторов проектирования, при этом необходимая точность и диапазон погрешности определяются для каждой моделируемой величины по своим правилам.

Изложение основных принципов верификации и валидации методов CFD-моделирования представлены в [1, 37].

Процедура валидации для CFD пакетов включает в себя несколько этапов:

1. **Оценка сходимости итераций.** При численном моделировании выделяют два типа сходимости – сходимость по итерациям (по времени) и сходимость по пространству. Большинство практических задач решаются в «квазистационарном» режиме, когда моделирование осуществляется до того момента, когда решение устанавливается и больше не меняется со временем (на последующих итерациях). Такую сходимость, называемую сходимостью по итерациям (времени), определяют с помощью достижения определённого значения невязок численного решения. Если учитывается реальное физическое время процесса, то сходимость по времени определяется путем оценки достижения численным решением конечного времени на каждом временном шаге. Сходимость по пространству определяет погрешность дискретизации исходной системы уравнений в физико-математической модели. Оценка сходимости по пространству осуществляется выполнением моделирования на нескольких последовательно сгущающихся сетках. По мере измельчения расчетной сетки погрешности дискретизации по времени и пространству асимптотически должны приближаться к нулю.

2. **Проверка решения на непротиворечивость.** На данном этапе проверяется правильность описания физического процесса применяемой при моделировании физико-математической модели. Здесь осуществляется оценка выполнения основных законов сохранения – массы, импульса и энергии. Например, для течения в трубе оценивается правильность перепада давления и закона сохранения массы вдоль всей трубы.

3. **Сравнение с экспериментом.** Самый важный этап валидации. Экспериментальные

данные, полученные в ходе натуральных испытаний или управляемого эксперимента, используются для оценки того, правильно ли физико-математическая модель отражает «объективную реальность» и какие содержит неопределенности, связанные с непониманием и недостатком знаний физики протекающих процессов. В свою очередь к экспериментальным данным нужно относиться очень внимательно, поскольку они также содержат неопределенности и погрешности, которые можно выявить с помощью сравнения с результатами моделирования.

При валидации сложных систем, таких как самолет, ракета, ядерный реактор применяется метод стандартных блоков, который предусматривает несколько этапов с постепенным усложнением физики течения, геометрии и взаимовлияния процессов друг на друга. Данный метод включает в себя следующие этапы:

**Единичные задачи** характеризуются простой геометрией, одним элементом сложной физики течения и одним релевантным свойством течения. Примером может служить исследование турбулентного пограничного слоя плоской пластины. Набор экспериментальных данных содержит подробные данные, собранные с высокой степенью точности. Для такого класса задач нередко существует и аналитическое решение.

**Случаи эталонных решений** характеризуются относительно простыми объектами и конкретным физическим процессом. В качестве эталонных рассматриваются задачи, имеющие надежные экспериментальные данные, включающие серийные исследования для различных условий. Набор экспериментальных данных велик по объему, а неопределенность мала. Примером может служить обтекание аэродинамических профилей и течения в трубах различной конфигурации.

**Случаи решений на уровне подсистем** демонстрируют геометрию компонентов полной системы, например, самолета и реактора, которые могут быть представлены в упрощенном виде. Эти случаи на уровне подсистем могут довольно хорошо отображать физику течения полной системы, но связь между явлениями, происходящими в течении, обычно ослаблена. Примером может служить течение около конфигурации «крыло-фюзеляж-мотогондола» или участок трубопровода. Точные параметры входящего потока могут быть несогласованными. Качество набора экспериментальных данных и количество этих данных может быть не таким исчерпывающим, как в случае эталонных решений.

**Случаи решений на уровне полной системы** характеризуются реальными объектами и полной физикой течения. Присутствуют все релевантные свойства течения. Примером может быть продувка модели самолета в аэродинамической трубе или испытательный стенд ядерного реактора. В данном случае, как правило, данные разрознены или практически отсутствуют, поскольку упор делается на оценке работы всей системы, что обычно для реальных изделий является конфиденциальной информацией и представлено только в рабочих отчетах конкретных предприятий. Неопределенности по исходным и пограничным условиям могут быть значительными.

Для разработчиков CFD кодов в достаточном объеме доступна информация уровня единичных задач и эталонных решений для определенных классов задач. Однако обилие и разрозненность публикаций, в которых зачастую обсуждается одна, в лучшем случае две задачи, не позволяет определить минимально необходимый объем тестовых задач, необходимый для валидации численной методики. Здесь следует отметить, что процесс валидации CFD программ до настоящего времени не является стандартизованным и степень доверия к программе определяется на основании опыта конкретного инженера, нежели по каким-то формальным признакам.

В настоящей работе представлен, на наш взгляд, минимальный базис задач, необходимый для валидации программы расчета турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости с учетом переноса тепла. Под минимальным понимается базис, включающий задачи, которые в обязательном порядке должны быть численно решены программой, подлежащей валидации.

### 1. Оценка погрешности расчета

В вычислительном эксперименте неизбежны погрешности. Погрешность вычислительного эксперимента – это отклонение результата вычислений от истинного значения величины, наблюдаемой в натурном эксперименте. Различают абсолютную и относительную погрешности вычислений. Абсолютная погрешность равна разности между результатом вычисления и истинным значением величины. Относительная погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности вычислений к истинному значению величины, выраженное в процентах. Относительная погрешность вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{|F_{ан/экс} - F_{расч}|}{F_{ан/экс}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $F_{ан/экс}$  - аналитическое или экспериментальное значение;  $F_{расч}$  – расчетное значение исследуемой величины.

Для оценки абсолютного отклонения измеренных значений от среднеарифметического используют величину среднеквадратического отклонения, вычисляемого по формуле[2]:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F_{ан/экс} - F_{расч})^2}{(N-1)N}} \quad (2)$$

здесь  $N$  – количество проведенных численных экспериментов.

### 2. Базис задач валидации для течений вязкой несжимаемой жидкости

Течение вязкой несжимаемой теплопроводной жидкости описывается физико-математической моделью, основанной на системе уравнений Навье-Стокса [3] и характеризуется следующими физическими свойствами:

- 1) течение может быть как стационарно, так и нестационарно;
- 2) течение может быть как ламинарным, так и турбулентным;
- 3) течение содержит отрывные зоны и вторичные токи;
- 4) течение переносит тепло и участвует в теплообмене с твердым телом;
- 5) в течении может преобладать как вынужденная, так и естественная конвекция.

Минимальный валидационный базис должен содержать задачи, на основании решения которых, описанное физическое свойство должно быть промоделировано адекватно как минимум дважды, а для более надежного результата трижды. Здесь следует подчеркнуть, что даже самый полный базис задач не претендует на окончательный, и, на чем большем количестве задач будет проверен расчетный модуль, тем лучше и можно быть больше уверенным, что количество ошибок в нем сведено к минимуму.

Для описанных ранее процессов предлагается использовать следующие задачи валидации, которые мы и назовем «минимальным» базисом.

Таблица 1

Таблица задач валидационного базиса

№	Название задачи	Учитываемые свойства	Оцениваемые параметры	Доступные данные
1	2	3	4	5
<i>Ламинарные течения</i>				
1	Ламинарное течение между пластинами	Стационарность, ламинарный режим течения	Профиль скорости	Аналитическое решение
2	Ламинарное течение в трубе треугольного сечения	Стационарность, ламинарный режим течения	Перепад давления, профиль скорости	Аналитическое решение
3	Движение жидкости в квадратной каверне с движущейся стенкой	Стационарность, ламинарный режим течения	Профиль скорости	Аналитическое решение

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
4	Безотрывное обтекание шара, задача Стокса	Стационарность, ламинарный, режим течения	Сила сопротивления	Аналитическое решение
<b>Турбулентные течения</b>				
5	Течение в круглой трубе	Стационарность, переходный и турбулентный режим течения	Перепад давления, профиль скорости	Аналитическое решение
6	Турбулентное обтекание пластины	Стационарность, турбулентность	Коэффициент трения	Эксперимент
7	Течение в круглом канале с внезапным расширением	Стационарность, турбулентность	Перепад давления	Эксперимент
8	Течение в плоском асимметричном диффузоре	Стационарность, турбулентность, отрыв	Профили скорости	Эксперимент
9	Течение в отводах круглого и квадратного сечений	Стационарность, турбулентность	Перепад давления	Аналитическое решение
<b>Нестационарные течения</b>				
10	Развитие ламинарного течения в трубе	Нестационарное течение, ламинарный режим течения	Профили скорости	Аналитическое решение
11	Ламинарное обтекание цилиндра	Нестационарное течение, ламинарный режим течения	Число Струхала, лобовое сопротивление	Эксперимент
12	Поперечное обтекание трубного пучка	Нестационарное течение, турбулентность	Профили скорости	Эксперимент
13	Вырождение однородной изотропной турбулентности	Нестационарное течение, турбулентность	Энергетические спектры	Эксперимент
14	Развитое турбулентное течение в канале	Нестационарное течение, турбулентность	Профиль скорости, напряжения Рейнольдса	Прямое численное моделирование
<b>Смешанная и естественная конвекция</b>				
15	Конвекция в плоском канале	Смешанная конвекция	Профили скорости	Аналитическое решение
16	Конвекция в квадратной полости	Естественная конвекция	Профили скорости, число Нуссельта	Эксперимент
17	Развитая турбулентная конвекция	Турбулентная естественная конвекция	Профили скорости	Эксперимент
<b>Течения с теплообменом</b>				
18	Течение в канале с обратным уступом с подогреваемой стенкой	Стационарность, турбулентность, отрыв, теплообмен	Коэффициент трения, число Стэнтона	Эксперимент
19	Охлаждение твердых блоков в плоском канале	Сопряженный теплообмен, объемное энерговыделение	Профиль температуры	Кросс-верификация
20	Вентилируемая квадратная каверна с твердым блоком	Сопряженный теплообмен	Изотермы температуры, число Нуссельта	Кросс-верификация

### 3. Описание задач базиса валидации

Приводится детальное описание задач базиса валидации, представленных ранее. Также здесь приводятся результаты валидации пакета программ ЛОГОС для данного класса задач. Пакет программ ЛОГОС — отечественный пакет программ инженерного анализа, предназначенный для решения сопряженных трехмерных задач конвективного теплопереноса, аэродинамики, гидродинамики и прочности на высокопараллельных ЭВМ [4-5].

#### Ламинарные течения

##### Задача 1. Ламинарное течение между пластинами

В данной задаче рассматривается стационарное ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости в канале, ограниченном двумя параллельными плоскими стенками, одна из которых покоится, а другая движется в своей плоскости с постоянной скоростью  $U$ .

В табл. 2 приведены числа Рейнольдса, рассчитанные по средней скорости в середине канала, в соответствии с задаваемым перепадом давления.

Таблица 2

Числа Рейнольдса

$\Delta P$	-3	-2	-1	0	1	2	3
Re	1908	1240	570	100	770	1440	2108

Расчетная сетка содержит  $250 \times 20 \times 1 = 5000$  ячеек. На входе и выходе задается перепад давления — от  $P1 = -3$  Па до  $P2 = 3$  Па (рис. 3). На нижней и верхней стенке задано ГУ «Стенка без проскальзывания», на верхней стенке также задана скорость. На передней и задней поверхностях расчетной области задается условие симметрии.

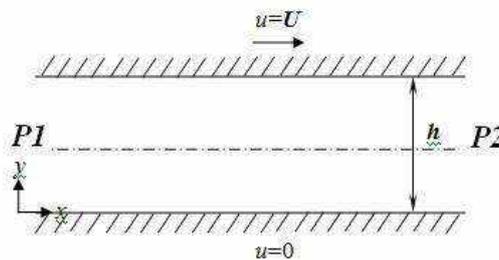


Рис. 3. Геометрия задачи

Для оценки правильности численного решения необходимо найти профиль скорости в канале, для которого существует точное аналитическое решение [6, 7]:

$$\frac{u}{U} = \frac{y}{h} - \frac{h \cdot y}{2U \cdot \mu} \cdot \frac{dp}{dx} \left(1 - \frac{y}{h}\right). \quad (3)$$

Кривые распределения скоростей, даваемые решением уравнения (3) для различных значений перепада давления, определяют тип течения.

Форма кривой распределения скоростей определяется безразмерным градиентом давления [6, 7]:

$$P = \frac{h^2}{2\mu U} \left( -\frac{dp}{dx} \right). \quad (4)$$

Для  $P > 0$ , т.е. для случая перепада давления в направлении движения верхней стенки, скорость положительна по всей ширине канала. При отрицательных  $P$  в некоторой части поперечного сечения возможны отрицательные скорости — возвратное течение. Вблизи неподвижной стенки такое течение возникает уже при  $P < -1$ . Объясняется это тем, что для частиц жидкости, находящихся вблизи неподвижной стенки, увлекающее действие соседних более быстрых слоев не в состоянии преодолеть перепад давления, действующий в сторону, противоположную движению верхней стенки.

Для аппроксимации конвективных слагаемых используется схема первого порядка точности. На рис. 4 изображены профили скорости для различных перепадов давления. По оси абсцисс отложено отношение продольной компоненты скорости  $u$  к скорости пластины  $U$ . По оси ординат - отношение поперечной координаты  $y$  к ширине канала  $h$ .

При установлении течения (выход на стационарное решение) поле скорости стремится к параболическому профилю, что соответствует классическому течению Пуазейля [6]. В табл. 3 приведены значения погрешностей между скоростью, вычисленной в ходе численного эксперимента и аналитическими значениями.

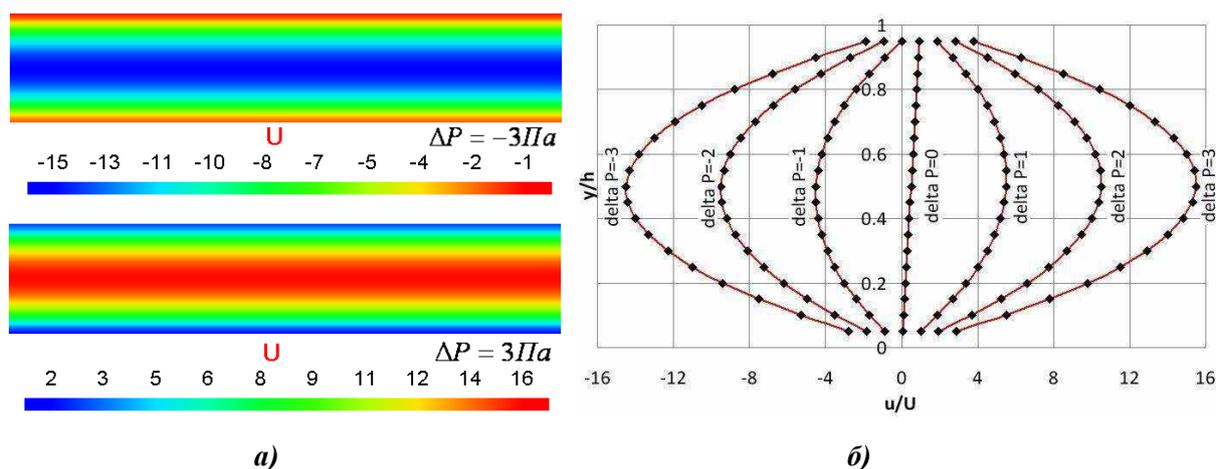


Рис. 4. Поля скорости (а) и профили скорости для различных режимов (б)  
(линия - расчеты по ПК ЛОГОС, маркерами – аналитическое решение)

Таблица 3

Погрешности

Перепад давления, $\Delta P$	-3	-2	-1	0	1	2	3
Среднеквадратичная погрешность $\Delta$	0,0014	0,0024	0,0016	1,64e-13	0,0014	0,0023	0,0018
Максимальная относительная погрешность $\delta, \%$	0,075	0,3	0,4	2,8e-10	0,176	0,15	0,08

Рисунок демонстрирует качественное и количественное согласие численного решения с точным, расхождение между аналитическими и расчетными кривыми не превышает 0,4%. Даже численный результат, в этом случае, можно считать эталонным и использовать его для сравнения с другими расчетами.

Задача 2. Ламинарное течение в канале треугольного сечения

В данной задаче рассматривается стационарное ламинарное течение несжимаемой жидкости в прямолинейной трубе с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника (рис. 5).

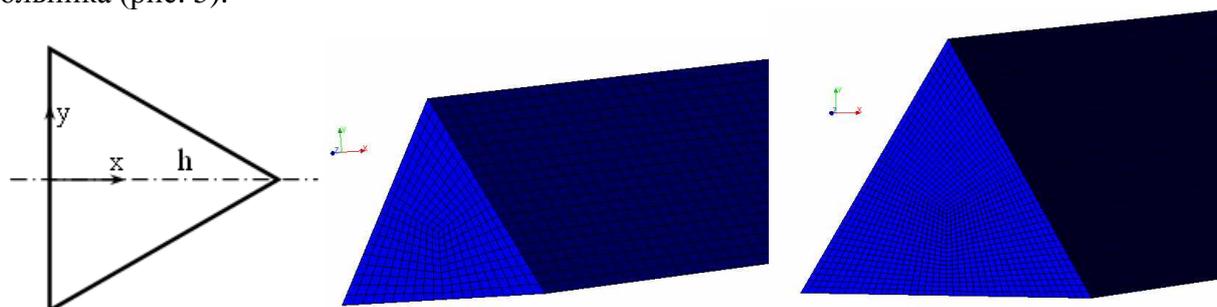


Рис. 5. Сечение трубы

Геометрические характеристики расчетной области, параметры жидкости и скорость на входе выбираются таким образом, чтобы число Рейнольдса  $Re=1000$ , для длины трубы  $L = 2$  м. Сопоставление с аналитическими значениями выполняется для перепада статического давления между сечением, расположенном на расстоянии 1 м от входа в трубу и сечением, расположенном на расстоянии 0,2 м от выхода из трубы. Скорость анализируется в сечении, расположенном на расстоянии 0,2 м от выхода из трубы.

Для решения должны применяться следующие граничные условия: на входе задается постоянный расход жидкости с постоянной по сечению скоростью  $W_0$ , на выходной границе градиенты всех величин предполагаются равными нулю, на внешней границе расчетной области задается стенка без проскальзывания.

При стабилизированном течении в трубе с сечением в форме равностороннего треугольника перепад давления между сечениями можно вычислить по формуле [8]:

$$\Delta P = 0.835 \cdot \lambda \cdot \frac{\ell}{D_f} \cdot \frac{\rho \bar{W}^2}{2}, \quad (5)$$

где гидравлический диаметр канала определяется как  $D_f = 2h/3$ ;  $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления.

Для ламинарного режима коэффициент гидравлического сопротивления трения  $\lambda$  определяется по формуле [8]:

$$\lambda = 64/Re. \quad (6)$$

Для стабилизированного ламинарного режима имеет место следующее распределение поперечной скорости [8]:

$$u(x) = \frac{1}{4\mu h} \frac{\Delta P}{\ell} (x-h)^2 \cdot x. \quad (7)$$

Рассматривались два варианта равномерных расчетных сеток: сетка 1, содержащая 150 тыс. ячеек, и сетка 2, содержащая 1200 тыс. ячеек.

В пакете программ ЛОГОС расчет выполнялся в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Для аппроксимации конвективных слагаемых использовалась противоположная схема первого порядка точности [9].

По результатам расчета перепад статического давления на участке между двумя сечениями по длине трубы составил на сетке 1 – 2,775 Па, а на сетке 2 – 2,795 Па, что дает погрешность от аналитического значения 2,672 Па 3,8% и 4,1% соответственно.

Как и в предыдущей задаче, при установлении течения поле скорости должно стремиться к параболическому профилю. Далее на рис. 6 приведены профили скорости в сечении, расположенном на расстоянии 0,2 м от выхода из трубы, а на рис. 7 приведены изолинии скорости и поле скорости вдоль канала, полученные на сетке 2. При измельчении сетки график скорости приближается к аналитическому. Максимальная относительная погрешность наблюдается на высоте  $y = 0,01$  м и составляет 3% для сетки 1 и 2% для сетки 2.

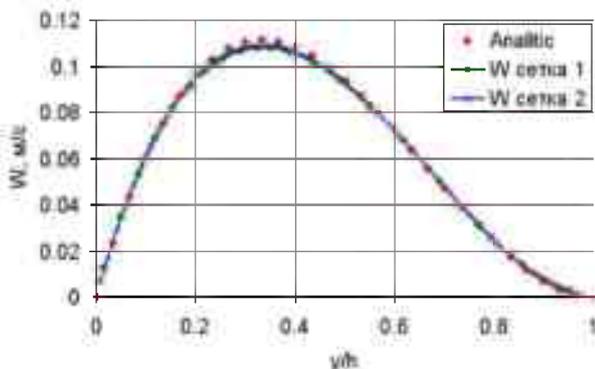


Рис. 6. Профили скорости в сечении 2

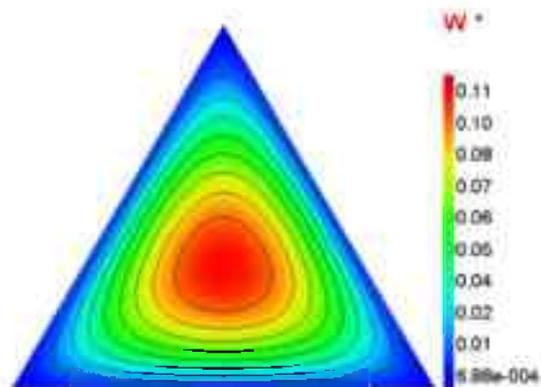


Рис. 7. Изолинии скорости и поле скорости

Среднеквадратичная погрешность скорости в сетки составляет 0,000878, а для сетки 2 – 0,000413, что демонстрирует стремление среднеквадратичной погрешности к нулю. Перепад давления даже на грубой расчетной сетке не превышает 5%-ной порог погрешности, что можно считать очень хорошим результатом для применяемого численного метода и физико-математической модели.

### Задача 3. Движение жидкости в квадратной камере с движущейся стенкой

В данной задаче рассматривается квадратная камера (рис. 8) с подвижной верхней стенкой, движущейся в своей собственной плоскости с постоянной скоростью  $U$ , боковые и нижняя стенки неподвижны. Течение считается несжимаемым, а физические свойства течения для валидации выбираются, соответствующими числу  $Re=1000$ .

На всех боковых стенках задано граничное условие «Стенка без проскальзывания», на верхней стенке – «Стенка без проскальзывания» с заданной скоростью, на передней и задней стенках – «Плоскость симметрии».

Картина течения должна содержать три вихревые структуры, что можно наблюдать и по результатам расчета (рис. 8, б): самый большой вихрь находится в центре камеры и два вихря меньших размеров в нижних углах камеры [10]. Наличие этих трех вихрей показывает, что расчетный модуль «качественно» правильно воспроизводит физику процесса.

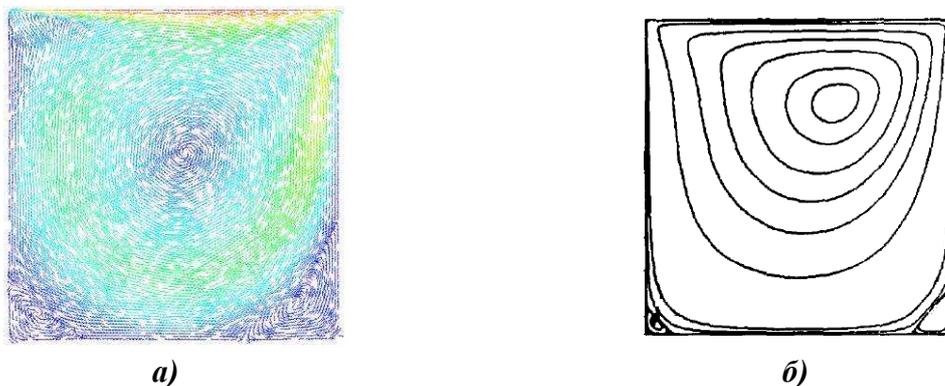


Рис. 8. Результаты, полученные по пакету ЛОГОС:  
а – векторное поле скорости; б – изолинии

Расчеты по ПК ЛОГОС проводились в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$  и представлены на рис. 8, а в виде векторного поля скорости.

Для расчетов использовалось два типа расчетных сеток: ортогональная равномерная сетка из четырехугольников (сетка 1:  $100 \times 100 \times 1 = 10\,000$  ячеек) и нерегулярная сетка из треугольных призм (сетка 2: 22 804 ячеек). Качественно результаты расчетов по ЛОГОС совпадают с результатами из [10].

Количественные результаты расчетов данной задачи сравнивают с эталонным тестом («benchmark») из [10] по безразмерным профилям компонент скорости вдоль горизонтальной и вертикальной линий, проходящих через центр квадрата (рис. 8, б).

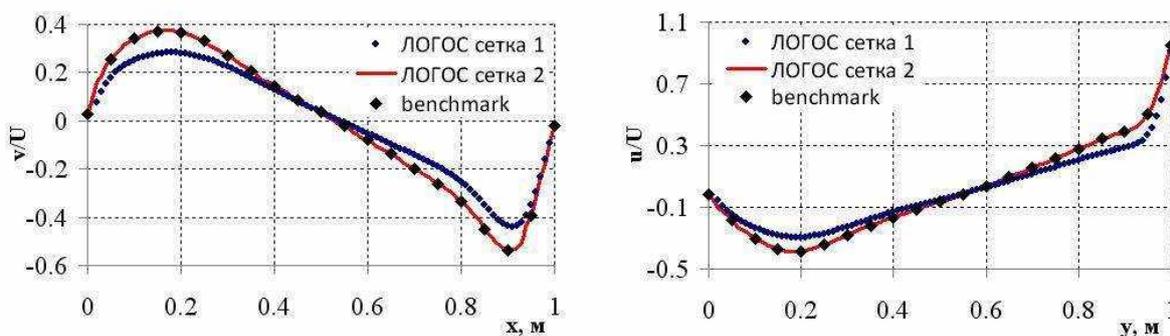


Рис. 9. Безразмерная горизонтальная и вертикальная компоненты скорости

В табл. 4 приведены значения среднеквадратичного отклонения расчетных значений от эталонного теста [10] для компонент скорости вдоль вертикальной и горизонтальной линий.

**Таблица 4**  
Среднеквадратичное отклонение

Ось	Y		X	
сетка	1	2	1	2
$\Delta, \%$	1,4	0,007	1,33	0,013

Полученные результаты находятся в хорошем согласии с эталонными данными [10] и при измельчении сетки приближаются к ним максимально. Максимальное среднеквадратичное отклонение не превышает 1,4% для сетки 1 и 0,013% для сетки 2. Уменьшение величины погрешности на последовательности сгущающихся сеток также показывает, что численное решение сходится. Это свидетельствует о свойстве сходимости численного решения, полученного с помощью используемой физико-математической модели.

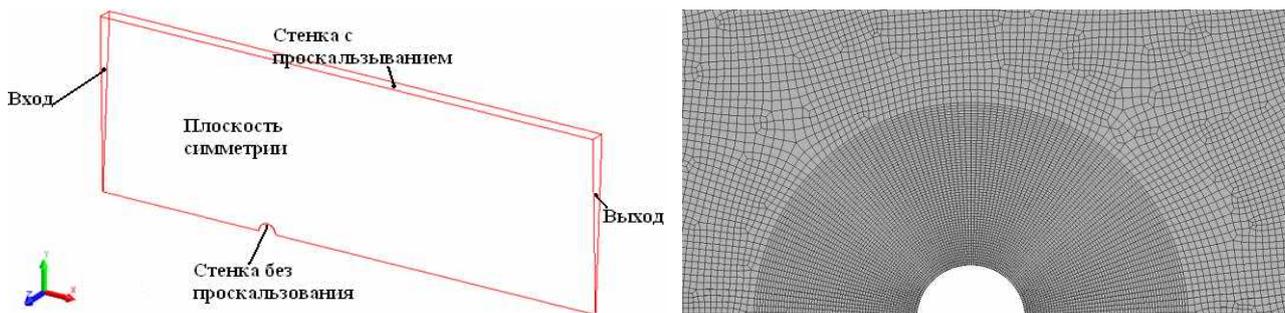
#### **Задача 4. Безотрывное обтекание шара, задача Стокса**

Наиболее старое из известных решений для ползущего течения вязкой несжимаемой жидкости принадлежит Г.Стоксу, рассмотревшему обтекание шара потоком, имеющим на бесконечности скорость  $U_\infty$ , постоянную по численному значению и направлению [11]. Течение считается несжимаемым, параметры шара и жидкости выбираются таким образом, чтобы соответствовать числу  $Re=0,272$ . Задача состоит в отыскании полной силы, действующей на шар.

Для силы сопротивления, действующей на шар при таком обтекании, справедлива формула Стокса (формула (8, а)), более же точный результат дает формула Осена (8, б) [3]:

$$F_c = 6\pi\mu UR \quad (a); \quad F = F_c \left( 1 + \frac{3Re}{16} \right) \quad (б). \quad (8)$$

Для валидации необходимо выполнить расчет в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Обычно моделируется сектор с углом раствора  $5^\circ$  (рис. 10). Применяются следующие граничные условия: на входной границе задается постоянный расход со скоростью  $U$ , на выходной границе градиенты всех величин предполагаются равными нулю, на поверхности шара задается условие прилипания, на внешней границе расчетной области задается условие проскальзывания, на боковых стенках задано условие симметрии (рис. 10). Расчетная сетка в окрестности шара приведена на рис. 10.



**Рис. 10.** Граничные условия и расчетная сетка в окрестности шара

В расчете определяется полная сила, действующая на поверхность шара по формуле:

$$F_t = F_s + F_p = \tau_w A_b \frac{v_{\text{par}}}{|v_{\text{par}}|} + p_b A_b n_b, \quad (9)$$

где  $A_b$  – площадь участка поверхности стенки;  $v_{\text{par}}$  – составляющая вектора скорости в центре пристеночной ячейки, параллельная стенке;  $\tau_w$  – касательное напряжение на стенке;  $p_b$  – давление на стенке;  $n_b$  – внешняя единичная нормаль к стенке.

Численно полученные поле скорости и поле давления в окрестности шара представлены на рис. 11.

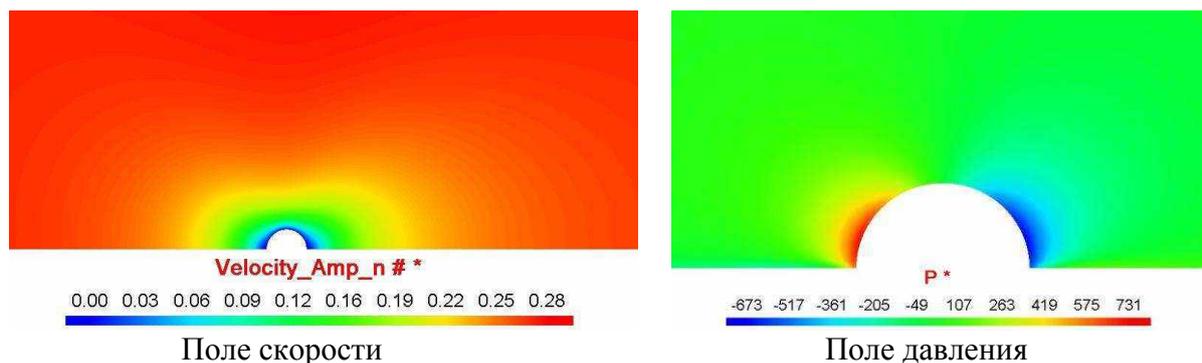


Рис. 11. Поле скорости и поле давления в окрестности шара

В отличие от задачи 11, в которой наблюдается отрыв потока от поверхности цилиндра в виде двух вихрей, здесь наблюдается картина стационарного безотрывного «ползущего» или медленного течения. Естественно максимальные значения давления, соответствующие минимальным значениям скоростей, наблюдаются в точке торможения потока вблизи передней части цилиндра. Такую картину течения можно наблюдать на рис. 11, на котором изображены поле скорости и поле давления в окрестности шара. Аналитическое значение силы, действующей на шар со стороны жидкости, составляет  $F_a = 2694,28\text{Н}$ , а расчетное  $F_p = 2687,6\text{Н}$ , что составляет отличие не более чем на 0,24%.

### Турбулентные течения

Турбулентность является принципиально нестационарным трехмерным течением, и, как и на протяжении многих предшествующих десятилетий, все еще является одной из наиболее сложных проблем вычислительной гидродинамики. Надежное предсказание характеристик турбулентных потоков до сих пор остается скорее исключением, чем правилом, что объясняется исключительной физической сложностью турбулентности и поэтому вопросу калибровки и валидации моделей расчета турбулентных течений отводится особое внимание.

Численное моделирование турбулентности опирается на несколько подходов, основанных на описании вихревых структур различных масштабов, среди которых выделяют три основных, а именно: прямое численное моделирование (*DNS, Direct Numerical Simulation*) [12], моделирование крупных вихрей *LES* [13] (*Large Eddy Simulation*) и решение осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса *RANS* [13] (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*).

Наиболее применимыми на практике являются *RANS* модели турбулентности, которые характеризуются устойчивым итерационным процессом и приемлемыми результатами для большинства практически важных типов течений. Однако они не являются универсальными и подходящими для решения широкого круга прикладных задач, и это налагает определенные требования к их применимости на практике [14]. Данного недостатка лишен «свободный от эмпиризма» *DNS* подход, применение которого на практике ограничено в виду потребности в огромных вычислительных ресурсах [15]. Альтернативой *DNS* является

«практически свободный от эмпиризма» *LES* подход, применение которого требует определенного качества дискретных моделей, что проявляется в существенно более мелких сетках по сравнению с *RANS*. Особенно это характерно для областей вблизи твердых стенок, где вихревые структуры имеют довольно малые размеры и требования к сеткам для *LES* приближаются к требованиям для сеток *DNS* [14, 15].

Понимание того, что применение *LES* подхода возможно только в очень отдаленной перспективе, послужило толчком для создания альтернативных моделей. Эти модели базируются на постулате о том, что в течение ближайших десятилетий на практике будут применяться *RANS* модели, а для моделирования крупных отрывных вихревых структур вдали от стенок, в силу намного меньших требований к вычислительным ресурсам по сравнению с *DNS*, можно использовать *LES* модели. Такие модели получили название *DES* или гибридных *RANS-LES* моделей [14, 16].

Характеризуя современное состояние полуэмпирических *RANS* моделей турбулентности, предназначенных для замыкания уравнений Рейнольдса, приходится констатировать, что создание универсальной модели такого типа вряд ли возможно. Однако в результате целенаправленных исследований удалось выделить две модели, имеющие наиболее высокий «рейтинг» - это модель Спаларта-Алмараса (*Spalart-Allmaras* или *SA* модель) [17], и модель Ментера [18–19] (*k - ω Shear Stress Transport* модель или *SST* модель). Однопараметрическая модель *SA* исторически разрабатывалась для расчета внешних аэродинамических течений и не зарекомендовала себя при расчете задач внутренней гидродинамики, хотя модель *DES*, основанная на *SA*, дает вполне приемлемые результаты. Поэтому в дальнейшем приводимые расчеты будут основываться преимущественно на использовании *SST* модели. Для калибровки *LES* и *DES* моделей будет приведена отдельная задача и описаны все нюансы, которые необходимо учитывать при их валидации и калибровке.

#### Задача 5. Течение Хагена-Пуазейля в круглой трубе

В данной задаче рассматривается стационарное течение вязкой несжимаемой жидкости в ламинарном ( $Re=100$ ), переходном ( $Re=3000$ ) и турбулентном ( $Re=10^5$ ) режимах в прямолинейной круглой трубе длиной  $L = 2$  м, диаметром  $D = 0,02$  м (рис. 12).

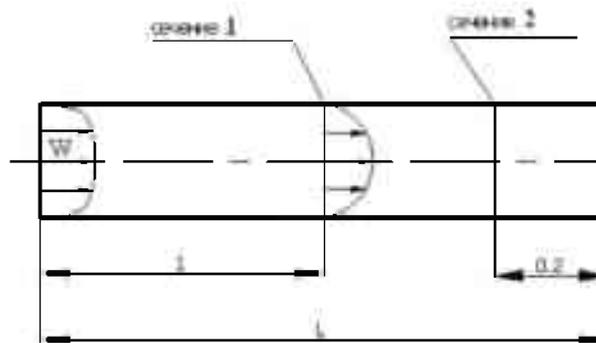


Рис. 12. Геометрия и граничные условия

На вход в трубу подается стационарный расход жидкости, соответствующий числам Рейнольдса 100, 3000 и  $10^5$  соответственно. Для переходного и турбулентного режимов на входной границе задаются интенсивность  $I = 3\%$  и длина зоны перемешивания  $L = 0,1D$ . При стабилизированном течении в круглой трубе перепад полного давления между сечениями рассчитывается по следующей формуле [8]:

$$\Delta P = \lambda \frac{\ell}{D_f} \frac{\rho \bar{W}^2}{2}, \quad (10)$$

где  $\bar{W}$  – средняя скорость в трубе (здесь  $\bar{W} = W$ );  $\lambda$  – коэффициент гидравлического

сопротивления трения единицы относительной длины ( $\ell/D_r = 1$ ) участка;  $\ell$  – расстояние между сечениями;  $D_r = D$  – гидравлический диаметр.

Для ламинарного режима коэффициент гидравлического сопротивления трения единицы относительной длины ( $\ell/D_r = 1$ ) участка определяется по закону Хагена-Пуазейля и имеет место параболическое распределение скоростей по радиусу трубы [8]:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}(a); \quad w(r) = \frac{1}{4\mu} \frac{\Delta P}{\ell} \left( \left( \frac{D}{2} \right)^2 - r^2 \right) (b). \quad (11)$$

Для переходного режима течения жидкости коэффициент гидравлического сопротивления трения определяется по данным из [8]. Для турбулентного режима коэффициент гидравлического сопротивления трения определяется по формуле Филоненко-Альтшуля, которая справедлива при  $\text{Re} > 4000$  [8], и формуле Никурадзе, справедливой при  $10^5 \leq \text{Re} \leq 10^8$  [6]:

$$\lambda = \frac{1}{(1.8 \cdot \lg \text{Re} - 1.64)^2} (a); \quad \lambda = 0.0032 + 0.221 \cdot \text{Re}^{-0.237} (b). \quad (12)$$

Профиль скорости в трубе для переходного и турбулентного режимов течения определяется как:

$$w(r) = u_r \left( 5.75 \cdot \lg \frac{\left( \frac{D}{2} - r \right) \cdot u_r \cdot \rho}{\mu} + 5.5 \right), \quad (13)$$

где  $u_r = \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \bar{W}$ .

Задача осесимметрична, поэтому можно рассмотреть сектор трубы со следующими граничными условиями: на входной границе задается постоянная скорость 1 м/с, на внешней стенке трубы задается условие прилипания, на выходе градиенты всех величин полагаются равными нулю, на боковых стенках задается условие симметрии.

Для сектора целесообразно использовать равномерную радиальную сетку. В расчетах по ЛОГОС использовалась расчетная сетка, содержащая 50000 ячеек (25 ячеек по радиусу трубы, 2000 ячеек по длине и 1 ячейка по углу).

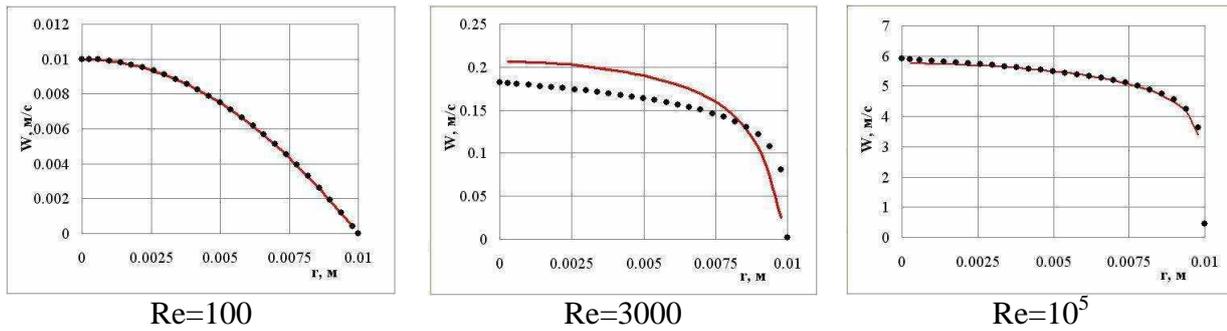
Расчеты необходимо выполнять в стационарном режиме до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Для аппроксимации конвективных слагаемых можно использовать любую известную схему, а в переходном и турбулентном режимах необходимо применять известные модели турбулентности. В расчетах по пакету программ ЛОГОС использовалась противопоточная схема первого порядка точности и модель турбулентности *RANS SST* с автоматическим определением ширины пограничного слоя. В табл. 5 приведены аналитические и расчетные значения перепада давления между сечениями 1 и 2, а также значения относительной погрешности для каждого из расчетов по сравнению с аналитическими значениями.

Таблица 5

Перепад давления  $\Delta P$  и относительная погрешность

Режим	$\Delta P_{\text{ЛОГОС}}$ , Па	$\Delta P_{\text{эмпир}}$ , Па	$\delta$ , %
Ламинарный	0,3204	0,32	0,14
Переходный	20,5	18	14,2
Турбулентный	8637,4	9230,27	6,4
		8817,09	2,04

На рис. 13 приведены профили скорости в сечении 2, полученные в ламинарном, переходном и турбулентном режимах, в сравнении с кривыми, соответствующими формуле (6).



**Рис. 13. Профили скорости для различных режимов**  
(Сплошные линии – кривые, полученные по формулам (11, б) и (13), маркеры – ПК ЛОГОС)

В табл. 6 приведены значения среднеквадратичной погрешности рассчитанной скорости по сравнению с аналитическими значениями для различных режимов.

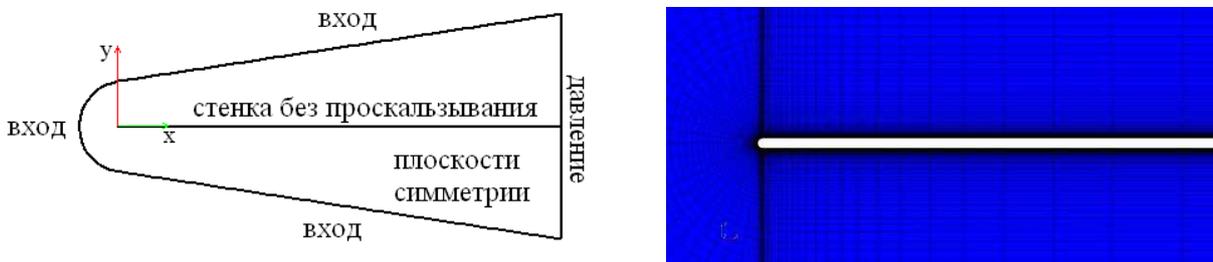
**Таблица 6**  
**Среднеквадратичная погрешность скорости**

Режим	Ламинарный	Переходный	Турбулентный
$\Delta$	0,000004	0,0052	0,014

Результаты, полученные по пакету ЛОГОС для ламинарного  $Re=100$  и развитого турбулентного режимов течения  $Re=10^5$ , находятся в хорошем согласии с эмпирическими значениями по перепаду давления и по величине скорости. Существенное рассогласование результатов наблюдается для переходного режима. Это объясняется тем, что используемая модель турбулентности SST с автоматическим определением ширины пограничного слоя не моделирует ламинарно-турбулентный переход. Для моделирования ламинарно-турбулентного перехода необходимо использовать специализированные модели, например, SST  $\gamma-Re\theta$  или модель, предложенную в работе [20].

**Задача 6. Турбулентное обтекание пластины**

В данной задаче рассматривается течение вязкого несжимаемого нетеплопроводного газа вдоль поверхности пластины. Данная задача является известным тестом, позволяющим говорить о правильности описания развития пограничного слоя с помощью различных моделей турбулентности. Для моделирования используют пластину длиной  $L=1$  м и толщиной  $H/2=0,05$  мм с закруглением на носике (рис. 14).



**Рис. 14. Геометрия и расчетная сетка вблизи носика**

Параметры жидкости и скорость набегающего потока берутся соответствующими числу Рейнольдса  $Re_L = 23 \cdot 10^5$ . Для турбулентных параметров на входной границе задаются интенсивность  $I = 10\%$  и длина зоны перемешивания  $L=0,000504$ .

Для решения данной задачи целесообразно использовать блочно-структурированную расчетную сетку со сгущениями, для которой  $y^+ \sim 1$ , ее фрагмент представлен на рис. 14. Валидаци-

онные расчеты необходимо проводить в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Для моделирования турбулентности необходимо применять известные модели турбулентности.

Для расчетов по пакету программ ЛОГОС, использовалась расчетная сетка, число ячеек которой составляет 34 000, для аппроксимации конвективных слагаемых используется схема первого порядка точности, для моделирования турбулентности используется модель турбулентности SST с автоматическим определением ширины пограничного слоя (коэффициент трения дополнительно рассчитывался по моделям SA и  $k-\epsilon$ ). Для моделирования необходимо применять следующие граничные условия. На входной границе задается постоянный расход со скоростью  $U$ . На выходной границе градиенты всех величин предполагаются равными нулю. На поверхности пластины задается ГУ «Стенка без проскальзывания». На передней и задней стенке задано условие симметрии.

В расчетах определяется коэффициент трения на поверхности пластинки, который вычисляется по формуле [21]:

$$c_f = \frac{2\tau_w}{\rho u^2}, \quad (14)$$

где  $\tau_w$  – сила поверхностного трения.

На рис. 15, а представлено распределение вычисленного и эмпирического коэффициента трения (продольная координата нормирована на длину пластины). Вычисленный коэффициент трения на поверхности пластинки сопоставляется со значениями вычисленными по эмпирической формуле, приведенной в работе [21]:

$$c_f = 0.0263 \text{Re}_x^{-1/7}. \quad (15)$$

Среднеквадратичное отклонение расчетов, вычисленное по формуле (1.2), от значений, полученных по эмпирической формуле (15) составляет 0,002.

В соответствии с [21] величина безразмерной скорости  $u^+$  в пристеночной области определяется в соответствии со следующими выражениями (рис. 15, б):

- при  $0 \leq y^+ \leq 10$ ,  $u^+ = y^+$ ,
- при  $10 \leq y^+ \leq 100$ ,  $u^+ = 2.44 \ln y^+ + 4.90$ ,

где  $u^+ = \frac{u}{u_\tau}$ , в которой  $u$  – тангенциальная скорость жидкости и  $u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_{\text{wall}}}{\rho}}$ ,  $\tau_{\text{wall}}$  – касательное

напряжение,  $y^+ = \frac{\rho u_\tau y}{\mu}$ , в которой  $y$  – расстояние, измеряемое от стенки. На рис. 15, б

приведен эмпирический профиль скорости и профиль скорости, построенный по результатам вычислительного эксперимента.

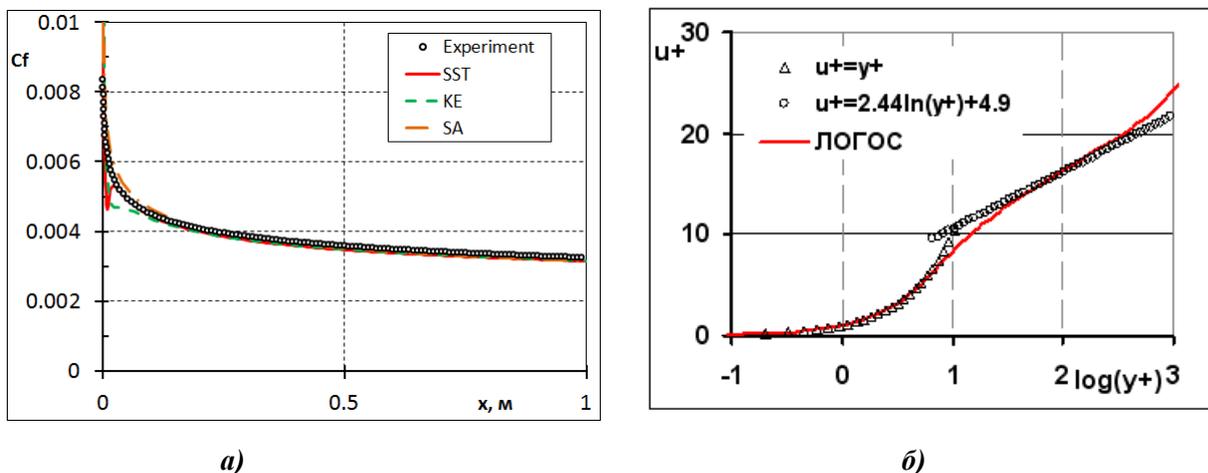


Рис. 15. Распределение коэффициента трения и профиля скорости

На рис. 15, *a* демонстрируется отклонение вычисленного коэффициента трения в области «носовой» части пластинки. Это объясняется тем, что применяемые для расчета *RANS* модели турбулентности *SST*, *SA* и *k-ε* не обеспечивают правильное описание области ламинарно-турбулентно перехода, для моделирования которого необходимо использовать специализированные модели [20]. В остальной области пластины все используемые модели дают достаточно хорошее совпадение с эмпирическими зависимостями.

На рис. 16 представлено вычисленное поле скорости и поле давления на пластине.

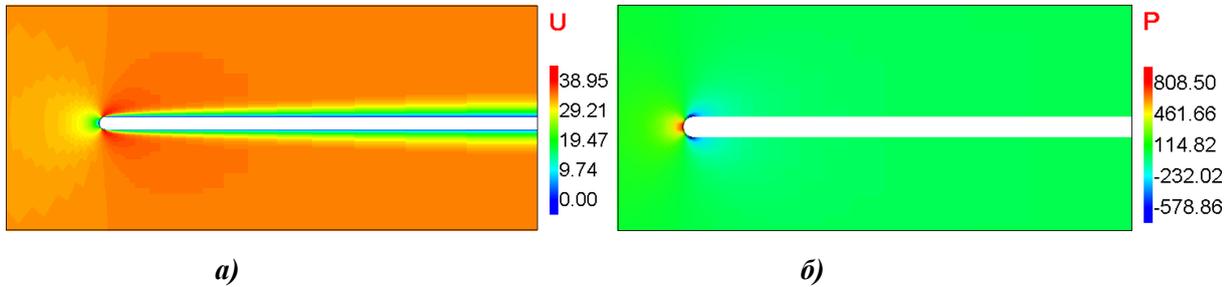


Рис. 16. Поле скорости и поле давления на пластине

Поле скорости (рис. 16, *a*) изменяется интенсивно в узкой области, прилегающей к пластине – пограничный слой вблизи пластины. Изменение скорости в этом слое происходит согласно линейно-логарифмическому закону (рис. 15, *б*). Развитый турбулентный пограничный слой, после переходной области, достаточно хорошо описывается существующими моделями турбулентности. Поле давления интенсивно меняется только в области зоны торможения потока.

**Задача 7. Турбулентное течение в круглом канале с внезапным расширением**

В данной задаче рассматривается стационарное турбулентное изотермическое течение несжимаемой жидкости в трубе со ступенчатым расширением (рис. 17) [22].

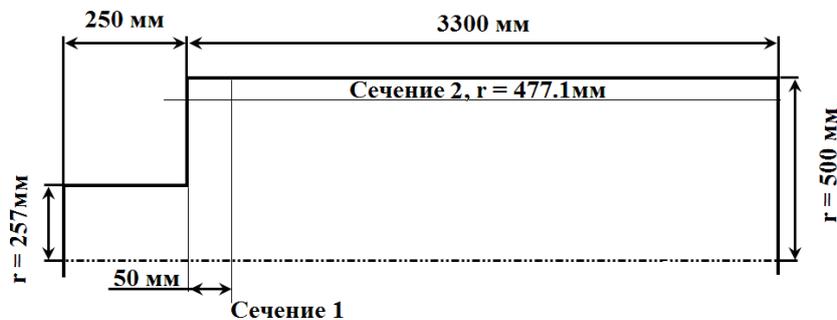


Рис. 17. Круглый канал со ступенчатым расширением

На входе в расчетную область таблично задаются экспериментальные профили скорости, кинетической энергии турбулентности и скорости диссипации в соответствии с [22]. Число Рейнольдса, рассчитанное по характерной скорости на входе, составляет  $\approx 3.2 \cdot 10^8$ . Задача решается в осесимметричной постановке. Результатами численного решения являются вычисленные скорости жидкости в контрольных сечениях трубы.

В пакете программ ЛОГОС расчет проводился на двух равномерных сетках с числом ячеек  $\sim 17$  тыс. и  $\sim 1,4$  млн соответственно. Для моделирования турбулентного перемешивания использовалась модель *SST* с автоматическим определением ширины пограничного слоя. Для аппроксимации конвективных слагаемых применялась схема первого порядка точности.

На рис. 18 представлены безразмерные магнитуа скорости и векторное поле скоростей, полученные в ходе моделирования по ПК ЛОГОС. Особенностью рассматриваемого

течения является наличие периодической крупной вихревой структуры сразу же за ступенькой, которая впоследствии срывается вниз по потоку. На рис. 18, б демонстрируется наличие такой структуры, а также более мелкого вихря, находящегося в самом «уголке» уступа. Физико-математическая модель, подлежащая валидации, качественно должна описывать наличие обоих этих вихрей.

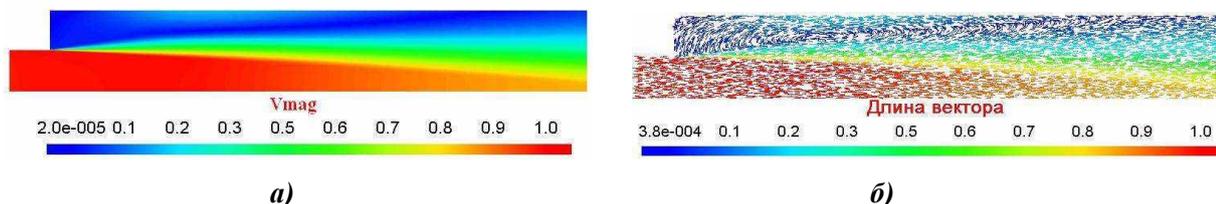


Рис. 18. Магнитуа скорости и векторное поле

Количественные характеристики сравниваются с экспериментальными данными. На рис. 19 представлено сравнение расчетных и экспериментальных данных для скоростей в сечении 1 расчетные и экспериментальные данные для осевой и радиальной скоростей в сечении 3.

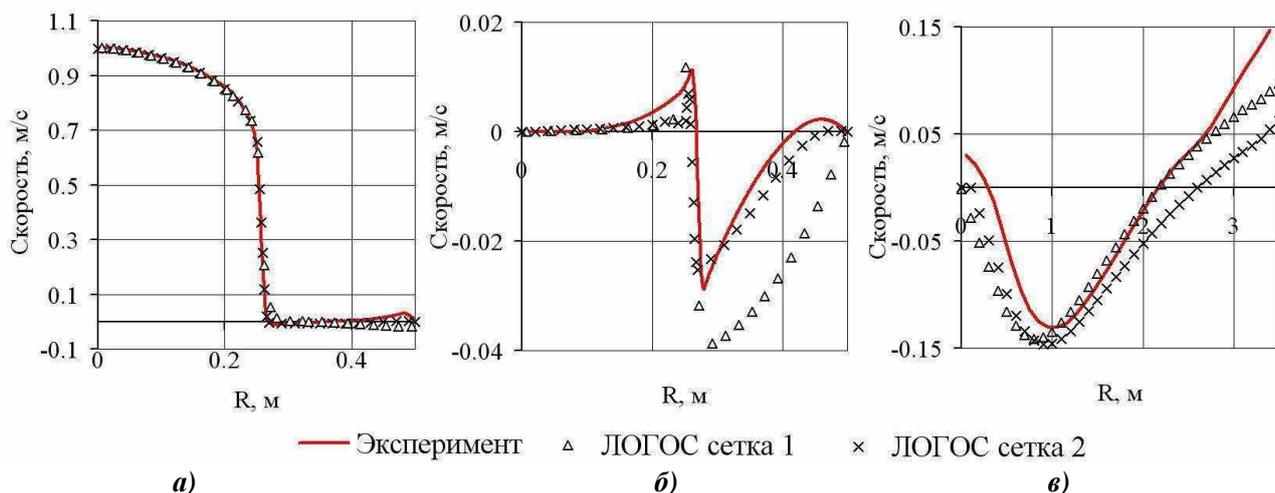


Рис. 19. Осевая (а) и радиальная (б) скорости в сечении 1 и осевая скорость в сечении 2 (в)

Для оценки точности решения рассчитывают среднеквадратичное отклонение результатов расчета от экспериментальных данных, полученные погрешности представлены в табл. 7.

Таблица 7

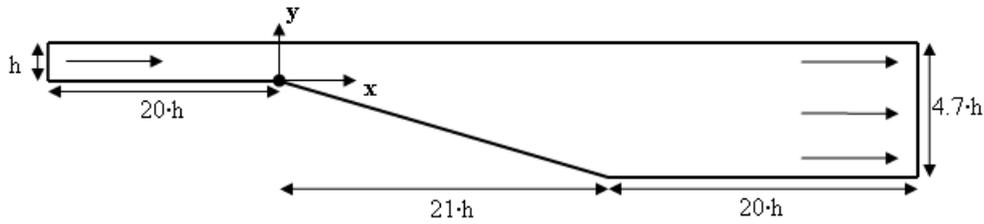
Среднеквадратичное отклонение

Сечение	Скорость	Погрешность	
		Сетка №1	Сетка №2
№ 1, $r = 0.05$	продольная	$3,22e-03$	$8,57e-4$
№ 1, $r = 0.05$	поперечная	$1,84e-03$	$1,78e-4$
№ 3, $r = 0.4771$	продольная	$1,88e-3$	$1,269e-3$

Анализ табл. 7 и графиков, приведенных ранее, показывает, что при сгущении сетки результаты расчета приближаются к экспериментальным данным. Распределения скоростей на графиках качественно и количественно близки к соответствующим экспериментальным данным.

**Задача 8. Турбулентное течение в плоском асимметричном диффузоре**

В данной задаче рассматривается стационарное турбулентное течение вязкой несжимаемой жидкости в плоском асимметричном диффузоре. Схема диффузора представлена на рис. 20,  $h = 0.01$  м. Постановка задачи изложена в работе [23].

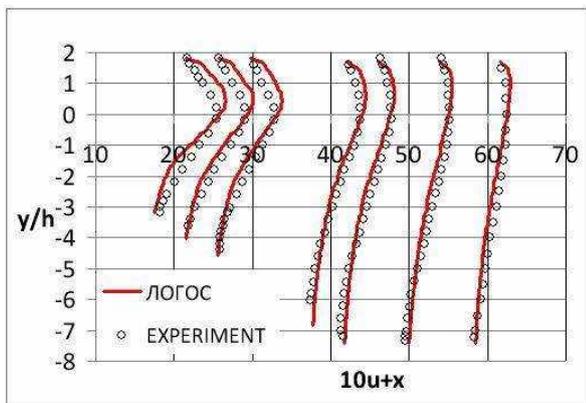


**Рис. 20. Геометрия диффузора**

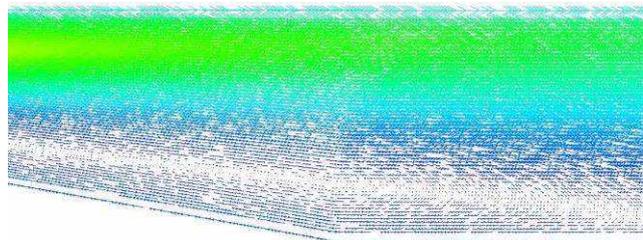
На вход в трубу подается стационарный расход жидкости, соответствующий числу Рейнольдса 20 000. С целью установления развитого турбулентного профиля скорости на входе в диффузор входной участок (при  $x < 0$ , см. рис. 20) имеет длину  $20h$ . Для решения задачи используют следующие граничные условия. На входной границе задан постоянный расход. Для турбулентных параметров на входной границе задается интенсивность турбулентности  $I = 3\%$  и длина зоны перемешивания  $L = 0.1 \cdot h$ . На внешней стенке трубы задается условие прилипания. На выходной границе градиенты всех величин полагаются равными нулю. На боковых границах задается условие симметрии. Для моделирования турбулентности может использоваться любая известная модель. Расчеты должны выполняться в стационарном режиме до сходимости порядка  $10^{-6}$ .

В пакете программ ЛОГОС расчеты выполнялись с использованием модели турбулентности SST с автоматическим определением ширины пограничного слоя. Число ячеек расчетной сетки составляет 60 000. Размер пристеночной ячейки выбран, чтобы удовлетворить требованиям «высокорейнольдсовских» моделей турбулентности ( $30 \leq y^+ \leq 100$ ). Для аппроксимации конвективных слагаемых используется схема первого порядка точности.

На рис. 21 приведены экспериментальные [23] и расчетные значения продольной составляющей скорости в различных сечениях диффузора, полученные в расчетах по пакету программ ЛОГОС. Векторное поле скорости представлено также на рис. 21. Данное течение характеризуется наличием вихревой структуры (рис. 21, б) и обширной отрывной зоны. Модуль, подлежащий валидации, должен качественно описывать физику течения. На рис. 22 для иллюстрации показано поле модуля скорости.



**а)**



**б)**

**Рис. 21. Профили скорости в плоском асимметричном диффузоре и векторное поле скорости**



Рис. 22. Поле модуля скорости

Количественные характеристики сопоставляются с имеющимися экспериментальными данными. В табл. 8 приведены значения среднеквадратичной погрешности рассчитанной скорости по сравнению с экспериментальными значениями в различных сечениях диффузора.

Таблица 8  
Среднеквадратичная погрешность скорости

X, см	18	23	26	39	43	51	59
$\Delta$	0,687	0,637	0,192	0,198	0,136	0,129	0,127

Среднеквадратичная погрешность скорости свидетельствует о том, что физико-математическая модель и расчетный модуль достаточно точно позволяют моделировать данный класс течений.

#### Задача 9. Турбулентное течение в отводах круглого и квадратного сечения

В данной задаче рассматривается стационарное турбулентное течение вязкой несжимаемой жидкости в отводах круглого и квадратного поперечного сечения с углом поворота  $\delta = 90^\circ$  (рис. 23) со следующими геометрическими характеристиками:  $b_0 = 1$  м (диаметр для круглого сечения, ширина стороны для квадратного сечения), внутренний радиус отвода  $R = 1,0$  м, внешний радиус отвода  $R_1 = 2,0$  м, длина прямолинейного участка до изгиба  $L_1 = 10 \cdot b_0$ , длина прямолинейного участка после изгиба  $L_2 = 10 \cdot b_0$ .

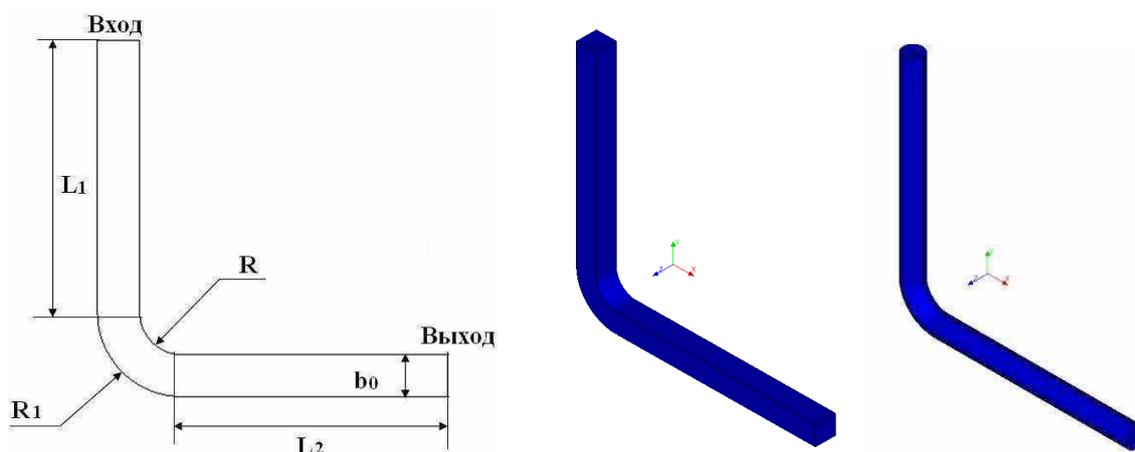


Рис. 23. Геометрическая и расчетные модели

Параметры жидкости и скорость на входе выбираются таким образом, чтобы число Рейнольдса на входе в отвод составляло  $2 \cdot 10^5$ . Для решения применяются следующие граничные условия. На входной границе задается постоянный расход со скоростью  $W_{in}$ . Для турбулентных параметров на входной границе задаются интенсивность турбулентности

$I = 5\%$  и длина зоны перемешивания  $L = 0.1 \cdot b_0$ . На выходной границе градиенты всех величин предполагаются равными нулю. На поверхности труб задана стенка с прилипанием. Расчеты необходимо проводить в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Для моделирования турбулентности можно использовать любую из моделей *RANS* семейства.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных проводится для величины потерь полного давления на участке между двумя сечениями, первое из которых расположено перед изгибом, а второе – в конце прямолинейного участка после изгиба, длина которого равна  $L_2$ .

Перепад полного давления между сечениями может быть найден по формуле [8]:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho W_{in}^2}{2} (a); \quad \xi = \xi_M + \xi_T (b), \quad (16)$$

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $\xi_M$  – коэффициент местного гидравлического сопротивления;  $\xi_T$  – коэффициент сопротивления трения.

Коэффициент сопротивления трения равняется сумме двух сопротивлений:  $\xi_T = \xi_{T_1} + \xi_{T_2}$ , где  $\xi_{T_1}$  – коэффициент сопротивления на закругленном участке;  $\xi_{T_2}$  – коэффициент сопротивления трения на прямолинейном участке.

Для турбулентного режима течения коэффициент потерь на трение в поворотном участке отвода может быть определен следующим образом [8]:

$$\xi_{T_1} = 0.0175 \cdot \delta \cdot \lambda \cdot \frac{R_0}{D_r} (a); \quad R_0 = \frac{R+R_1}{2} = 1.5 \text{ м} (b); \quad \lambda = \frac{1}{(1.8 \cdot \lg Re - 1.64)^2} (e), \quad (17)$$

где  $D_r = b_0$  – гидравлический диаметр;  $\lambda$  – коэффициент потерь на трение.

Коэффициент потерь на трение на прямолинейном участке отвода и коэффициент местного сопротивления определяются следующим образом [8]:

$$\xi_{T_2} = \lambda \cdot L_2 / D_r (a); \quad \xi_M = A_1 \cdot B_1 \cdot C_1 (b), \quad (18)$$

где  $A_1 = 1$  – для угла поворота  $\delta = 90^\circ$ ;  $B_1 = \frac{0.21}{\sqrt{R_0/D_2}}$ ,  $C_1 = 1$ .

Для расчетов в пакете программ ЛОГОС использовались сетки с числом ячеек 296400 – для отвода круглого сечения и с числом ячеек 486000 – для отвода квадратного сечения. На рис. 24 показаны фрагменты этих расчетных сеток.

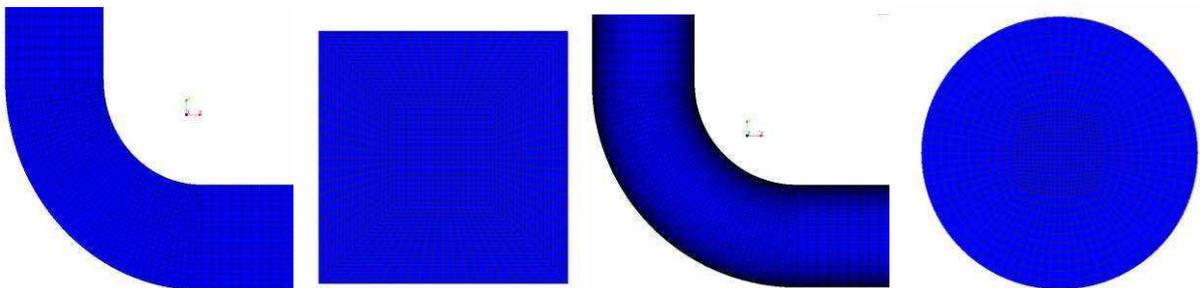


Рис. 24. Фрагменты расчетных сеток для отводов квадратного и круглого сечения

Расчеты по пакету программ ЛОГОС проводились в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Для аппроксимации конвективных слагаемых использовалась схема первого порядка точности. Для учета турбулентного перемешивания использовалась *SST* модель с автоматическим определением ширины пограничного слоя. В табл. 9 представлены эмпирическое, полученное по формулам, и расчетные значения перепада давления. Также в таблице приведены значения  $Y^+$  и относительная погрешность расчетов.

Таблица 9

## Перепад давления и относительная погрешность

		Отвод квадратного сечения			Отвод круглого сечения		
Re	$\Delta P_{\text{эмп}}, \text{Па}$	$Y_+$	$\Delta P_{\text{расч}}, \text{Па}$	$\delta, \%$	$Y_+$	$\Delta P_{\text{расч}}, \text{Па}$	$\delta, \%$
$2 \cdot 10^5$	5,9001	1,071	5,8263	1,25	2,153	5,8232	1,3

На рис. 25, а для иллюстрации представлено расчетное поле скорости в плоскости симметрии (слева) и фрагмент векторного поля в повороте отвода (рис. 25. б), полученные по результатам моделирования в пакете ЛОГОС.

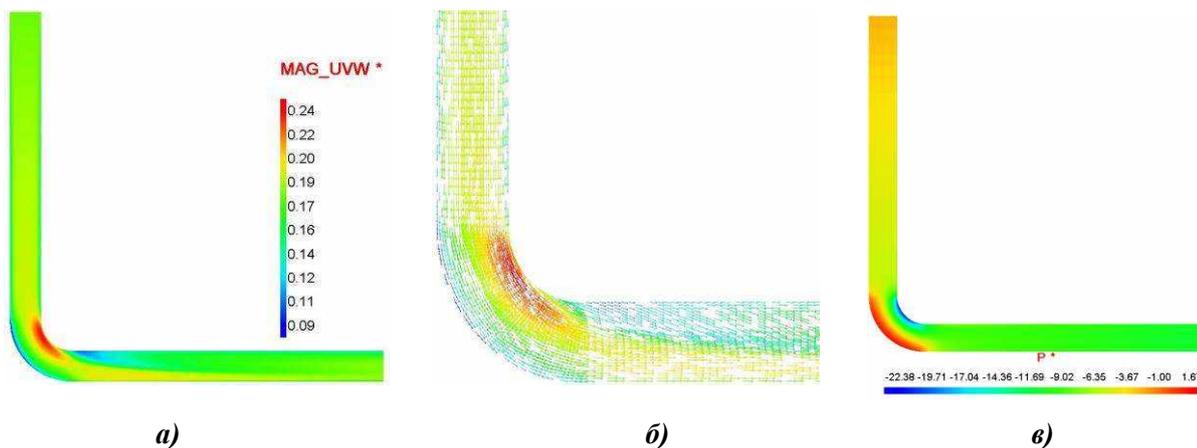


Рис. 25. Поле скорости и фрагмент векторного поля скорости для отвода круглого сечения

Физика течения такова, что поток на повороте ускоряется и на внутренней стороне отвода наблюдается максимум поля скоростей, с противоположной стороны наблюдается минимум. Вниз по потоку после поворота скорость увеличивается около нижней стенки, а около верхней уменьшается. Картина распределения давления также представлена на рис. 25, в.

Рассчитанный по пакету программ ЛОГОС перепад давления, полученный для рассмотренного режима течения, находится в хорошем согласии со справочными данными, относительная погрешность не превышает 1.3%.

## Нестационарные течения

## Задача 10. Развитие ламинарного течения в трубе

В данной задаче жидкость, находящаяся в круглой прямолинейной трубе радиуса  $R$ , до момента времени  $t = 0$  покоится. В момент времени  $t = 0$  внезапно возникает перепад давления  $dp/dx$ , в дальнейшем не изменяющийся по времени. Под действием сил трения и сил инерции возникает разгонное течение, которое асимптотически переходит в течение Хагена-Пуазейля с параболическим распределением скоростей. Эта задача, сводящаяся к дифференциальному уравнению Бесселя, имеет точное аналитическое решение [7]. Двумерная осесимметричная геометрия задачи показана на рис. 26 ( $x$  – ось вращения).

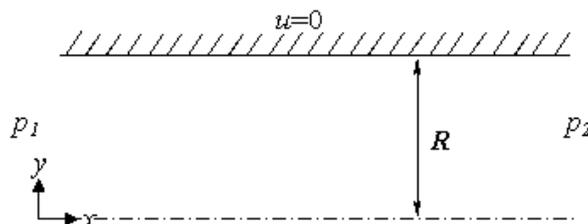
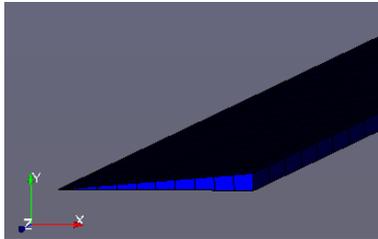
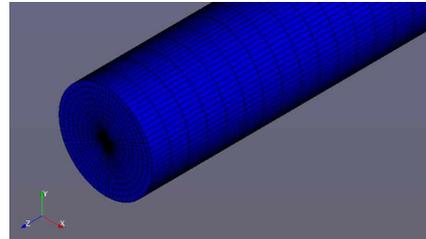


Рис. 26. Течение в трубе

Для валидации расчетных моделей при решении данной задачи рассматривают нестационарное течение в трубе радиусом 1 м и длиной 100 м вязкой несжимаемой жидкости со следующими параметрами: плотность  $\rho = 1 \text{ кг/м}^3$ , кинематическая вязкость  $\nu = 0,01 \text{ м}^2/\text{с}$ . Целесообразно рассматривать двумерную осесимметричную геометрию в виде двух моделей «Сектор» и «Труба» (рис. 27).



Модель «Сектор»



Модель «Труба»

Рис. 27. Фрагменты расчетных сеток моделей «Сектор» и «Труба»

Начальные условия: по всей области трубы  $u = 0$ . Граничное условие на стенке трубы:  $u = 0$  при всех  $y = R$ . На левой границе задано давление  $p_1 = 10 \text{ Па}$ , на правой –  $p_2 = 5 \text{ Па}$ . Для задачи в постановке «Сектор» на соответствующих плоскостях задано симметричное граничное условие. Для расчета данной задачи в пакете программ ЛОГОС использовались две расчетные сетки, содержащие 2500 и 180000 ячеек соответственно. Фрагменты расчетных сеток приведены на рис. 27.

Для расчета применялись следующие разностные схемы: схема с разностями против потока для вычисления конвективных потоков и полностью неявная схема для аппроксимации по времени. Расчет проводился с постоянным шагом по времени  $t = 0.1$ .

Сравнение максимальных скоростей, реализующихся в центре трубы, для двух моделей приведены в табл. 10. Профили скоростей для различных моментов времени приведены также в табл. 10, цветные линии соответствуют расчету для модели «Труба», черные – [7]. По оси абсцисс отложено отношение поперечной координаты  $y$  к радиусу трубы  $R$ . По оси ординат – отношение продольной компоненты скорости  $u$  к максимальной скорости  $U_m$ . Здесь  $U_m$  – наибольшее значение скорости, которое она достигает в середине трубы в стационарном течении Хагена-Пуазейля:

$$U_m = -\frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dx} R^2. \tag{19}$$

Роль времени на графиках играет безразмерная величина  $\tau = \nu t / R^2$ . Приведены результаты для  $\tau = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ , которые соответствуют значениям времени  $t = 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 \text{ с}$ .

Таблица 10

Значения максимальной скорости на различные моменты времени

Время $t, \text{ с}$	$\tau$	$u_{\text{max}}^{\text{ЛОГОС}}$ , м/с Сектор	$u_{\text{max}}^{\text{ЛОГОС}}$ , м/с Труба
5	0,05	0,2540	0,2513
10	0,1	0,4831	0,4783
15	0,15	0,6692	0,6647
20	0,2	0,8097	0,8058
30	0,3	0,9999	0,9971
40	0,4	1,107	1,105
50	0,5	1,167	1,166
100	1	1,239	1,239
200	2	1,244	1,243

Профили скоростей при разгонном течении в трубе (цветные линии – расчет по ЛОГОС, черные – [1])

По мере развития, течение выходит в установившийся режим и профиль скорости, поперек сечения трубы стремится к параболическому с максимальным значением вдоль осевой линии, что и наблюдается на рисунке. Данная задача является самым простым из классических тестов, который должен применяться для валидации расчетных модулей в первую очередь.

### **Задача 11. Ламинарное нестационарное обтекание цилиндра**

Данная задача является самым известным и популярным тестом для валидации программ, моделирующих ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости. При обтекании цилиндра потоком вязкой несжимаемой жидкости позади него образуется правильная последовательность вихрей, вращающихся попеременно вправо и влево [7]. Такая последовательность вихрей называется вихревой дорожкой Кармана. При малых числах Рейнольдса  $Re \leq 30$  обтекание тела происходит с образованием стационарной замкнутой срывной зоны в его кормовой части. При увеличении числа Рейнольдса течение за телом становится нестационарным, неустойчивым, что приводит к разрушению зоны «ползущего» течения вокруг цилиндра и отрыву вихрей поочередно то справа, то слева.

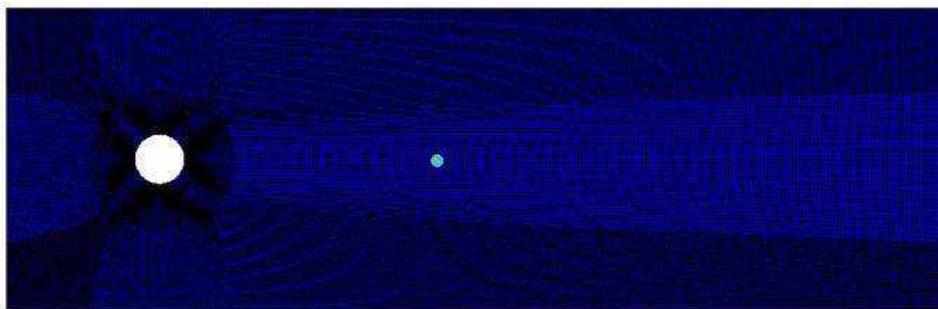
Для образования «правильной» дорожки Кармана необходимо параметры потока подобрать таким образом, чтобы получить ламинарный поток с числом Рейнольдса  $Re = 100-200$ . При значениях числа Рейнольдса ниже данного интервала дорожка может не образовываться, а при значениях выше поток станет турбулентным и вихревые структуры начнут вырождаться в вихри меньших размеров.

С целью количественной проверки полученных результатов рассчитывается число Струхала и коэффициент лобового сопротивления, которые сравниваются с экспериментальными данными.

Для расчета можно использовать как неструктурированную, так и структурированную расчетную сетку. Данная геометрия является достаточно простой, поэтому целесообразно использовать блочно-структурированную расчетную сетку, по примеру представленной на рис. 28. В данной сетке отдельным блоком выделяется область около цилиндра, в которой расчетная сетка сгущается в окрестности цилиндра с целью более точного определения коэффициента лобового сопротивления.

Голубой точкой обозначена ячейка-маркер, в которой на каждом временном шаге отслеживаются параметры течения с целью определения периода их колебаний. Для расчета по пакету программ ЛОГОС количество ячеек расчетной сетки составляло 32532.

Для расчетов использовались следующие размеры цилиндра: диаметр цилиндра  $D = 1 \cdot 10^{-4}$  м, высота цилиндра  $H = 5 \cdot 10^{-6}$  м, лобовая площадь:  $S = H \cdot D = 5 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>.



**Рис. 28. Геометрия и сетка расчётной области**

Расчеты проводились с первым и вторым порядком аппроксимации по времени. Поле скорости и давления представлены на рис. 29. В отличие от задачи с ползущим характером течения, здесь наблюдается поочередный срыв вихревых структур с поверхности цилиндра, образующих вниз по потоку «вихревую» дорожку Кармана. Вихри имеют периодичную

структуру и вращаются друг относительно друга в разные стороны. Максимум поля давления наблюдается на лицевой стороне цилиндра, пониженная область давления на верхней и на нижней частях давления и именно градиент давления играет не последнюю роль в отрыве вихрей. Так должна выглядеть качественная картина течения для данной задачи.

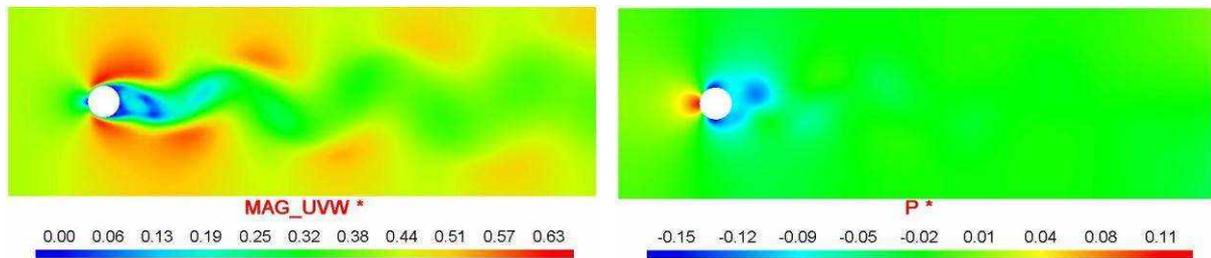


Рис. 29. Поля распределения скорости давления

Количественные характеристики оцениваются с помощью расчета относительной погрешности числа Струхала, коэффициента лобового сопротивления и периода колебаний гидродинамических величин [7]. Результаты валидации пакета программ ЛОГОС для данной задачи представлены в табл. 11.

Таблица 11

Результаты расчета и относительная погрешность

Параметр	Эксперимент	ЛОГОС		δ, %
		1-й порядок	0,1825	
Число Струхала	0,1895	1-й порядок	0,1825	3.68
		2-й порядок	0,1865	1.57
Коэффициент лобового сопротивления	1,4	1-й порядок	1,4999	7.14
		2-й порядок	1,4748	5.34
Период колебаний подъемной силы	0,00124	1-й порядок	0,00129	4.03
		2-й порядок	0,00126	1.61

Попадание результатов в 5%-ный интервал погрешности можно считать удовлетворительным результатом. Именно допустимый интервал погрешности в 5% считается нормальным при количественной оценке результатов расчета. Выход численного решения из этого интервала означает недостаточную точность используемой физико-математической модели или численной схемы. Точность модели можно повысить путем измельчения расчетной сетки или повышением порядка численной схемы (хотя и это может не сработать и нужно более детально анализировать задачу и применяемую математическую модель).

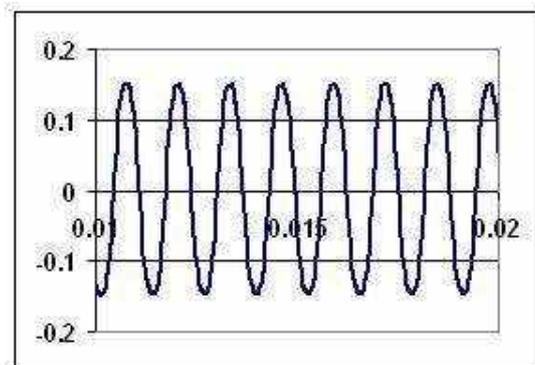


Рис. 30. График зависимости скорости V от времени в точке слежения

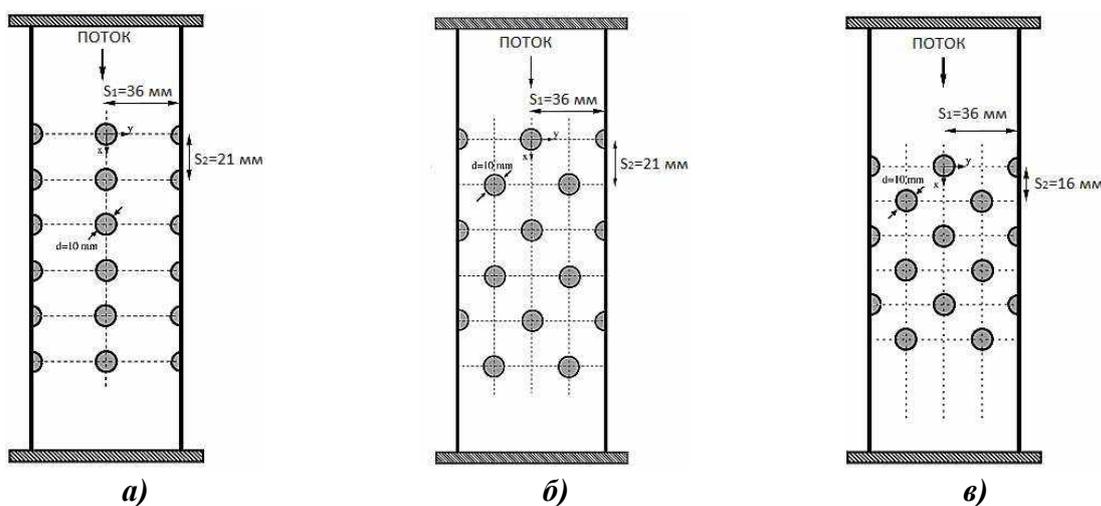
Количественные оценки колебательного режима оцениваются по колебаниям величин

в точке мониторинга, которая может быть поставлена в зоне активного изменения параметров. Обычно в качестве точки мониторинга, в трехмерном случае, рассматривают ячейку расчетной сетки, в центре которой хранятся моделируемые величины. В зависимости от типа выбранной численной модели точкой мониторинга может выступать узел расчетной сетки. На рис. 30 представлен график зависимости скорости от времени в точке слежения, полученный по пакету программ ЛОГОС.

Равномерные колебания поля скоростей показывают устойчивое воспроизведение нестационарного процесса используемой численной схемой.

### Задача 12. Поперечное обтекание трубного пучка

В данной задаче рассматривается нестационарное течение воды через канал с пучком труб в трех различных конфигурациях. Для этой задачи можно провести аналогию с предыдущей – здесь моделируется обтекание системы из нескольких цилиндров в различных конфигурациях. Геометрия конфигураций для трех таких систем представлена на рис. 31 [24].



**Рис. 31. Расположение цилиндров в трех различных конфигурациях:**  
*а* – расположение в линию; *б* – шахматный порядок; *в* – шахматный порядок

Размеры расчетной области в направлении течения выбираются таким образом, чтобы от начала области до центра первого стержня расстояние составляло  $10d$ , а от центра последнего до конца области –  $12,5d$  (здесь  $d$  – диаметр цилиндра).

Для валидации необходимо решить нестационарную задачу. Жидкость рассматривается как несжимаемая со скоростью потока на входе  $0,93$  м/с. Плотность воды берется равной  $997,561$  кг/м<sup>3</sup>, молекулярная вязкость  $8,8871e-4$  кг/(м·с), что соответствует  $Re \approx 10^4$ .

Для моделирования задачи в пакете программ ЛОГОС используется сетка из усеченных элементов с использованием призматических слоев. Область, включающая в себя пучок, описывается более подробной расчетной сеткой с целью более точного определения гидродинамических характеристик (рис. 32).

Размерность сетки для различных случаев расположения:

- 1) 716977 сеточных элементов для расположения в линию, параметры решетки  $3,6 \times 2,1$  см (рис. 31, *а*);
- 2) 591785 сеточных элементов для расположения в шахматном порядке, параметры решетки  $3,6 \times 2,1$  см (рис. 31, *б*);
- 3) 470018 сеточных элементов для расположения в шахматном порядке, параметры решетки  $3,6 \times 1,6$  см (рис. 31, *в*).

Для моделирования турбулентности в расчетах использовалась SST модель с автоматическим определением ширины пограничного слоя. Для аппроксимации конвективных сла-

гаемых используется схема первого порядка точности, шаг по времени выбирается равным  $\Delta t = 3,2 \cdot 10^{-5}$  с. Для случая расположения пучка стержней в линию и для расположения в шахматном порядке с параметрами решетки  $3,6 \times 2,1$  см конечный момент времени расчета  $t = 1$  с. Для случая расположения в шахматном порядке с параметрами решетки  $3,6 \times 1,6$  см конечный момент времени расчета  $t = 0,4$  с, что связано с меньшим размером расчетной области.

Граничные условия задаются в соответствии со схемой, представленной на рис. 32.

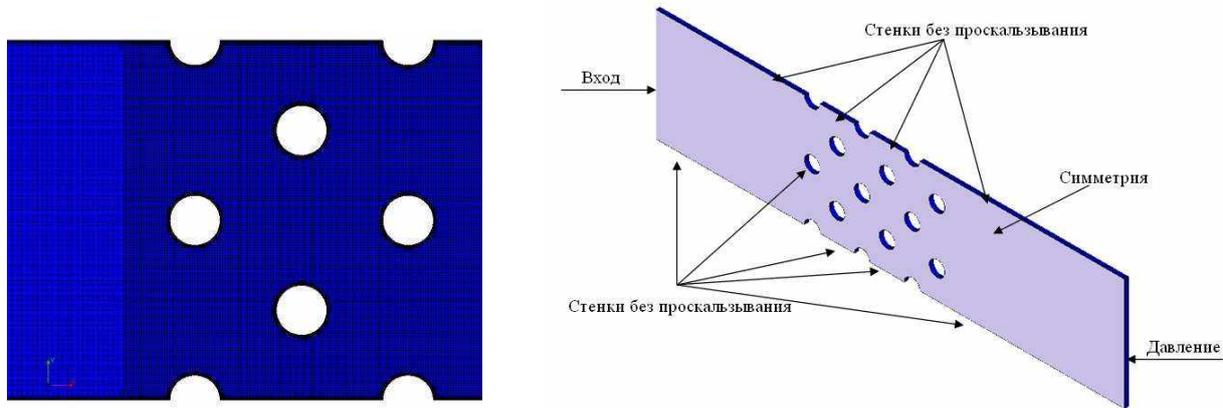


Рис. 32. Фрагмент расчетной сетки для расположения в шахматном порядке стержней, параметры решетки  $3,6 \times 2,1$  см

Результатами численного решения задачи являются вычисленные средние значения продольной и поперечной (относительно направления потока) компонент скоростей, замеренные в поперечных сечениях области. Поперечные сечения изображены на рис. 33.

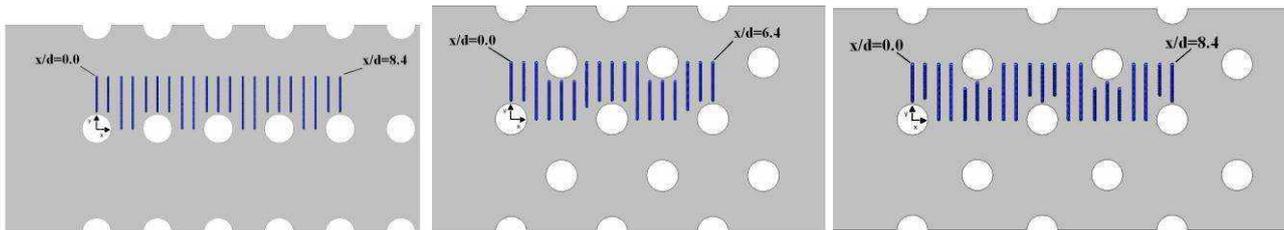


Рис. 33. Сечения расчетных областей

На рис. 33–35 выборочно представлены зависимости продольной компоненты средней скорости для различных сечений для трех вариантов расположения стержней. Численное решение сравнивается с экспериментальными данными[24].

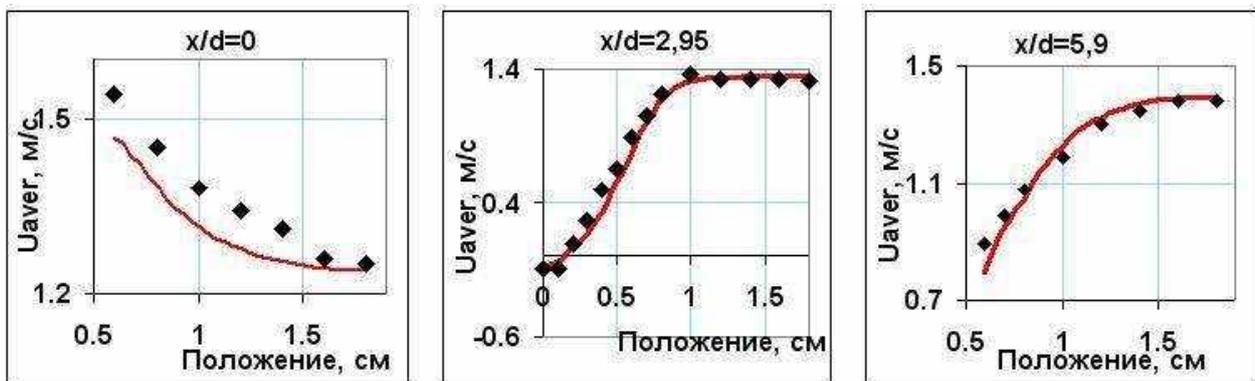


Рис. 33. График продольной составляющей средней скорости для расположения в линию (маркеры - эксперимент, линия – результат по ПК ЛОГОС)

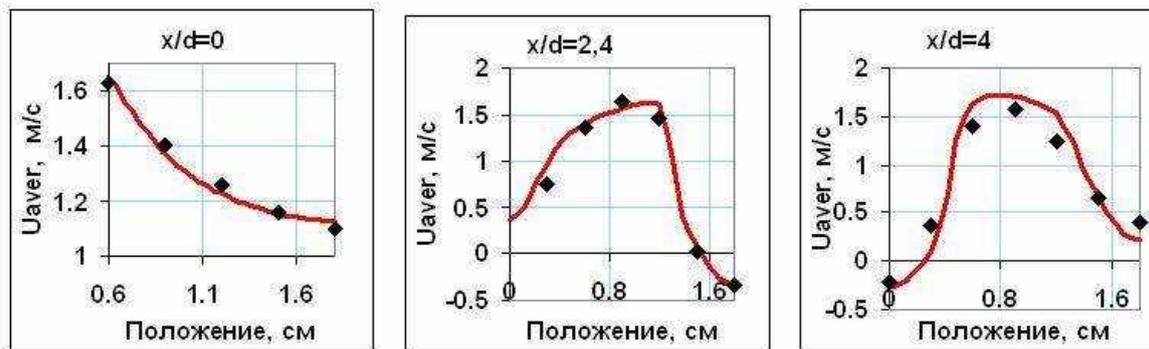


Рис. 34. График продольной средней скорости для шахматного порядка 3,6x1,6 см (маркеры - эксперимент, линия – результат по ПК ЛОГОС)

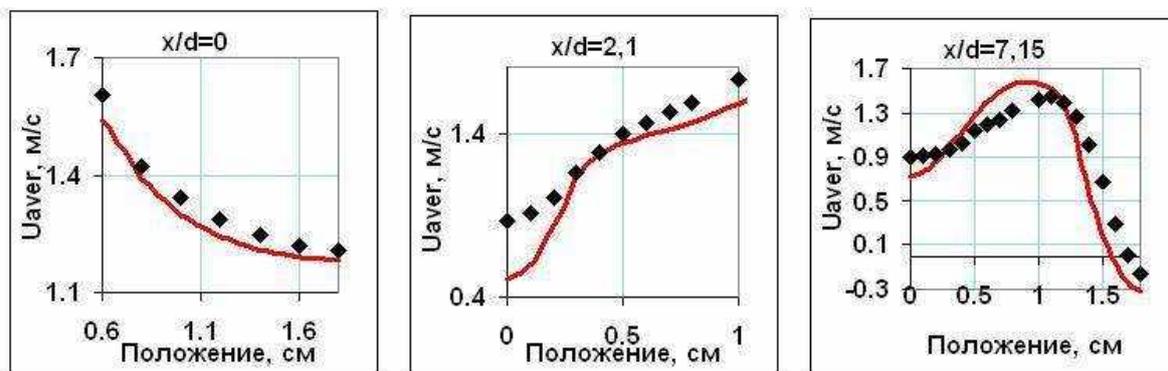


Рис. 35. График продольной средней скорости для шахматного порядка 3,6x2,1 см (маркеры - эксперимент, линия – результат по ПК ЛОГОС)

В табл. 12 приведены значения среднеквадратичного отклонения  $\Delta$  продольной компоненты средней скорости для сечений  $x/d=0, 2.95, 5.9, 8.4$ . На некоторых линиях наблюдается некоторое отклонение от эксперимента, что может быть связано с недостаточным разрешением сеточной модели или неточностью описания переходных областей течения.

Таблица 12

Значения среднеквадратичного отклонения

$x/d$	0,0	2.95	5.9	8.4
<i>в линию</i>				
$\Delta$	0,020604	0,02208	0,014571	0,024826
<i>шахматный порядок 3,6x1,6 см</i>				
$\Delta$	0,0107	0,2119	0,0469	0,0714
<i>в шахматный порядок 3.6x2.1 см</i>				
$\Delta$	0,015798	0,054710	0,062805	0,041995

На рис. 36–38 показаны сцены мгновенного распределения скоростей и турбулентной кинетической энергии в расчетных областях.

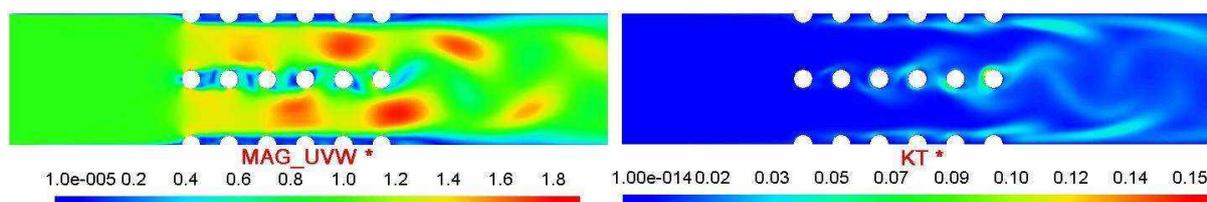


Рис. 36. Распределение скорости и турбулентной кинетической энергии на момент времени  $t = 1$  с (в линию)

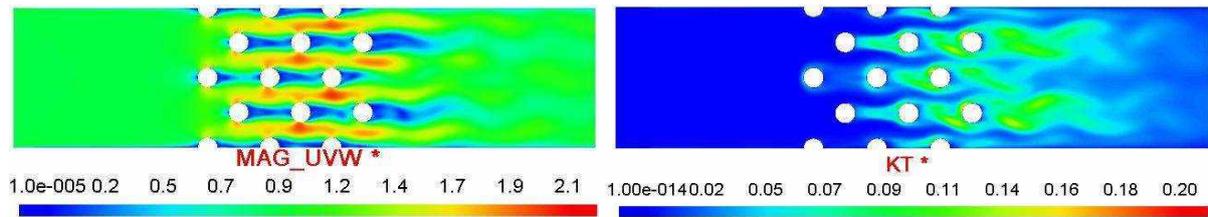


Рис. 37. Распределение скорости и турбулентной кинетической энергии на момент времени  $t = 0,4$  с (шахматный порядок  $3,6 \times 1,6$  см)

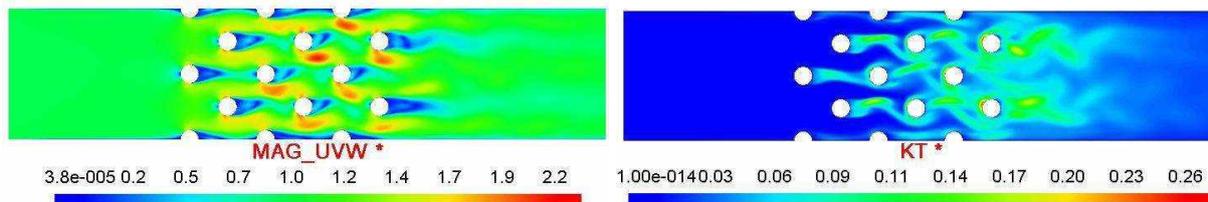


Рис. 38. Распределение скорости и турбулентной кинетической энергии на момент времени  $t = 1$  с (шахматный порядок  $3,6 \times 2,1$  см)

Во всех конфигурациях наблюдается периодический характер течения, напоминающий множество «вихревых дорожек Кармана», расположенных на определенных расстояниях. Интенсивность скоростей наблюдается в областях между цилиндрическими структурами, пониженные зоны давления сразу за цилиндрами.

### Задача 13. Вырождение однородной изотропной турбулентности

Как отмечалось ранее, одним из основных подходов к моделированию нестационарной турбулентности в настоящее время является использование *DES* модели. Для успешного использования моделей такого класса важны свойства выбранной схемы дискретизации, от которой напрямую зависит качество *DES* моделирования: схема должна иметь малую диссипацию и обеспечивать устойчивость счета. Выбор оптимальной схемы дискретизации для конвективных потоков – одна из основных проблем при моделировании течений с помощью моделей *DES*. Схема должна, с одной стороны, иметь малую диссипацию, т.е. порождать как можно меньше численной диффузии, с другой стороны, она должна обеспечивать стабильный счет на произвольной неструктурированной сетке. Требование малой численной диффузии проистекает из того факта, что при *DES* моделировании в основной области, где присутствуют вихревые структуры, используется модель *LES*, и для правильного описания эволюции данных структур необходимо, чтобы численная диффузия схемы была меньше, чем диффузия, которая обеспечивается подсеточной вязкостью модели *LES*. Поэтому при валидации методов *DES* особое внимание должно уделяться схемам дискретизации. В настоящей задаче проводится анализ применимости для *DES* моделирования следующих схем:

- противопоточная схема с линейной интерполяцией (*LUD*);
- схема *QUICK*;
- центрально-разностная схема (*CD*);
- центрально-разностная схема с линейной реконструкцией (*CDW*);
- схемы семейства *NVD*;
- гибридные схемы (перечисленные ранее схемы, смешанные с противопоточной схемой для увеличения монотонности).

Схема *LUD* – противопоточная схема с использованием реконструкции величины на грань с линейной интерполяцией [25, 26]. Схемы *CD* и *CDW* – наименее диссипативные схемы, однако они неустойчивы [25, 27], и при наличии больших градиентов их использование приводит к осцилляциям в поле решения. Схема *QUICK* [27] является схемой смешанного типа, она сочетает в себе противопоточную схему первого порядка совместно с градиентной

поправкой и схему  $CD$ . Такой подход позволяет убирать диссипативные ошибки первого порядка и подавлять осцилляции второго порядка. Схемы семейства  $NVD$  основаны на использовании диаграмм нормализованной переменной и критерия ограниченности  $CBC$  [28]. В своей изначальной форме построение функции нормализованной переменной основано на использовании структурированной сетки. Наиболее удобным обобщением схем  $NVD$  на произвольные неструктурированные сетки рассмотрено в работе [29], там же предложена сама схема семейства  $NVD$  – схема  $GAMMA$ . Схема  $GAMMA$  имеет в основе своей схему  $CD$ , но использует функцию нормализованной переменной для применения критерия ограниченности  $CBC$ . Схема  $GAMMA$  более диссипативна, чем  $CD$ , однако приводит к ограниченному решению искомой величины. Также схема имеет один свободный параметр, который определяет вклад противоточной составляющей в результирующее значение величины на грани и, в конечном счете, влияет на быстроту сходимости.

Гибридные схемы представляют собой линейную комбинацию схемы высокого и низкого порядков [26], что приводит к увеличению монотонности решения. Гибридную схему, например, для схемы  $CD$  и  $UD$ , можно записать следующим образом:

$$\phi_{F,gibr} = \gamma\phi_{F,CD} + (1-\gamma)\phi_{F,UD}, \quad (20)$$

где  $\gamma$  – коэффициент смешения. В настоящей работе рассматриваются гибридная схема на основе  $CD$  и  $UD$ , и схема на основе  $CDW$  и  $LUD$ , с постоянным коэффициентом смешения  $\gamma = 0,9$ .

Оценка диссипативности схем проводится путем решения задачи о вырождении однородной изотропной турбулентности [30]. Однородная изотропная турбулентность – достаточно редко реализующееся в природе явление, но его моделирование помогает с хорошей точностью узнать насколько диссипативна та или иная схема дискретизации конвективных потоков. По диссипативности можно оценить пригодность каждой схемы для  $DES$  расчетов в области  $LES$ .

Моделирование задачи проводится в расчетной области размером  $2\pi \cdot 2\pi \cdot 2\pi$  с количеством ячеек  $64 \cdot 64 \cdot 64$  по всем трем направлениям соответственно. По всем трем пространственным координатам используется периодическое граничное условие. По заданному начальному энергетическому спектру формируется случайное поле скоростей, которое используется в качестве начального условия. Далее производится нестационарный расчет задачи до момента времени  $0,87$  с, после чего результаты сохраняются и переводятся обратно в энергетический спектр, который сравнивается с экспериментальными данными [30]. По поведению кривой энергетического спектра можно судить о качестве каждой схемы – занижение энергии в том или ином интервале говорит о ее диссипативности.

Для сравнения схем по уровню численной диссипации в расчете использовалась модель турбулентности  $LES$  со значениями констант Смагоринского  $C_s = (0; 0,1; 0,2)$ . Для дискретизации по времени применяется схема Кранка-Николсона, шаг по времени соответствует числу Куранта равному единице. На каждом шаге по времени проводится 10 внутренних итераций решателя, что обеспечивает сходимость невязок основных физических величин до  $\delta = 10^{-8}$  по норме  $L1$ .

Далее представлены результаты расчета задачи для схем  $LUD$  и  $QUICK$ . Данные схемы достаточно диссипативны и в области высоких частот при любых значениях константы наблюдается занижение энергии (рис. 39). Даже обнуление константы  $C_s$ , а, следовательно, и подсеточной вязкости, не приводит к правильной картине.

На рис. 40 представлены результаты для схемы  $GAMMA$ . Расчет проведен для рекомендованного максимального значения параметра схемы  $\gamma=0,1$  [25]. При таком значении  $\gamma$  доля противоточности в схеме минимальна и она наименее диссипативна. Также проведены расчеты для схемы  $\gamma=0,2$ , которая более применима для неструктурированных сеток в областях со сложной геометрией. По полученным результатам можно сделать вывод, что схема  $GAMMA$ , так же, как и  $QUICK$  дает занижение энергии в области высоких частот при любых значениях константы  $C_s$ .

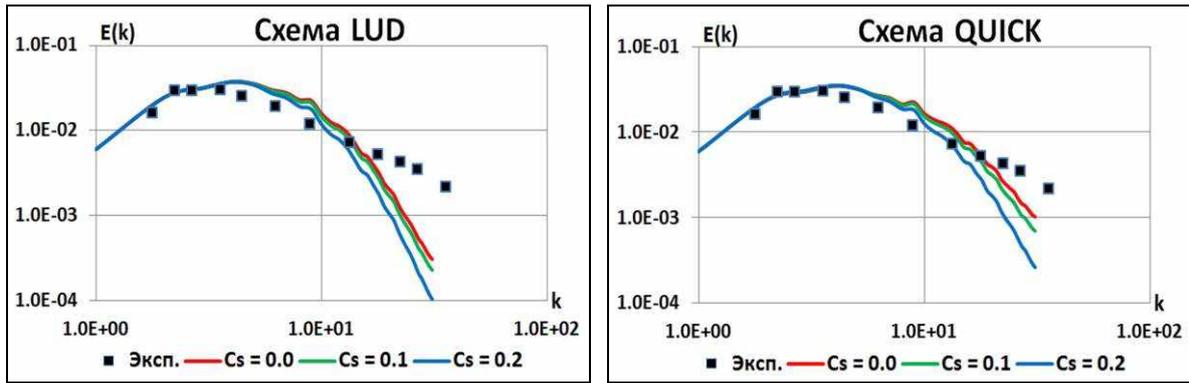


Рис. 39. Энергетические спектры, схема *LUD* и *QUICK*

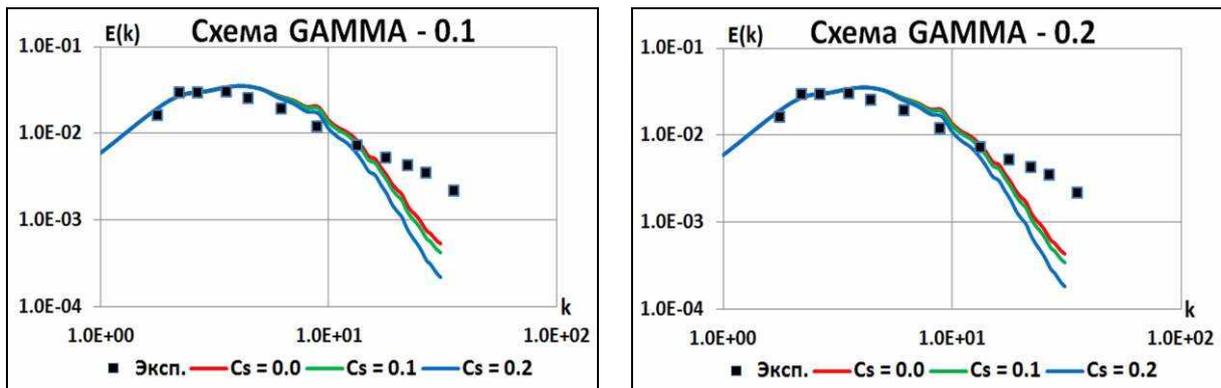


Рис. 40. Энергетические спектры, схема *GAMMA*

Расчеты показывают, что наименее диссипативна схема *CD*, которая при  $C_s = 0,2$  правильно описывает эволюцию вихревых структур (рис. 41). Однако устойчивый счет при использовании данной схемы на неструктурированных сетках возможен только при использовании гибридной схемы с коэффициентом смешения  $\gamma=0,9$  и меньше (формально обозначим схему при  $\gamma=0,9$ :  $0,9CD+0,1UD$ ). Далее представлены результаты расчета для  $0,9CD+0,1UD$ . По результатам видно, что добавление 10% доли противоточности уже заметно повышает диссипативность схемы, однако для нее всё-таки удастся подобрать оптимальное значение константы  $C_s = 0,1$ .

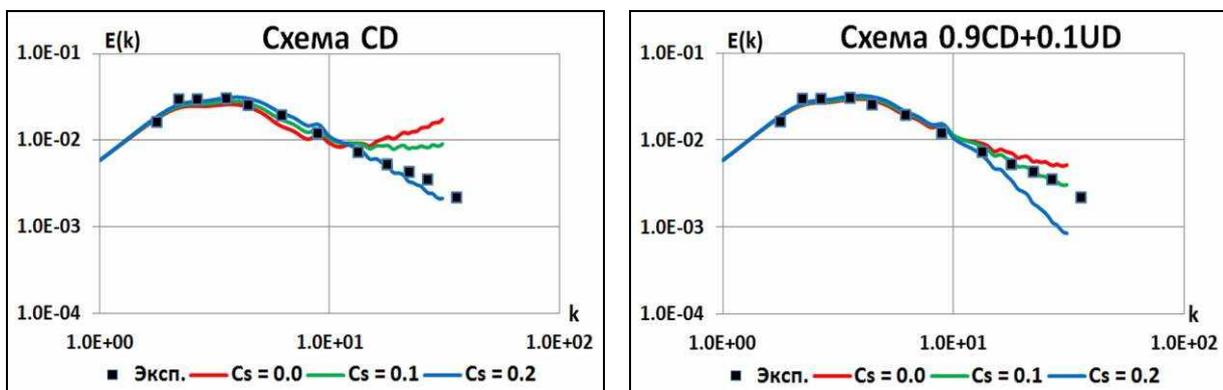


Рис. 41. Энергетические спектры, схема *CD* и  $0,9CD+0,1UD$

Для иллюстрации на рис. 42 приведены поля модуля скорости, давления и турбулентной вязкости на конечный момент времени – 0,87 с, полученные в результате расчета для  $0,9CD+0,1UD$ . Эволюция вихревых структур различных масштабов показана на рис. 43.

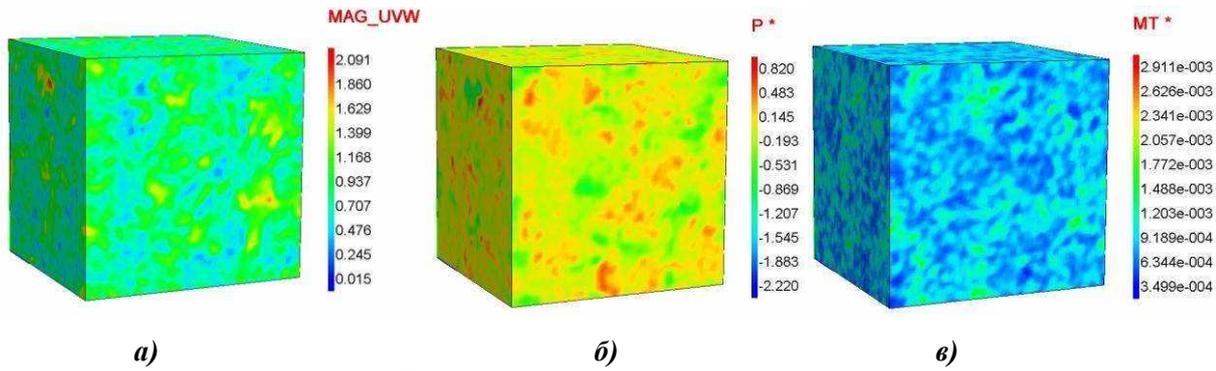


Рис. 42. Поля модуля скорости (а), давления (б) и турбулентной вязкости (в) на 0,87 с

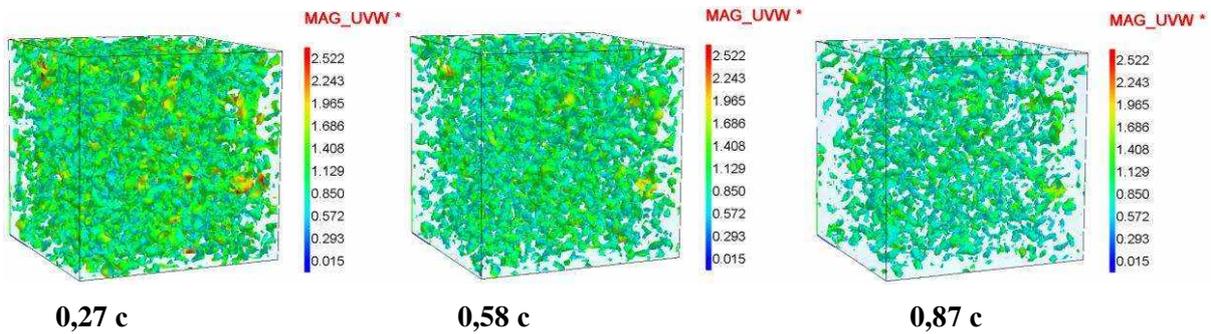


Рис. 43. Эволюция турбулентности

Таким образом, наименее диссипативными вариантами схем являются *CD* и  $0,9CD+0,1UD$ : при *DES* расчете в области *LES* они смогут обеспечить правильное описание эволюции вихрей и передачу энергии от крупных вихрей к мелким. Схемы *QUICK* и *GAMMA* более диссипативны, чем *CD* и  $0,9CD+0,1UD$ . Для метода конечных объемов величина численной диссипации зависит также и от типа элементов, из которых составлена расчетная сетка. Однако, на сетках различного типа тенденция давать численную диссипацию у схем будет такая же: на одной и той же сетке *LUD* будет диссипативней, чем *QUICK*, а *QUICK* диссипативней, чем *CD* и  $0,9CD+0,1UD$ . Поэтому для дальнейших расчетов с использованием *DES* модели будем использовать только схемы *CD* и  $0,9CD+0,1UD$ , предварительно проведя для них калибровку констант.

Калибровка констант *DES* модели проводится путем решения той же задачи о вырождении однородной изотропной турбулентности. На рис. 44 показаны результаты расчета с константами, значение которых обеспечило наилучшее совпадение результирующего спектра с экспериментальным [30].

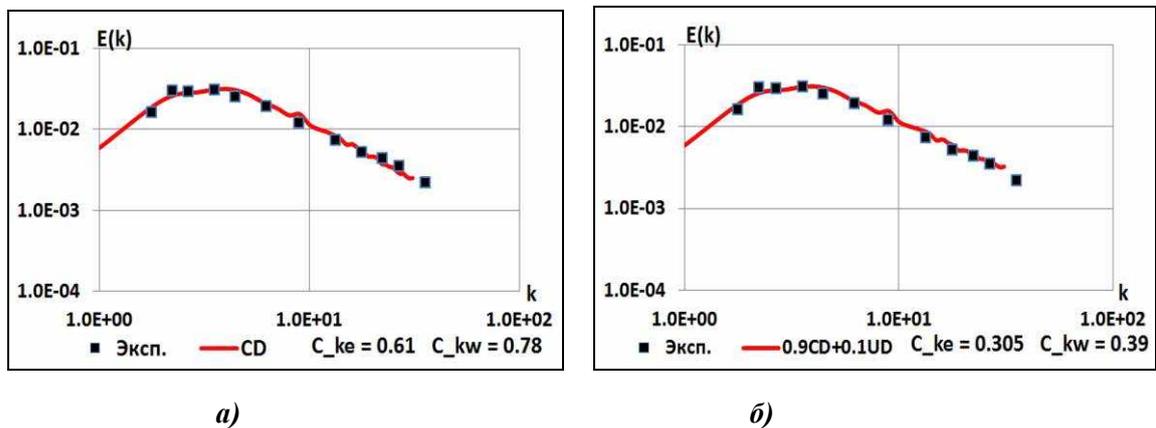


Рис. 44. Энергетические спектры, схема *CD* (а) и  $0,9CD+0,1UD$  (б)

Для схемы  $CD$  оптимальные значения констант составляют  $C_{k\varepsilon}=0,61$ ,  $C_{k\omega}=0,78$  для схемы  $0,9CD+0,1UD$ , значения констант должны быть примерно в два раза ниже:  $C_{k\varepsilon}=0,305$ ,  $C_{k\omega}=0,39$ . Именно эти значения констант для каждой схемы и должны использоваться в расчетах по пакету программ ЛОГОС.

**Задача 14. Развитое турбулентное течение в канале**

Данная задача является хорошим тестом для валидации вихререзающих моделей типа  $DES$ . В данной задаче рассматривается развитое течение несжимаемой жидкости в плоском канале с высотой 1 м при числе Рейнольдса, построенном по высоте канала и динамической скорости, равном  $Re_\tau = 800$ , что соответствует условиям, при которых в работе [12] выполнен  $DNS$  расчет данного течения. Для определения осредненных характеристик течения вначале необходимо выполнить нестационарный расчет до выхода решения на статистически-установившийся режим. Далее продолжать расчет с вычислением осредненной горизонтальной скорости и осредненных компонент тензора турбулентных пульсаций.

В качестве модели турбулентности необходимо использовать либо  $LES$ , либо  $DES$  модели. В расчетах по пакету программ ЛОГОС, представленных далее, использовались три модели  $DES$  ( $DES-k\varepsilon$ ,  $DES-SA$ ,  $DES-SST$ ) с различными схемами дискретизации конвективных слагаемых в уравнениях переноса импульса и соответствующими наборами констант из табл. 13.

Таблица 13

Оптимальные значения эмпирических констант

	$CD$	$CDW$	$0,9CD+0,1UD$	$0,9CDW+0,1LUD$
$C_{k\varepsilon}$	1,20	1,18	0,61	0,60
$C_{SA}$	0,62	0,60	0,33	0,31
$C_{SST-k\omega}$	0,78	0,72	0,39	0,38
$C_{SST-k\varepsilon}$	0,61	0,58	0,31	0,30

Для расчета использовалась сетка, содержащая сгущения к областям твердых поверхностей. Общее количество ячеек составляет 1,2 млн. На твердых стенках компоненты скорости, турбулентная вязкость и кинетическая энергия турбулентности полагаются равными нулю. На остальных границах для всех переменных используется условие периодичности. Для того чтобы обеспечить движение, в уравнение переноса продольной составляющей импульса вводится дополнительный член, равный градиенту давления при установившемся течении в канале:  $\partial p / \partial x = 1.721$  Па/м.

На рисунке в качестве иллюстрации представлены мгновенные поля скоростей, полученные в результате моделирования по трем разным подходам к моделированию турбулентности ( $RANS$ ,  $DES$  и  $LES$ ).

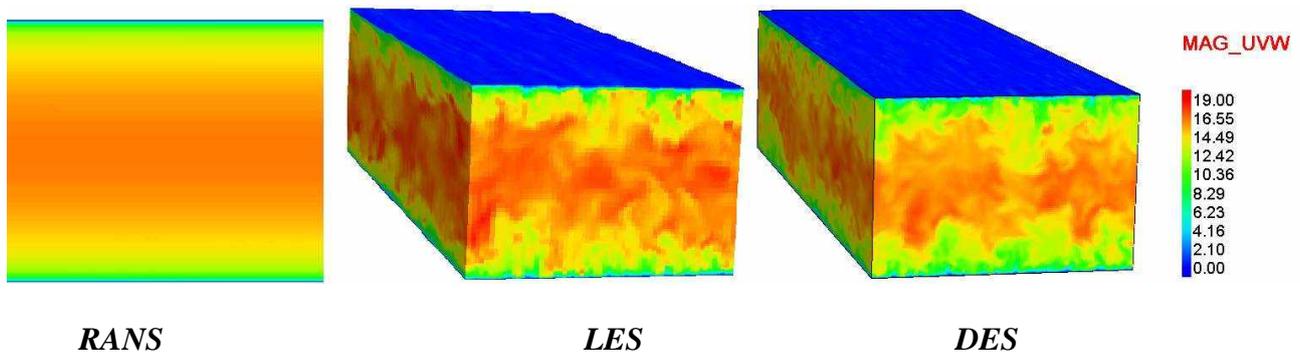


Рис. 45. Мгновенное поле скорости

На рис. 46–47 представлены профили средней скорости и разрешенных компонент тензора напряжений Рейнольдса для каждой схемы в сравнении с результатами, полученными при *DNS* расчете [12].

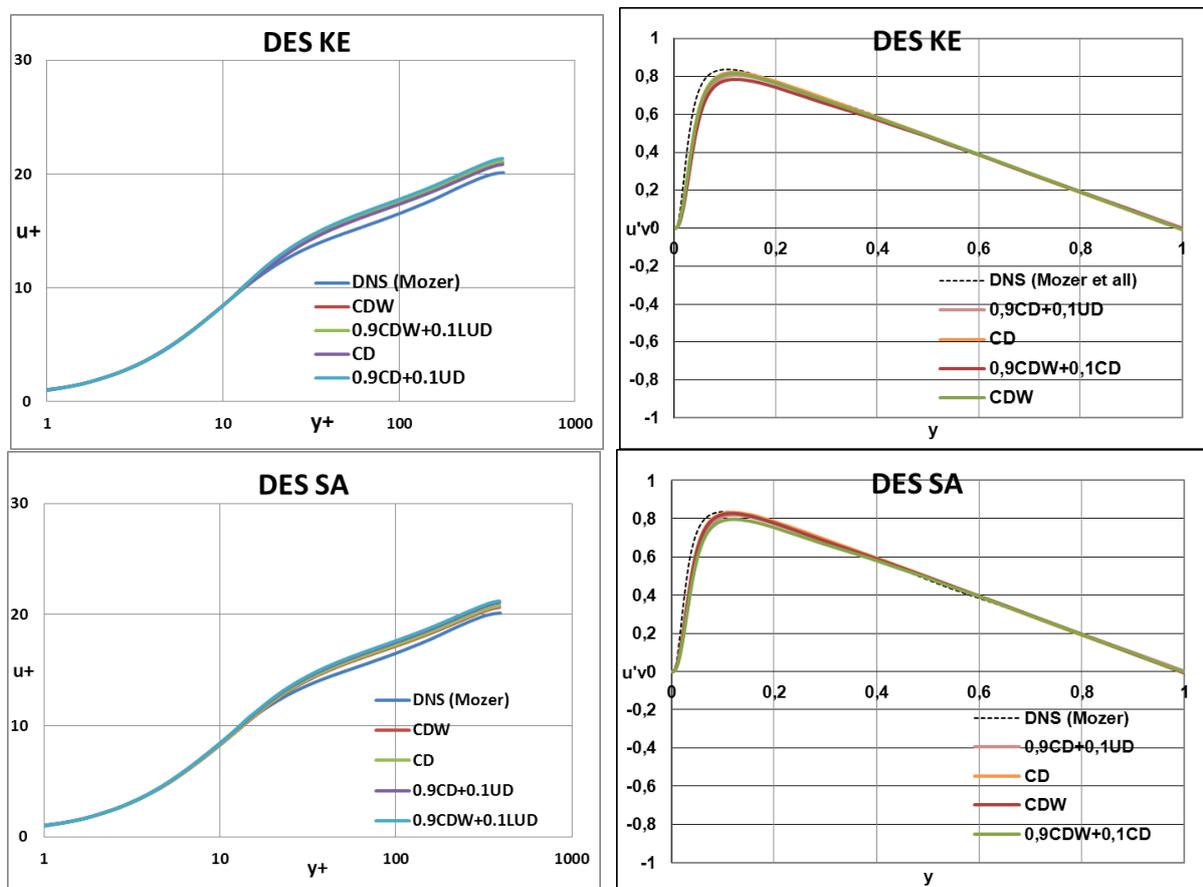


Рис. 46. Профиль скорости и напряжений Рейнольдса (*DES-кэ*, *DES-SA*)

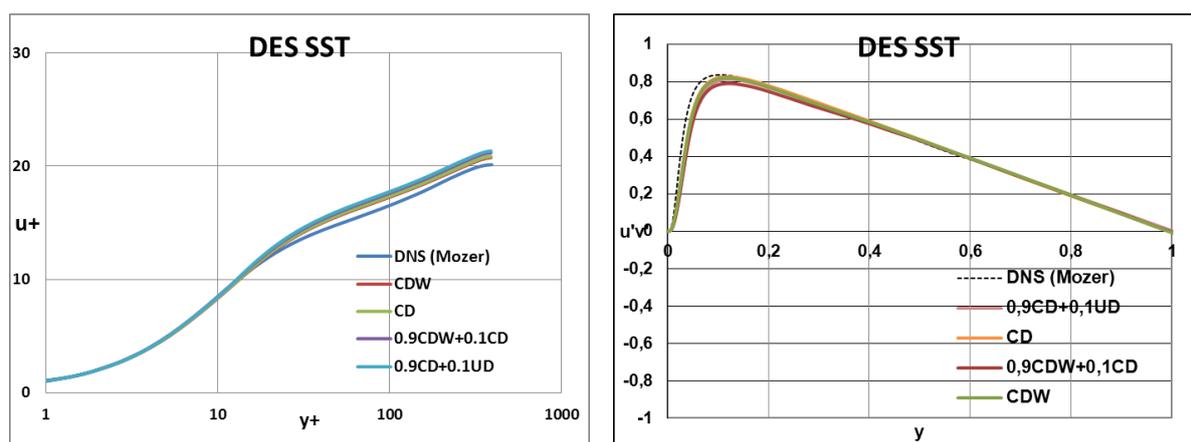


Рис. 47. Профиль скорости и профиль напряжений Рейнольдса (*DES-SST*)

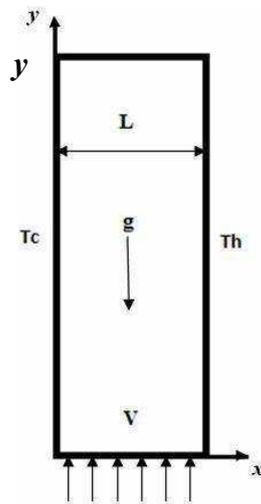
По осредненному профилю скорости и профилю разрешенных напряжений Рейнольдса получено хорошее согласие с *DNS* расчетами. Также наблюдается хорошее согласие результатов, полученных при использовании разных схем дискретизации. Таким образом, по результатам можно сделать вывод, что при использовании разных схем дискретизации с соответствующим набором констант, описание эволюции вихревых структур производится корректно.

**Смешанная и естественная конвекция**

**Задача 15. Смешанная конвекция в вертикальном плоском канале**

Особенностью задачи о смешанной конвекции в вертикальном канале с разнонагретыми вертикальными стенками является наличие аналитического решения на участке установившегося по длине ламинарного течения [3].

В данной задаче рассматривается двумерное стационарное ламинарное течение в длинном вертикальном канале (рис. 48). Температуры стенок канала равны  $T_h$  и  $T_c$  ( $T_h > T_c$ ). На входе в канал задается однородный поток, температура которого равна полусумме температур стенок. На выходе из канала задается постоянное давление и ставятся «мягкие» условия ( $\partial^*/\partial y=0$ ) для скорости и температуры. Ускорение силы тяжести  $g$  направлено в сторону, противоположную оси  $y$ .



**Рис. 48. Схема вертикального канала**

В качестве масштаба длины принята ширина канала  $L$ , характерный перепад температуры равен  $\Delta T = T_h - T_c$ , характерной температурой считается полусумма температур стенок канала  $T^* = (T_h + T_c)/2$ , характерной скоростью – среднерасходная (она же входная) скорость  $V$ . Безразмерные граничные условия формулируются следующим образом:

$$\begin{aligned}
 &u=v=0, \theta = -0.5 \text{ при } x=0; \\
 &u=v=0, \theta = +0.5 \text{ при } x=1; \\
 &v = 1, \theta = 0 \text{ при } y=0 \text{ (вход)} \\
 &p^* = 0, \partial u/\partial y = \partial v/\partial y = \partial \theta/\partial y = 0 \text{ при } y=H \text{ (выход)}.
 \end{aligned}$$

Размеры области, параметры среды и граничные величины в расчетах приняты такими, чтобы число Рейнольдса  $Re=100$ , число Прандтля  $Pr=1$  и число Грасгофа  $Gr=0;3600;7200$ .

На участке установившегося течения, где линии тока параллельны оси канала, профили поперечной составляющей скорости  $v(x)$  и избыточной температуры  $\theta(x)$  не зависят от продольной координаты  $y$  и описываются следующими уравнениями [3]:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = Re \frac{dp^*}{dy} - \frac{Gr}{Re} \cdot \theta, \quad \frac{d^2\theta}{dx^2} = 0. \tag{21}$$

Продольный градиент давления  $dp^*/dy$  есть неизвестная константа, для определения которой служит условие нормировки скорости (сохранения расхода):

$$\int_{-0.5}^{0.5} v dx = 1. \tag{22}$$

С учетом вышеприведенных граничных условий на стенках канала решение данной задачи можно записать в следующем виде [3]:

$$\theta = x - \frac{1}{2}, \quad v = \frac{B}{6} * (x - x^3) + \left(6 - \frac{B}{4}\right) * (x - x^2), \quad \frac{dp^*}{dy} = -\frac{12}{Re}, \quad B \equiv \frac{Gr}{Re}. \quad (23)$$

При значениях параметра плавучести  $B=72$  производная  $(dv/dx)_{x=0}$  обращается в ноль; при  $B > 72$  вблизи левой стенки канала ( $x=0$ ) появляется область нисходящего течения  $v < 0$ ). Отметим, что в рассматриваемом случае величина градиента давления  $dp^*/dy$  не зависит от наличия сил плавучести и соответствует известному закону сопротивления для чисто напорного течения в плоском канале (течение Пуазейля; коэффициент сопротивления  $\lambda=24/Re$ ).

Расчеты в пакете программ ЛОГОС проводились на равномерной сетке размером  $50 \times 3000 \times 1$  ячеек. Для решения задачи задаются следующие граничные условия: на вертикальных стенках – стенка без проскальзывания с заданной температурой, на нижней границе – вход, на верхней – выход, на передней и задней поверхностях расчетной области – плоскости симметрии.

Задача в пакете программ ЛОГОС решается с использованием модели вязкой несжимаемой жидкости. Для учета сил плавучести (термосжимаемости) используется модель Буссинеска. [3]. Поля температуры и скорости потока, полученные при числе Грасгофа  $Gr = 7200$  (что отвечает «критическому» значению параметра плавучести  $B = 72$ ), представлены на рис. 49.

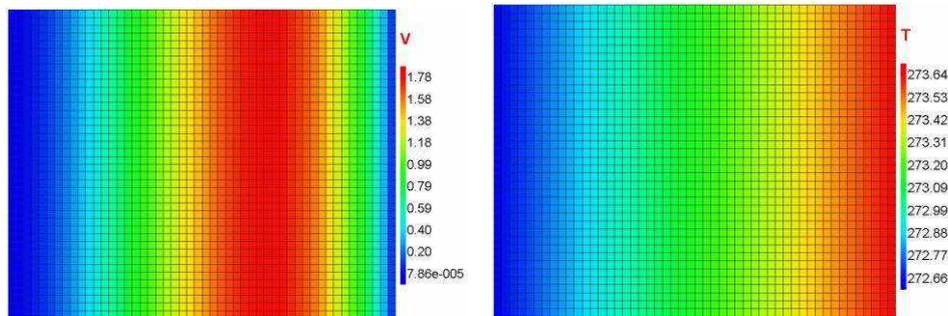


Рис. 49. Поле скорости и температуры при числе Грасгофа  $Gr = 7200$

На рис. 50 представлено сравнение профилей скорости, полученных при различных значениях параметра плавучести  $B=Gr/Re$ , с решением (23) для установившегося течения. На рис. 51 представлены графики изменения градиента давления  $dp^*/dy$  вдоль канала. Представлено точное решение ( $12/Re = 0.12$ ) и решение, полученное по ПК ЛОГОС.

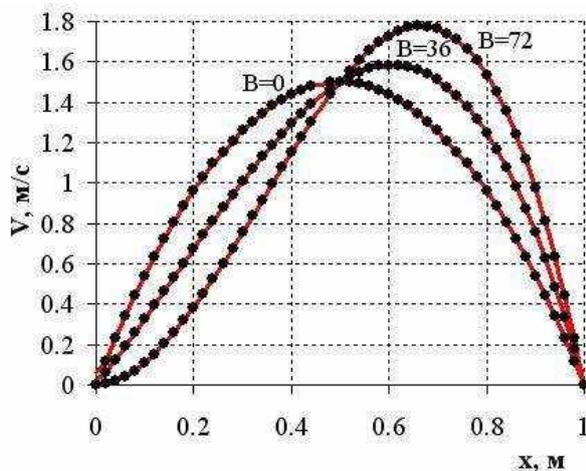


Рис. 50. Профили скорости  $V$  в вертикальном канале

Аналитическое решение - маркеры, ЛОГОС - линии

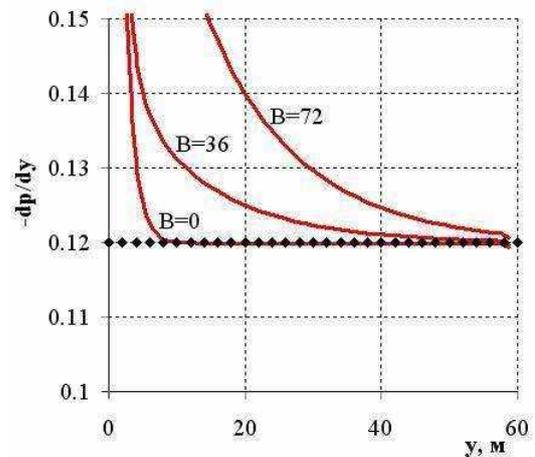


Рис. 51. Изменение градиента давления вдоль канала

Как видно из рис. 50, соответствие расчетного и аналитического решений практически полное. Величина относительной погрешности  $\delta < 0,1\%$ , а величина среднеквадратичного отклонения  $\Delta = 0,00043$ . Представленные на рис. 51 графики изменения градиента давления  $dp^*/dy$  вдоль канала свидетельствуют, что длина начального участка быстро увеличивается с ростом параметра плавучести. При этом, если для чисто напорного течения ( $B=0$ ) градиент давления перестал меняться при  $y \approx 10$ , то для случая  $B=72$  установившийся режим течения, строго говоря, не был достигнут до выхода из канала. Тем не менее, для всех рассмотренных режимов правильная асимптотика  $dp^*/dy$  при удалении от входа в канал очевидна.

### Задача 16. Ламинарная естественная конвекция в квадратной полости

В данной задаче рассматривается стационарное ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости в квадратной полости с длиной стороны  $L$ , находящейся в поле действия силы тяжести. Температура правой и левой вертикальных стенок соответственно равна  $T_h$  и  $T_c$  ( $T_h > T_c$ ); горизонтальные стенки теплоизолированы (рис. 52) [31, 32]. Для решения задачи применяются следующие граничные условия. Вертикальные стенки моделируются как стенки с прилипанием с заданными температурами  $T_c$  и  $T_h$ . Горизонтальные стенки рассматриваются как теплоизолированные стенки с прилипанием. На внешние плоскости, повторяющие исходную двумерную геометрию, накладываются граничные условия «плоскость симметрии».

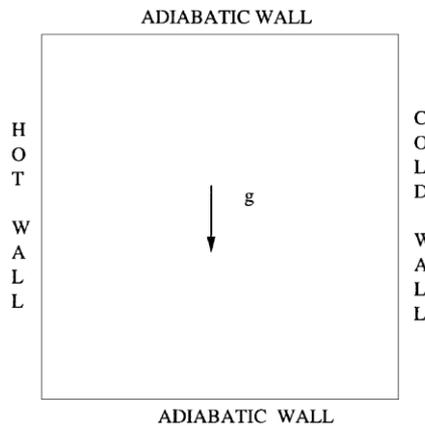


Рис. 52. Геометрия

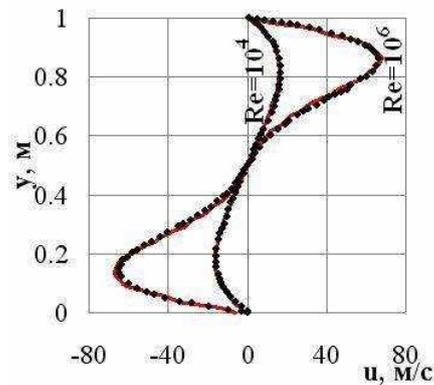


Рис. 53. Горизонтальная составляющая скорости на средней линии  
Сплошная линия - ЛОГОС, маркеры – [32]

В качестве масштаба длины принята сторона квадрата  $L$ , характерный перепад температуры равен  $\Delta T = T_h - T_c$ , характерной температурой считается температура холодной стенки  $T_c$ . Рассматриваются две постановки задачи, в которых параметры среды и граничные величины заданы таким образом, чтобы число Релея было равно  $Ra = 10^4$  и  $Ra = 10^6$  соответственно. Число Прандтля  $Pr=0,71$ .

Расчеты по пакету программ ЛОГОС выполнялись в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Для аппроксимации конвективных слагаемых используется схема первого порядка точности. Естественная конвекция моделируется путем учета влияния массовых сил с помощью модели Буссинеска. В расчетах используется равномерная сетка, содержащая  $80 \times 80 \times 1$  ячеек, такая же, как и в работе [32].

Для сравнения с результатами работы [32], полученные в расчетах скорости приводятся к масштабу  $a/L$ , где  $a = \lambda / \rho C_p$  – коэффициент температуропроводности. На рис. 52 представлен профиль горизонтальной составляющей скорости на средней линии ( $x=L/2$ ) для сетки  $80 \times 80$ . Среднеквадратичное отклонение расчета по ПК ЛОГОС от результатов в работе [32] составляют 0,29 для  $Ra = 10^4$  и 0,56 для  $Ra = 10^6$ .

В табл. 14 приведены результаты, полученные в ПК ЛОГОС, в сравнении с результатами, полученными различными авторами и заимствованными из работы [31]. В таблицах

величины  $U_{\max}$ ,  $V_{\max}$  – значения максимальных скоростей на линиях  $x = L/2$ ,  $y = L/2$  соответственно;  $Nu = qL/\lambda\Delta T$  – число Нуссельта, где  $q$  – средний тепловой поток.

Таблица 14

## Результаты расчета

$U_{\max}$		$V_{\max}$		Nu		Источник
Ra=10 <sup>4</sup>	Ra=10 <sup>6</sup>	Ra=10 <sup>4</sup>	Ra=10 <sup>6</sup>	Ra=10 <sup>4</sup>	Ra=10 <sup>6</sup>	
16,1798	64,6912	19,6177	220,8331	-	-	Mayne [32]
16,1	65,4	19,9	228	2,084	8,743	Manzari [32]
16,2	65,33	19,51	216,75	2,243	8,8	De Vahl Davies [32]
16,149	71,532	19,427	223,589	2,25	9,096	ЛОГОС

На рис. 54–55 представлены векторные поля скоростей и поля температуры, полученные в расчетах по пакету ЛОГОС на сетке 80×80 ячеек.

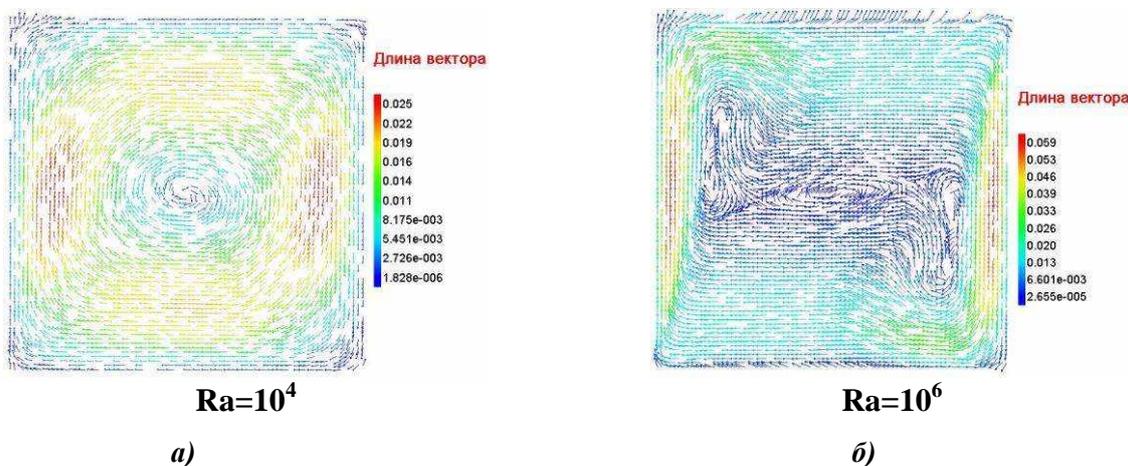


Рис. 54. Векторное поле скорости (сетка 80×80)

Для умеренных чисел Рэля наблюдается практически равномерное круговое движение жидкости с некоторым ускорением вблизи стенок подогреваемой и охлаждаемой стенок (рис. 54, а). По мере увеличения числа Рэля в картине поля скорости нарушается равномерный круговой режим со смещением активного движения жидкости к горячей и холодной стенкам, у которых наблюдаются независимые вихревые структуры. При дальнейшем увеличении числа Рэля следует ожидать сужение зоны максимального движения и приближением ее к горячей и холодной стенкам.

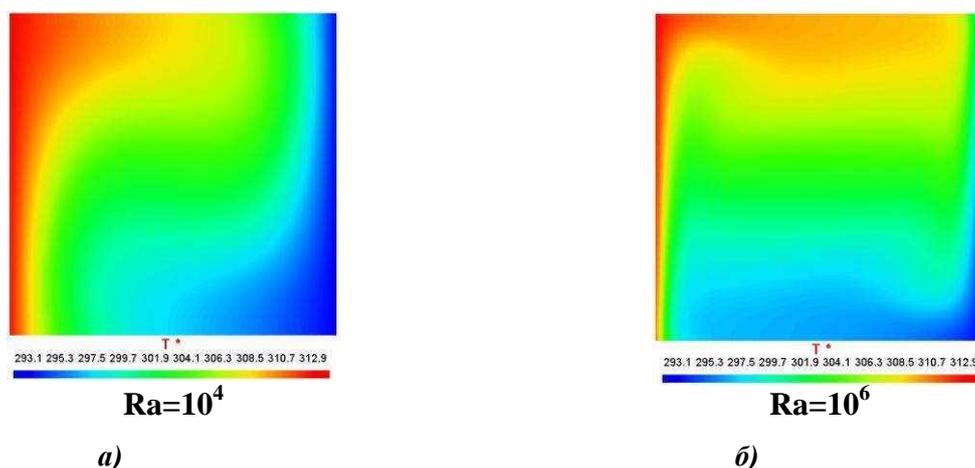


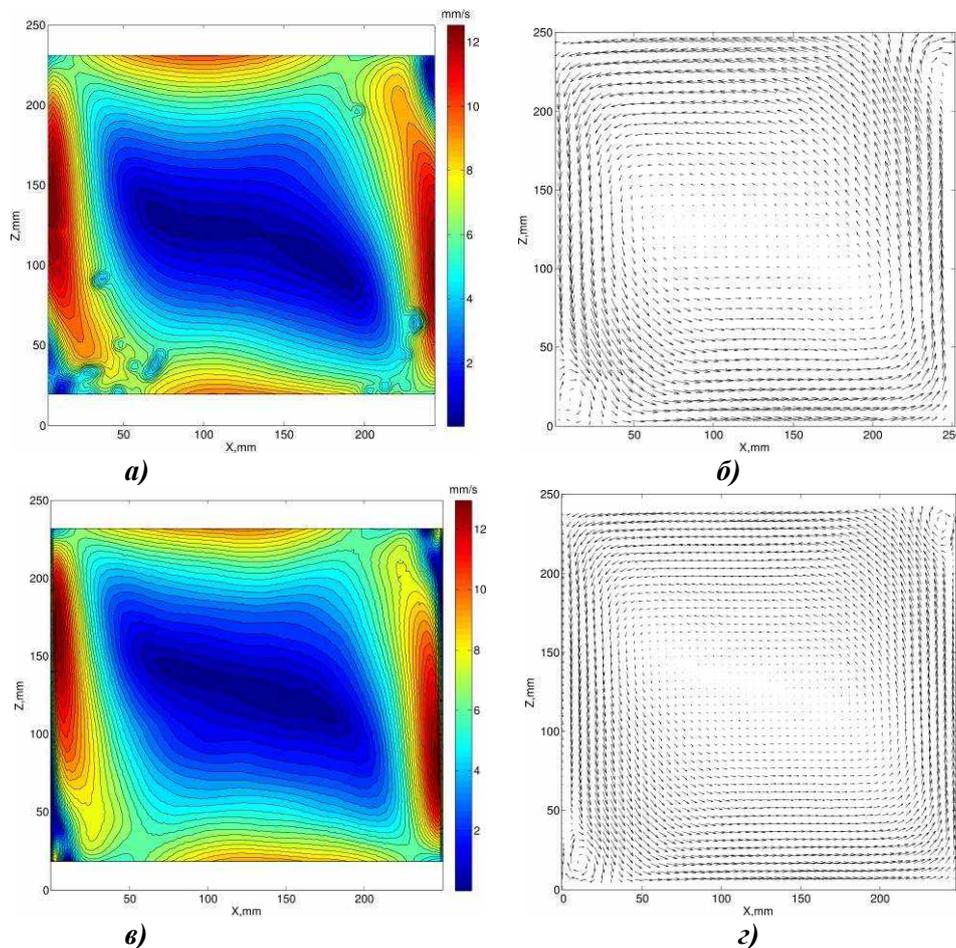
Рис. 55. Поле температуры (сетка 80×80)

Поле температуры в полости имеет зигзагообразную картину с монотонным градиентом от горячей стенке к холодной при умеренных числах Рэлея (рис. 55, *а*). Максимальные и минимальные температуры имеют достаточно широкие области около горячей и холодной стенок соответственно. При увеличении числа Рэлея данные области, как и область поля скорости, имеют тенденцию к существенному сужению и приближению к стенкам соответствующей температуры с увеличивающимся контрастом около теплоизолированных стенок (рис. 55, *б*).

### Задача 17. Развитая турбулентная конвекция

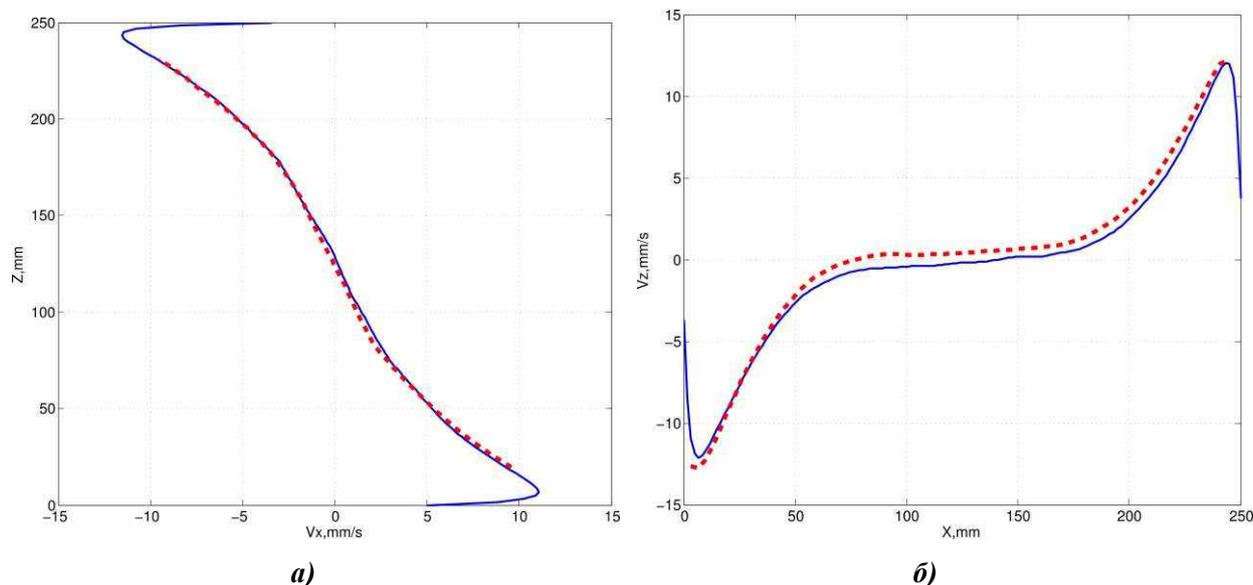
Данная задача похожа на предыдущую. Здесь исследуется развитое турбулентное конвективное течение воды в подогреваемой снизу кубической полости с длиной ребра 250мм [33]. Вертикальные стенки куба теплоизолированы плитами из пеноплекса, горизонтальные выступают в качестве теплообменников. Средняя температура воды в полости  $25^{\circ}\text{C}$ , что соответствует среднему числу Прандтля  $\text{Pr} = 6,1$ . Заданное значение перепада температуры между теплообменниками  $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$  (нижний теплообменник имеет температуру  $T_1 = 35^{\circ}\text{C}$ , верхний –  $T_2 = 15^{\circ}\text{C}$ ), что соответствует числу Релея  $\text{Ra} = 6,1 \times 10^9$ . Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными, полученными в [33].

Расчеты по пакету программ ЛОГОС выполнялись в нестационарной постановке. Расчет проводился в два этапа: расчет развития турбулентной конвекции, за которым следовал расчет развитой турбулентной конвекции с осреднением расчетных величин. Для аппроксимации конвективных слагаемых используется схема второго порядка точности – CD, для дискретизации по времени использовалась схема второго порядка Адамса-Бешфорта. В расчетах используется равномерная сетка, содержащая  $150 \times 150 \times 150 = 3375000$  ячеек. На рис. 56 представлены средние поля скорости, полученные в эксперименте и в расчетах.



**Рис. 56. Средние поля скорости:**  
эксперимент: *а* – модуль скорости; *б* – векторное поле средней скорости;  
расчет Логос: *в* – модуль скорости; *г* – векторное поле средней скорости

В эксперименте и в расчетах структура средних полей скорости очень близка. Хорошо видно, что в полости возникает крупномасштабный вихрь, соизмеримый с размерами полости. Помимо основного вихря на средних полях существуют вторичные вихри меньшего масштаба, локализованные в противоположных углах кубической полости. Для количественного сравнения были построены проходящие через центр полости при фиксированной координате (125 мм) профили горизонтальной и вертикальной компонент скорости (рис. 57). Оба профиля демонстрируют хорошее совпадение, повторяя не только структуру потока, но и воспроизводя значение скорости в пограничных слоях.



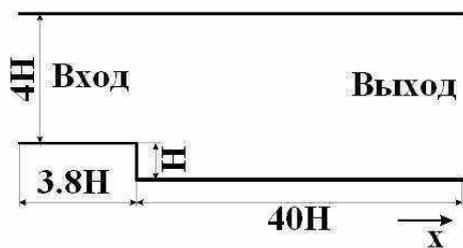
**Рис. 57. Профили средней по времени скорости (синяя линия – расчет; красная штриховая линия – эксперимент):**  
*a* – профиль вертикальной компоненты скорости;  
*б* – профиль горизонтальной компоненты скорости

Для горизонтальной компоненты скорости Среднеквадратичное по профилю отклонение расчета от эксперимента составило 0,17 мм/с. Для вертикальной компоненты скорости аналогичные оценки дают среднеквадратичное отклонение в 0,62 мм/с.

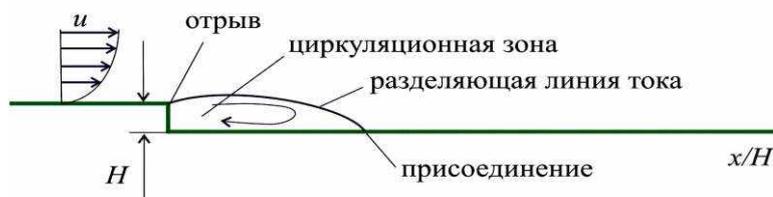
### Течения с теплообменом

#### Задача 18. Течение в канале с обратным подогреваемым уступом

Данный тест является одним из сложнейших в вычислительной гидродинамике. В нем рассматривается течение вязкого несжимаемого газа в канале с расширением в виде обратного уступа и подогреваемой за ним стенкой. Для данной задачи имеются экспериментальные данные, представленные в [34]. Схема геометрии расчётной области представлена на рис. 58. Высота уступа  $H=0,038$  м. На рис. 59 показана схема течения потока за обратным уступом.



**Рис. 58. Схема геометрии расчётной области**



**Рис. 59. Схема течения потока за обратным уступом**

Физика течения содержит обширные отрывные зоны, зону циркуляции потока, состоящую из двух вихрей различных масштабов, зону присоединения большого вихря, зону отрыва большого вихря и другие особенности. Для многих моделей турбулентности данный тест остался недостижимым. Из RANS моделей турбулентности наиболее адекватно это течение описывает модель SST, но все равно имеет проблемы с описанием коэффициента трения. Для моделирования турбулентности необходимо использовать модели, основанные на вихререзающих подходах [9], которые дают более точные результаты.

Для моделирования параметры среды и граничные величины выбираются так, чтобы  $Re=27867$  и  $Pr=0.7$ . Применяются следующие граничные условия. На входной границе задается постоянный расход со скоростью  $U$ . На выходной границе градиенты всех величин предполагаются равными нулю. На внешней границе расчетной области задается условие проскальзывания. На нижней стенке за уступом задан тепловой поток. На боковых стенках задано условие симметрии.

По результатам расчета определяются коэффициент трения  $C_f$  на нижней подогреваемой стенке (канала с расширением в виде уступа) и коэффициент Стантона  $St$ .

Коэффициент трения и число Стантона вычисляются по формулам:

$$C_f = \frac{2\tau_w}{\rho u^2}, \quad St(x) = \frac{\alpha(x)}{u \cdot \rho \cdot C_p},$$

где  $\tau_w$  – сила поверхностного трения;  $\alpha(x) = \frac{\dot{q}}{T_w(x) - T_b}$  – локальный коэффициент теплоотдачи;

$T_b$  – температура потока;  $C_p$  – теплоемкость;  $\dot{q}$  – тепловой поток на подогреваемой стенке;  $T_w$  – расчетная температура на стенке.

Для расчета целесообразно использовать блочно-структурированную сетку со сгущениями (на входе в зону расширения, в области присоединения потока), для которой  $y^+ \sim 1$  (рис. 60). При моделировании по пакету программ ЛОГОС число ячеек сетки составило 18930.

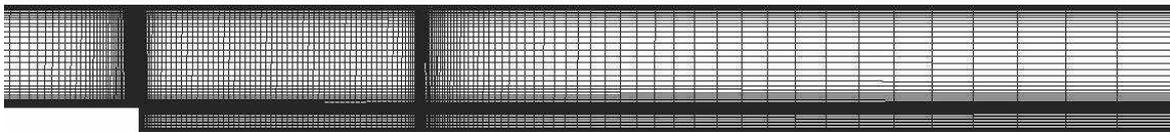


Рис. 60. Сеточная модель

В расчетах по пакету программ ЛОГОС используется модель SST с автоматическим определением ширины пограничного слоя, а также DES модель. Расчет выполнялся в стационарной постановке до сходимости порядка  $10^{-6}$ . Для аппроксимации конвективных слагаемых используется схема первого порядка точности.

На рис. 61 для иллюстрации показано поле распределения скорости, полученное в расчете по пакету ЛОГОС.

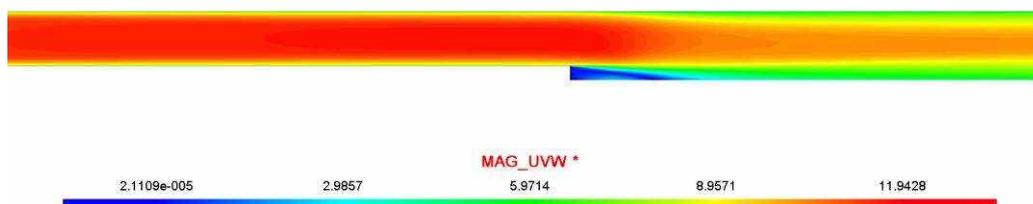


Рис. 61. Поле распределения скорости

Расчет показал формирование за обратным уступом зоны торможения потока, отмечено образование большого 1 и малого 2 вихрей (рис. 62).

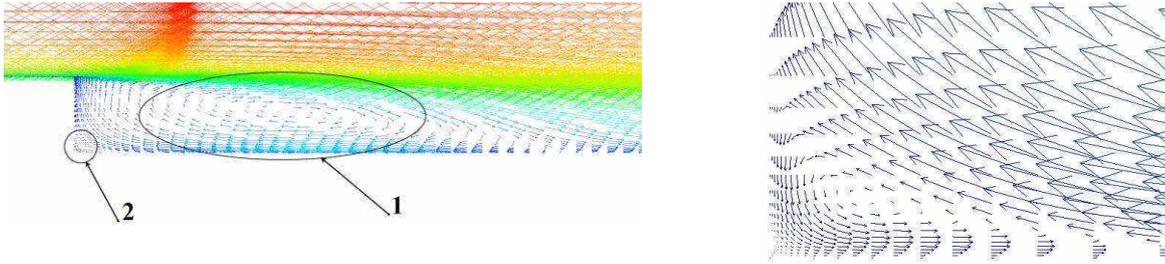


Рис. 62. Течение за обратным уступом

Как и в задаче 7, большой вихрь, в последствие, срывается вниз по потоку. Именно зона «нестационарного» отрыва и является очень проблематичной для моделирования с применением *RANS* моделей. На рис. 63 представлено распределение коэффициентов  $C_f$  и  $St$  расчетное и экспериментальное от нормированного значения  $x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$ .

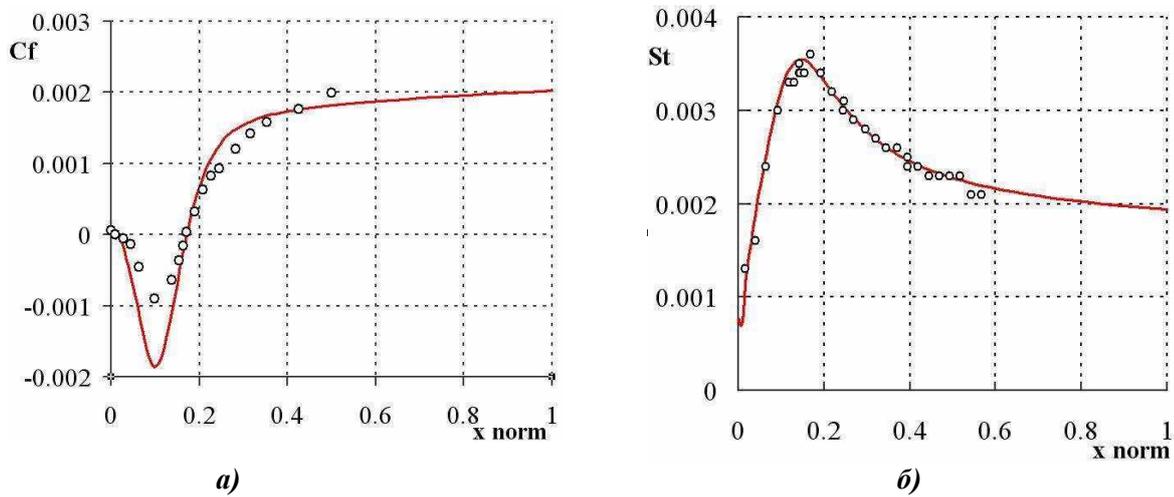


Рис. 63. Распределение коэффициента трения (а) и числа Стантона (б) в сравнении с [34] (сплошная линия расчет по ЛОГОС)

Распределение коэффициента трения (рис. 63, а) показывает существенно заниженные значения вблизи зоны отрыва и эти вычисленные значения с помощью наиболее удачной *RANS* модели турбулентности. Исправить ситуацию позволяет применение гибридной *DES SST* модели. На рис. 64 представлены результаты численного решения данной задачи с помощью *IDDES* модели и сравнение результатов с *SST* моделью [9].

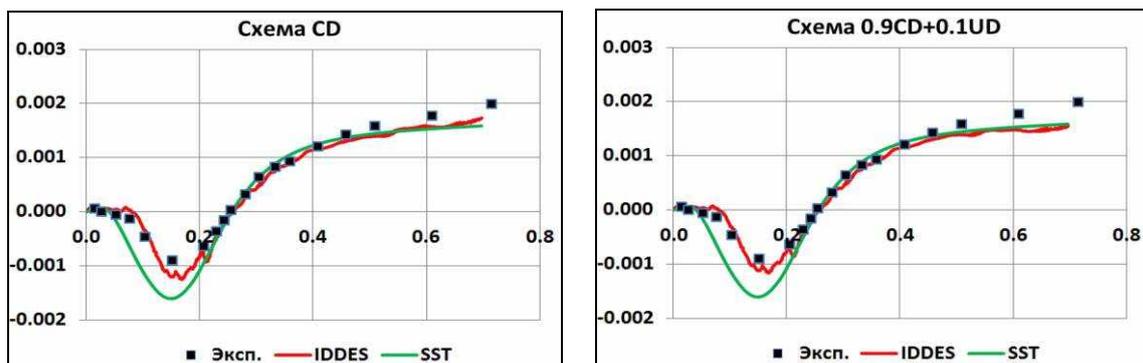


Рис. 64. Сравнение коэффициента трения по моделям *IDDES* и *SST*

Результат на рис. 64 приводится для двух схем – центральноразностной схемы второго порядка  $CD$ , которая является чрезвычайно неустойчивой и в той же схеме, но с добавлением 10% противоточности (наиболее применима на практике). Налицо существенное улучшение результатов моделирования.

Для представленных ранее величин было рассчитано среднеквадратичное отклонение. Для коэффициента трения среднеквадратичное отклонение численного решения от эксперимента составляет  $2.1 \cdot 10^{-5}$ , для числа Стантона  $7.8 \cdot 10^{-5}$ . На основании проведенного анализа полученных результатов, по распределениям коэффициента трения и числа Стантона, можно сделать вывод, что результаты расчета качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными (отклонение точки присоединения не превышает 5%). Аналогичные значения должны получаться и для вновь разработанных программ, подлежащих валидации.

### Задача 19. Охлаждение твердых блоков в плоском канале

Данная задача относится к классу сопряженных. Здесь моделируются два взаимосвязанных физических процесса в различных расчетных областях. В одной области течет жидкость, а в другой – распространяется тепло от данной жидкости.

В данном тесте рассматривается задача охлаждения шести твердых блоков с заданным объемным тепловыделением, установленных в плоском прямоугольном канале, ламинарным потоком воздуха при вынужденной конвекции [35]. Геометрия расчетной области схематично представлена на рис. 65.

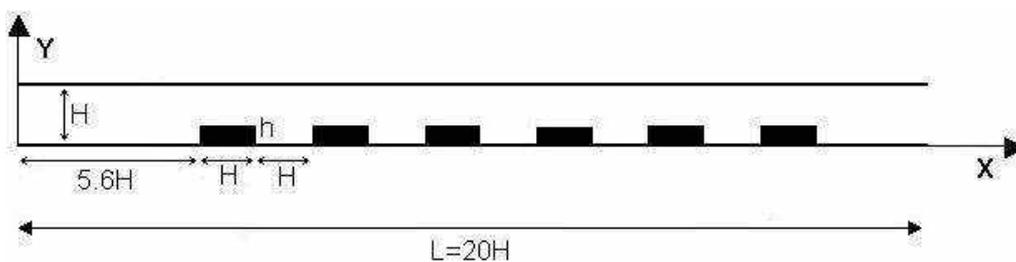


Рис. 65. Схема геометрии расчётной области

Плоский прямоугольный канал имеет высоту  $H = 1$  м и длину  $L = 20H$ . Внутри него, вплотную к нижней стенке, расположены шесть одинаковых твердых блоков длиной  $H$  и высотой  $h = 0.25H$ . Левая грань первого блока находится на расстоянии  $5.6H$  от входа. Промежутки между блоками одинаковы и равны  $H$ . Каждый блок равномерно нагревается объемным источником тепла мощностью  $Q$ . Стенки канала неподвижны, непроницаемы и теплоизолированы. Эффекты плавучести и вязкой диссипации не учитываются. Параметры жидкости выбираются так, чтобы число Рейнольдса  $Re=100$ , а число Прандтля  $Pr=0.7$ .

Для решения задачи применяются следующие граничные условия. На левой стороне канала расположен вход, где задается нулевая температура и единичный вектор скорости, направленный вдоль оси  $X$ . На внешних границах расчетной области задается условие проскальзывания. На правой границе расположен выход. На границах раздела жидкости и твердого тела задается сопряженное ГУ. Внутри твердых блоков задается объемный источник тепла.

В пакете программ ЛОГОС расчет выполнялся в стационарной постановке на расчетной сетке из 4000 ячеек. Для аппроксимации конвективных слагаемых использовалась схема второго порядка точности. Размеры сетки выбираются так, чтобы границы твердых блоков точно совпадали с гранями ячеек.

В табл. 15 представлены параметры жидкости и твердого тела.

Таблица 15

## Параметры жидкости и твердого тела

Параметр	Значение	Размерность
<i>Параметры жидкости</i>		
Плотность жидкости, $\rho_f$	1	кг/м <sup>3</sup>
Молекулярная вязкость $\mu$	0,01	кг/(м·с)
Коэффициент теплопроводности $\lambda$	0,0142857	Вт/(м·К)
Теплоемкость при постоянном давлении $C_p$	1	Дж/(кг·К)
Скорость набегающего потока	1	м/с
<i>Параметры твердого тела</i>		
Плотность твердого тела, $\rho_s$	100	кг/м <sup>3</sup>
Объемный источник тепла $Q$	71,142857	Вт/(м <sup>3</sup> )
Коэффициент теплопроводности $\lambda$	71,142857	Вт/(м·К)
Теплоемкость при постоянном давлении $C_p$	1	Дж/(кг·К)

На рис. 66 приведено поле температуры, полученное по ПК ЛОГОС. Видно, что твердотельные блоки разогреваются за счёт объемного источника тепла. Расположенные ближе к входу блоки имеют меньшую температуру, поскольку обтекаются жидкостью с меньшей температурой. На рис. 67 приведены профили температур вдоль прямой  $Y = 0.1$  м, полученные по ПК ЛОГОС и в работе [35].

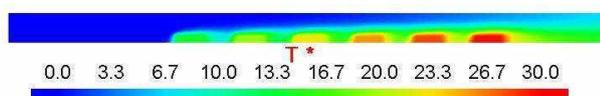


Рис. 66. Поле температур

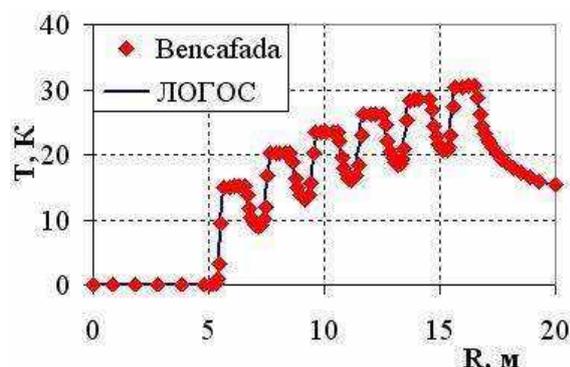


Рис. 67. Сравнение профилей температур вдоль канала

Среднеквадратичное отклонение профиля температур, полученного по ПК ЛОГОС и в эксперименте, составляет 0,053423. Рассчитанная температура в центрах твердотельных блоков отличается от результатов [35] не более чем на один градус, что соответствует относительной погрешности  $\sim 3\%$ . Наблюдается достаточно хорошее качественное и количественное совпадение результатов.

**Задача 20. Вентилируемая квадратная каверна с твердотельным блоком**

Рассматривается вентилируемая квадратная каверна, в центре которой находится квадратный твердотельный блок. Геометрия расчетной области схематично представлена на рис. 68.

Длина стороны каверны равна  $L$ , длина стороны твердотельного блока -  $d$ . Внизу на левой стенке каверны расположен вход размером  $w=0.1L$ , а наверху противоположной стенки находится выход такого же размера. Стенки каверны неподвижны. Верхняя, нижняя и левая вертикальные стенки теплоизолированные, а на правой вертикальной стенке поддерживается постоянная температура  $T_n$ . На входе в каверну задается температура  $T_i$ , скорость входного потока  $u_i$  направлена вдоль оси  $X$ . В данной задаче рассматривается вязкое ламинарное несжимаемое течение без учета вязкой диссипации. Учитывается вынужденная и естественная конвекция в приближении Буссинеска.

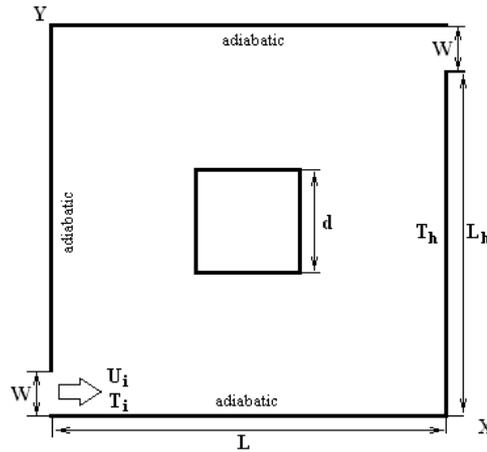


Рис. 68. Геометрия расчетной области

Постановка задачи взята из работы [36], где используется следующее безразмеривание переменных:

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad U = \frac{u}{u_i}, \quad V = \frac{v}{u_i}, \quad P = \frac{p}{\rho u_i^2}, \quad D = \frac{d}{L}, \quad \theta = \frac{T - T_i}{T_h - T_i}, \quad \theta_s = \frac{T_s - T_i}{T_h - T_i}.$$

Здесь  $T$  и  $T_s$  - температура жидкости и твердотельного блока соответственно.

Число Рейнольдса  $Re$ , число Ричардсона  $Ri$ , число Прандтля  $Pr$  и параметр  $K$  определяются следующим образом:

$$Re = \frac{u_i L}{\nu}, \quad Ri = \frac{g \beta (T_h - T_i)}{u_i^2}, \quad Pr = \frac{\nu C_p}{k}, \quad K = \frac{k_s}{k},$$

где  $k_s$  и  $k$  - коэффициенты теплопроводности твердого тела и жидкости соответственно. Параметры жидкости выбирались таким образом, чтобы обеспечить значения чисел  $Re=100$ ,  $Pr=0.71$  и  $K=5$ , указанные в работе [36]. Расчетная сетка регулярная ортогональная и равномерная, содержит  $100 \times 100 \times 1 = 10000$  ячеек.

В расчетах варьируется число Ричардсона  $Ri$  и размер твердотельного блока. Оценивается распределение температуры в жидкости и в твердом теле в сравнении с результатами работы [36], строится график зависимости числа Нуссельта от числа Ричардсона.

На рис. 69 представлены поля температуры, рассчитанные в ПК ЛОГОС при размере блока  $D = 0.4$ , с наложенными на них изолиниями температуры из работы [36]. На рис. 70 представлена аналогичная серия расчетов при  $D = 0.6$ . Видно практически полное совпадение изолиний, что свидетельствует о хорошем согласовании полей температуры.

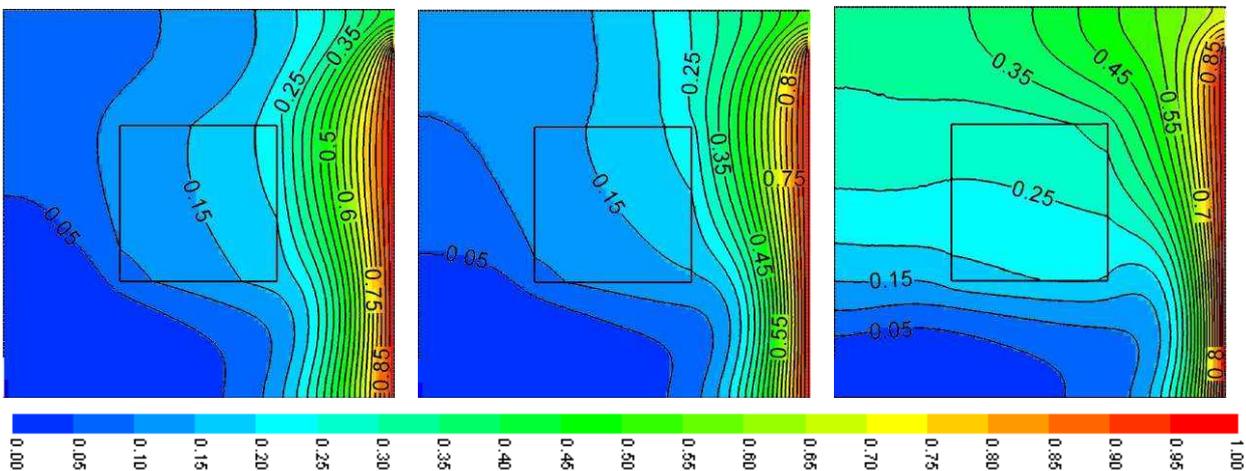


Рис. 69. Рассчитанные поля температуры и изотермы при  $D = 0.4$ ;  $Ri = 0$ ,  $Ri = 1$  и  $Ri = 5$  соответственно  
Цветное поле – расчет ЛОГОС; черные изолинии – [36]

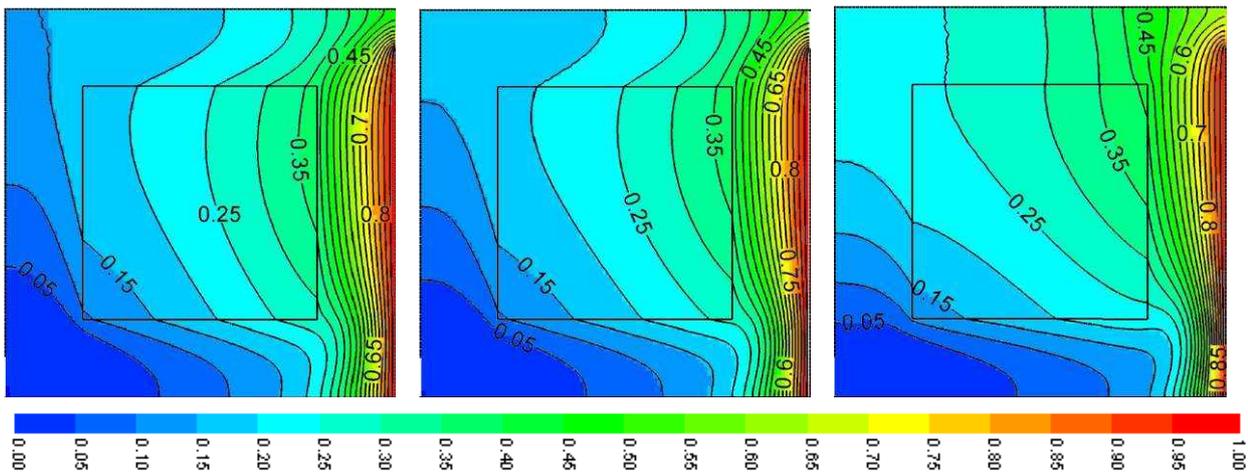


Рис. 70. Рассчитанные поля температуры и изотермы из работы [36] при  $D = 0.6$ ;  $Ri = 0$ ,  $Ri = 1$  и  $Ri = 5$  соответственно  
 Цветное поле – расчет ЛОГОС, черные изолинии – [36]

Для численной оценки полученных результатов расчета проводится оценка числа Нуссельта на горячей стенке в зависимости от числа Ричардсона. Результаты представлены на рис. 71 и в табл. 16 и 17.

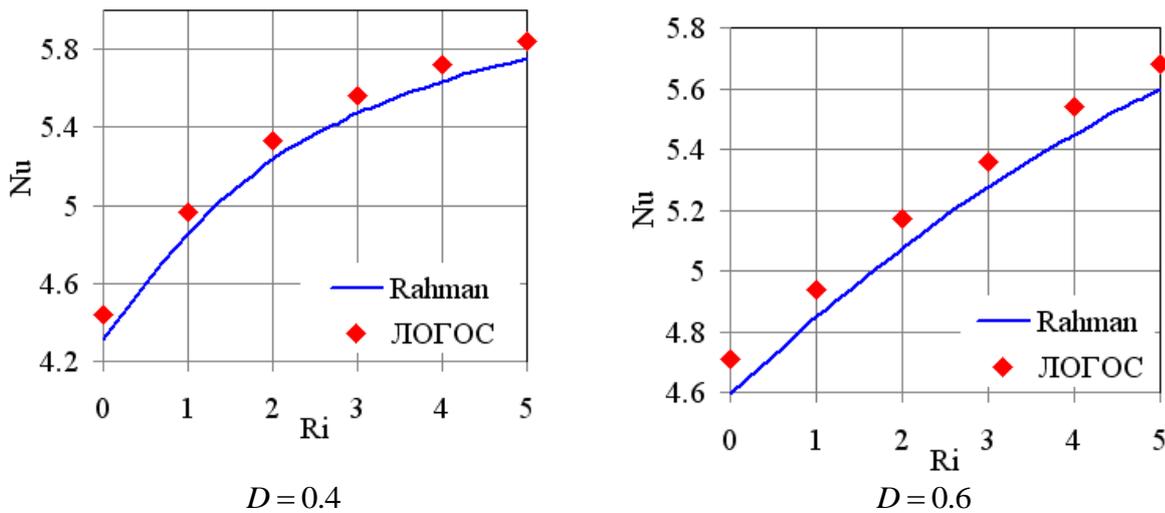


Рис. 71. Зависимость числа Нуссельта от числа Ричардсона

Таблица 16  
 Числа Нуссельта в зависимости от числа Ричардсона,  $D = 0.4$

Ri	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Nu, ЛОГОС	4,44	4,96	5,33	5,56	5,72	5,84
Nu, Rahman	4,3	4,85	5,24	5,47	5,63	5,75
$\delta$ , %	3,3	2,3	1,7	1,6	1,6	1,6

Среднеквадратичное отклонение числа Нуссельта при размере блока  $D = 0.4$  от результатов работы [36] составляет  $\Delta = 0.0462$ .

**Таблица 17**  
**Числа Нуссельта в зависимости**  
**от числа Ричардсона,  $D = 0.6$**

Ri	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Nu, ЛОГОС	4,71	4,94	5,17	5,36	5,54	5,68
Nu, Rahman	4,59	4,84	5,07	5,27	5,44	5,60
$\delta$ , %	2,6	2,1	2,0	1,7	1,8	1,4

Среднеквадратичное отклонение числа Нуссельта при размере блока  $D = 0.6$  от результатов работы [36] составляет  $\Delta = 0.0443$ .

### Заключение

Процесс валидации, в ходе которого определяется степень точности, с которой модель отображает объективную реальность с точки зрения предполагаемого использования, является важным этапом на пути промышленного внедрения разрабатываемых инженерных пакетов программ. Процессу валидации сопутствует калибровка, в ходе которой осуществляется регулирование числовых или физических параметров модели с целью лучшего соответствия экспериментальным данным. Калибровка нацелена на улучшение соответствия результатов вычислений существующим экспериментальным данным.

В отечественной инженерной практике процессы верификации и валидации CFD-программ не стандартизованы и в целях их улучшения и систематизации знаний целесообразно разрабатывать базисы задач валидации, необходимые для оценки и понимания степени погрешности, с которой разрабатываемые модели и прикладные программы отображают физическую реальность того или иного процесса.

Оценка погрешности решения осуществляется путем выполнения проверки на непротиворечивость решения, правильности описания физики процессов, анализа выполнения законов сохранения массы, импульса и энергии. Для особых полей течения могут быть заданы специализированные условия, что предполагает дополнительную валидацию программы, поскольку такие условия обычно являются результатом неких аналитических или численных исследований.

В настоящей работе представлен минимальный базис задач, необходимый для валидации программ (или модулей в составе пакета программ), моделирующих турбулентные течения вязкой несжимаемой жидкости. Проведена систематизация и обобщение задач из многочисленных источников, позволяющая разработчику сконцентрироваться на вычислении погрешности моделирования, а не на поиске достоверных данных для валидации.

### Библиографический список

1. AIAA, "Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations", AIAA G-077-1998, 1998.
2. **Аксенова, Е.Н.** Элементарные способы оценки погрешностей результатов прямых и косвенных измерений: учеб. пособие / Е.Н. Аксенова. – М.: Изд. МИФИ, 2003. – 16 с.
3. **Ландау, Д.** Гидродинамика / Д. Ландау, В.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988.
4. **Козелков, А.С.** Реализация метода расчета вязкой несжимаемой жидкости с использованием многосеточного метода на основе алгоритма SIMPLE в пакете программ ЛОГОС, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» / А.С. Козелков [и др.] // Журнал ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2013. Вып. 4. С. 44–56.
5. **Голубев, А.А.** Пакет программ ЛОГОС. Алгебраический многосеточный метод решения СЛАУ для задач гидродинамики / А.А. Голубев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.
6. **Швыдкий, В. С.** Механика жидкости и газа / В. С. Швыдкий, Ю. Г. Ярошенко. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 464 с.
7. **Шлихтинг, Г.** Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974.

8. **Идельчик, И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992.
9. **Козелков, А.С.** Моделирование турбулентных течений вязкой несжимаемой жидкости на неструктурированных сетках с использованием модели отсоединенных вихрей / А.С. Козелков [и др.] // Матем. моделирование. 2014. 26:8 С. 81–96.
10. **Ghia, U.** High-Re Solution for Incompressible Flow Using the Navier-Stokes Equations and a Multigrid Method / U. Ghia, K.N. Ghia, C.T. Shin // J. Comp. Phys. 1982. V. 48.
11. **Stokes, G.G.** Cambr. Trans. 1851. IX.
12. **Mozer, D. & Mansour N. N.** DNS of Turbulent Channel Flow / D. Mozer, J. Kim // Phys. Fluids. 1999. V. 11. P. 943–945.
13. **Ferziger, J.H.** Computational Method for Fluid Dynamics / J.H. Ferziger, M. Peric // Springer-Verlag, New York, 2002.
14. **Spalart, P.R.** Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach / P.R. Spalart [et al.] // Proceedings of first AFOSR international conference on DND/LES, 1997.
15. **Spalart, P. R.** Strategies for turbulence modeling and simulations // Heat Fluid Flow. 2000. V. 21. P. 252–263.
16. **Travin, A.** Physical and numerical upgrades in the detached-eddy simulation of complex turbulent flows / A. Travin [et al.] // Proceedings of Euromech Coll. Les of complex transitional and turbulent flows, Munich, Germany. Kluwer, Dordrecht. 2002. V. 65. P. 239–254.
17. **Spalart, P. R.** A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows. AIAA-92-0439.
18. **Menter, F.R.** Two-equation eddy viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA J. 1994. 32. № 11. P. 1299–1310.
19. **Menter, F.R.** Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model. Turbulence, Heat and Mass Transfer 4. Ed by K.Hanjalic, Y.Nagano, M.Tummers. Begell House Inc, 2003.
20. **Бойко, А.В.** Блок расчета положения ламинарно-турбулентного перехода для пакета программ ЛОГОС / А.В. Бойко [и др.] // Теплофизика и аэромеханика 2014. Т. 21. №2. С. 201–220.
21. **Лойцянский, Л.Г.** Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М., 1950.
22. База данных ERCOFTAG, тест 13 Source web site: ERCOFTAC Classic Database\_Sudden Pipe Expansion (Experiments by Szczepura).
23. **Iaccarino, G.** Prediction of the turbulent flow in a diffuser with commercial CFD codes. Center for Turbulence Research, Annual Research Briefs 2000. P. 271–278.
24. База данных ERCOFTAG, тест 80 Source web site: ERCOFTAC Classic Database\_Steady Flow Past Tube Bundles (Experiments by S. Balabani).
25. **Волков, К.Н.** Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов. – М.: Физматлит, 2008.
26. **Jasak, H.** Error Analysis and Estimation for the finite volume method with applications to fluid flows. Thesis submitted for the degree of doctor // Department of Mechanical Engineering, Imperial College of Science, 1996.
27. **Leonard, B.P.** A stable and accurate convective modeling procedure based on quadratic upstream interpolation // Comput. Methods Appl. Mech/Eng. 1979. V. 19. P. 59–98.
28. **Gaskell, P.H.** Curvature-compensated convective-transport - SMART, A new boundedness-preserving transport algorithm // Int. J. Numer. Methods Fluids, 1988. V. 8. P. 617–641.
29. **Jasak, H.** High resolution NVD differencing scheme for arbitrarily unstructured meshes / H. Jasak, H.G. Weller, A.D. Gosman // International journal for numerical methods in fluids, 1999. V. 31. P. 431–449.
30. **Comte-Bellot, G.** Simple Eulerian time correlation of full- and narrowband velocity signals in grid-generated “isotropic” turbulence / G. Comte-Bellot, S. Corrsin // Journal of Fluid Mechanics. 1971. V. 48. P. 273–337.
31. **Barakos, G.** Natural convection flow in a square cavity revisited: laminar and turbulent models with wall functions / G. Barakos, E. Mitsoulis // Int. J. Numer. Methods Fluids. 1994. V. 18.
32. **Wan, D.C.** A new benchmark quality solution for the buoyancy-driven cavity by discrete singular convolution / D.C. Wan, B.S. Patnaik, G.W. Wei // Numerical Heat Transfer, Part B, 40. 2001. P. 199–228.
33. **Васильев, А.Ю.** Инверсии крупномасштабной циркуляции при турбулентной конверсии в прямоугольных полостях / А.Ю. Васильев, П.Г. Фрик // Письма в ЖЭТФ. Т. 93. Вып. 6. С. 363–367.

34. **Vogel, J.C.** Combined Heat Transfer and Fluid Dynamic Measurements Downstream of a Backward-Facing Step / J.C. Vogel, J.K. Eaton // *Journal of Heat Transfer*. 1985. V. 107. C. 922–929.
35. **Bilgen, E.** Conjugate heat transfer in enclosures with openings for ventilation / E. Bilgen, T. Yamane // *Heat and Mass Transfer* 40. 2004. P. 401–411.
36. **Rahman, Md.M.** Chowdhury, Effect of the presence of a heat conducting horizontal square block on mixed convection inside a vented square cavity / Md.M. Rahman [et al.] // *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*. 2009. V. 14. № 4. P 531–548.
37. **Roache, P.J.** Editorial Policy Statement on the Control of Numerical Accuracy / P.J. Roache [et al.] // *ASME Journal of Fluids Engineering*. T. 108. 1986. № 1. C. 2.

*Дата поступления  
в редакцию 08.10.2014*

**A.S. Kozelkov<sup>1,2</sup>, Yu.N. Deryugin<sup>1</sup>, Yu.A. Tsibereva<sup>1</sup>, A.V. Kornev<sup>3</sup>, O.V. Denisova<sup>1</sup>,  
D.Yu. Strelets<sup>3</sup>, A.A. Kurkin<sup>2</sup>, V.V. Kurulin<sup>1</sup>, I.L. Sharipova<sup>1</sup>, D.P. Rubtsova<sup>1</sup>,  
M.A. Legchanov<sup>2</sup>, E.S. Tyatyushkina<sup>1</sup>, S.V. Lashkin<sup>1</sup>, A.V. Yalozo<sup>1</sup>, S.V. Yatsevich<sup>1</sup>,  
N.V. Tarasova<sup>1</sup>, R.R. Giniyatullin<sup>1</sup>, M.A. Sizova<sup>1</sup>, O.L. Krutyakova<sup>1</sup>**

### **MINIMAL BASIS TASKS FOR VALIDATION OF METHODS OF NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT FLOWS OF INCOMPRESSIBLE VISCOUS FLUIDS**

FSUE «RFNC – VNIIEF»<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>,  
JSC "Sukhoi Company"<sup>3</sup>

**Purpose:** In this paper the validation process, which is an important step towards the industrial application of engineering software packages is discussed.

**Method:** The study is based on physico-mathematical and numerical models designed to simulate the turbulent flow of a viscous incompressible fluid.

**Results:** In order to improve and systematize the knowledge in this paper a basis of validation tasks required to assess the accuracy of the simulation software solutions designed for the simulation of turbulent flows of incompressible viscous fluid are developed. Held its systematization and generalization.

**Application domain:** Presented results allow the developer of engineering software packages focus on the computation of error modeling, rather than searching for reliable data.

*Key words:* validation, engineering software packages, turbulent flow, viscous incompressible fluid, numerical simulation.

# ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.816

Н.Е. Пособилов, Е.А. Борзая

## О МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РЕФЛЕКСИВНЫХ ИГРАХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Современное состояние теоретико-игровых моделей рефлексивного принятия решений не исключает появление бесконечной структуры информированности агентов, однако следует уйти от бесконечных данных и вычисления, структура и итоги станут прозрачны.

**Методология/подход:** Большинство концепций равновесия, используемых в теории игр, основываются на том, что параметры игры являются общим знанием, т.е. известны всем игрокам (агентам), всем агентам известно, что это всем известно и т.д. до бесконечности. В общем же случае агенты могут иметь различные представления о представлениях друг друга, что приводит к бесконечной (рефлексивной) структуре информированности.

**Результаты:** В рамках описанной модели появляется возможность исследования зависимости информационного равновесия и выигрышей агентов от их информированности. Кроме того, можно ставить и решать задачи информационного управления, имея зависимость информационного равновесия от структуры информированности, при которой управляемые субъекты оказываются в требуемом равновесии.

**Применение:** Для этого случая целесообразно использование концепции информационного равновесия.

*Ключевые слова:* рефлексия, общее знание, агент, концепция связанного равновесия, информационное равновесие, фантомный агент.

### Введение

Теоретико-игровые модели в настоящее время широко применяются для описания социально-экономических систем. Многообразие отношений в таких системах обуславливает и многообразие постановок игровых задач. В данной работе обсуждается информационный аспект принятия решений в конфликтной ситуации и, в частности, влияние взаимной информированности на действия агентов, в частности, их выигрыши [1].

Одними из конструктивных задач коллективного поведения и теории игр, является моделирование и оценка стратегии поведения агентов. Однако следует отметить, что для модели необходимо проанализировать как можно больше факторов, влияющих на «игру» агентов. Взаимодействие любого количества агентов можно моделировать некоторой игрой в теоретико-игровом смысле [2, 3]. Пусть взаимодействие агентов представлено в виде такой игры в нормальной форме:

$$\Gamma = \langle \{X_i\}, \{F_i\} \rangle, \quad (1)$$

где  $X_i$  – множество допустимых действий  $i$ -го игрока, а  $F_i$  – его целевая функция. Назовем множества  $X_i$  и  $F_i$  – атрибутами  $i$ -го игрока.

В этой игре не учтена структура стратегической рефлексии. Чтобы учесть влияние стратегической рефлексии, мы должны расширить множество атрибутов каждого игрока. Добавим правила принятия им решения в условиях неопределенности  $D_i$  и множество игроков, чей набор атрибутов ему точно известен  $S_i$ . Таким образом, множество атрибутов  $A_i$   $i$ -го игрока можно записать в виде

$$A_i = \{X_i, F_i, D_i, S_i\}. \quad (2)$$

Если агентов несколько (ситуация принятия решения является интерактивной), то в целевую функцию каждого агента входят действия других агентов, т.е. эти действия являются частью природной реальности (хотя сами они, разумеется, обусловлены рефлексивной реальностью). При этом рефлексия (и, следовательно, исследования рефлексивной реальности) становится необходимой.

Традиционно в теории некооперативных игр предполагается, что агенты выбирают свои действия одновременно и независимо, а информация об игре  $\Gamma_0$  является общим знанием (*common knowledge* [2-7]), т.е. каждому агенту известен набор участников игры все целевые функции и допустимые множества, а также известно, что это известно остальным агентам и им известно также о его информированности и т.д. до бесконечности. Можно сделать вывод, что все агенты знают условия игры и интересы участников.

Для выбора действия в какой-либо ситуации каждый агент должен смоделировать действия других агентов, чтобы самому выбрать действие, максимизирующее целевую функцию (предположение о том, что агент, выбирая свое действие, пытается максимизировать целевую функцию с учетом всей имеющейся у него информации, называется гипотезой рационального поведения [2]). Это моделирование агентом хода мысли других агентов называется *рефлексией* [4-6]. Под термином рефлексии подразумевается – процесс и результат размышлений агента, а также представлений о реальности, принципах принятия решений, авторефлексии и т.д. других субъектов. И здесь весьма существенную роль играет информированность агентов. Размышления агента о выборе своего действия включают в себя стратегическую рефлексию – какие действия выберут остальные? Размышления такого рода могут быть различными, соответственно исход игры будет не одинаков. В настоящей работе мы будем исходить из наиболее распространенной на сегодняшний день концепции решения игры – равновесия Нэша. Равновесие Нэша – это ситуация, в которой каждый агент выбирает наилучшее для себя действие при фиксированных действиях остальных (или, иначе говоря, ситуация, в которой никто не может увеличить свой выигрыш, выбрав в одностороннем порядке другое действие). Более строго: вектор действий  $(x_1^*, \dots, x_n^*)$  называется равновесным по Нэшу, если

$$\forall i \in N x_i^* \in \text{Arg max}_{x_i \in X_i} f_i(x_1^*, \dots, x_{i-1}^*, x_i^*, x_{i+1}^*, \dots, x_n^*). \quad (3)$$

Как правило, предполагается, что все параметры игры являются общим знанием, т.е. каждому агенту известны все параметры игры, а также то, что это известно всем агентам, и т.д. до бесконечности. Такое предположение соответствует объективному описанию игры и дает возможность использовать концепцию равновесия Нэша.

Отметим, что в настоящее время существует ряд моделей, в которых стратегическая рефлексия является более сложной, чем в игре в нормальной форме  $\Gamma_0$  (в том числе стратегическая рефлексия в биматричных играх). Среди них: иерархические игры [8], информационные расширения игр [9, 10], концепции связанного равновесия (*correlated equilibrium*) [3] и решения в угрозах-контругрозах [11]. Тем не менее во всех этих моделях условия игры являются общим знанием. В отличие от перечисленных ранее моделей стратегической рефлексии в настоящей работе рассматривается модель, в которой не все параметры игры являются общим знанием. Для описания этой модели предположим, что выигрыши агентов зависят не только от их действий, но и от некоторого параметра  $\theta \in \Omega$  («состояния природы»), значение которого не является общим знанием, т.е. целевая функция  $i$ -го агента имеет вид

$$f_i(\theta, x_1, \dots, x_n), i \in N. \quad (4)$$

Тогда стратегической рефлексии логически предшествует информационная рефлексия – размышления агента о том, что каждый агент знает (предполагает) о параметре  $\theta$ , а также

о предположениях (представлениях) других агентов и пр. Тем самым мы приходим к понятию структуры информированности агента, отражающей его информированность о неизвестном параметре, о представлениях других агентов и т.д.

### Информационное равновесие

Главной особенностью «классического» равновесия Нэша является его самоподдерживающийся характер – если игра повторяется несколько раз, и все игроки, кроме  $i$ -го, выбирают одни и те же равновесные действия, то и  $i$ -му нет смысла отклоняться от своего равновесного действия. Это обстоятельство очевидным образом связано с тем, что представления всех игроков о реальности являются адекватными.

В случае информационного равновесия ситуация может быть иной. Действительно, в результате однократного разыгрывания игры может оказаться, что какие-то из игроков (а может быть и все) наблюдают не тот результат, на который они рассчитывали. Это может быть связано как с неверным представлением о состоянии природы, так и с неадекватной информированностью о представлениях оппонентов. В любом случае, самоподдерживающийся характер равновесия нарушается, если игра повторяется во второй раз, действия игроков могут измениться.

Однако в некоторых случаях самоподдерживающийся характер равновесия может иметь место и при различных (и даже неверных) представлениях агентов. Говоря неформально, это происходит тогда, когда каждый агент (как реальный, так и фантомный) наблюдает тот результат игры, которого ожидает. Фантомные агенты – существующие в сознании других реальных или фантомных агентов представления о соответствующем оппоненте.

Рассмотрим пример.

Пусть в рефлексивной биматричной игре, где  $\Omega = \{1,2\}$ , выигрыши заданы биматрицами (агент 1 выбирает строку, агент 2 – столбец, т.е.  $X_1 = X_2 = \{1,2\}$ ) в приведенной далее формуле, и при этом второй агент считает общим знанием  $\theta = 2$ , а первый агент знает реальное состояние природы  $\theta = 1$  и адекватно информирован о втором. Иными словами,  $\theta = \theta_1 = 1, \theta_2 = \theta_{21} = 2$ :

$$\begin{matrix} & \theta = 1 & \theta = 2 \\ \begin{pmatrix} (1,1) & (0,0) \\ (0,1) & (2,0) \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (0,1) & (1,2) \\ (1,1) & (2,2) \end{pmatrix} & \end{matrix} \quad (5)$$

Пусть далее каждый агент наблюдает свой выигрыш (и это является общим знанием). Для рассматриваемого примера граф рефлексивной игры имеет следующий вид:  $1 \leftarrow 2 \leftrightarrow 21$ .

Ясно, что информационным равновесием считается набор  $x_1 = x_2 = x_{21} = 2$ , т. е. первый и второй агенты, а также 21-агент (первый агент в представлении второго) выбирают вторые действия. Однако реальное состояние природы  $\theta = 1$  становится известным второму агенту после розыгрыша игры (и получения им выигрыша 0 вместо ожидаемого 2). Поэтому в следующий раз второй агент выберет действие  $x_2 = 1$ , что побуждает и первого агента изменить свое действие (выбрать  $x_1 = 1$ ).

Таким образом, для стабильности равновесия необходимо, чтобы и  $ij$ -агент,  $i, j \in N$ , наблюдал «нужную» величину. Функцию  $w_i(\bullet)$  будем называть функцией наблюдения  $i$ -го агента. Будем считать, что функции наблюдения являются общим знанием среди агентов. Он ожидает в результате игры пронаблюдать

$$w_j(\theta_{ij}, x_{ij1}, \dots, x_{ijj-1}, x_{ij}, x_{ijj+1}, \dots, x_{ijn}). \quad (6)$$

На самом же деле (т. е.  $i$ -субъективно, ведь  $ij$ -агент существует в сознании  $i$ -агента) он наблюдает величину

$$w_j(\theta_i, x_{j1}, \dots, x_{ji-1}, x_{ji}, x_{ji+1}, \dots, x_{jn}). \quad (7)$$

Поэтому требование стабильности для  $ij$ -агента означает совпадение величин (6) и (7).

Информационное равновесие, не являющееся стабильным, будем называть нестабильным. В частности, информационное равновесие в примере является нестабильным.

### Заключение

Таким образом, рефлексивные игры позволяют описывать интерактивное взаимодействие агентов, которые принимают решения на основе иерархии своих представлений о существенных параметрах, представлениях других агентов и т.д. Ключевыми понятиями являются следующие:

*Фантомный агент* – существующий в представлении реального или другого фантомного агента и наделяемый в рамках этих представлений определенной информированностью;

*Информационная структура* – бесконечное дерево, отражающее взаимную информированность агентов (реальных и фантомных);

*Информационное равновесие* – равновесие рефлексивной игры (т.е. обобщение равновесия Нэша на случай некооперативной игры реальных и фантомных агентов при заданной структуре информированности);

*Стабильное информационное равновесие*, в котором каждый агент (как реальный, так и фантомный) наблюдает тот результат игры, которого ожидает.

В рамках описанной модели появляется возможность исследования зависимости информационного равновесия и выигрышей агентов от их информированности (в том числе – рангов рефлексии) и в том числе определения максимального целесообразного в той или иной ситуации ранга рефлексии.

Кроме того, можно ставить и решать задачи информационного управления, имея зависимость информационного равновесия от структуры информированности, при которой управляемые субъекты оказываются в требуемом равновесии.

Перечисленное ранее относится к уже полученным результатам, которые не следует считать исчерпывающими. В качестве перспективных направлений дальнейших исследований необходимо, в первую очередь, выделить изучение динамических и иерархических рефлексивных игр, а также рассмотрение структур информированности, в которых информация описывается множеством возможных значений неопределенного параметра, или распределением вероятностей, или функцией принадлежности и т.д. В заключение стоит отметить, что имеющиеся на сегодняшний день результаты теоретического исследования моделей рефлексивного принятия решений уже находят широкое применение при разработке прикладных моделей [5, 6, 19].

### Библиографический список

1. **Новиков, Д.А.** Модели рефлексивного принятия решений / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили // Проблемы управления. 2004. № 4. С. 62–70
2. **Губко, М.В.** Теория игр в управлении организационными системами / М.В. Губко, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2002.
3. **Myerson, R.B.** Game theory: analysis of conflict / R.B. Myerson. – London: Harvard Univ. Press, 1991.
4. **Лефевр, В.А.** Конфликтующие структуры / В.А. Лефевр. – М.: Радио и связь, 1967.
5. **Новиков, Д.А.** Рефлексивные игры / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: СИНТЕГ, 2003.
6. **Новиков, Д.А.** Активный прогноз / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: ИПУ РАН, 2002.
7. **Aumann, R.J.** Incomplete information / R.J. Aumann, A. Heifetz // Handbook of Game Theory. V. III. Chapter 43. Amsterdam: Elseiver (forthcoming).
8. **Гермейер, Ю.Б.** Игры с противоположными интересами / Ю.Б. Гермейер. – М.: Наука, 1976.

9. **Кукушкин, Н.С.** Теория неантагонистических игр / Н.С. Кукушкин, В.В. Морозов. – М.: Изд-во МГУ, 1984.
10. **Aumann, R.J.** The bargaining set for cooperative games / M. Dresher, L.S. Shapley, and A.W. Tucker, R.J. Aumann, M. Mashler // *Advances in Game Theory*. Princeton: Princeton University Press, 1964. P. 443–447.
11. **Новиков, Д.А.** Прикладные модели информационного управления / Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. – М.: ИПУ РАН, 2004.

*Дата поступления  
в редакцию 03.10.2014*

**N.E. Posobilov, E.A. Borzaya**

## **MODEL DECISION REFLEXIVE GAMES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Objective:** The current state of game-theoretic models of reflexive decision-making does not preclude the appearance of infinite structure awareness agents, but should leave the endless data and calculations, the structure and the outcome will be transparent.

**Methodology / Approach:** Most of equilibrium concepts, used in the game theory, require that the parameters of the game are common knowledge – all agents know it, all agents know that all agents know it and so on ad infinitum. In the general case the agents have different beliefs about beliefs of each other, thus an infinite (reflexive) belief structure appears.

**Results:** Within the framework of the model described above it is possible to investigate the dependence of equilibrium and information agents wins from their awareness. In addition, it is possible to formulate and solve the problem of information management with information equilibrium dependence on the structure of awareness, in which subjects are controlled in the desired equilibrium.

**Application:** For this case the concept of informational equilibrium is fruitful.

*Key words:* reflection, general knowledge, agent, correlated equilibrium, informational equilibrium, phantom agent.

---

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

---

УДК 621.001.2(075)

Б.А. Метелёв

### К ВОПРОСУ НОРМАТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приводится систематизация технологической информации, позволяющая разработать строгий алгоритм проектирования технологических процессов механической обработки деталей в машиностроении. Дается уточнение в постановке задач проектирования и выборе основных показателей технологических процессов. Предлагается рассматривать изготовление деталей в соответствии с этапами обработки, унифицировать технологические переходы по точности и качеству обрабатываемых поверхностей. Приводятся нормативные величины основных характеристик поверхностей.

*Ключевые слова:* технологический процесс, показатели процесса, деталь, поверхность, нормативные характеристики, этапы обработки, точность, качество поверхности, производительность, себестоимость.

До настоящего времени методологии проектирования технологических процессов механической обработки деталей в машиностроении не имеется. Технологические процессы составляются по базовым эталонным процессам на основании опыта технологов, а порой интуитивно.

Предлагается для формирования технологических процессов механической обработки деталей разработать методологию нормативного проектирования.

При существующем подходе формирование технологического процесса осуществляется в следующем порядке:

а) выбирается технологическое оборудование, как правило, на основании опыта технолога;

б) формируется название операции по выбранному оборудованию;

в) назначается установ(вы) для обработки детали;

г) указываются позиции обработки детали;

д) расписываются технологические переходы.

Сформированный процесс обладает рядом субъективных качеств. Выбранное оборудование, границы технологической операции, количество установов и позиций, их содержание, количество технологических переходов целиком определяется квалификацией технолога и его опытом.

В предлагаемой методологии формирование технологического процесса осуществляется в несколько другом порядке:

а) назначаются технологические переходы, сгруппированные по плану обработки поверхностей обрабатываемой детали;

б) формируется содержание операции в зависимости от заданного типа производства предполагаемого вида технологического оборудования;

в) устанавливается количество и содержание установов;

г) указывается количество и содержание технологических позиций;

д) выбирается технологическое оборудование по структуре операции, характерной для заданного типа производства и найденного количества и содержания установов и позиций.

Сформированный технологический процесс характеризуется: *во-первых*, четкой определённостью выбора оборудования по найденной структуре операции, и *во-вторых*, строгой последовательностью выполнения технологических операций.

Учитывая огромный информационный материал, накопленный промышленностью и научными исследованиями, технологию машиностроения можно представить состоящей из двух частей: основы технологии машиностроения и собственно технологию машиностроения. При этом информационный материал этих двух частей можно разделить на два уровня.

К первому уровню будем относить область обобщённых технологических знаний для принятия типовых экономически целесообразных решений. Ко второму уровню знаний будем относить область конкретных технологических знаний для принятия рациональных решений при наличии базового решения, полученного на первом уровне.

*Первый уровень* технологических знаний при принятии решений характеризуется учетом:

а) типовых методов по обработке типовых поверхностей, принадлежащих типовым деталям и обрабатываемым на типовом оборудовании;

б) типовой технологической оснастки;

в) основных принципов, правил и общих рекомендаций по назначению оборудования и технологической оснастки.

Принятие решений на первом уровне может быть окончательным, если обеспечивается требуемая точность, качество и производительность обработки. В противном случае решение надо признать предварительным и перейти ко второму уровню.

*Второй уровень* содержит конкретные сведения по технологии машиностроения и характеризуется нахождением возможных рациональных решений, основываясь на решении, принятом на первом уровне, как на базовом.

При нормативном проектировании технологических процессов основные показатели процессов должны рассматриваться в следующем порядке:

а) обеспечение требуемой точности и качества обработки поверхностей детали;

б) обеспечение требуемой производительности обработки;

в) обеспечение минимальной себестоимости обработки.

Указанная последовательность обеспечения основных показателей процесса объясняется необходимостью получения гарантированной точности и качества обрабатываемых поверхностей детали, выполнением определённого количества выпускаемой продукции, требуемой на рынке труда, и получением достаточной прибыли для поддержания производства.

Для обеспечения требуемой точности и качества обрабатываемых поверхностей детали вводится понятие «этапность обработки». Это понятие встречается в литературе, но оно не систематизировано. Чаще встречается понятие «стадия обработки», характеризующаяся обработкой поверхности на конкретном оборудовании конкретным обрабатывающим инструментом при определённых условиях (режимах) обработки без указания получаемой точности и качества.

Этапность обработки характеризует последовательность обработки детали в целом. Для получения требуемой точности и качества обрабатываемых поверхностей деталь проходит ряд этапов.

Этап обработки детали – это стадия её обработки, характеризующаяся определённой точностью и качеством обрабатываемых поверхностей.

Можно выделить три группы этапов: основная, отделочная и специальная [2,3]. Самой многочисленной является основная группа. В общем случае можно сформулировать следующие основные этапы обработки детали (табл. 1) [2, 3].

Основной характеристикой этапа обработки предполагается считать определённую точность всех обрабатываемых поверхностей в этапе, выраженную качеством (ИТ). Если

каждый этап обработки детали выполняется на отдельном оборудовании, то его точность должна соответствовать точности выполняемого этапа (табл. 1).

При наличии на поверхностях детали излишнего металла (напуска) по сравнению с расчётными величинами (припусками) возможно появление обдирочной обработки, которую выделяют в отдельный этап, называемый обдирочным. Этот этап появляется в случае необходимости и может быть установлен расчётным путём. Обдирочный этап не является проектным и поэтому не включён в табл. 1.

Таблица 1

Основные этапы обработки

Этапы обработки детали	Обозначение этапа	Точность обрабатываемых поверхностей, IT	Класс точности применяемого оборудования
Черновой	$\mathcal{E}_{чр}$	12...13	Н
Получистовой	$\mathcal{E}_{пч}$	11	Н
Чистовой	$\mathcal{E}_{ч}$	9...10	Н
Повышенной точности	$\mathcal{E}_{п}$	7...8	П
Высокой точности	$\mathcal{E}_{в}$	6	В
Особо высокой точности	$\mathcal{E}_{ов}$	5	А

Выявление этапов основной группы и отнесение к ним обрабатываемых поверхностей необходимо проводить в соответствии с характеристиками этих поверхностей:  $T_p, T_{рас}, T_{ф}, Ra, Hd, \delta_0$ ,

$T_p$  - точность размера;

$T_{рас}$  - точность расположения поверхности;

$T_{ф}$  - точность формы поверхности;

$Ra$  - шероховатость поверхности;

$Hd$  - упрочнение поверхностного слоя;

$\delta_0$  - остаточные внутренние напряжения в поверхностном слое.

Точность расположения поверхностей  $T_{рас}$  может быть представлена отклонениями по биению ( $T_{б}$ ) для цилиндрических поверхностей и отклонениями от параллельности ( $T_{пар}$ ), а также отклонениями от перпендикулярности ( $T_{пер}$ ) для плоских поверхностей. Для характеристики  $T_{рас}$  следует дополнительно ввести ещё одну разновидность – отклонения положения поверхностей ( $T_{пол}$ ).

Характеристики  $Hd$  и  $\delta_0$  ввиду отсутствия статистической информации по влиянию на точность обрабатываемых поверхностей исключаем из рассмотрения.

Все характеристики поверхностей можно разделить на три группы: основные, неосновные и независимые (табл. 2).

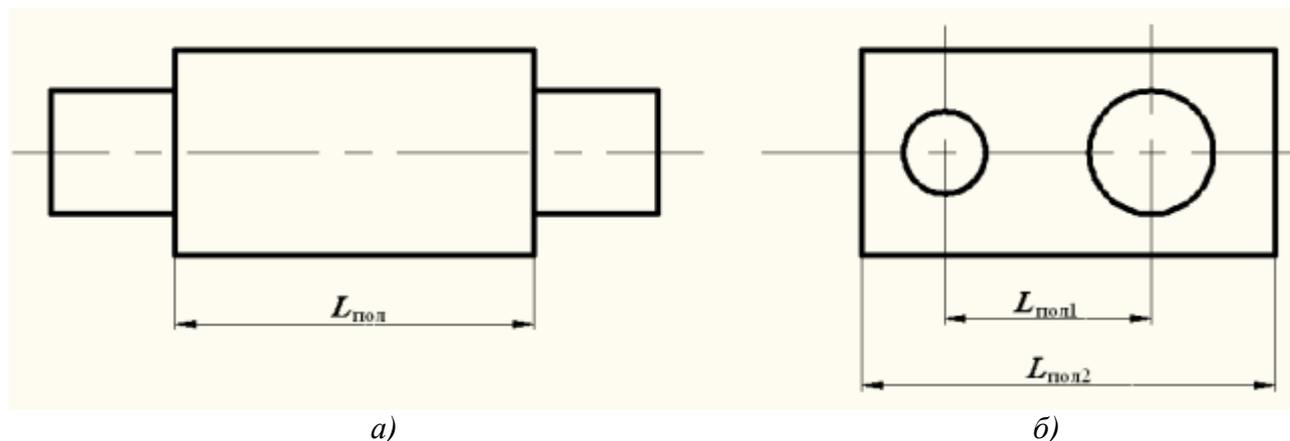
Таблица 2

Характеристики обрабатываемых поверхностей

Основные	Неосновные	Независимые
$T_p, T_{рас} \equiv T_{б}$ $T_{рас} \equiv T_{пар} \equiv T_{пер}$	$Ra$ $T_{ф(○)}$ $Ra$ $T_{ф(□)}$	$T_{рас} \equiv T_{пол}$ (по размеру положения)

Необходимо пояснить характеристику  $T_{пол}$ . Обычно  $T_{пол}$  относится к размеру положения ( $L_{пол}$ ), соединяющему две поверхности или оси, или ось и поверхность. На рис. 1 пред-

ставлены  $L_{\text{пол}}$  для цилиндрической и плоской деталей.



**Рис. 1. Размеры положения для различных деталей:**  
*а* – для цилиндрической; *б* – для плоской детали

Характеристика  $T_{\text{пол}}$  не относится к какой либо поверхности, и её нельзя использовать для оценки точности соединяемых поверхностей.

Существует связь между основными и неосновными характеристиками обрабатываемой поверхности [1, 2]:

$$\begin{aligned}
 T_{\phi(\circ)} &\leq 0,3T_p, \\
 T_{\phi(\square)} &\leq 0,6T_p, \\
 T_{\text{пар}} &\leq 0,6T_p, \\
 T_{\text{пер}} &\leq 0,6T_p, \\
 Ra &\leq 0,05T_p, \\
 T_{\delta} &\leq 0,5T_p, \\
 Ra &\leq 0,1T_{\delta}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Максимальные значения характеристик  $T_{\delta}$ ,  $T_{\text{пар}}$ ,  $T_{\text{пер}}$ ,  $T_{\phi}$  и  $Ra$  следует считать экономически рациональными для соответствующей характеристики  $T_p$ . В дальнейшем эти характеристики будем называть нормативными и обозначать  $T_{\delta_n}$ ,  $T_{\text{пар}_n}$ ,  $T_{\text{пер}_n}$ ,  $T_{\phi_n}$  и  $Ra_n$ .

Поэтому можно записать:

$$\begin{aligned}
 T_{\delta_n} &= 0,5T_p, \\
 Ra_n &= 0,1T_{\delta}, \\
 T_{\phi_n(\circ)} &= 0,3T_p, \\
 T_{\phi_n(\square)} &= 0,6T_p, \\
 T_{\text{пар}_n} &= 0,6T_p, \\
 T_{\text{пер}_n} &= 0,6T_p, \\
 Ra_n &= 0,05T_p.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Нормативные значения указанных характеристик относятся к основным этапам обработки деталей.

Согласно зависимостям (1), можно представить другую группу формул:

$$\begin{aligned} T_{\phi_n(o)} &< 0,3T_p, \\ T_{\phi_n(\square)} &< 0,6T_p, \\ Ra &< 0,05T_p, \\ Ra &< 0,1T_{\phi}. \end{aligned} \quad (3)$$

в которых значения неосновных характеристик относятся к отделочным этапам.

Основные этапы обработки детали определяются по основным характеристикам, в частности, по  $IT$ , в соответствии с табл. 1. Если основной характеристикой поверхности является,  $T_{pac}$ , то по величине этой характеристики оценивается условный квалитет ( $IT_{yc}$ ) и далее по табл.1 выявляется окончательный этап обработки рассматриваемой поверхности.

Как определяется условная точность и условный квалитет ?

Предположим, для торца ступенчатой цилиндрической детали задано торцовое биение  $T_{\phi} = 0.05$  мм, длина торца  $l_y = 30$  мм (цилиндрическая поверхность, смежная с торцом, имеет  $d30$  мм). В соответствии с зависимостями (2) выбираем необходимое соотношение:

$$T_{\phi_n} = 0,5T_{p_{yc}},$$

где  $T_{p_{yc}}$  - условная точность рассматриваемого торца.

Заданное значение торцового биения принимается как нормативное значение  $T_{\phi_n} = 0,05$ мм.

Определяется условная точность торца

$$T_{p_{yc}} = \frac{T_{\phi_n}}{0,5} = \frac{0,05}{0,5} = 0,1 \text{ (мм)}.$$

По таблицам допусков для  $l_y = 30$  мм и допуска, равного  $T_{p_{yc}} = 0,1$  (мм), находится  $IT_{yc}$ , который определяет окончательный этап обработки торца. В данном примере  $IT_{yc}$  соответствует 11 квалитету, т.е. получистовому этапу обработки.

Рассмотрим пример для плоскостной детали. Часто для плоскости детали не указывается точностная характеристика, в этом случае в качестве основной характеристики может быть принята шероховатость поверхности  $Ra$ . Нужно определить точность плоской поверхности, для которой указана только шероховатость  $Ra3,2$ . Длина плоской поверхности  $l=80$  мм. Необходимое соотношение, согласно зависимостям (2), имеет вид

$$Ra_n = 0,05T_{p_{yc}}.$$

Заданное значение шероховатости поверхности принимается как нормативное значение  $Ra3,2$ .

Определяется условная точность плоскости

$$T_{p_{yc}} = \frac{Ra_n}{0,05} = \frac{3,2}{0,05} = 64 \text{ (мкм)}.$$

Длина плоской поверхности принимается как условная,  $l_y = 80$  мм. По таблицам допусков для  $T_{p_{yc}} = 64$  мкм и  $l_y = 80$  мм окончательный этап обработки плоскости соответствует 9 квалитету ( $IT_{yc} 9$ ), т.е. чистовому этапу.

Отделочная группа этапов, как правило, включает в себя один этап. Если для основных этапов основными характеристиками поверхности являются точность выполняемого

размера ( $T_p$ ) или точность расположения поверхностей ( $T_{pac}$ ), то для отделочного этапа основной характеристикой является одна из следующих: поверхность ( $Ra$ ), точность формулы ( $T_\phi$ ) [5]. Характеристики поверхности, формируемые отделочными методами, можно разделить на три группы: основные, неосновные и неизменяющиеся. В табл. 3 приведены характеристики поверхностей, формируемые отделочными методами, на примере абразивной обработки.

Таблица 3

## Характеристики поверхностей, формируемые отделочными методами

Характеристики поверхности			Группы методов	Типовые методы обработки
Основные	Неосновные	Неизменяющиеся		
$T_\phi$	$Ra, Hd, \delta_0$	$T_p, T_{pac}$	Первая	Хонингование, доводка
$Ra$	$Hd, \delta_0$	$T_p, T_{pac}, T_\phi$	Вторая	Полирование, суперфиниширование
$Hd, \delta_0$	$Ra$	$T_p, T_{pac}, T_\phi$	Третья	Упрочняющие методы обработки

Основные характеристики поверхности  $Hd$  и  $\delta_0$ , формируемые третьей группой методов, не нашли своё отражение в результатах исследований. Единственной характеристикой качества поверхности исследователями была принята  $Ra$ .

Выявление окончательного этапа обработки (основного или отделочного) можно провести по характеристикам  $Ra$  и  $T_\phi$ .

Если  $Ra = Ra_n$ ,  $T_\phi = T_{\phi_n}$ , то окончательную обработку следует отнести к основному этапу по характеристике  $T_p$ .

Если  $Ra < Ra_n$ ,  $T_\phi < T_{\phi_n}$ , то окончательную обработку относят к отделочному этапу.

Если  $Ra > Ra_n$ ,  $T_\phi > T_{\phi_n}$ , то шероховатость по чертежу надо считать неправильной и принять  $Ra = Ra_1$ ,  $T_\phi = T_{\phi_n}$ .

При обработке деталей могут иметь место специальные этапы, связанные с немеханической обработкой (термическая обработка, покрытия, специальный контроль), которые могут привести к появлению новых этапов (например, термическая обработка детали с резьбовой поверхностью влечет появление перед ней этапа по защите резьбовой поверхности, например, омеднением, а после термической обработки – этапа по снятию этой защиты).

Таким образом, введение и учёт этапности обработки деталей позволяет:

- определить необходимое количество технологических переходов по обработке всей детали;
- сформировать содержание и последовательность выполнения всех элементов технологического процесса (операций, установов и позиций);
- назначить точность и качество всех выполняемых технологических переходов.

Отделочный этап обработки рекомендуется выполнять последним после любого основного этапа обработки детали. Наиболее целесообразно отделочную обработку производить после чистового этапа.

Специальные этапы обработки детали определяются задачами эксплуатационного назначения. Их содержание и место в технологическом процессе целиком предопределяются производственной практикой.

При нормативном проектировании технологического процесса требуется количественная оценка принимаемых решений. Для выбора рационального технологического ре-

шения необходимо иметь конкретную нормативную характеристику, определяемую исходной задачей проектирования. Это время выполнения технологической операции, которое предопределяется объемом выпуска изготавливаемых изделий. Назовём эту характеристику нормативным временем изготовления изделия (детали) на операции. Формулу определения нормативного времени выполнения операции можно записать

$$t_n = \frac{F \cdot m \cdot 60}{\sum_i^N Q_i},$$

где  $F$  – годовое число часов работы станка в одну смену;  $Q_i$  – объем выпуска детали  $i$ -го наименования;  $N$  – номенклатура деталей;  $m$  – количество рабочих смен.

Таким образом, для вычисления  $t_n$  необходимо знать номенклатуру деталей ( $N$ ) и конкретные объёмы выпуска деталей каждого наименования. Численно величина  $N$  в первом приближении может быть соотнесена с величиной коэффициента закрепления операций ( $K_{30}$ ), который статистически предопределён типом производства. Окончательную величину  $N$  корректируют в зависимости от рациональной величины коэффициента загрузки оборудования.

При нормативном проектировании технологический процесс строится с учетом основного критерия лезвийной обработки – минимизации интенсивности износа режущего инструмента, при котором формируются наименьшие погрешности, минимальные величины шероховатости и упрочнения обрабатываемой поверхности. Любые изменения условий обработки приводят к ухудшению указанных характеристик обрабатываемой поверхности. При необходимости изменения условий обработки детали, влияющих на себестоимость обработки, следует варьировать только двумя исходными факторами – это материалом обрабатываемой детали и материалом режущей части инструмента [2].

Проектирование процесса представляет собой пошаговое решение технологических задач. Минимизация себестоимости обработки начинает формироваться уже с первых шагов. Реализация этапности обработки детали предопределяет количество и последовательность выполнения технологических переходов каждой поверхности [4], группируемых в отдельные совокупности внутри каждого этапа. Затем назначаются экономически целесообразные методы и виды обработки для выполнения каждого технологического перехода.

В каждом этапе для лезвийной обработки для каждой поверхности выполняется один технологический переход определённого вида, реализуемый одним рабочим ходом.

Построение технологического процесса производится с учётом принципа максимальной концентрации всех технологических элементов (операций, установов, позиций, переходов) с учётом предполагаемого технологического оборудования, соответствующего заданному типу производства.

Содержание каждого технологического элемента определяется временем их выполнения, максимально приближающимся к нормативному времени выполнения расчётного элемента ( $t_n$ ). При значительном расхождении указанных времён принимаются решения по проведению соответствующих мероприятий, но не влияющих на оптимальность протекания процесса обработки.

Минимизация себестоимости обработки детали также предопределяется учётом «нормальных производственных условий», основную долю которых составляют типовое исправное оборудование и типовая исправная технологическая оснастка соответствующей точности с типовой схемой установки детали в рабочем приспособлении.

Таким образом, нормативное проектирование технологических процессов механической обработки позволяет объективно и экономически целесообразно назначать:

- последовательность обработки технологических переходов каждой поверхности детали,
- последовательность выполнения технологических операций при обработке детали,
- метод и вид обработки при выполнении каждого технологического перехода,
- точность и качество каждого технологического перехода,
- содержание и количество элементов технологической операции (установов, позиций),
- вид и комплектацию технологического оборудования, его точность,
- нормативное время выполнения каждой операции.

#### **Библиографический список**

1. **Соколовский, А.П.** Основы технологии машиностроения / А.П. Соколовский. – Л-М.: НМК СССР Гос. научно-техн. изд-во машиностр. литературы, 1938. Т. 1. – 680 с.
2. **Метелёв, Б.А.** Основные положения по формированию обработки на металлорежущем станке: учеб. пособие / Б.А. Метелёв; НГТУ. – Нижний Новгород, 1998. – 110 с.
3. **Метелёв, Б.А.** Этапность обработки деталей в машиностроении // Технологические процессы и оборудование машино- и приборостроения: сб. научных трудов / НГТУ. – Н. Новгород, 1995. С. 79–84.
4. **Метелёв, Б.А.** Планы обработки поверхностей деталей машин // Технологические процессы и оборудование машино- и приборостроения: сб. научных трудов / НГТУ. – Н. Новгород, 1995. С. 62–66.
5. **Метелёв, Б.А.** Систематизация отделочных методов обработки поверхностей деталей машин // Наука – производству: современные задачи управления, экономики, технологии и экологии в машино-приборостроении: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Арзамас, 1998. С. 26–29.

*Дата поступления  
в редакцию 03.10.2014*

**В.А. Metelev**

### **REVISITING THE NORMATIVE DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MECHANICAL PROCESSING IN MECHANICAL ENGINEERING**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The systematization of technological information is proposed, allowing to develop strict algorithm for designing of technological processes of mechanical processing in mechanical engineering. The refinement of engineering task definitions and selection of main metrics of technological processes are given. The study suggests to deal with part machining in accordance with stages of processing and to unify machining passes by accuracy and surface quality. The normative values of main surface characteristics are give.

*Key words:* manufacturing process, process indicators, part, detail, surface, normative characteristics, stage of processing, accuracy, surface quality, performance capacity, cost.

# ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 620.179

Д.В. Конури́н, А.И. Сирото́в

## НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ БН-800 НА ЭТАПЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ

ОКБМ им. И.И. Африкантова

Представлено краткое описание корпусов реакторной установки БН-800 и перечислено основное оборудование, устанавливаемое на основной корпус реактора. Приведено краткое описание системы высокотемпературной тензотермометрии корпусов реакторной установки БН-800. Представлены основные данные напряженно-деформированного состояния корпусов реакторной установки, полученные в период монтажных работ. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных с помощью численного и экспериментального методов. Сделаны выводы по результатам работы.

*Ключевые слова:* реакторная установка, тензотермометрия, тензотермосборка, напряженно-деформированное состояние.

Высокая эффективность современных численных методов расчета позволяет решать многие задачи, однако действительные нагрузки, обусловленные сложной геометрией деталей, монтажом оборудования реакторных установок и спецификой их эксплуатации, могут отличаться от теоретически принятых при проектировании [1].

Для определения реальной нагруженности деталей машин большое значение имеют методы экспериментальной механики и, в частности, метод тензотермометрии, который в настоящее время применяется на IV блоке Белоярской АЭС.

Решалась задача исследования прочности основного и страховочного корпусов реакторной установки БН-800 на этапе монтажа основного оборудования. Основной корпус реактора БН-800 представляет собой тонкостенный сосуд (рис. 1), сваренный из листовой стали 10X18H9 и состоит:

- из конической крышки с 10 патрубками и верхним фланцем с толщиной стенки 55 мм;
- цилиндрической части с толщиной стенки 30 мм;
- эллиптического днища с толщиной 34 мм;
- опорного кольца и опорной обечайки с толщиной 50 мм.

Вокруг основного корпуса реактора расположен страховочный корпус (рис. 1), сваренный из стали 09X18H9, который предназначен для локализации протечек теплоносителя при аварийной разгерметизации корпуса.

Исследование напряженно-деформированного состояния корпусов реакторной установки проводилось в период монтажа следующего оборудования:

- главных циркуляционных насосов первого контура;
- промежуточных теплообменников первого контура;
- механизмов системы перегрузки;
- механизмов системы управления и защиты (СУЗ);
- тепловыделяющих сборок (ТВС) и другого оборудования первого контура.



**Рис. 1. Конструктивная схема основного и страховочного корпусов реактора БН-800**

Для определения реальной нагруженности основного и страховочного корпусов реакторной установки БН-800 была разработана система высокотемпературной тензометрии и термометрии (СВТ).

СВТ предназначена:

- для получения информации о напряженно-деформированном и температурном состоянии металла основного и страховочного корпусов реактора;
- верификации на основании полученной экспериментальной информации результатов прочностных расчетов.

В состав СВТ входят:

- тензотермосборки (рис. 2);
- защитные чехлы для каждой тензотермосборки (рис. 3);

- кабельные линии;
- цифровые измерительные усилители MGCplus;
- сервер сбора, хранения и распределения данных измерений на базе персонального компьютера;
- рабочая станция – персональный компьютер;
- линии связи.



Рис. 2. Тензотермосборка СВТ

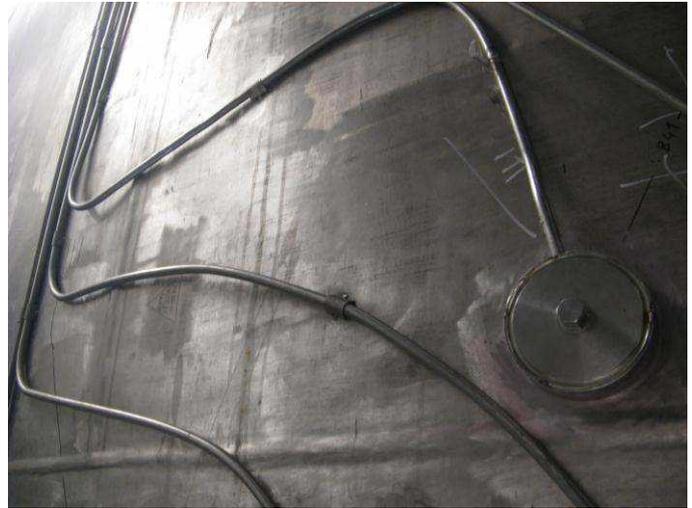
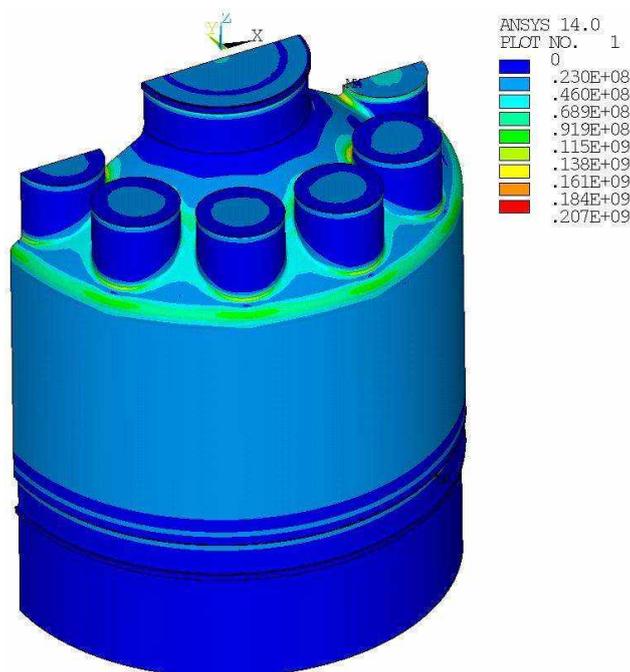


Рис. 3. Защитные чехлы СВТ

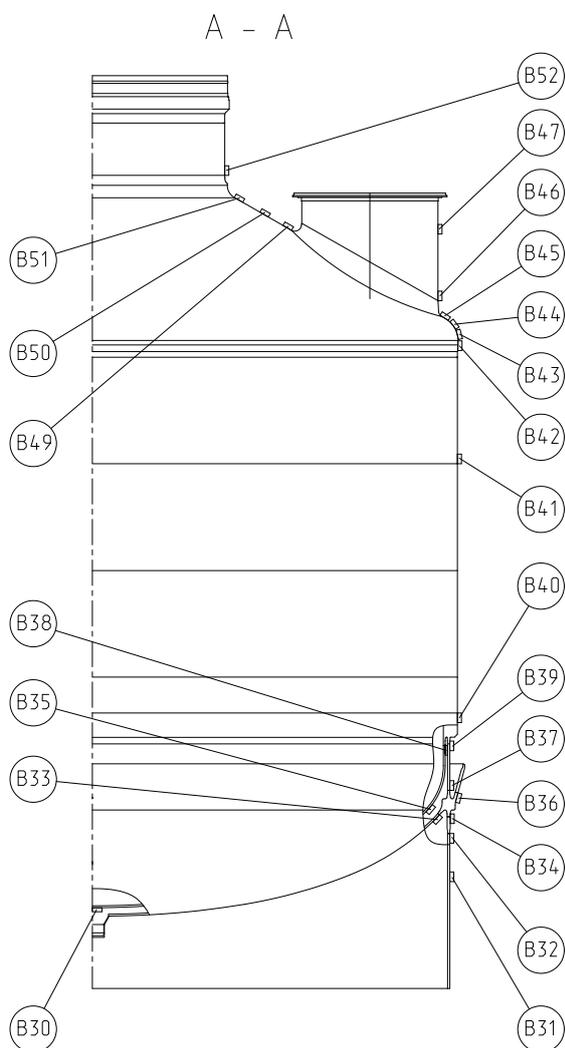


**Рис. 4. Распределение напряжений по Мизесу в корпусе реактора  $\sigma$ , Па.  
Режим гидравлических и пневматических испытаний (давление  $P = 0,12$  МПа)**

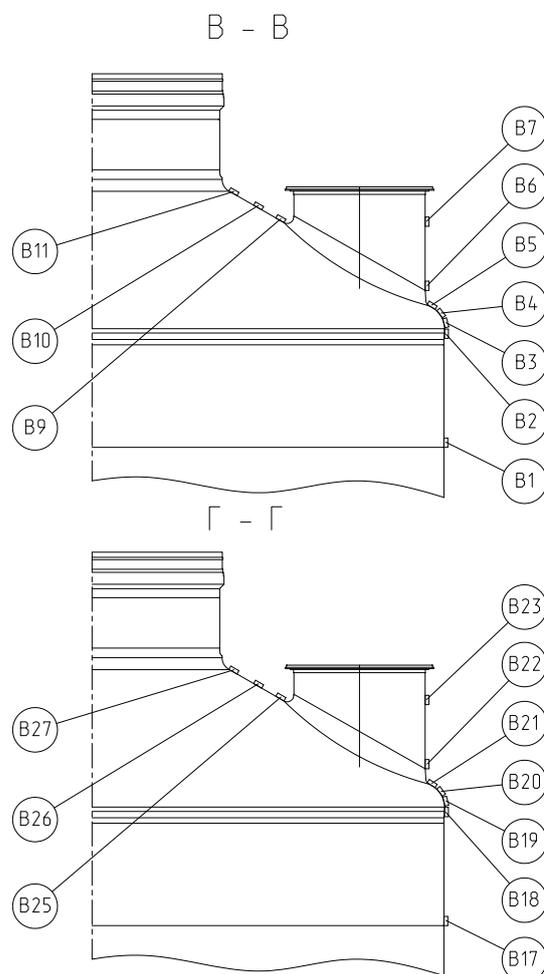
Схема размещения тензотермосборок СВТ была разработана на основе анализа расчетных данных полей деформаций и температур (рис. 4). В результате были определены зоны с максимальным напряженно-деформированным состоянием. К таким зонам относятся:

а) сечения по осям патрубков главного циркуляционного насоса первого контура (рис. 5), патрубков промежуточного теплообменника, патрубка элеваторов (рис. 6);

б) район уровня теплоносителя трассы охлаждения корпуса – данное место характеризуется наличием зоны большого температурного градиента на конусной крыше основного корпуса в зоне раздела «газ – теплоноситель» и пульсации температуры вследствие колебаний уровня теплоносителя в трассе охлаждения корпуса.



**Рис. 5. Схема расположения тензотермосборок по сечению патрубка главного циркуляционного насоса первого контура**



**Рис. 6. Схема расположения тензотермосборок по сечению патрубка элеваторов (В-В) и промежуточного теплообменника первого контура (Г-Г)**

На этапе монтажа основного оборудования первого контура реакторной установки БН-800 величины деформаций записывались в автоматизированном режиме. На данном этапе проводились различные испытания основного и страховочного корпусов реактора:

- гидравлические испытания на прочность и плотность;
- испытания на плотность;
- испытания на устойчивость.

Газовая полость основного корпуса заполнялась воздухом до максимального давления  $0,12 \pm 0,005$  МПа и страховочного корпуса гелиево-воздушной смесью до максимального давления  $0,15 \pm 0,0075$  МПа. На всех этапах проведения испытаний осуществлялось отслеживание состояния уплотнений, нанося на них пенообразующий состав. В случае появления незначительных течей производилась подтяжка уплотнений и продолжалось заполнение с це-

лью выявления всех неплотностей в уплотнениях. В случае значительных течей осуществлялось снижение давления в корпусе до атмосферного и производилась переупаковка уплотнений. При испытаниях на устойчивость абсолютное давление воздуха в корпусе снижалось до величины  $0,05 \pm 0,0025$  МПа (вакуум) путем отсоса воздуха из корпуса вакуум-насосом. Производилось измерение напряженно-деформированного состояния корпуса с использованием системы СВТ.

Был проведен сравнительный анализ результатов численных расчетов и данных, полученных СВТ. Расхождение значений напряжений не превысили 20 % (табл. 1).

Максимальные значения напряжений  $\sim 200$  МПа, зафиксированные в конической части крыши корпуса реактора (рис. 1), возникли от действия весовых нагрузок смонтированного основного оборудования (табл. 2).

Таблица 1

## Результаты характерных точек контроля расчетного и экспериментального методов

№ тензотермосборки	Численные расчеты, Давление $P=0,12$ МПа		Данные СВТ, Давление $P=0,12$ МПа		Расхождение, %	
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1$	$\sigma_2$
B1	26	14	26	15	0	7
B2	-76	-90	-74	-88	3	2
B3	-65	-106	-64	-105	2	1
B4	-36	-72	-35	-70	3	3
B5	-5	9	-4	10	20	11
B9	119	79	118	75	1	5
B10	24	-8	22	-8	8	0
B11	18	10	18	8	0	20
B42	-69	-84	-67	-80	3	5
B43	-60	-100	-63	-96	6	4
B44	-35	-69	-33	-65	6	6
B45	-13	0	-11	0	14	0
B50	17	-16	16	-16	6	0
B51	19	10	18	9	5	10
B52	8	-1	9	-1	13	0

Таблица 2

## Максимальные напряжения после монтажа оборудования

№ тензотермосборки	Напряжения, МПа	
	$\sigma_1$	$\sigma_2$
B10	176	35,4
B11	-91,8	-209
B27	200	-58,9
B50	-42,0	-220
B51	-94,7	-261
B52	-107	-229

Таким образом, при монтаже оборудования на основной корпус реактора, с помощью СВТ была получена принципиально важная информация о напряженно-деформированном состоянии корпусов реакторной установки БН-800.

Сравнительный анализ результатов численных расчетов и данных СВТ показал их удовлетворительную корреляцию. Полученная информация подтверждает правильность

выбора расчетных моделей и является верификацией прочностных расчетов. Фактические данные по напряженно-деформированному состоянию позволят провести достоверный уточненный расчет ресурса корпусов реакторной установки БН-800.

- 
1. Дайчик, М.Л. Методы и средства натурной тензометрии: справочник / М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Х. Хуршудов. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

*Дата поступления  
в редакцию 08.10.2014*

**D.V. Konurin, A.I. Sirotoy**

**INVESTIGATIONS OF STRESS-STRAIN STATE CASES OF BN-800  
DURING CONSTRUCTION WORKS**

OKBM Afrikantov, Nizhny Novgorod

The article presents a brief description of the cases of reactor plant BN-800 and listed to the main equipment installed on the basic case of reactor plant. The article gives a brief description of the system of high-tensor thermometry cases of reactor plant BN-800. The basic data of the stress-strain state of cases of reactor plant BN-800 obtained during construction work of reactor plant BN-800. A comparative analysis of the results obtained by numerical and experimental methods. Conclusions on the results of work.

*Key words:* reactor plant, strain measurement, stress-strain state.

---

## ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

---

УДК 629.12.:532

Л.В. Андрианов, М.Л. Мухина

### СХЕМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПАНОВКИ – ПРИОРИТЕТНАЯ ЗАДАЧА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДНА НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приоритетным объектом внимания конструкторов судов на подводных крыльях в начальной стадии проектирования является не корпус судна, а его гидродинамический комплекс, обеспечивающий успешную реализацию принципа движения по воде. Наиболее целесообразно проводить не отдельное, как это принято в классической теории проектирования судов, а комплексное изучение наиболее важных «мореходных качеств» судна на подводных крыльях.

*Ключевые слова:* судно на подводных крыльях, проектирование судов на подводных крыльях, схема гидродинамической компоновки судна на подводных крыльях, испытания моделей.

Начало судостроения и судоходства восходит к самым истокам человеческой цивилизации. Веками люди строили суда, корабли и другие плавающие объекты, которые теория корабля, как наука, относит к классическим объектам *водоизмещающего* типа. Только в первой половине XX столетия с началом строительства и эксплуатации глиссирующих катеров было положено ограничение на безраздельное господство Архимедовой силы поддержания. Однако революционный прорыв в этом направлении был связан с началом строительства судов на подводных крыльях (СПК).

Создание отечественных пассажирских СПК было основано на гениальном, найденном Р.Е. Алексеевым, конструктивном решении важнейшей проблемы СПК – устойчивости его движения в режиме «хода на крыльях». Эта находка заключалась в использовании эффекта изменения подъемной силы крыла в зависимости от его погружения. Данный эффект был изучен в СССР в 1933–37 годах в эксперименте с подводными крыльями и катерами, проведенными научными сотрудниками Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н. Е. Жуковского (ЦАГИ) А.Н. Владимировым, В.Г. Фроловым и Л.А. Эпштейном [1]. Позднее двое из них построили и испытали катер ЭГО-1, не получили на нем устойчивого хода на крыльях, а Л.А. Эпштейн увлекся другим направлением обеспечения устойчивости – автоматическим управлением углами атаки крыльев СПК [2].

Как показывает опыт Р.Е. Алексеева и Центрального конструкторского бюро по судам на подводных крыльях (ЦКБ по СПК), носящем теперь имя своего главного конструктора, создание нового СПК требует многолетнего труда опытных специалистов-экспериментаторов. Надо было: 1) найти оптимальную площадь подводных крыльев, обеспечивающую поддерживающую силу не только в режиме хода на крыльях, но и сам «выход» на крылья; 2) найти оптимальное распределение нагрузки и расстояние между ними и ЦТ судна. После того как найдены геометрические характеристики несущей системы надо 3) экспериментально определить так называемые «установочные» углы атаки крыльев, обеспечивающие «естественную» продольную и боковую устойчивость движения судна. На эту работу,

как свидетельствует один из учеников Р.Е. Алексеева – начальник проектного отдела ЦКБ по СПК В.Я. Максимов, уходило в среднем от пяти до восьми лет.

Появление в конце 50-х годов прошлого века пассажирских СПК, и организация их регулярных рейсов вызвало не только широкий общественный интерес, но и привлекло к ним внимание большого круга ученых и специалистов, в первую очередь – ученых-гидродинамиков. Начиная с 60-х до середины 80-х – это годы, которые стали временем наиболее активного изучения теории подводного крыла, гидродинамики и механики движения СПК, теории суперкавитирующих гребных винтов. По всем этим темам отечественные ученые и специалисты занимали лидирующие позиции в мире. Среди них были как представители кораблестроительных, так и авиационных исследовательских центров, вузов и конструкторских бюро.

В 1964 г. научные сотрудники гидродинамического филиала ЦАГИ им. проф. –Н.Е. Жуковского В.И. Блюмин и М.Б. Масеев в сотрудничестве с Л.А. Ивановым издали одну из первых книг, являвшихся руководством для конструкторов, занимающихся проектированием СПК. Характерной особенностью книги является тот факт, что в ней отсутствует глава, посвященная проектированию корпуса судна, а присутствует важнейшая из глав, посвященная проектированию подводных крыльев (заметим, именно «крыльев», а не «крыльевого устройства»; тем самым авторы демонстрируют «авиационный» подход к делу, начинающемуся с «Аэродинамической схемы самолета»).

Не меньше внимания было уделено в эти годы прочности корпуса и крыльевых устройств СПК. Были разработаны методики и алгоритмы, ставшие нормативными документами.

Вопросами общего проектирования СПК традиционно занимались профессиональные кораблестроители. Они искренне полагали, что специфические особенности СПК (развитая структура «выступающих частей», высокие значения удельной мощности, новые нетрадиционные материалы и технологии и др.) могут быть адаптированы и успешно встроены в уже имеющуюся методологию и алгоритмы существующей «Теории проектирования судов».

В середине прошлого века эта дисциплина представляла собой уже вполне сложившуюся прикладную науку, объектом изучения которой были *водоизмещающие* суда. В учебниках того времени она характеризовалась как наука, которая «...разрабатывает круг вопросов, связанных с определением элементов проектируемого судна» [1]. Алгоритм решения этих вопросов имеет стабильный, проверенной практикой, характер. Приоритетным объектом классической теории проектирования судов являлся и продолжает таковым быть, если речь идет о водоизмещающем судне, его корпус, в пределе – его подводная часть. Форма и пропорции последней являются каноническими, даже с учетом особенностей, связанных с назначением судна, его типажом и т.п. Архитектурно-композиционного разнообразия у водоизмещающих судов удастся достичь, варьируя компоновку элементов, образующих только надводную часть объекта.

Такой же «корабельный» подход был характерен для публикаций, посвященных методологии общего проектирования СПК и вышедших в свет в упомянутый ранее период времени [3, 4, 5]. В качестве объекта первоочередного внимания в этих работах выступает корпус судна, а его гидродинамический комплекс (ГДК) номинировался поэлементно в категории «судовых устройств» и «выступающих частей».

При проектировании других видов транспортных средств нет столь жесткой заданности формы и соотношений (пропорций) главного конструктивного элемента (корпуса судна), являющегося с точки зрения архитектуры и дизайна композиционным центром объекта. Например, история автомобилестроения накопила множество вариантов формы кузова легкового автомобиля одного и того же класса. В авиации фюзеляж самолета по аналогии с корпусом судна может служить в качестве базового элемента компоновки машины, но у фюзеляжа самолета нет той функциональной гегемонии, которой обладает корпус судна. В компоновке самолета присутствуют такие крупные элементы, как крылья, оперение и двигатели.

Каждый из них имеет не менее важную по сравнению с фюзеляжем функциональную нагрузку.

Концептуальной задачей авиаконструктора, работающего над проектом нового самолета, является такая компоновка названных ранее узловых агрегатов машины, которая обеспечивает аэродинамику и летные качества самолета (взлет, посадка, устойчивость, управляемость и маневренность полета) и его прочность при минимальной взлетной массе, расходах топлива и других важных эксплуатационных показателях. Результатом этого поиска является «Схема аэродинамической компоновки самолета» или просто «Схема самолета» [6, 7]. Это чертеж или его виртуальный аналог, в которых содержится информация о геометрических формах, размерах и взаимном расположении важнейших узловых элементов, составляющих самолет как механическую систему (фюзеляж, крыло, вертикальное оперение, горизонтальное оперение, закрылки и механизация крыла, рули, двигатели на пилонах и др.). Визуальное представление о схеме самолета можно получить также по геометрически подобным моделям объекта, имеющим как демонстрационное, так и исследовательское назначение.

Авиация располагает большим разнообразием аэродинамических схем самолетов. С работы над структуризацией и синтезом аэродинамической схемы начинается работа над проектом самолета на его самых начальных этапах (предэскизное и эскизное) проектирование. Возникая вначале в сознании главного конструктора самолета, схема получает графическое или виртуальное представление и «обрастает» дополнительной информацией: эскизы внутренней компоновки самолета, принципиальные схемы, относящиеся к конструкции, системам и оборудованию машины. Прорабатываются вопросы установки (подвески) двигателя (-ей). Одновременно, в первом приближении, подсчитывается взлетная масса самолета и его центровка, выполняются аэродинамический расчет, расчет устойчивости и управляемости, производится оценка прочности (см., например, [7]). Заметим, что обязательным элементом в процессе создания «Схемы» самолета является изготовление и продувки в аэродинамической трубе его моделей. На основании результатов продувок схема уточняется, корректируются расчетная документация, уточняется масса самолета и его центровка. Заново, с учетом результатов продувок выполняются аэродинамический расчет и расчеты устойчивости. Во все времена в авиации продувки моделей самолета в аэродинамической трубе являются обязательным условием допуска машины к испытательным полетам. Это обстоятельство является свидетельством того, какое внимание уделяется эксперименту в авиации с ее чрезвычайно высоким уровнем расчетно-аналитического проектирования.

Изучение творчества Р.Е. Алексеева показывает, что разработанная им методология проектирования СПК в его начальной стадии имела структуру, идентичную рассмотренной структуре общего проектирования самолета на его ранних стадиях. Если для авиаконструктора в самом начале работы над проектом в центре внимания находилось построение аэродинамической схемы самолета, то для Р.Е. Алексеева и его последователей такой приоритетной задачей была разработка ее гидродинамического аналога.

История создания отечественного скоростного флота и методологии его проектирования позволяет сделать вывод, что разработка схемы гидродинамической компоновки СПК первых поколений осуществлялась Р.Е. Алексеевым в формате изобретательской деятельности. Первые сведения о катерах на подводных крыльях («водяных ножах») появились в СССР еще в конце 30-х годов прошлого века [8, 9]. Все свидетельствует о том, что студент-выпускник кораблестроительного факультета Р.Е. Алексеев знал об опытах итальянцев, так же, как и об опытах ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского [10]. Результаты этих опытов, которые Р.Е. Алексеев дополнил позднее собственными испытаниями подводных крыльев в научно-исследовательской гидродинамической лаборатории завода «Красное Сормово», стали практически единственным теоретическим материалом, которым располагал выдающийся конструктор, начиная свою творческую деятельность. Поэтому основным способом практического формирования ГДК как системы, стал физический эксперимент с динамически подобными буксируемыми моделями будущих СПК. Меняя геометрию, взаимное располо-

жение, в первую очередь несущей системы, внося в состав ГДК СПК новые элементы, повторяют испытания (рис. 1), стремясь к получению максимального гидродинамического качества при полном выполнении требований к мореходным качествам объекта. Итогом этих опытно-конструкторских работ становилась «Схема гидродинамической компоновки» будущего судна. Это чертеж, устанавливающий структурный состав и номенклатуру, форму и геометрические параметры узловых элементов ГДК СПК, их взаимное расположение на корпусе судна. Вновь прибегая к аналогии из авиации, будем называть его сокращенно *гидродинамической схемой* СПК.



Рис. 1. Буксировка модели СПК на открытом водоеме [фото из архивов автора]

Отметим, что при создании судов первого поколения этот чертеж назывался «Схемой крыльевого устройства». Начиная с 70-х годов XX века, когда ЦКБ по СПК приступило к проектированию и строительству кораблей-экранопланов, чертеж стал называться «Схемой гидродинамической компоновки» СПК-проекта. В контексте обсуждаемого вопроса о статусе ГДК СПК это изменение терминов имело знаковый характер: оно означало смену приоритетов. В качестве объекта первоочередного внимания конструкторов ЦКБ по СПК выступал уже не корпус судна, а его гидродинамическая схема.

Заметим, что и Г. Шертель, который был по характеристике Р. Макливи [11] «страстным энтузиастом авиации», при создании своих СПК, так же, как и Р.Е. Алексеев, действовал по подобному алгоритму: «выбор схемы – постройка и испытания самоходной модели – натурное судно» (рис. 2) [24].

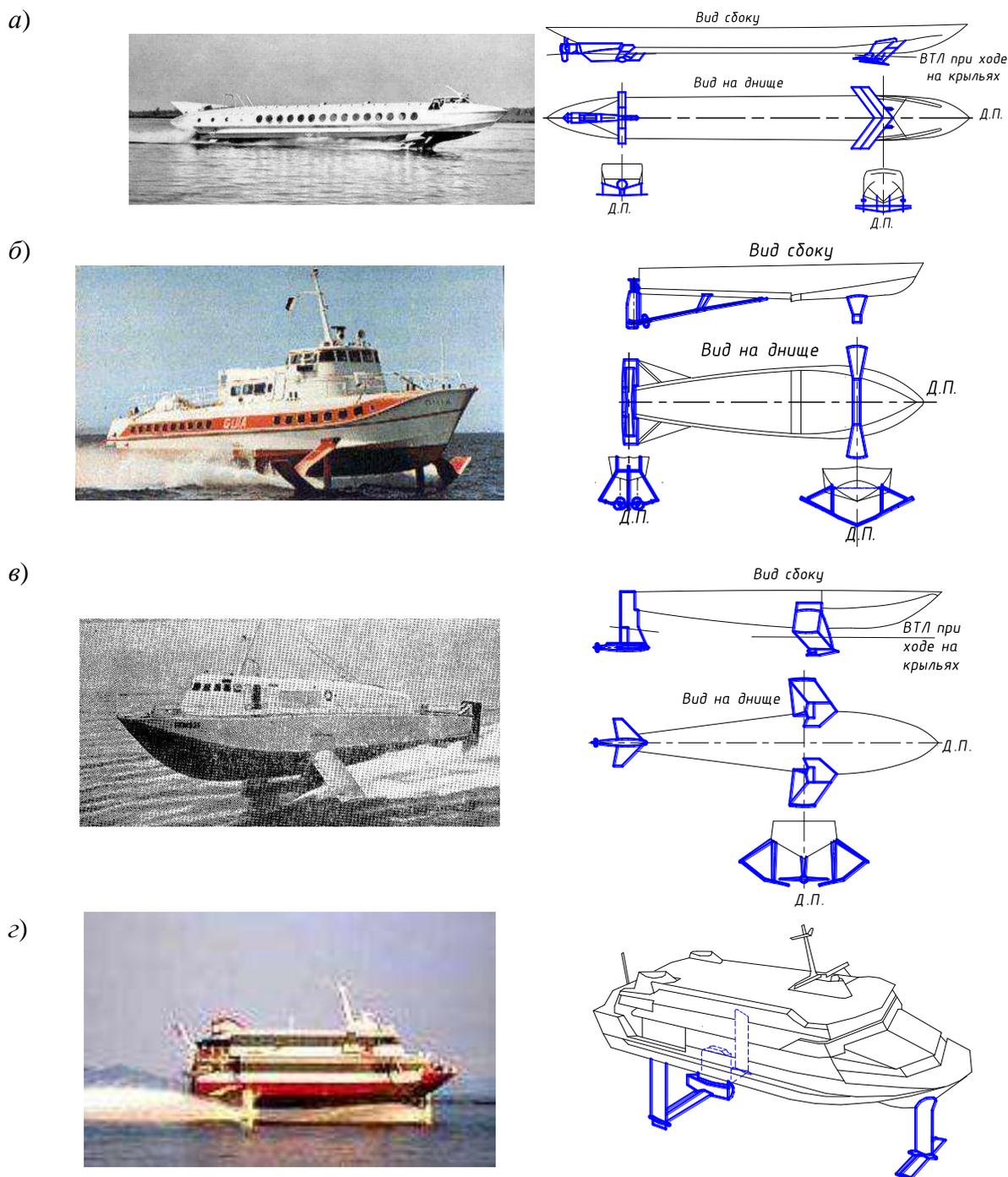


Рис. 2. Кинограмма испытаний самоходной модели СПК. Разгон и выход на крылья

Анализируя архитектурно-конструктивные типы СПК, принадлежащие к одной из трех мировых школ проектирования СПК (рис. 3), мы убеждаемся в правильности тезиса о базовой роли гидродинамической схемы СПК. Становится очевидным, что тип несущей системы, размеры ее продольной базы и габаритные размахи крыльев оказывают решающее влияние на выбор главных размерений корпуса и его внешний архитектурный облик.

Дальнейший анализ рис. 3 показывает, что для судна на малопогруженных подводных крыльях (СМПК) с несущей системой «тандем» и характерной для нее предельно-большой относительной базой  $L_{кр}=20$  хорд носового крыла (рис. 3, а) присущи удлиненные узкие корпуса с отношением  $L/B \approx 7$ . По мере уменьшения относительного расстояния между носовым и кормовым крылом («продольной базы схемы»), корпуса СПК становятся относительно более широкими. Их архитектура становится близкой к традиционной архитектуре морских

быстроходных катеров (рис. 3, б, в). Схема «утка», применяемая для судна на глубоководных подводных крыльях с системой автоматического управления подводными крыльями (рис. 3, г), открывает более широкие возможности для творчества конструкторов и архитекторов, проектирующих корпус СПК.



**Рис. 3. Примеры связи между архитектурными формами корпуса и типом несущей системы СПК:**

- а* – т/х «Чайка» – гидродинамическая схема «тандем», малопогруженные подводные крылья;
- б* – т/х «РТ-20» – схема «тандем», V-образные крылья, пересекающие поверхность воды;
- в* – т/х «Денисон» – схема «самолетная», два бортовых наклонных носовых крыла, пересекающих свободную поверхность воды и полностью погруженное кормовое крыло; *г* – т/х «Джетфоил» – схема «утка», глубоководные подводные крылья, система автоматизированного управления подъемными силами

Начало изучению методологии проектирования судов с динамическим принципом поддержания «по Алексееву» – методологии, основанной на тотальном использовании результатов разносторонних экспериментов, было заложено в монографии [12]. Позднее в работах В.А. Дементьева [13, 14, 15] и Б.А. Царева [16, 17] был предпринят системный анализ творческого наследия выдающегося конструктора.

Известно, что у Р.Е. Алексеева не осталось публикаций, содержащих описание разработанной им методологии проектирования СПК. В сравнительно небольшом количестве подготовленных им лично в 60–70-е годы прошлого века статей и докладов на конференциях [18, 19, 20, 21] основное внимание было уделено анализу проблем и перспективам развития скоростного судостроения. Особо заметим, что в своем выступлении на VI конференции по проектированию скоростных судов в декабре 1976 г. [20] Р.Е. Алексеев подчеркивал: «...процесс создания новых транспортных средств сопряжен с дорожными исследованиями и поисками, требует специальных лабораторий и экспериментальных баз...».

С самого начала в этих работах участвовали известные авиационные научно-исследовательские институты ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского и Центральный научно-исследовательский институт имени академика А.Н. Крылова (ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова), а с середины 70-х годов XX века к изучению проблем, связанных с движением вблизи границы раздела двух сред, вплотную подключились и другие подразделения бывшего Министерства судостроительной промышленности и военно-морского флота. Было вовлечено большое число ученых и специалистов-кораблестроителей. Все это не могло не повлиять на представления о приоритетах в теории проектирования СПК, как имеющей самостоятельное значение прикладной инженерной дисциплине.

Библиографический анализ публикаций на эту тему показывает, что авторы сохраняли верность рассмотренной ранее ортодоксальной концепции классической теории проектирования судов. Но, нельзя не заметить, как год от года увеличивалось внимание и значение задачи проектирования ГДК СПК. Цитируем А.М. Ваганова: «...Крыльевое устройство и его элементы должны обеспечить проектируемому СПК все основные навигационные и эксплуатационные качества...» [22]. А.И. Косоруков в монографии, имеющей статус руководства для конструкторов, после приведения развернутых алгоритмов расчетов по определению водоизмещения, главных размерений корпуса, нагрузки масс и т.д., пишет [23]: «...Перед началом расчета, на основе анализа задания, опыта постройки и эксплуатации СПК, следует выбрать принципиальную схему крыльевого устройства («самолетная», «утка» или «тандем»), несущие плоскости (полностью или частично погруженные), способ управления подъемной силой крыльев...». Ограничившись этим замечанием, А.И. Косоруков далее не приводит информации, посвященной теме выбора гидродинамической схемы СПК, а переходит сразу к определению геометрических и гидродинамических характеристик «крыльевого устройства».

В.В. Иконников и А.И. Маскалик в своей монографии [5], посвященной особенностям проектирования СПК, начинают анализ этих особенностей с выбора типа несущей системы и определения ее геометрических характеристик. Только после этого авторы переходят к построению алгоритмов с позиций классической теории проектирования судов.

Б.А. Царев, написавший свои первые работы по СПК еще в 60-е годы прошлого века, в своих последних публикациях, посвященных теории проектирования скоростных судов [16, 17], декларирует доминантную роль в этом процессе «...крыльевых и иных устройств, а также энергетики над корпусом и другими подсистемами...». Словом, речь идет о приоритетной роли ГДК в процессе проектирования СПК.

Впервые приоритетная роль подводных крыльев в тематике общего проектирования СПК была отмечена А.И. Маскаликом в монографии [12]. Только после выбора «типа крыльев», их размеров и формы, «взаимного расположения подводных крыльев» автор рекомендует приступить к проектированию корпуса, руководствуясь при этом рекомендациями классической теории проектирования судна.

В ГДК СПК входит не только несущая система («крыльевое устройство»), но и про-

пульсивная передача с работающим двигателем; рули; гидродинамические поверхности, выполняющие роль стабилизирующих устройств; механика крыльев и др. Именно ГДК, как совокупность перечисленных элементов, а не только взятая отдельно несущая система («крыльевое устройство»), СПК, определяет его мореходное качество в расчетном режиме движения.

На основании анализа рассмотренных материалов, авторы пришли к выводу: приоритетным объектом внимания конструкторов СПК в начальной стадии проектирования является не корпус судна, а его ГДК, обеспечивающий успешную реализацию эксклюзивного принципа движения по воде.

Признание объективности этого тезиса будет означать, что формирование теории проектирования СПК надо проводить не на базе «учета особенностей СПК» в рамках классической теории проектирования судов, а как синтез самостоятельной инженерной дисциплины, имеющей специфическую методологию.

### Библиографический список

1. **Ногид Л.М.** Теория проектирования судов / Л.М. Ногид. – Л.: Судпромгиз, 1955.
2. **Панов, А.Ю.** Корабли и суда на подводных крыльях. Основные конструктивные типы отечественных кораблей и судов на подводных крыльях 1915–1955 гг.: монография / А.Ю. Панов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2014.
3. **Плисов, Н.Б.** Аэрогидродинамика судов с динамическими принципами поддержания / Н.Б. Плисов К.В., Рождественский, В.К. Трешков. – Л.: Судостроение, 1991.
4. **Блюмин, В.И.** Транспортные суда на подводных крыльях / В.И. Блюмин, Л.А. Иванов, М.Б. Масеев. – М.: Транспорт, 1964.
5. **Иконников, В.В.** Особенности проектирования и конструкции судов на подводных крыльях / В.В. Иконников, А.И. Маскалик. – Л.: Судостроение, 1987.
6. Проектирование самолетов / А.А. Бадягин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1972.
7. Справочник авиаконструктора. Т. II. Гидромеханика гидросамолета. – М.: ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, 1938.
8. **Косоуров, К.Ф.** Гидросамолеты их мореходность и расчет / К.Ф. Косоуров. – Л., М.: ОНТИ НКТП СССР. Главная редакция авиационной литературы, 1935.
9. **Мартынов, А.И.** Глиссеры / А.И. Мартынов. – М.: Речиздат, 1940.
10. **Лотов, А.Б.** Исследования ЦАГИ по подводным крыльям // Проблемы движения на подводных крыльях: сб. трудов НТО СП им. акад. А.Н. Крылова. Горький, 1961. Вып. 15. С. 22–42.
11. **Макливи, Р.** Суда на подводных крыльях и воздушной подушке / Р. Макливи. – Л.: Судостроение, 1981.
12. **Зайцев, Н.А.** Отечественные суда на подводных крыльях / Н.А. Зайцев, А.И. Маскалик. – 2-е изд. – Л.: Судостроение, 1964.
13. **Дементьев, В.А.** Определение массы пассажирских СПК // Вопросы судостроения: труды ГИИВТ'а. – Горький, 1972. Вып. 125.
14. **Дементьев, В.А.** Вклад Р.Е. Алексеева в методологию создания скоростных судов // Материалы НТК по проектированию скоростных судов 1986 г., 1988 г. НТО СП, Волжско-камское межобластное правление. – Горький, 1990.
15. **Дементьев, В.А.** Р.Е. Алексеев – основоположник отечественного скоростного судостроения: тез. док. XII НТК по проектированию скоростных судов. ЦКБ по СПК. ВНТО СП, Волжско-камское межобластное правление. – Н. Новгород, 1997.
16. **Царев, Б.А.** Доминантный подход при оптимизации проектных характеристик высокоскоростных судов: тез. док. XII НТК по проектированию скоростных судов. ЦКБ по СПК. ВНТО СП. Волжско-камское межобластное правление. – Н. Новгород, 1997.
17. **Царев, Б.А.** Система алгебраических и дифференциальных уравнений для проектирования СПК // Материалы НТК «Современные технологии в кораблестроительном образовании, науке и производстве». Минобр. РФ, НГТУ, ОАО «Завод «Красное Сормово»: сб. трудов НТО СП. – Н. Новгород, 2002.
18. **Алексеев, Р.Е.** Опыт проектирования, строительства и эксплуатации судов на подводных крыльях и их перспективы развития: сб. трудов НТО им. акад. А.Н. Крылова. – Горький, 1961.

19. **Алексеев, Р.Е.** Опыт эксплуатации теплохода «Ракета» / Р.Е. Алексеев. – Л.: Судостроение, 1958.
20. **Алексеев, Р.Е.** Основные направления развития транспортного скоростного судостроения: докл. на VI НТК по проектированию скоростных судов, посвященный 20-летию с момента создания первого скоростного судна «Ракета». – Горький, 1976.
21. **Алексеев, Р.Е.** Итоги эксплуатации первого речного теплохода на подводных крыльях // Проектирование и строительство речных судов: сб. – М.: Речной транспорт, 1960. С. 15–21.
22. **Ваганов, А.М.** Проектирование скоростных судов / А.М. Ваганов. – Л.: Судостроение, 1978. – 179 с.
23. **Колызаев, Б.А.** Справочник по проектированию с динамическим принципом поддержания / Б.А. Колызаев, А.И. Косоруков, В.А. Литвиненко. – Л.: Судостроение, 1980.
24. **Гартвиг, В.А.** По воде на крыльях / В.А. Гартвиг. – М.: Речной транспорт, 1957.

*Дата поступления  
в редакцию 09.10.2014*

**L.V. ANDRIANOV, M. MUKHINA**

### **THE HYDRODYNAMIC SCHEME OF ARRANGING AS A PRIORITY PROBLEM IN THE DESIGN OF HYDROFOILS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Subject:** Search and analysis of materials in support of the thesis of the priority role of the task of building schemes hydrodynamic layout (flow diagram) hydrofoils in the initial design stage.

**Methodology:** During the formation of the theory of designing of hydrofoils as an engineering discipline must be based on the following provisions, the objective of which is confirmed by the materials of the article:

- priority attention of the designers of the hydrofoils in the initial design stage is not the hull of the vessel and its hydrodynamic complex providing successful implementation of the principle of movement in the water;
- most, it's advisable to not separate, as is customary in the classical theory of ship design, and a comprehensive study of the above the most important "seaworthiness" hydrofoils format one partition, which will appear under the name of, for example, "Mechanics of motion of the hydrofoils".

**Conclusions:**

- when studying problems of acceleration of the vessel on the wings ("propulsion" hydrofoils) and the sustainability of its movement should follow the General approach to the definition of seaworthiness, based on the analysis of the General system of equations or the production of a single experiment;
- development of the latter thesis is formulated in the thesis proposal for classification of the calculation of the longitudinal landing hydrofoils " as the project document, representing not propulsion and resistance movements of hydrofoils.

*Key words:* hydrofoil, the design of hydrofoils, the scheme hydrodynamic layout hydrofoils, testing models.

---

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

---

УДК 621.3

В.Ю. Вуколов, Ю.М. Максимов

### ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проведен анализ системы отношений "потребитель – энергоснабжающие организации" в условиях измененных требований к надежности и определены основные риски субъектов. Рассмотрены вопросы повышения надежности и эффективности функционирования коммунально-бытовых потребителей как на этапе подключения к электрической сети, так и в условиях действующего договора на передачу электроэнергии.

*Ключевые слова:* надежность электрических сетей, повышение эффективности потребления электроэнергии, граница балансовой принадлежности, тариф на электроэнергию.

#### Введение

Для снабжения потребителей электроэнергией в требуемом количестве при надлежащем ее качестве необходимо обеспечение надежности электрической сети, к которой подключены их электроустановки. Содержание конечных электроприемников и обеспечение их надежности входит в число задач, решаемых только потребителем, поскольку он является собственником таких установок, в то время как сети внешнего электроснабжения могут находиться как на балансе ТСО, так и частично принадлежать потребителю.

Разграничение ответственности за надежность электрических сетей между потребителем и территориальной сетевой организацией (ТСО) решается согласно акту об установлении границ балансовой принадлежности (г.б.п.) и эксплуатационной ответственности, заключаемому на этапе технологического присоединения к сети [1]. Для повышения надежности электроснабжения потребитель может выбрать при заключении договора на технологическое присоединение с ТСО или при изменении его условий более высокую категорию по ПУЭ, обеспечив компенсацию затрат на сооружение дополнительных источников питания. В случае присоединения по первой или второй категории действующее законодательство позволяет [2] определить при заключении договора энергоснабжения интересующие потребителя величины допустимой суммарной длительности отключений в год и сроки восстановления энергоснабжения, меньшие предусмотренных ПУЭ (дополнительно для второй категории). Выполнение этих требований возможно только при согласии ТСО и наличии соответствующей технологической возможности, что приводит к возникновению ситуаций, в которых заинтересованный в повышении уровня надежности потребитель не может добиться желаемых результатов, поскольку ответственной за обеспечение надежности является неотвечивающая сетевая организация.

Для ТСО инструментом повышения надежности сверх уровня, установленного категориями ПУЭ, может являться дополнительная оплата услуг по передаче электроэнергии со стороны потребителя, однако такой механизм взаимоотношений не регламентируется действующим законодательством РФ. Кроме того, в рамках существующей системы договорных

отношений «потребитель – ТСО», в случае неправильного разграничения г.б.п. и нерационального выбора мест установки расчетных счетчиков на этапе реализации мероприятий по технологическому присоединению, режим работы электроустановок потребителей будет экономически неэффективным, а уровень надежности ниже предусмотренного категориями.

Поэтому целесообразно рассмотрение вопросов повышения надежности и эффективности функционирования потребителей как на этапе подключения к электрической сети, так и в условиях действующего договора на передачу электроэнергии, заключенного с ТСО.

### Эффективность электроснабжения потребителей коммунально-бытового сектора

Рассмотрим типичную схему электроснабжения многоквартирного жилого дома.

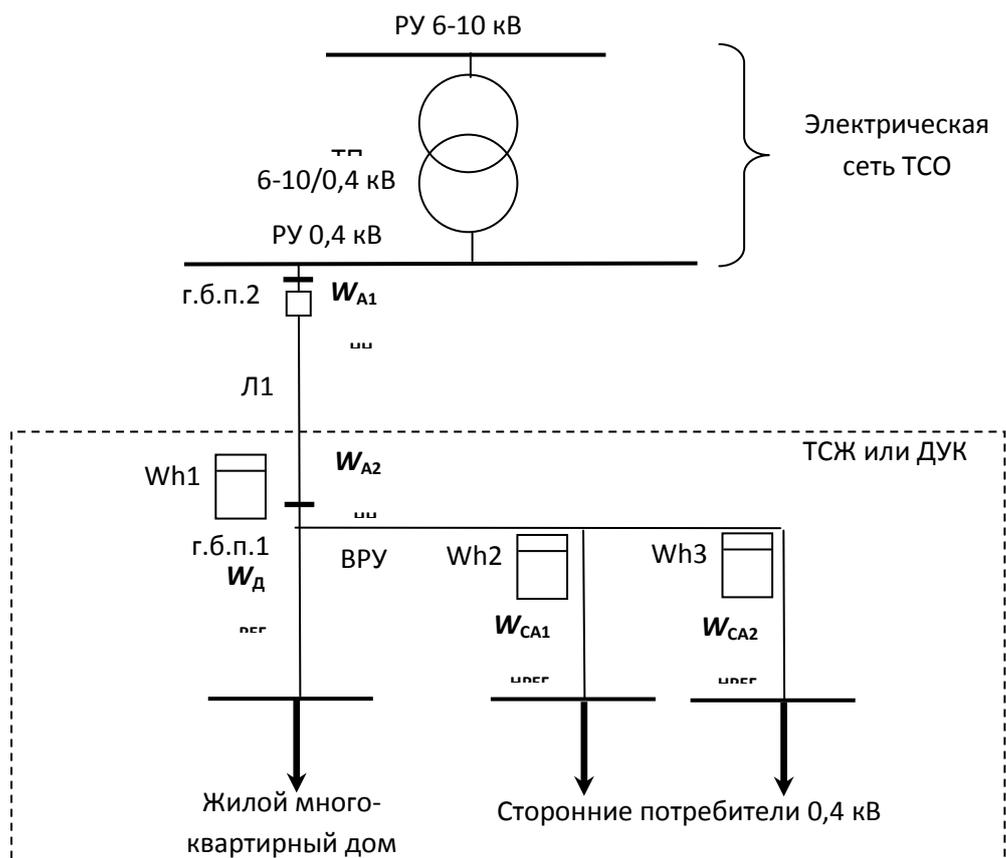


Рис. 1. Типовая схема электроснабжения многоквартирного жилого дома

Согласно договору энергоснабжения, заключенному между ТСЖ и энергосбытовой организацией (ЭСО), расчет за электроэнергию производится за объем, учтенный в месте разграничения балансовой принадлежности между потребителем и ТСО ( $W_{A2}$ , определяемый по показаниям счетчика  $Wh1$ , установленного в вводном распределительном устройстве (ВРУ) дома, как и г.б.п.1, рис. 1). Расчет за электроэнергию, потребляемую квартирами, а также расход на общедомовые нужды (ОДН) определяются по регулируемому тарифу для населения, в то время как субабоненты, подключенные через домовую сеть, рассчитываются с ЭСО по свободному нерегулируемому тарифу ( $W_{CA1}$ ,  $W_{CA2}$ ). Поэтому необходимо выполнение требования оборудования каждого субабонента индивидуальным прибором учета. Суммарная величина ОДН определяется по формуле:

$$\text{ОДН} = W_{\text{ЭСО}} - \Sigma W_{\text{КВ}} - \Sigma W_{\text{СА}}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{ЭСО}}$  – объем электроэнергии, поставляемый ЭСО согласно договору энергоснабжения;  $\Sigma W_{\text{КВ}}$  – суммарный объем электроэнергии, потребляемый квартирами жилого дома (опреде-

ляется как сумма показаний индивидуальных приборов учета);  $\Sigma W_{CA}$  – суммарный объем электроэнергии, потребляемый субабонентами, подключенными через домовую сеть (определяется как сумма показаний индивидуальных приборов учета субабонентов).

В состав ОДН входит следующий расход электроэнергии:

- потери во внутридомовой сети;
- потребление электрическими лифтами;
- освещение лестничных площадок и подсобных домовых помещений.

ОДН начисляются для всех конечных потребителей электроэнергии, использующих домовую сеть, поэтому должны выставляться к оплате как для жилых квартир, так и для субабонентов.

Для ряда ТСЖ сложилась ситуация, когда г.б.п. установлена не в ВРУ жилого дома (г.б.п.2, рис. 1), а в РУ низкого напряжения (НН) подстанции ТСО. Такая ситуация характерна в основном для жилых домов, построенных в 90-х гг. XX века, когда сооружение питающей сети осуществлялось на средства застройщика, а ввиду несовершенства действовавшего законодательства в области тарифообразования и неререформированности электроэнергетического сектора право собственности на питающие линии закреплялось за жилым домом.

В отличие от промышленных потребителей, ставка тарифа на электроэнергию для которых зависит от напряжения присоединения, ТСЖ оплачивают электроэнергию по регулируемому тарифу, величина которого не зависит от места установления г.б.п., напряжения присоединения и утверждается региональной службой по тарифам одинаковой для всех потребителей категории «население» на территории региона [3].

Возникает ситуация, когда потребитель в лице ТСЖ или ДУКа вынужден оплачивать потери в питающей линии, хотя средневзвешенная ставка тарифа на транспорт по сетям всех уровней напряжения уже включена в величину регулируемого тарифа за электроэнергию, по которому производится расчет согласно показаниям индивидуальных приборов учета и оплата величины ОДН.

Таким образом, в рамках действующей на территории Нижегородской области тарифной системы «котел сверху-вниз», указанная величина потерь уже была включена в котловой тариф на транспорт электроэнергии, а теперь повторно взимается ЭСО при заключении договора энергоснабжения с потребителем категории «население», после чего перечисляется «держателю котла» (ОАО «Нижновэнерго» на территории Нижегородской области). При расчете индивидуального тарифа на транспорт для ТСО, с которой у потребителя установлена г.б.п. и заключен посредством ЭСО договор на оказание услуг по передаче электрической энергии (рис. 1), величина потерь в указанной линии не учитывается и в состав необходимой валовой выручки не включается. Излишек собранных денежных средств оседает у «держателя котла».

Коммунально-бытовой потребитель несет убыток, величина которого определяется по формуле:

$$Y = \Delta W_{л} \cdot T_{НН}, \quad (2)$$

где  $\Delta W_{л}$  – потери электроэнергии в питающей линии, кВт·ч;  $T_{НН}$  – ставка одноставочного нерегулируемого тарифа за электроэнергию на напряжении НН, руб./кВт·ч.

Рассчитанная величина потерь полностью включается в состав ОДН и оплачивается всеми жильцами дома. При этом необходимо отметить, что в отличие от остальных составляющих, она оплачивается по более высокому свободному нерегулируемому тарифу.

Однако помимо необоснованных убытков такой способ установления г.б.п. имеет и другие последствия. Согласно Жилищному кодексу РФ, определяется порядок начисления платы за капитальный ремонт и расходования этих средств. В результате изменений, вступающих в силу в 2014 году, все программы ремонтов должны быть утверждены на несколько лет вперед и составлен календарный план предполагаемых работ. Расходование средств вне разработанной программы невозможно. Таким образом, в случае аварийного выхода из строя

находящейся на балансе потребителя питающей линии, возникает риск длительного нарушения электроснабжения ввиду отсутствия средств на проведение ремонтов и восстановлений. При этом речь идет не только о нарушении требований категорий надежности электроснабжения, но и о возникновении риска необеспечения энергетической безопасности населения в целом, причем на неопределенный срок. Это время включает сбор средств на проведение восстановительных работ, заключение договора с подрядной организацией, которые, согласно законодательству, должны осуществляться на конкурсной основе; подготовку проектно-сметной документации и лишь затем непосредственно выполнение самих ремонтных работ.

Для ликвидации создавшейся вероятной катастрофичной ситуации возможны следующие пути:

- 1) заключение договора с эксплуатационной организацией об обслуживании питающих сетей потребителя;
- 2) передача питающих линий на баланс администрации Муниципальных образований;
- 3) передача питающих линий на баланс ТСО.

*В первом случае* решается вопрос обеспечения проведения работ по восстановлению сетей после повреждения, однако при этом остается неопределенным источник финансирования материалов и комплектующих при проведении работ (например, покупка нового кабеля в случае невозможности восстановления поврежденного). Кроме того, оплата потерь в питающих сетях в этом случае также производится за счет средств потребителя.

Реализации *второго варианта* основана на положениях постановления [4], согласно которому «внешней границей сетей электроснабжения, входящих в состав общего имущества, является место соединения коллективного (общедомового) прибора учета с соответствующей инженерной сетью, входящей в многоквартирный дом». Таким образом, опираясь на положения данного законодательного акта, коммунально-бытовой потребитель имеет право отказаться от права собственности на питающие сети, тем самым снимая с себя обязательства по оплате потерь в них. Линии переходят в собственность муниципалитета, и, в случае если не найдутся ТСО, желающие взять их на баланс, они становятся объектами бесхозных сетей. Несмотря на то, что, согласно [5], ответственность за обеспечение надежности таких сетей возлагается на ТСО, к оборудованию которых они присоединены, возникает риск нарушения электроснабжения.

*Третий вариант* является более предпочтительным, поскольку передача питающих линий на баланс ТСО лишает коммунально-бытовых потребителей обязанности оплачивать уже включенные в регулируемый тариф потери, а также закрепляет ответственность за надежность функционирования сети за новым собственником. Основным препятствием в данном случае становится отсутствие финансовых стимулов для ТСО к увеличению объема оборудования за счет потребительских сетей.

Несколько проще задача обеспечения надежности электроснабжения решается для индивидуальных жилых домов, получивших наибольшее распространение в сельской местности. Поскольку их электроснабжение, как правило, осуществляется отпайками от магистральной воздушной линии, находящейся на балансе ТСО, а акт разграничения г.б.п. индивидуально для каждого потребителя в большинстве случаев не составляется. При этом считается, что г.б.п. установлена на вводе непосредственно в жилой дом и обслуживание отпайки организует ТСО – владелец магистральной линии.

### **Обоснование необходимости модернизации нормативно-правовой базы в цепочке взаимоотношений «потребитель – ТСО»**

В современных условиях, помимо электрических сетей с большой долей государственного капитала (ОАО «Россети»), на территории каждого региона существует множество частных ТСО. При этом на законодательном уровне ни за одной ТСО не закреплена обязанность принимать на баланс электрические сети потребителей.

Согласно «котловому» методу тарифообразования, тарифы на услуги по передаче электроэнергии состоят из двух ставок: ставка на содержание сетей и ставка на оплату потерь на транспорт. Компенсация потерь осуществляется согласно нормативу, утвержденному Минэнерго РФ и не является источником дохода для ТСО, в то время как ставка на содержание сетей пропорциональна объему находящегося на балансе оборудования, участвующего в процессе транспорта электроэнергии.

Для крупных ТСО принятие на баланс коротких участков линий 0,4 кВ с наиболее низкими показателями надежности среди основного оборудования и максимальной величиной коммерческих потерь, особенно в сельской местности (такими являются находящиеся на балансе потребителя питающие линии с точки зрения ТСО), приводит к усложнению структуры договорных отношений, дополнительной загрузке оперативно-выездных бригад и практически не становится источником дополнительного дохода ввиду их малого объема в общей структуре сетевого хозяйства. Кроме того, для крупных ТСО наличие на балансе таких линий, как правило, не приводит к увеличению ключевого показателя деятельности – отпуска электроэнергии из сети, поскольку переданный потребителю объем электроэнергии ввиду сложной структуры сети вероятно уже учтен как отпуск из сети более высокого уровня напряжения.

Для малых ТСО, основу оборудования которых составляют сети 0,4 кВ, вопрос принятия на баланс питающих линий потребителя может вызвать детальный интерес, поскольку в этом случае они получают участки сетей, оборудованные приборами коммерческого учета и находящиеся в полностью работоспособном состоянии. Особенно эффективно для ТСО укрупнение за счет сетей потребителя в условиях системы тарифообразования «Котел снизу-вверх». Суть этой системы заключается в том, что потребители оплачивают по единым «котловым» тарифам услуги тех ТСО, к сетям которых присоединены их электроприемники. В свою очередь нижестоящие организации оплачивают «по цепочке вверх» услуги вышестоящих ТСО. При таком варианте котлового тарифа ТСО финансово эффективно иметь на балансе электрические сети, обеспечивающие питание конечных потребителей, однако принятие их на баланс на практике реализуется лишь в случае заинтересованности ТСО в конкретных участках потребительской сети. Риски неплатежей за электроэнергию в этом случае ложатся на ОАО «Россети», как на крупнейшую сетевую организацию РФ, занимающую доминирующее положение в иерархической структуре ТСО. Несвоевременное обеспечение финансовых гарантий перед ОАО «Россети» может привести к нарушению надежности функционирования Единой Энергетической системы России, поскольку все системообразующие сети находятся в подчинении этого холдинга. Для потребителей существует риск нарушения электроснабжения и образования бесхозных участков сетей в случае отказа от обслуживания или аварийного ремонта питающих линий.

На территории большинства регионов РФ действует система тарифообразования «котел сверху-вниз». Суть его заключается в том, что платежи потребителей за оказанные им услуги по передаче электроэнергии поступают только в одну вышестоящую ТСО (ОАО «Россети»), после чего она расплачивается с нижестоящими организациями, к сетям которых присоединены электроприемники потребителей. При такой системе взаимоотношений найти заинтересованную в участках сетей 0,4 кВ ТСО для потребителя на практике становится задачей еще более трудновыполнимой.

Таким образом, только существование конкуренции среди малых ТСО и борьба между ними за потребителя с целью увеличения объема оборудования и отпуска электроэнергии, позволяет найти в современных условиях механизм для передачи бесхозных и потребительских сетей на баланс профильных организаций.

Кардинальное изменение системы взаимоотношений «потребитель-ТСО» возможно после принятия «Стратегии развития электросетевого комплекса РФ», разработанной во исполнение Указа Президента РФ от 22.11.12 № 1567. По результатам реализации данной Стратегии предлагается уменьшить количество ТСО за счет ужесточения требований, предъ-

являемых к ним. На этапе сертификации ТСО планируется введение обязательных стандартов технической обеспеченности, минимального объема электрических сетей, оценка наличия резерва для устранения аварий и др. По предварительным оценкам, число ТСО в регионе должно сократиться до 2-3 крупных организаций.

Основным последствием реформирования станет появление монополистов в сфере транспорта электроэнергии, что для коммунально-бытовых потребителей в большинстве случаев обернется отсутствием возможности для изменения договора оказания услуг по передаче электроэнергии и появлением рисков снижения надежности внешних электрических сетей.

Возникает риск образования катастрофической ситуации, когда ТСО будут обеспечивать надежность электрических сетей только в рамках минимальных норм, установленных действующим законодательством, а ее повышение до требуемого потребителем уровня в условиях монополии на транспорт будет невозможно вследствие отсутствия конкуренции между ТСО.

Основным направлением решения возникающих проблем предлагается создание института «гарантирующих сетевиков», аналогичного институту «гарантирующих поставщиков» в сфере сбыта электроэнергии. Крупнейшая ТСО в регионе – держатель котла в системе «котел сверху-вниз» – получает по конкурсу статус «гарантирующий сетевик», тем самым соглашаясь с обязанностью принимать на баланс любые сети потребителей, за исключением внутридомовых проводок. В качестве преимуществ «гарантирующий сетевик» имеет право первым получать средства от тарифа на транспорт, распределяемые затем по цепочке нижестоящим ТСО, тем самым минимизируется риск неполучения средств за оказанные услуги. Еще одной особенностью «гарантирующих сетевиков» будет установление индивидуального тарифа на транспорт для взаиморасчетов с потребителями, что обеспечит возможность заключения прямых договоров на оказание услуг по передаче электрической энергии, минуя ЭСО.

Предлагаемые меры позволяют решить вопрос повышения надежности и эффективности электроснабжения электроустановок потребителей без привлечения дополнительных инвестиций в сетевой комплекс и увеличения тарифов на электроэнергию.

### Выводы

1. В современных условиях возникает необходимость перестройки системы договорных отношений «потребитель – ТСО» так, чтобы потребитель за дополнительную тарифную ставку с одной стороны, а ТСО, мотивированная получением дополнительной прибыли с другой, имели возможность закрепить при технологическое присоединение и, в дальнейшем, в договоре на транспорт электроэнергии корректировать требуемый потребителем уровень надежности электроснабжения. Кроме того, необходимо четко обозначить ответственность сторон за несоблюдение условий договора и определить порядок финансовых взаимоотношений между заинтересованными сторонами.

2. Передача питающих линий на баланс ТСО позволит значительно повысить надежность и эффективность электроснабжения коммунально-бытовых потребителей.

3. Необходимо изменение действующего законодательства РФ с целью создания института «гарантирующих сетевиков», аналогичного институту «гарантирующих поставщиков» в сфере сбыта электроэнергии. Крупнейшая ТСО в регионе получает по конкурсу статус «гарантирующий сетевик», тем самым соглашаясь с обязанностью принимать на баланс любые сети потребителей, за исключением внутридомовых проводок. В качестве преимуществ «гарантирующий сетевик» имеет право первым получать средства от тарифа на транспорт, распределяемые затем по цепочке нижестоящим ТСО, тем самым минимизируется риск неполучения средств за оказанные услуги.

### Библиографический список

1. Папков, Б.В. Вопросы повышения эффективности функционирования территориальных сетевых организаций / Б.В. Папков, В.Ю. Вуколов // Промышленная энергетика. – М., 2012. №5. С. 18–21.

2. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии, утверждены постановлением правительства РФ от 4 мая 2012 г. № 442 // Собрание законодательства РФ. 04.06.2012, № 23, ст. 3008.
3. **Вуколов, В.Ю.** Повышение эффективности передачи электроэнергии в распределительных сетях: Ч. 1 / В.Ю. Вуколов, А.Л. Куликов, Б.В. Папков // Москва. НТФ «Энергопрогресс», Библиотечка электротехника, 2013. №11. С. 72.
4. Постановление Правительства РФ от 13.08.2006 № 491 «Об утверждении Правил содержания общего имущества в многоквартирном доме и Правил изменения размера платы за содержание и ремонт жилого помещения в случае оказания услуг и выполнения работ по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме ненадлежащего качества и (или) с перерывами, превышающими установленную продолжительность». – М., 2006.
5. Федеральный закон №35-ФЗ "Об электроэнергетике" от 26.03.2003. – М., 2003.

*Дата поступления  
в редакцию 03.10.2014*

**V. Yu. Vukolov**

## **THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF POWER SUPPLY TO RESIDENTIAL CONSUMERS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The analysis of the system of relations "consumer-energy supplying organizations" in the face of changed requirements for reliability and identifies the key risks of entities. Consider increasing the reliability and efficiency of domestic consumers both the connection to the electricity network and in terms of a Treaty on the transfer of power.

*Key words:* reliability of electrical networks, increasing the efficiency of energy consumption, the border carrying supplies, electricity tariff.

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

---

---

УДК 621.88.658

В.А. Володин, В.А. Братухин

### КРЕПЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ С ТАРИРОВАННОЙ ЗАТЯЖКОЙ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ОАО «Нормаль»

Применение крепежных систем с тарированной затяжкой в летательных аппаратах гражданской авиации позволяет снизить трудоемкость сборки авиационной техники. Анализируются особенности выбора материалов для изготовления данных систем, приводится сравнительный анализ отечественных крепежных систем с зарубежными аналогами.

*Ключевые слова:* крепежные системы, тарированная затяжка, летательные аппараты, высокоресурсный крепеж.

Результаты исследований и испытаний, а также опыт эксплуатации гражданских самолетов дают основание считать, что ресурс самолета в значительной мере определяется долговечностью элементов конструкции в зоне соединений, прежде всего, высоконагруженных, воспринимающих и передающих эксплуатационные нагрузки.

Известно, что усталостные разрушения планера самолета в подавляющем большинстве случаев (75–85% всех разрушений) непосредственно связаны с потерей прочности соединений.

В настоящее время, в целом, определились основные конструктивно-технологические методы и средства обеспечения ресурса и надежности высоконагруженных соединений. К числу наиболее эффективных методов следует отнести применение в высоконагруженных соединениях крепежных элементов (систем), адекватных по своим прочностным, коррозионным и другим характеристикам принятой концепции обеспечения регламентированного ресурса самолета в целом.

Выполнение высоконагруженных соединений является одним из наиболее ответственных и трудоемких этапов агрегатной сборки планера, трудоемкость которой составляет до 30% общей трудоемкости производства самолета. Поэтому, степень конструктивно-технологического совершенства соединений в значительной степени определяет уровень технологичности конструкции планера и соответственно влияет на его себестоимость как интегральный показатель производственной эффективности и на весовые характеристики, формирующие эксплуатационную эффективность самолета.

Количество крепежных элементов, устанавливаемых в процессе сборки планера современного пассажирского самолета, достигает 1,5 млн штук. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что на самолетостроительных предприятиях Великобритании материальные затраты на выполнение соединений при сборке агрегатов планера гражданских самолетов составляет до 50% стоимости этих агрегатов. Аналогичное соотношение затрат характерно и для предприятий США. Это в первую очередь обусловлено тем, что высоконагруженные соединения, в соответствии с Авиационными правилами большинства стран, производящих гражданские самолеты, относятся к особоответственным элементам конструкции и их сборка выполняется наиболее квалифицированным высокооплачиваемым пер-

соналом. Технология выполнения таких соединений предусматривает, как правило, проведение значительного количества контрольных операций и использования разнообразных и сложных средств технологического оснащения.

В среде специалистов общепринято такое соотношение: стоимость крепежных элементов, установленных в результате выполнения соединения, в 3-10 раз больше их номинальной стоимости.

Эти обстоятельства объясняют особое внимание, которое уделяют проблемам выбора крепежных элементов и технологии их постановки, начиная с первых стадий проектирования самолета.

Представленная далее информация посвящена крепежным системам, обеспечивающим тарированное сжатие собираемого пакета деталей. Крепежные системы такого типа являются, наряду с традиционными болтовыми и болт-заклепочными, наиболее распространенным крепежом, используемым в высоконагруженных соединениях, прежде всего, наиболее ответственных – стыковых.

Тарированное усилие сжатия собираемого пакета обеспечивается этими крепежными системами за счет достижения стабильной точности величины крутящего момента при завершении процесса свинчивания болта и гайки (рис. 1). Известно, что реализация этого условия является одной из основных предпосылок высокой усталостной прочности конструкции в зоне соединения.

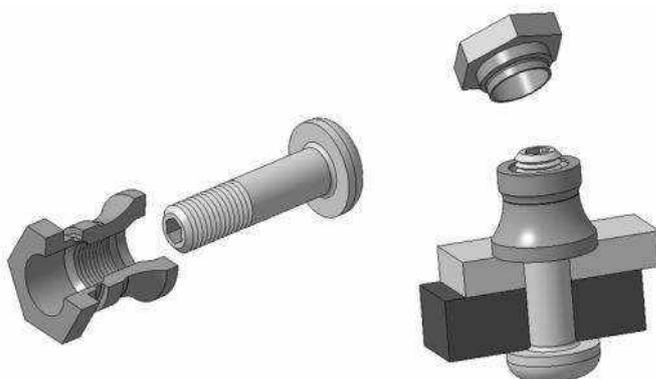


Рис. 1. Крепежная система Hi-Lok®

Кроме этого, обеспечение равномерности затяжки групповых соединений оказывает существенное влияние на работоспособность тонкостенных обшивок и конструкций, к которым предъявляются высокие требования по герметичности. Неравномерная затяжка болтов вызывает неравномерную деформацию соединяемых деталей и может привести к нарушению плотности стыка.

Применение крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета позволяет эффективно исключить процесс самоотвинчивания резьбового соединения при эксплуатации в условиях вибрации, носящей случайный или систематический характер. С этой целью в конструкции гайки предусмотрен тонкостенный цилиндрический участок – бонка. Увеличение трения в резьбовой паре обеспечивается за счет деформирования (обжатия) бонки на заданную величину в двух точках. Силовое замыкание на резьбу происходит в момент затягивания, при котором сформированная резьба гайки надежно стопорит резьбовое соединение. Данный процесс также необходимо учитывать при определении крутящего момента затяжки, который в свою очередь определяет усилие стяжки пакета. Сильное обжатие гайки в районе бонки вызывает значительные силы трения в резьбе и приводит к преждевременному «срезанию» шестигранника. В свою очередь, незначительное обжатие не обеспечивает необходимого эффекта самоконтрнения резьбового соединения.

Величина крутящего момента при завершении свинчивания болта и гайки определя-

ется расчетным и опытным путем и зависит от многих факторов: применяемого материала для изготовления гайки и режимов термообработки этого материала, а также толщины перемычки, соединяющей шестигранник гайки с основным телом гайки. Варьирование этих факторов позволяет получать расчетную величину крутящего момента, при котором происходит «срезание» шестигранника гайки и завершение процесса свинчивания, в очень широком диапазоне. Немаловажным фактором, оказывающим влияние на данную величину, является также виды покрытий крепежных изделий и применяемые смазки, основное назначение которых – снижение коэффициента трения в резьбе. Покрытия должны быть более мягкими, чем материал резьбовой детали и должны деформироваться без разрушения пленки. Для защиты от коррозии, уменьшения коэффициентов трения и их стабилизации для крепежных систем из легированных сталей применяют цинковое покрытие с хроматированием или кадмиевое покрытие с хроматированием, а для крепежа из титановых сплавов наиболее эффективно анодное оксидирование.

Для выполнения соединений крепежными системами с тарированной затяжкой используется ручной механизированный или автоматизированный постановочный инструмент. В процессе постановки крепежа реализуется основное преимущество данных систем, а именно, обеспечение стабильности стяжки пакета деталей, происходящее в момент срезания шестигранника гайки, которое не зависит от квалификации сборщика. Применение автоматизированного инструмента обеспечивает выполнение до 45 свинчиваний в минуту. Все это в комплексе позволяет значительно снизить трудоемкость сборочных работ. Кроме этого, внедрение указанной крепежной системы в летательных аппаратах обеспечивает создание прочных неразъемных соединений, где затруднена возможность применения болтов и болт-заклепок.

Принципиально важным для конструкции крепежных систем с тарированной затяжкой является выбор материалов, обеспечивающих хорошие технологические свойства в условиях массового производства и высокий уровень механических свойств, которые можно изменять в определенном интервале значений.

В условиях крупносерийного и массового производства основное количество крепежных изделий изготавливают способами холодной и горячей пластической деформации. В связи с этим материалы для такого способа производства должны иметь высокую технологическую деформируемость, стабильность механических свойств, а удельные нагрузки при деформации не должны превышать предела текучести на сжатие инструментальных материалов. Этим технологическим требованиям в наибольшей степени подходят из низкоуглеродистых низколегированных сталей сталь 16ХСН, а из сплавов на основе титана – титановый сплав ВТ16.

Применение процесса деформационного упрочнения при изготовлении крепежных изделий из сплава ВТ16 и термического упрочнения после холодного пластического деформирования для стали 16ХСН позволяет получать высокопрочный крепеж, у которого временное сопротивление разрыву  $\sigma_v \geq 1000$  МПа.

Болты, изготовленные из стали 16ХСН, работают преимущественно на статическое растяжение и способны воспринимать высокие знакопеременные растягивающие нагрузки. Болты, изготовленные из сплава ВТ16, работают преимущественно на срез, в том числе в соединениях повышенного ресурса. Кроме этого, болты из этого сплава можно применять в конструкциях из полимерных композиционных материалов (ПКМ), так как последние не вызывают процессов коррозии в титановых сплавах.

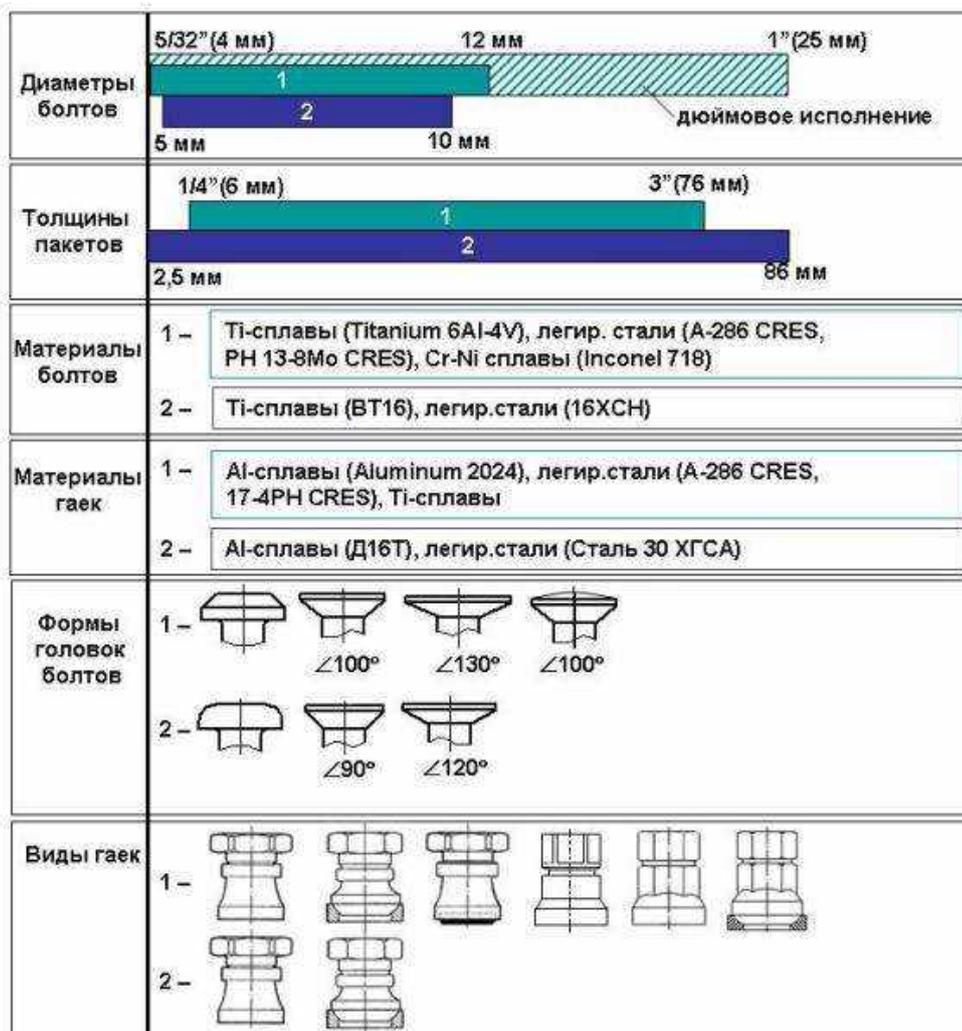
Особенно важное значение имеет выбор материала для изготовления гайки, так как, в конечном итоге, именно диапазон значений временного сопротивления материала определяет минимальную разрушающую нагрузку, при которой срезается шестигранник гайки, обеспечивая заданное усилие стяжки собираемого пакета. Данный материал должен хорошо обрабатываться резанием и воспринимать термоупрочняющую обработку, обеспечивая механические свойства в определенном диапазоне. При этом должна быть возможность изменения параметров термической обработки с целью изменения этих свойств внутри диапазона.

В зависимости от значений прочности соединения собираемого пакета и возможности сочетания материалов болта и гайки, не приводящего к процессам коррозии, а также с уче-

том технологических свойств были выбраны сталь 30ХГСА, обеспечивающая уровень прочности  $\sigma_B \geq 900$  МПа, и сплав на основе алюминия Д16Т.

**Таблица 1**  
Сочетание материалов элементов крепежной системы по ОСТ 1 00750-76

Материал болта	Материал гайки	Материал шайбы
16ХСН	30ХГСА	30ХГСА
BT16	30 ХГСА Д16Т	BT16 30ХГСА



**Рис. 2. Основные характеристики резьбовых крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета:**

1 – зарубежный крепеж (Hi-Lok, Hi-Tigue, Hi-Lite, Veri-Lite, Aero-Lite);  
2 – крепеж по ОСТ 1 00750-76

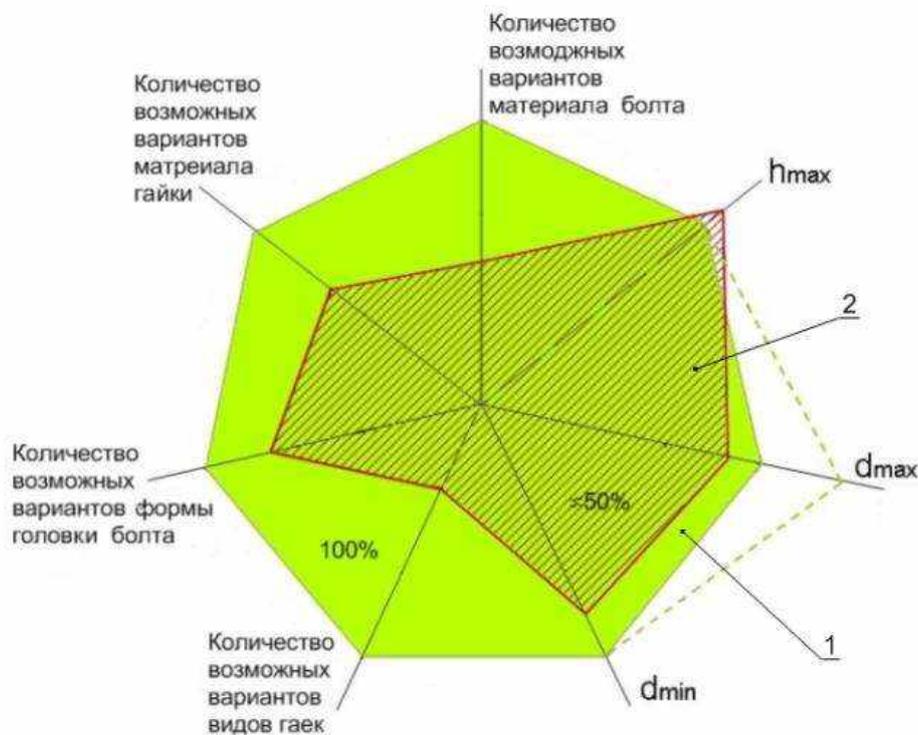
Российским представителем крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета данного типа является крепеж по ОСТ 1 00750-76 «Болты, гайки и шайбы для соединений с тарированной затяжкой», разработанный ОАО «Нормаль» (г. Нижний Новгород).

Конструктивно-технологическая концепция данной крепежной системы, предназначенной для использования в соединениях, работающих на срез, предусматривает следующее:

- ряд диаметров болтов, включающий 5; 6; 8 и 10 мм;

- два варианта конструктивного исполнения болтов, отличающихся предельными отклонениями диаметра гладкой части: по  $h_{10}$  и допуском в пределах  $\begin{matrix} +0,022 \\ +0,004 \end{matrix}$ ;
- стандарты устанавливают два варианта конструктивного исполнения гаек: с плоской и со сферической опорной поверхностью. Применение последних в комплекте с шайбами по ОСТ 1 11823-74 позволяет выполнять соединение в пакетах с углом клиновидности до  $8^\circ$  (при условии перпендикулярности оси отверстия одной из поверхностей пакета);
- несколько вариантов сочетания материалов, из которых изготавливаются болты, гайки и шайбы (см. табл. 1).

Результаты проведенного сравнительного анализа технических характеристик и параметров российских и зарубежных крепежных систем (рис. 2, 3), дают основание считать, что крепеж по ОСТ 1 00750-76 в достаточно высокой степени соответствует требованиям, сформированным эволюцией развития и опытом эксплуатации крепежных систем данного типа, и является подтверждением целесообразности использования российской крепежной системы для выполнения соединений в конструкции планера современных гражданских самолетов.



**Рис. 3. Анализ комплекса свойств резьбовых крепежных систем с тарированным усилием сжатия пакета:**

1 – зарубежный крепеж (Hi-Lok, Hi-Tigue, Hi-Lite, Veri-Lite, Aero-Lite); 2 – крепежа по ОСТ 1 00750-76;

$d_{\min}$  – минимальный диаметр болта;  $d_{\max}$  – максимальный диаметр болта;

$h_{\max}$  – максимальная толщина соединяемого пакета

#### Библиографический список

1. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А.И. Пекарш [и др.]. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
2. Егер, С.М. Основы авиационной техники / С.М. Егер, А.М. Матвеев, И.А. Шаталов. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 576 с.
3. Володин, В.А. Информационное обеспечение конструкторско-технологических решений высококачественных крепежных изделий авиационно-космической техники / В.А. Володин,

- В.А. Братухин // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение. – М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. С. 416–418.
4. **Матвиенко, В.А.** Разработка технологии выполнения соединений крепежом с тарированной затяжкой / В.А. Матвиенко [и др.] // Технологические системы. 2014. №1. С. 47–51.

*Дата поступления  
в редакцию 16.10.2014*

**V.A. Volodin, V.A. Bratukhin**

**FASTENERS WITH THE CALIBRATED BOLT TENSION FOR THE HIGH-LOAD  
AERONAUTICAL STRUCTURE**

JSC “NORMAL”

**Purpose:** The application of fasteners with calibrated bolt tension offers the possibility to reduce the work labour input by the high-load aeronautical structure.

**Methodology:** The material selection for these fasteners provides high technological and functional properties by manufacturing for high-volume production.

**Findings:** The benchmarking of the russian and foreign fasteners confirms the applicability for the russian fasteners.

*Key words:* fasteners, calibrated bolt tension, air vehicles, fasteners with the high endurance.

## ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ

---

УДК 347.736

А.С. Узбекова, И.С. Малышева

### ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ МАСЛОЖИРОВОГО КЛАСТЕРА В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Оценить перспективы и проблемы создания и развития масложирового кластера в Нижегородской области.

**Методология:** в ходе работы был проведен анализ понятия кластера в экономике, исследована пищевая промышленность в разрезе масложировой отрасли, оценена перспектива создания кластера, изучена ситуация в регионе и рассмотрены основные участники. Большое внимание уделено структуре кластера и его формирования, а также основным проблемам его создания и развития.

**Результаты:** на сегодняшний день отсутствует достаточная законодательная база, позволяющая развивать новую инфраструктуру на базе кластерного подхода. Урегулирование процедуры кластеризации значительно упростило и ускорило бы развитие промышленности и экономики в целом, как на региональном, так и на национальном уровне.

**Выводы:** решение рассматриваемых в работе вопросов позволит привлечь внимание к проблемам экономики на региональном уровне и найти пути решения

*Ключевые слова:* кластер, кластерная политика, классификация кластеров, нормативы кластеров, кластеры на практике, зарубежная практика кластеризации, масложировая отрасль, модель кластера, перспектива развития кластеров.

#### Введение

Современный научно-технический прогресс вывел общество на новый этап развития, и уже нельзя представить сегодняшний мир без использования того или иного приспособления.

Наш век называют постиндустриальным, информационный, но он обладает и рядом отличительных особенностей, которые отражены в различных работах и материалах известных исследователей и ученых во всех отраслях современной науки. Несомненно, большую часть внимания должным образом занимает глобализация, повлекшая за собой изменения во всех сферах современного мира – экономической, политической, технологической и иных.

С учетом новой экономической среды, высшее руководство все больше и больше обращает внимание на создание различных структур территориального развития, ориентируется на особенности локальных конкурентов и особенно выделяет региональные производственные системы.

Главной целью всех этих нововведений является желание обеспечить высокий уровень конкурентоспособности на национальном и региональном уровне. И одним из современных способов достижения этой цели выступает такой инструмент, как кластеры.

На сегодняшний день кластеры расцениваются как средство повышения всех требуемых показателей для предприятия. В первую очередь, конечно, этот инструмент рассматривается для повышения конкурентоспособности конечной продукции, а также в целях оптимизации производственного процесса. Иногда кластеры способствуют и установлению необходимых взаимоотношений между предприятиями или их отдельными филиалами, в том числе между исследовательскими отделами, финансовыми учреждениями или производственными секторами.

## Кластеры в экономике

В первую очередь следует отметить, что по праву первопроходцем в кластерной теории является Майкл Портер.

В самом простом варианте кластер представляет собой сконцентрированную на некоторой территории группу взаимосвязанных организаций, взаимодополняющих друг друга и усиливающих конкурентные преимущества отдельных компаний и/или кластера в целом. В качестве взаимодействующих организаций могут выступать компании, корпорации из всех отраслей деятельности, в том числе поставщики продукции, комплектующих и специализированных услуг. В последнее время часто привлекают научно-исследовательские институты или отделы.

Несмотря на большое сходство, кластеры следует отличать от холдингов, профессиональных ассоциаций, технопарков и других инновационных систем.

Самым главным отличием является наличие долгосрочных планов и программ, нацеленных на повышение конкурентоспособности конечного продукта за счет синергии. Предприятия, образуя кластер, объединяют свои бизнес-процессы, научно-исследовательские программы, ориентируясь строго на результат в будущем.

В отличие от остальных систем, компании, входящие в состав кластера, помимо существующей конкуренции между собой, способны объединяться в случае необходимости. Тем самым кластер усиливает конкуренцию там, где это выгодно, и требует объединения предприятий, к примеру, для привлечения специализированных поставщиков, создания уникальных систем и т.п.

**Региональный кластер** – это совокупность фирм, университетов и других организаций, связанных в определенной производственной области в определенном регионе, где синергия достигается при помощи конкуренции и кооперации между участниками. В данном случае синергетический эффект от взаимодействия организаций, входящих в такой кластер, достигается уже за счет возникающей региональной связи: все предприятия региона взаимодействуют на основе конкурентно-партнерских отношений ради достижения общей цели – развития региона в целом как кластера. При этом все субъекты хозяйствования находятся в равных условиях для осуществления своей деятельности: одна территория, одно законодательство.

Среди характеристик региональных кластеров следует отметить открытость, распространяющуюся за пределы внутрирегиональных сетей и имеющую цель использовать внешние ресурсы.

### Обоснование использования кластерного подхода

Сегодня во многих странах кластерный подход стал частью государственной политики. И, что особенно приятно отметить, Россия не стала исключением.

Кластеры, по мнению ученых и исследователей, являются одним из инструментов обеспечения конкурентоспособности стран в мировом хозяйстве. Но применять кластерный подход можно не только в национальных масштабах, но и на уровне регионов, отраслей и предприятий.

Все чаще в рамках региональной экономики, направленной на улучшение качества жизни населения и повышения привлекательности области, идет речь о формировании кластеров.

Рассматриваемая в работе Нижегородская область обладает рядом принципиальных характеристик, которые являются приоритетными для благополучного формирования кластера в регионе:

1. Наличие конкурентоспособных предприятий.

Наиболее значимым является наличие предприятий, обладающих высоким уровнем производительности и экономической эффективности.

## 2. Наличие в регионе конкурентных преимуществ для развития кластера.

Здесь отмечается выгодное географическое положение, свободный доступ к человеческим ресурсам, наличие поставщиков и рынка сбыта, взаимодействие с учебными заведениями и организациями, осуществляющими НИОКР, наличие необходимой инфраструктуры. Также может быть учтен уровень иностранных инвестиций.

## 3. Географическая концентрация.

Ключевые участники кластеры расположены в непосредственной географической близости, имеют возможность для активного взаимодействия.

## 4. Наличие связей и взаимодействий между участниками кластера.

Принципиальным моментом становится наличие связей между предприятиями – рынком сбыта – учебными заведениями на момент создания кластера.

С учетом все этих факторов формирование кластера не только нацелено на успех, но и имеет высокие шансы на успешное развитие как в рамках региона, так и на национальном уровне. Учитывая положения стратегии развития страны до 2020 года, кластерный подход в данной ситуации как нельзя лучше подходит для реализации политики развития региона.

### Выбор масложировой отрасли

Пищевая промышленность занимает важнейшее место в промышленном комплексе Российской Федерации. Масложировая промышленность занимает видное место в пищевой отрасли страны по значимости, роли и широте ассортимента пищевых товаров. Большинство пищевых жиров являются продуктами питания, естественно содержащими требуемые количества функционального ингредиента или группы ингредиентов, модифицированные таким образом, что они начинают проявлять свои биологически активные физиологические свойства, поэтому данную группу продовольственных товаров относят к категории продуктов функционального питания.

В настоящее время масложировая промышленность - это мощная отрасль, в состав которой входят предприятия, оснащенные передовой техникой и технологиями.

Масложировое производство всегда будет актуально при условии, что качество продукции будет удерживаться на высоком уровне, а ассортимент будет предлагать покупателю большой выбор товаров.

Практически все семьи покупают товар, к примеру, около 98% жителей нашей страны хотя бы раз в год использовали растительное масло. Маргарин используется не так часто, колбасные изделия и сыр – очень многими. Майонез имеет тенденцию сохранять потребление на одном и том же уровне.

Основными производителями подсолнечного масла являются Российская Федерация, Украина, страны ЕС, Аргентина, Турция. Из перечисленных стран первое место занимает Россия.

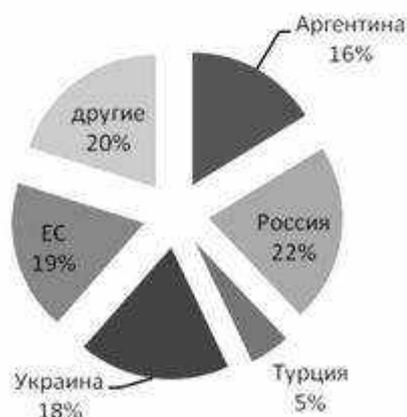


Рис. 1. Структура мирового производства подсолнечного масла

На протяжении последних лет масложировая отрасль отличается стабильностью производства, что характеризуется увеличением объемов производства, расширением ассортимента и сохранением высокого качества выпускаемой продукции. Это достигнуто благодаря реализации мер государственной поддержки, в том числе технического и таможенно-тарифного регулирования рынка растительных масел и маргариновой продукции, принятых Правительством Российской Федерации и направленных на создание условий устойчивого обеспечения предприятий отрасли масложировым сырьем, а также за счет внедрения рыночных отношений с привлечением частного капитала.

В развитие отрасли за последние годы отечественными и зарубежными компаниями инвестировано более 35 млрд руб. На российский рынок пришли транснациональные компании Каргилл, Юниливер, Бунге, Вилмар. Созданы крупные отечественные холдинги (НМЖК, Солнечные продукты, Юг Руси, ЭФКО).

Согласно документу «Стратегия развития Нижегородской области до 2020 года», стратегической целью Правительства Нижегородской области является уровень благосостояния населения и высокие стандарты качества жизни, которые могут быть достигнуты при наличии эффективной и сбалансированной экономики, благоприятных условий для жизни, а также эффективной исполнительной власти.

Одним из направлений достижения стратегической цели является обеспечение инвестиционной привлекательности территории для создания новых предприятий в приоритетных секторах экономики.

В соответствии с реализацией стратегической цели кластер рассмотрен в качестве инструмента обеспечения и развития инвестиционной привлекательности территории. Такое управленческое решение обосновано определением роли кластеров в повышении эффективности региональной экономики, обобщения и анализа зарубежного и отечественного опыта в области идентификации и активизации кластерных процессов в регионе.

### **Модель масложирового кластера**

Основой для формирования кластеров является предпринимательская инициатива, а также возможность и/или необходимость совместного использования многими хозяйствующими субъектами одного или нескольких объединяющих факторов, таких как: базовая технология, каналы маркетингового продвижения продукции, подготовка кадров, система генерации ноу-хау, относящихся к единому продуктовому направлению.

В настоящее время существуют две модели построения отношений внутри кластера. Наиболее распространена так называемая «шотландская модель», при которой центром кластера, как правило, является одна или несколько независимых мощных компаний, между которыми сохраняются конкурентные отношения, что существенно отличает кластер от картеля или финансово-промышленной группы. В результате того, что лидирующие на мировом рынке крупные компании и фирмы нуждаются в большом количестве приспособленного к их технологиям смежных производств, оборудования, материалов и т.п., создается емкий рынок для небольших фирм, в том числе с инновационной направленностью, которые в будущем и становятся генераторами конкурентных преимуществ. Кластер дает работу множеству мелких фирм - поставщиков простых комплектующих, соединяя в себе только лучшие предприятия, обладающие международной конкурентоспособностью. Опыт показывает, что большинство стран Европейского Союза придерживаются именно «шотландской модели» построения кластеров.

Меньшую популярность имеют кластеры на основе «итальянской модели». Это более гибкое и «равноправное» сотрудничество предприятий малого, среднего и крупного бизнеса.

Применительно к модели регионального кластера в области масложировой промышленности предпочтительнее оказывается шотландская модель. В соответствии с этим представляется следующая схема кластера:



Рис. 2. Модель кластера по шотландской схеме

### Участники кластера

По состоянию на конец 2013 года потенциальные компании, подходящие для создания, это - ЭФКО, НМЖК, Юнилевер и Махеев. Исходя из того, что кластер создается все-таки как региональный, то по территориальной составляющей подходят только три компании – ЭФКО, НМЖК и Махеев.

ЭФКО - российская пищевая компания, производитель растительных масел, пищевых ингредиентов и продуктов питания (в том числе майонеза «Слобода» и Altero).

НМЖК - один из лидеров масложировой отрасли России и СНГ, включает также Самарский жировой комбинат, Пермский маргариновый завод «Сдобри», Шуйский и Оренбургский маслоэкстракционные заводы и пять элеваторов. Производит не только масло и майонез, но и производственные маргарины и жиры, туалетное и хозяйственное мыло.

Махеев - российская торговая марка, под которой выпускаются продукты питания. На данный момент, под торговой маркой «Махеев» выпускается порядка ста наименований продукции. Это не только майонез, но и кетчуп, еда быстрого приготовления, горчица, хрен, джем, повидло, семечки и кукурузные палочки.

Три этих предприятия составляют блок промышленных предприятий.

В разрезе рынка сбыта будут рассмотрены два блока.

Торгово-сбытовые предприятия, по сути, это, в первую очередь, дистрибьюторы региона, а также различные крупнооптовые частные предприниматели. Здесь представлены дистрибьюторы Сладкая жизнь плюс, ООО ФЭТ, ГК АЛИДИ, ГК ВКТ.

В роли покупателей предстают индивидуальные предприниматели, как правило, из районов области, чтобы обеспечить максимальную дистрибьюцию. Это ИП Маркова и ИП Гусев.

Кроме производственных предприятий и рынка сбыта, необходимо наличие и производителей вторичной продукции. В разрезе регионального кластера целесообразно включить дочерние компании предприятий-участников, а не создавать новые. Это позволит каждой из компаний расширить свою географию, а кластеру существенно сэкономить на издержках.

В качестве сервисных компаний используется база того предприятия, которое имеет в наиболее близком месте свои заводы. Это служит началом развития научной школы, которая предстает отдельным блоком.

Научно-образовательный центр создается на базе одного из ведущих вузов и техни-

кума. Здесь идеальным образом подобраны оба участника, так как они уже между собой связаны контрактом.

Финансовый и маркетинговый отделы будут созданы с нуля, чтобы не зависеть ни от одной из сторон кластера.

В результате исследования всех сторон кластера и взаимосвязей внутри его, была сформирована окончательная схема предлагаемого варианта.

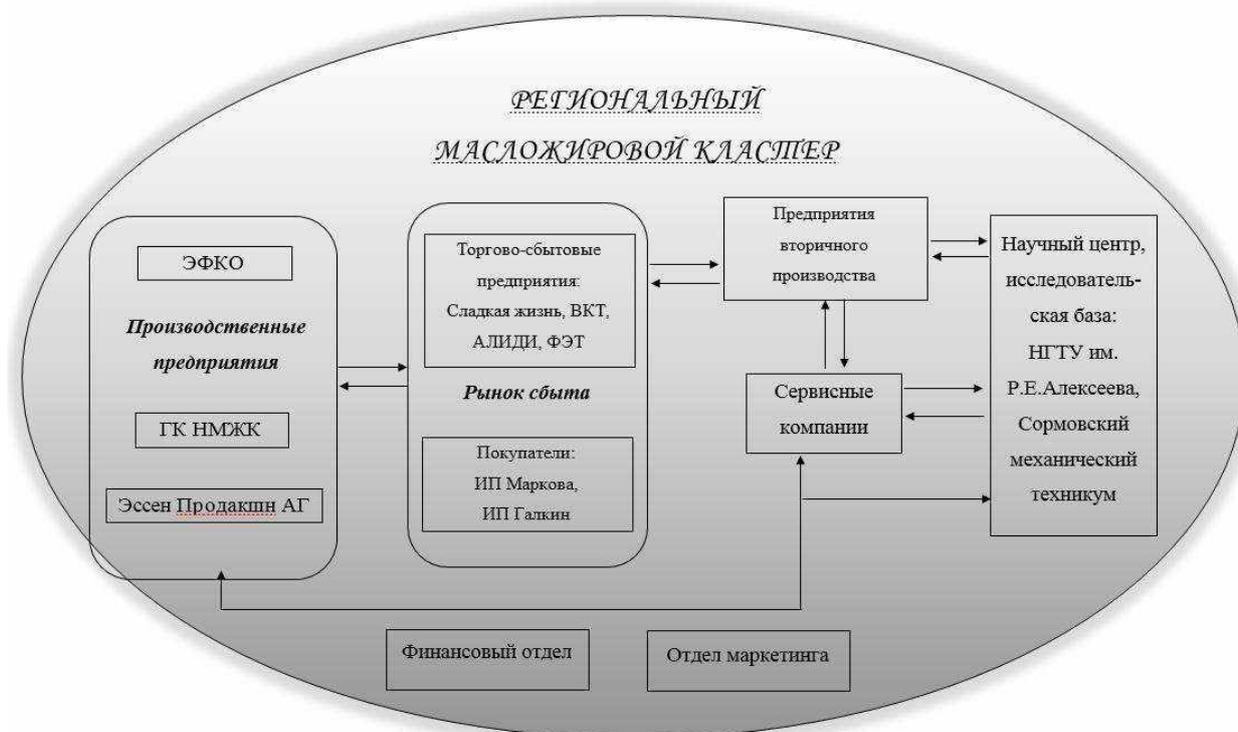


Рис. 3. Схема масложирового кластера в Нижегородской области

### Перспективы и проблемы создания масложирового кластера в регионе

Чтобы говорить о перспективе развития кластера, необходимо отметить, что в первую очередь создание кластера положительно скажется на нескольких аспекта масложировой отрасли региона.

*Во-первых*, с помощью твердых маркетинговых мероприятий может быть усилено узнавание продукта. Помимо этого всем предприятиям будет проще внедрять свою собственную рекламу, так как на фоне общего ролика восприятие конкретного бренда усиливается. *Во-вторых*, усиление продукта на рынках способствует увеличению объема продаж.

Также заключение контрактов с учебными заведениями, проведение специальных программ, отслеживание экологической ситуации на производстве способствуют положительным оценкам со стороны региональных властей.

Нельзя не отметить, что создание кластера в настоящее время можно трактовать как своевременное выполнение стратегии развития страны до 2020 года. Предприятия, формирующие кластеры именно сейчас, когда еще нет нормативной базы, могут в будущем пользоваться преимуществами, так как в последующем именно на их опыт будут опираться при составлении законодательства.

Создание и развитие кластера способствует не только развитию самих предприятий, но и всей масложировой отрасли.

К примеру, за счет улучшения системы вторичного производства повышается и объем продаж, и статус компании. Создание и развитие общих финансового и маркетингового отделов позволит самим предприятиям перенимать опыт.

Но самый главный из ожидаемых результатов – это развитие основного производства, совершенствование технологий, систем качества и управления. В совокупности с тем, что планируется поддерживать и развивать собственный научный центр, возможностей для обновления и инноваций становится намного больше.

В рамках перспективы развития кластера можно говорить о проведении обширной программы научных исследований и технологических разработок, за счет которых будут получены новые важные знания, полезные в производстве масложировой промышленности. Это поднимет производство на новый уровень, позволит больше и чаще внедрять инновации.

Главными проблемами на сегодняшний день остаются несостыковки в законодательстве, необходимость больших вложений на первых этапах, непонимание участниками кластера его сути и значения.

### Выводы

В зарубежной практике кластерная политика давно внедряется во все сферы деятельности. В европейских странах в настоящее время реализуется множество проектов, направленных на развитие кластерной политики.

К настоящему времени использование кластерного подхода уже заняло передовые позиции в стратегиях развития Российской Федерации. На федеральном уровне уже создан ряд механизмов, позволяющих обеспечить финансирование мероприятий по развитию кластеров.

В ходе анализа и исследования всех аспектов масложирового кластера в регионе было выявлено, что у рассматриваемого кластера есть все шансы вырасти до национального масложирового кластера. В то же время, есть все шансы перерасти в кластер пищевой продукции в регионе, и далее претендовать на национальный уровень. В обоих случаях это положительно скажется на всей экономике страны, так как масложировая отрасль относится к стратегически важной промышленности России.

В ходе данной работы были выявлены слабые и сильные стороны кластера. Было сформировано видение реализации кластерной политики в регионе и за его пределами.

### Библиографический список

1. «Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года», Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. N 1662-р. М., 2008.
2. «Инновационная Россия – 2020». Правительство Российской Федерации. – М., 2011.
3. Методические рекомендации по реализации кластерной политики в субъектах Российской Федерации. – М.
4. Идентификация отраслевых кластеров в национальных и региональных экономиках / Государственное автономное учреждение «Центр инновационного развития и кластерных инициатив». – М., 2011.
5. **Княгинин, В.Н.** Кластерный путь к новой экономике / В.Н. Княгинин // Полит.ру, ноябрь 2012.
6. **Глухова, М.** Кластеры – нужны ли они российской экономике? // Промышленник России, сентябрь, 2012.
7. **Портер, М.** Конкуренция. [пер. с англ.] / М. Портер. – М., 2010.
8. **Семенова, Н.Н.** «Кластеризация — новое явление в мировой экономике и политике» // Internet - [www.nikst.ru](http://www.nikst.ru), 2012.
9. **Узбекова, А.С.** Проблематика идентификации и построения кластерных образований предприятий Нижегородской области / А.С. Узбекова, Н.А. Шибанов, К.И. Колесов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород. 2013. № 1 (98).
10. Официальный сайт Ассоциации производителей и потребителей масложировой продукции // Internet - <http://nkoarmp.org/>

11. Официальный сайт Масложирового союза России // Internet - <http://mjsr.ru/>
12. Официальный сайт // Internet - ГК ЭФКО <http://www.efko.ru/>
13. Официальный сайт // Internet - ГК НМЖК <http://www.nmgk.ru/rus/>
14. Официальный сайт Эссен Продакшн АГ // Internet - <http://www.maheev.ru/>

*Дата поступления  
в редакцию 03.10.2014*

**A.S. Uzbekova, I.S. Malysheva**

**ANALYSIS OF CONTEMPORARY RUSSIAN CORPORATE LAW.  
CHALLENGES AND SOLUTIONS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** To estimate prospects and problems of creation and development of an oil and fat cluster in the Nizhny Novgorod Region.

**Methodology:** During work, the analysis of concept of a cluster in economy was carried out, the food industry in a section of oil and fat branch is investigated, the prospect of creation of a cluster is estimated from the legislation, the situation in the region is studied and the main participants are considered. Much attention is paid to structure of a cluster and its formation, and the main problems of its creation and development.

**Results:** today there is no the fixed legislative base, allowing to develop new infrastructure according to rules. Settlement of procedure of a clustering considerably simplified and would accelerate development of national economy, and, as a result, and all industry.

**Conclusions:** the raising of the questions designated in work will allow to draw attention to modern problems and to find solutions.

*Key words:* cluster, cluster policy, classification of clusters, standards of clusters, clusters in practice, foreign practice of a clustering, oil and fat branch, cluster model, prospect of development of clusters.

## СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ

---

---

УДК 94.47.08

Г.А. Ивакин

### ЧЕРНОСОТЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ НАЧАЛА XX ВЕКА: ОТ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ОФОРМЛЕНИЯ К ПОПЫТКАМ ОБЪЕДИНЕНИЯ

Российская академия народного хозяйства и государственной службы  
при президенте Российской Федерации

Рассматривается деятельность черносотенных союзов и организаций, направленная на координацию политической активности и организационное объединение. Анализируются обстоятельства и факторы, препятствующие реализации интеграционных инициатив в черносотенном движении.

*Ключевые слова:* черносотенство, Союз Русского Народа, Союз имени Михаила Архангела, партийная система России начала XX в., правый радикализм.

Черносотенное движение выступило в начале XX века под лозунгами защиты российской монархии, ее социально-политического строя и традиционных ценностей, выраженных в уваровской триаде «Православие, Самодержавие, Народность». Эти ценности черносотенцы отстаивали всеми доступными им способами, стремясь к консолидации перед лицом угрозы революционных изменений политических, экономических и социально-культурных основ общественного устройства.

В условиях современного российского партийного строительства и нового поиска идеологических основ российской государственности, крайне важным представляется обращение к историческому опыту партийной системы начала XX в., анализу трудностей и противоречий ее развития на примере крайне правых партийных и общественно-политических организаций.

В настоящей статье на основе архивных документов рассматриваются проблемы, связанные с партийно-организационным оформлением черносотенного движения и поиском единства среди ультраправых организаций, сформировавшихся после революции 1905–1907 гг. Черносотенство в 1905–1917 гг. представляло собой несколько крупных и мелких монархических организаций: «Союз русского народа», «Союз Михаила Архангела», «Русская монархическая партия», «Союз русских людей», «Союз борьбы с крамолой», «Совет объединённого дворянства», «Русское собрание» и другие. Концептуальные основы черносотенного движения были заложены еще в середине XIX столетия в ходе споров между славянофилами и западниками, в которых первые отстаивали идею самодержавия, базирующегося на православных традициях русского народа. Сами же черносотенцы вели свою историю от Смутного времени, когда черносотенные крестьяне вошли в состав ополчения К. Минина и Д. Пожарского.

Черносотенные организации формировались по принципу классических политических партий и включали политических лидеров, центральный аппарат, региональные ячейки, постоянных членов и сочувствующих активистов. Организационная структура черносотенных организаций была достаточно единообразна. В центральном губернском городе базировалась

центральная организация, в уездных же центрах создавались местные отделения. Крупные организации, как правило, находились в крупных городах (Санкт-Петербург, Москва, Киев) и имели губернские отделения (что не исключало создания уездных отделов). Местные отделы создавались в губернских (уездных), о чем местная общественность заранее уведомлялась. Уведомления распространялись в виде объявлений или через прессу. Типичным является объявление следующего содержания, которое было распространено во Владимире в 1913 г.: «Сим объявляется, что в скором времени в г. Владимире имеет быть открыт Владимирский Губернский Отдел Всероссийского Дубровинского Союза Русского Народа. Желющие примкнуть к Монархической организации и кому дороги вера православная, царь самодержавный и русская народность, могут пожаловать на открытие. О дне открытия и месте будет объявлено в скором времени» [1, Л. 9].

Крайне показательно, что среди членов черносотенных организаций были не только представители высших сословий, но и низших. Например, согласно донесениям полиции Бессарабской губернии от 16 декабря 1916 года «примыкают к союзу (Союз Русского Народа – Г.И.) почти исключительно низшие слои населения в некоторых местностях уездов даже порочные субъекты» [2, Л. 32]. Городское население также выражало поддержку черносотенному движению. Согласно рапорту Муромского Уездного исправника от 7 января 1907 г., на открытие отдела Союза Русского Народа собралось до 200 человек, преимущественно мелких торговцев, мещан и ремесленников. При этом председателем отдела был избран Земский Начальник И.В. Ознобишин [2, Л. 30]. На основе этих фактов, можно говорить о том, что поддержку черносотенству оказывали разные слои сельского и городского населения России.

Черносотенные организации пользовались поддержкой и среди крестьян, причем крестьяне зачастую выступали в качестве руководителей региональных отделений черносотенных организаций. Для примера можно взять состав Совета Всероссийского Дубровинского Союза Русского Народа Нижнедевицкого уезда Воронежской губернии. Председателем данного совета являлся крестьянин Гончаров И.П., товарищами председателя крестьяне Землянухин С.С. и Князев В.А., казначеем совета являлся крестьянин Гончаров Н.И., также крестьянином был секретарь совета Строев А.П. [3, Л. 24]. Как пишет д-р ист.наук Ю.И. Кирьянов, «отмечая всесословный характер правых партий и организаций, «союзники» вместе с тем отдавали себе отчет (и это неоднократно фиксировалось в документах), что в большинстве своем СРН (здесь и далее Союз Русского Народа – Г.И.) и другие правые партии состояли из крестьян, престоляродья» [4, С. 37].

Крайне важно отметить, что в составе низовых ячеек черносотенных организаций было много представителей крестьянства, составляющего основную массу населения России того времени. Показательно, что крестьяне в ряде случаев выступали в роли наиболее активной социальной силы, стоящей на страже традиционных ценностей. Так, 19 октября 1905 года в Костроме именно крестьяне первыми набросились на ораторов-революционеров, которые «позволили себе кощунственно отзываться о религии и Царствующем доме» [5, Л. 30б]. Как отмечается в донесении начальника Костромского губернского жандармского управления полковника Началова «окружившие демонстрантов крестьяне потеряли самообладание» [5, Л. 30б]. Сами же крестьяне в донесении характеризуются как лица «преимущественно принявшие участие в столкновении» [5, Л. 30б].

Таким образом, идеология черносотенства не являла собой элитарной доктрины, но охватывала все слои населения, находя в них живой отклик. При этом отметим, что, как и в любом другом движении, в правомонархических партиях и организациях встречались люди, преследующие свои узкокорыстные интересы.

Вступая в черносотенную организацию, неопит должен был полностью согласиться с подобным видением государственного устройства, например, в письменном «обещании», которое при вступлении давал будущий член СРН, говорилось о том, что он обязуется хранить верность «Его Императорскому Величеству Государю Императору и Самодержцу Всерос-

сийскому, помятуя лишь о благе и пользе России и отстаивая вековые заветы родины: Православие, Самодержавие и Народность» [6, Л. 18].

Обещание прикладывалось к заявлению с просьбой о вступлении в организацию, в котором отмечалось, что ее будущий член стремится «к содействию (всеми законными средствами) правильному развитию начал Русской Церковности, Русской Государственности и Русского Народного хозяйства, на основах православия, неограниченного Самодержавия и Русской народности» [6, Л. 18].

Важным направлением организационной деятельности черносотенных союзов было проведение всероссийских съездов и совещаний. Данные съезды были направлены на попытки объединения монархических партий в единое политическое движение. Проблема объединения выступала лейтмотивом съездов. Более того создавались централизованные органы управления монархического движения, деятельность которых оказывалась недостаточно эффективной.

В феврале 1906 г. состоялся Первый Всероссийский Съезд Русских Людей в Петербурге. Организатором съезда выступило Русское Собрание и поэтому первоначально съезд назывался Всероссийский Съезд Русского Собрания.

Второй Всероссийский Съезд Русских Людей состоялся в Москве 6 -12 апреля 1906 г. Этот съезд был организован и проведен монархическими союзами Москвы (Всенародным Русским Союзом).

Третий Всероссийский Съезд Русских Людей прошел в Киеве в октябре 1906 г. В ходе съезда его почетным председателем был избран Б.М. Юзефович. Съезд избрал трех рабочих, председателями были избраны – А.И. Дубровин, председатель Главного Совета СРН, М.Л. Шаховской, председателя Совета Русского Собрания князя и В.А. Грингмут председатель Русской Монархической Партии. В целях координации деятельности правомонархических союзов и организаций в период между съездами указанные три черносотенные организации учредили специальный орган – Главную Управу Объединенного Русского Народа.

Четвертый Всероссийский Съезд Русских Людей снова был проведен в Москве в Успенском соборе 26 апреля – 1 мая 1907 г. Большинство делегатов Четвертого съезда составляли сторонники Союза Русского Народа, как ведущей черносотенной организации данного периода, насчитывающей более 900 отделений. Четвертый Всероссийский Съезд принял решение, поручить СРН объединение всех монархических организаций.

В 1909 г. 27 сентября – 4 октября, накануне раскола СРН в Москве был проведен Всероссийский Съезд Русских Людей, так называемый «Восторговский» Съезд. И хотя он заявлялся, как объединительный форум, его проведение стало предисловием к внутриорганизационным проблемам в черносотенном движении.

В конце 1911 г. в Москве прошел Всероссийский Съезд Русских Людей, который должен был способствовать объединению всех крайне правых политических сил, в период после раскола в СРН, но лишь закрепил раскол в рядах черносотенцев. Почетным председателем съезда был избран епископ Серафим (Чичагов). Союз Русского Народа данный съезд проигнорировал.

На Пятом Всероссийском Съезде Русских Людей, состоявшемся в Санкт-Петербурге 16-20 мая 1912 г. после длительного периода внутренней нестабильности, было принято принципиальное решение об объединении всех правых союзов.

В феврале 1917 г. в Петрограде состоялся XII съезд Объединенных Дворянских Обществ, в резолюции которого заявлялось о крушении крепких монархических начал государственности и скорейшей необходимости «создать правительство сильное, русское по мысли и чувству, пользующееся народным доверием и способное к совместной с законодательными учреждениями работе, однако, ответственное только перед монархом. Оно должно быть вооружено в лице председателя Совета министров полнотой власти и сплочено единством общей программы. Только такое правительство может обеспечить доведение войны до полной победы, бес которой народная мысль не допускает мира» [7, Л. 56-56об]. Таким образом,

накануне крушения монархии черносотенцы продолжали настаивать на незыблемости самодержавия и необходимости его укрепления, вместо того чтобы перейти на более умеренные позиции.

Объединительная деятельность правомонархистов нашла достаточное отражение в отечественной литературе, тем не менее, в качестве примера можно привести Постановление Совещания монархистов в Петрограде 21-23 ноября 1915 г., на нем было принято решение, что «для согласования деятельности монархистов и монархических союзов признать желательным существование, при сохранении полной самостоятельности отдельных организаций, общего для всех монархистов центра. Таковым центром, временно, впредь до следующего съезда монархистов признать совет, избранный настоящим совещанием» [8, С. 36]. При этом отмечалось, что данный совет носит временный характер, но ему поручалось «выработать проект положения о постоянном совете всероссийских съездов монархистов и монархических организаций, буде в таком явится надобность» [8, С. 36]. Таким образом, единство монархического движения носило иллюзорный характер и, как известно, не увенчалось успехом, так как единые централизованные органы руководства черносотенного движения так и не были созданы.

Следует отметить, что региональные отделения правомонархических организаций настаивали на создании единого организационного центра, что показывает их стремление к интеграции в отличие от руководителей черносотенных партий и организаций. В адрес созданного на Петроградском совещании совета монархических партий приходили докладные записки, письма, телеграммы с мест с требованиями создания единого центрального монархического органа Российской империи.

В качестве примера можно привести докладную записку секретаря совета Житомирского и Киевского отделов СРН Г.М. Шинкаревского, в которой он, в частности писал: «Следует принять все меры к наискорейшему приведению в жизнь всех постановлений совещания Монархистов, так как всякое излишнее промедление может произвести крайне не благоприятное впечатление на местах и на многих участников съезда, подорвать доверие и симпатии к только, что народившемуся Центральному Совету всероссийских съездов Монархических организаций, а равно и помешать последнему из «временного» превратиться в постоянную организацию, что так необходимо для объединения, согласованности и планомерности деятельности всех монархических партий и союзов» [9, Л. 48об].

Стремление к объединению нашло поддержку не только среди региональных отделов крупных черносотенных партий, но и среди малочисленных правомонархических организаций. В качестве примера можно привести письмо от 31 января 1916 г. председателя Отечественного патриотического союза В.Г. Орлова на имя И.Г. Щегловитова, который был избран председателем на Совещании монархистов 21-23 ноября 1915 года в Петрограде. В письме, в частности, отмечалось, что этот съезд «пытался объединить все правые организации, работающие на пользу ЦАРЯ и Родины», однако «съезд далеко не выполнил своих задач». По мнению В.Г. Орлова, «особенно ярко сказалось это в деле избрания членов монархических организаций в Совет съезда, который должен выполнять функции Центрального Комитета всех монархических организаций. Выборы эти прошли под знаком партийной кружковщины, почти все члены Совета принадлежат к одной монархической организации, а именно к Союзу Русского Народа» [10, Л. 47]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что вместо реального объединения мы видим попытку одной, самой крупной черносотенной организации – СРН – подмять под себя все остальные. Таким образом, на наш взгляд, борьба за власть была реальным содержанием подобных съездов, а отнюдь не отстаивание интересов России.

Требования к объединению от региональных организаций звучали и раньше 1915 г. на протяжении всей истории черносотенного движения. Так, например, на частном совещании уполномоченных отделов СРН в Ярославле (8–11 марта 1909 г.) отмечалось, что «всякое дробление на отдельные самостоятельные организации приносит сильный не поправимый ущерб

монархическому делу», что «дробление идет вразрез с ясно выраженной Высочайшей волей», а также отмечалось, что желательным идеалом является «полное слияние всех мелких монархических организаций в одно могущественное и стройное целое» [11, Л. 5].

К 1916 г. среди правомонархистов назрело понимание необходимости единства. Так, в конце 1916 г. Председатель Главного Совета Союза Русского Народа В.П. Соколов писал, о том, что «главою и центром партии должен быть постоянный Совет монархических съездов» [12, Л. 16]. При этом под партией В.П. Соколов понимал не СРН, а образование новой «единой, сильной, могучей монархической партии» [12, Л. 16]. Для ее организации, а также «для большого объединения, для формирования кадров интеллигентных работников монархизма необходимо создание в Петрограде клуба правых, учредителями коего были бы правые члены Государственного Совета и Государственной Думы, члены Петроградских Главных Советов, организации и отдельные видные монархические деятели» [12, Л. 16об].

Еще одним поводом для возможного временного объединения черносотенцев были выборы в Государственные думы. В качестве примера можно привести объединение усилий СРН и Русского Собрания на выборах в третью Государственную думу. На объединённом заседании двух организаций было решено следующее: вынести на обсуждение Главного Совета Союза Русского Народа и Русского Собрания «предположение Центрального Избирательного Комитета о соединении с партией Правого порядка на лицах для выборов в Государственную думу» [13, Л. 12].

Помимо всероссийских съездов, проводились всероссийские съезды отдельных организаций. Но и на них также звучали призывы к объединению с другими партиями и союзами. Так, например, на Совещании членов Киевского Союза Русского Народа было постановлено считать «объединение всех монархических организаций наиболее важным обстоятельством» [14, Л. 89], а для их объединения полагался необходимым созыв всероссийского съезда этих организаций.

Одной из главных причин, обусловивших раздробленность правого лагеря, стала политика П.А. Столыпина, опасавшегося чрезмерного усиления «революционеров справа». Премьер-министр с помощью правительственных субсидий и административного ресурса сознательно препятствовал объединению монархистов, искусственно внося раскол в их ряды и разжигая рознь между их лидерами. Следовател созданной в 1917 г. Чрезвычайной следственной комиссии Временного правительства М.Н. Лебедев на основании изучения документов Департамента полиции сделал вывод, что причиной «вражды» между правыми организациями «являлись субсидии, выдававшиеся правительством этим организациям...». Дело в том, что означенные деньги сплошь и рядом расходовались не на нужды Союзов, что вызывало, конечно, постоянно недоразумения [15, С. 139].

Среди факторов, препятствовавших объединению правых партий, можно назвать также и личные амбиции руководителей правых организаций, претендовавших на роль всероссийских лидеров или не желавших подчиняться таковым. Сыграла свою роль и широкая социальная база монархических партий, затруднявшая выработку единой политической линии, которую признали бы представители всех социальных групп, поддерживавших правый лагерь. Слишком разные цели преследовали ортодоксальный традиционалист А.И. Дубровин и будущий прогрессист А.И. Савенко, волынские крестьяне и бессарабский помещик В.М. Пуришкевич, одесские грузчики из «Союза русского народа» и Петербургский бомонд, представленный в «Русском Собрании» [16, С. 29].

Организационная структура черносотенных организаций и союзов менялась с течением времени и под воздействием расколов, происходящих в основных политических организациях правомонархистов.

Наиболее ярким примером такого раскола является образование Всероссийского Дубровинского Союза Русского Народа (далее - ВДСРН). В 1911 г. (21 ноября — 1 декабря) на съезде сторонников А.И. Дубровина были созданы организационные структуры нового Союза. При этом съезд собирал предложения от отделов СРН по новой организационной струк-

туре. Наибольший интерес, на наш взгляд, представляют предложения Путиловского отдела СРН, который предложил реорганизацию существующей структуры СРН. В письме в адрес съезда Путиловский отдел предлагал ряд мер, среди которых можно выделить следующие: Во главе СРН должен пожизненно стоять Основатель Союза, обладающий всей полнотой власти, а после его смерти его должность должен занять избранный Всероссийским съездом СРН Председатель Союза. Кроме непосредственного руководителя, высшими должностными лицами Союза должны были стать: заведующий административной стороной, казначей и секретарь. При председателе должен быть создан Главный Совет для обсуждения важнейших дел Союза [17, Л. 26-26об].

Заслуживает внимание и предложение съезду Нежинским отделом СРН ввести институт избирательного собрания в Союзе для выборов Главного Совета, при этом сам Главный Совет должен был избираться, согласно предложениям, каждые три года. Относительно руководителя СРН, отдел полагал, что лучшим вариантом будет «возвращение А.И. Дубровина на должность действительного Председателя Главного Совета» [17, Л. 4-5].

Таким образом, в завершение рассмотрения организации черносотенного движения, их усилий по координации политической активности и объединению усилий по сохранению самодержавного строя мы можем сделать следующие выводы.

Черносотенство представляло собой всесословное общественно-политическое движение. При этом большую роль в движении играло крестьянство, особенно на местном уровне. Сами же черносотенные организации формировались по принципу классических политических партий и включали политических лидеров, центральный аппарат, региональные ячейки, постоянных членов и сочувствующих активистов.

Существенным моментом является отсутствие единства в черносотенном движении, которое стало невозможно из-за перманентной борьбы за лидерство между организациями. При этом следует отметить, что на уровне местных отделов постоянно присутствовало понимание необходимости объединения и консолидации монархических политических сил.

Важной организационной формой деятельности черносотенства стали всероссийские съезды, как в целом движения, так и отдельных организаций, на которых ставились стратегические цели и задачи. Тем не менее, главная задача этих съездов – объединение черносотенства, так и не была решена, в силу незаинтересованности правящего слоя в консолидации правых политических сил, преобладания личных интересов и амбиций лидеров черносотенных союзов, а также трудности координации многочисленных праворадикальных политических организаций.

#### Библиографический список

1. ГАРФ. Ф. 116. Оп. 1. Д. 89.
2. ГАРФ. Ф. 1467. Оп. 1. Д. 848.
3. ГАРФ. Ф. 116. Оп. 1. Д. 111.
4. **Кирьянов, Ю.И.** Численность и состав крайних правых партий в России (1905–1917 гг.): тенденции и причины изменений // Отечественная история. 1999. № 5. С. 24–44.
5. Дело Департамента полиции № 219 «Союз Русского Народа». ГАРФ. Ф. 102.00. Оп. 1907. Д. 219.
6. Обещание члена Союза Русского Народа при вступлении. ГАРФ. Ф. 116. Оп.1. Д.2.
7. Резолюция XII Съезда Объединенных Дворянских Обществ. ГАРФ. Ф. 102.00 ДП. Оп. 246.1916. Д. 104. Т. 2.
8. Совещание монархистов в Петрограде 21–23 ноября 1915 г. Постановление и краткий отчет. – Москва. 1915.
9. ГАРФ. Ф. 116. Оп. 1. Д. 23.
10. ГАРФ. Ф. 102.00 ДП. Оп. 246,1916. Д. 358.
11. Постановление третьего частного совещания представителей отделов СРН в г. Ярославле (8 – 11 марта 1909 г.). ГАРФ. Ф. 116. Оп. 2. Д. 99.
12. ГАРФ. Ф. 1467. Оп. 1. Д. 498.

13. ГАРФ. Ф. 116. Оп. 1. Д. 37.
14. Постановление Совещания членов Совета, Учредителей и Почетных членов Киевского Союза Русского Народа с 12 -19 сентября 1910 г. в г. Киеве. ГАРФ. Ф. 116. Оп. 1. Д. 183.
15. Переписка правых и другие материалы об их деятельности в 1914-1917 годах // Вопросы истории. 1996. № 10. С. 119–143.
16. **Омельянчук, И.В.** Попытки консолидации монархического движения в 1906–1917 гг. // «Современная наука: Гуманитарные науки» 2011. № 3. С. 25–30.
17. ГАРФ. Ф. 116. Оп. 1. Д. 14.

*Дата поступления  
в редакцию 23.10.2014*

**G.A. Ivakin**

**THE BLACK-HUNDRED MOVEMENT IN RUSSIA  
AT THE BEGINNING OF XX CENTURY:  
FROM INSTITUTIONALIZATION TO ASSOCIATION**

**Purpose:** The author turns to the barely studied aspects of the Black-Hundred movement aspects, connected with political coordination and institutionalization.

**Design/methodology/approach:** The theoretical–methodological base of paper is based on historiographical analysis of archival materials.

**Findings:** Main circumstances and factors of the Black-Hundred movement integration initiatives are revealed.

**Originality/value:** It is of great importance to research disunity factors of political party during unstable situation. The main reason of lack of the Black-Hundred political unity is the permanent struggle of its leaders.

*Key words:* Black–Hundred movement, Union of the Russian People, Michael Archangel Russian Folk Union, Russian political parties of the beginning of XX century.

---

## МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

---

УДК 629.7.05/06

В.Л. Волков<sup>1</sup>, Н.В. Жидкова<sup>1</sup>, А.А. Жидков<sup>2</sup>

### КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Арзамасский политехнический институт (филиал НГТУ)<sup>1</sup>,  
ООО Арзамасский электромеханический завод<sup>2</sup>

**Предмет, тема, цель работы:** Создание алгоритмов для микроэлектромеханической системы (МЭМС), обеспечивающих динамическую точность комплексной обработки информации, на основе принципов инвариантности.

**Методология проведения работы:** Составлена математическая модель МЭМС комплексной обработки информации, обеспечивающая минимальные динамические ошибки оценок. Разработана методика компьютерного эксперимента на основе *Matlab* для получения оценок эффективности МЭМС в условиях помех.

**Результаты:** Исследована работоспособность МЭМС комплексной обработки информации в условиях воздействия помех на основе инвариантных алгоритмов. Приведены результаты по значениям среднего квадрата ошибки (СКО) в численном и графическом видах в случае комплексной обработки информации, полученные при моделировании в реальных условиях среды.

**Значения исследования:** Применение предложенной методики обеспечения эффективности комплексной обработки информации дает минимальные СКО микроэлектромеханической системы в условиях реальных помех. Комплексная обработка информации эффективна для широкого диапазона сигналов и помех.

**Новизна/ценность:** На базе рассмотренных методик проектирования и исследования комплексной обработки информации в МЭМС сформулированы требования к алгоритмам по критерию динамической точности.

*Ключевые слова:* МЭМС, инвариантность, динамическая точность, средний квадрат ошибки, моделирование, эффективность.

### Введение

Применение МЭМС в качестве источников информации для мобильных объектов управления (роботов, беспилотных подвижных аппаратов и т.п.) сопровождается искажением сигналов датчиков помехами, что создает существенные трудности в получении необходимой точности оценивания параметров движения объектов. Для снижения уровня помех необходимо применять дополнительные меры преобразования и обработки сигналов.

Специалисты по применению МЭМС для контроля параметров движения объектов активно обсуждают вопросы их эффективности в условиях случайных измеряемых физических процессов при воздействии помех [1–10]. Уже применяются реальные алгоритмы оптимальной обработки сигналов, способные функционировать в условиях случайной среды [4–7].

При этом учитывается, что МЭМС выполняются по интегральной технологии и имеют компенсационную схему измерений. Также для обеспечения статической и динамической точности МЭМС активно применяются корректирующие устройства (КУ) типа ПИД регулятора [2, 3]. Проведены исследования по обеспечению статической и динамической точности конкретных микроэлектромеханических датчиков, которые применимы для большого класса МЭМС независимо от их назначения и принципа действия [1–5].

В условиях реальной среды контролируемые параметры движения объектов управления имеют случайные отклонения от стационарных значений, а их измерение сопровождается случайными помехами. При этом выделяют режимы медленно и быстро меняющихся процессов, что соответствует работе динамических объектов управления на различных траекториях движения. Измерительные шумы чаще всего являются или белыми шумами, или широкополосными случайными вибрациями (ШСВ). С учетом таких шумов в статьях [4, 5] были получены результаты разработки и исследования эффективных алгоритмов фильтрации.

Однако многие важные вопросы остаются еще не исследованными, так в статье [7], где МЭМС акселерометр с фильтром Калмана используется для оценивания продольного и вертикального ускорения автомобиля, при эксплуатационных испытаниях не исследовано влияние мощности помех. Мощность помех, искажающих информацию, поступающую от датчика, считалась достаточно малой, хотя в реальных условиях имеет место достаточно широкий диапазон отношений мощности сигнала к помехе.

В статье [4] отмечалась возможность применения стандартного алгоритма фильтрации Калмана для комплексной обработки измерительной информации с МЭМС, традиционно используемых для контроля параметров движения маневренных объектов управления (т.е. с микроакселерометров и микрогироскопов). Однако в [4] также не получены результаты эффективности МЭМС при различных интенсивностях шумов и сигналов.

В публикации [5] рассматривалась эффективность применения фильтра Калмана для получения оптимальных оценок угловой скорости объекта управления при помехах в виде ШСВ. Здесь исследовалась эффективность фильтра Калмана для широкого диапазона соотношений мощности сигнала к мощности помехи. Ряд вопросов также остается не исследованным.

Следует отметить, что использование избыточности измерений для успешного информационного обеспечения подвижных объектов в настоящее время стало традицией. Вопросы комплексной обработки информации для МЭМС затрагивались в публикации [10], касающейся оценивания параметров ориентации и навигации малоразмерных летательных аппаратов. С целью получения избыточной информации применяют датчики первичной информации (ДПИ), частично дублирующие друг друга, использующие различные физические принципы для измерений [11]. В этом случае часто погрешности датчиков имеют различные причины возникновения и могут быть разделены по частотным диапазонам. Это позволяет компенсировать погрешности в широком диапазоне частот. При наличии информационной избыточности применяются алгоритмы комплексной обработки информации, позволяющие извлечь максимальную выгоду для обеспечения высокой точности измерительной системы. При этом часто удается минимизировать динамическую составляющую ошибки при оценивании параметров движения объектов на основе использования принципов инвариантности.

### **Математическая модель комплексной измерительной системы**

Известны схемы многоканальной комплексной обработки информации измерителей, как со специальными вычислителями, так и с использованием собственных свойств измерителей [11]. В некоторых случаях удается частично совместить устройство обработки информации с устройствами, входящими в состав самих измерителей. Такие схемы проще, более экономичны, что особенно важно в мобильной технике. Взаимная коррекция дает возможность обеспечить устойчивость работы измерителей, например, инерциальных, без нарушений условия инвариантности. Схема комплексной системы с взаимной коррекцией, приведенная в [11], включает в себя радиотехнический измеритель расстояния и инерциальный автономный счислитель пути. Взаимная коррекция осуществляется схемным путем через фильтры.

Несложными математическими преобразованиями для данной схемы удастся получить условие инвариантности динамической составляющей ошибки при оценивании дальности.

В продолжение исследований, представленных в [4], рассмотрим более конкретную схему комплексной обработки информации измерителей с перекрестными связями, включающую в себя радиодальномер и МЭМС для измерения скорости (рис. 1) [9].

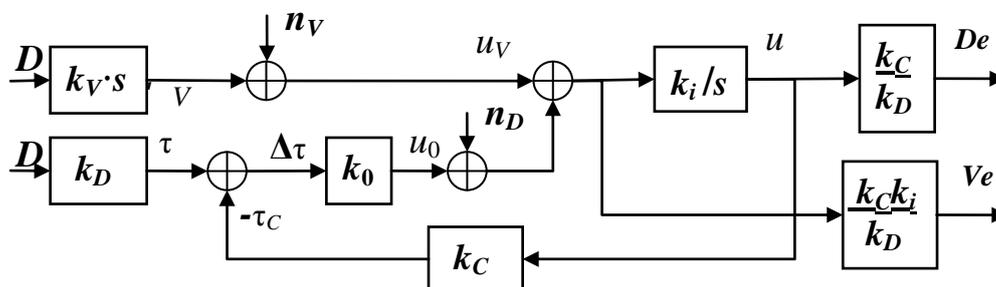


Рис. 1. Структурная схема комплексной обработки информации

Автономный измеритель, построенный на основе МЭМС микроакселерометра, выдает сигнал, пропорциональный скорости движения объекта. Этот сигнал, полученный в результате интегрирования ускорения, обладает ошибками, накапливаемыми во времени. Кроме того, микроакселерометру как МЭМС прибору присущи существенные флюктуационные шумы.

Радиотехнический измеритель в схеме рис. 1 определяет расстояние путем измерения временного интервала между запросным и ответным импульсами компенсационным методом. Временной интервал  $\tau$  связан с расстоянием  $D$  соотношением:  $\tau=k_P D$ , где  $k_P$  – коэффициент пропорциональности радиотехнического измерителя.

Сигнал дальности, пропорциональный временному интервалу  $\tau$ , сравнивается в компенсационной схеме с сигналом обратной связи  $\tau_C$ , вырабатываемым формирователем стробов. Сигнал ошибки, пропорциональный разности временных интервалов, поступает на интегратор, обеспечивающий астатизм первого порядка схемы измерения. Напряжение с выхода интегратора управляет через схему формирования стробов временным интервалом  $\tau_C$ . В компенсационной схеме учитывается флюктуационная помеха  $n_D$ , определяемая флюктуациями момента прихода ответного импульса, его формы и внутренними шумами радиоприборов. На вход интегратора поступает также сигнал, пропорциональный скорости перемещения объекта  $u_V$  с погрешностью  $n_V$ . Пренебрегая инерционностью элементов системы и считая их линейными, исследуем точность измерения расстояния такой системой. Покажем вначале, что напряжение на выходе интегратора является оценкой измеряемого расстояния. Представим уравнения элементов, согласно схеме рис. 1, в комплексной области:

$$u_0 = k_0(\tau - \tau_C); \tau = k_D \cdot D; \tau_C = k_C \cdot u; u \cdot s = k_i(u_0 + n_D + u_V);$$

$$u_V = k_V D \cdot s + n_V; De = k_C/k_D \cdot u; Ve = k_0 k_C \cdot u/k_V. \tag{1}$$

Исключив из этих уравнений внутренние переменные системы  $\tau$ ,  $\tau_C$ ,  $u_0$ ,  $u_V$ ,  $u$ , получим уравнения преобразования системы в операторной форме относительно измеряемых переменных – расстояния  $D$ , скорости  $V$  и их оценок –  $De$ ,  $Ve$ :

$$De = \frac{T_1 s + 1}{T s + 1} D + \frac{1}{k_0 k_D} \frac{1}{T s + 1} (n_V + n_D), \tag{2}$$

$$Ve = \frac{k_C}{k_D} \frac{T_1 s + 1}{T s + 1} V + \frac{1}{k_0 k_D} \frac{s}{T s + 1} (n_V + n_D), \tag{3}$$

где  $T = (k_i k_0 k_C)^{-1}$  – постоянная времени, обратная добротности системы  $Q$ ;

$T_1 = k_V / (k_0 k_D)$  – постоянная времени форсирующего звена.

Из уравнений (2), (3) следует, что инвариантность комплексной системы можно обес-

печить, одновременно выполняя равенства:  $T_1=T$ ,  $k_C=k_D$ , тогда с учетом выражений для  $T_1$ ,  $T$  и  $k_C$  получим требования к величине  $k_V$ :  $k_V=1/k_i$ .

Уравнения ошибок оценки дальности и скорости с учетом условия инвариантности имеют вид

$$E_D = De - D = \frac{1}{k_0 k_D} \frac{1}{Ts+1} (n_V + n_D); \quad (4)$$

$$E_V = Ve - V = \frac{1}{k_0 k_D} \frac{s}{Ts+1} (n_V + n_D). \quad (5)$$

При выполнении условия инвариантности ошибки комплексной системы по дальности и по скорости носят чисто флюктуационный характер (см. (4), (5)). Для ослабления ошибки дальности используется фильтр низкой частоты  $W_1=K/(Ts+1)$ , а для ослабления ошибки скорости – фильтр высокой частоты  $W_2=K \cdot s/(Ts+1)$ , где  $K=1/(k_0 k_D)$ . Обычно в схеме рис. 1 выбирается  $k_0=k_D$ , тогда для ослабления обеих ошибок требуется увеличение постоянной времени  $T$ . Однако существенное увеличение  $T$  приводит к уменьшению добротности системы и большой инерционности и в этом случае следует выбирать компромиссное решение.

### Пример моделирования комплексной измерительной системы

С целью конкретного рассмотрения решения задачи на основе *Matlab* по моделированию комплексной обработки информации в МЭМС измерителе дальности и скорости необходимо выполнить следующие этапы:

1. Использовать исходные данные характеристик измерителей и сигналов согласно гипотетическим.
2. Составить программу функцию для расчета параметров схемы рис. 1 и для дальнейшего моделирования ее работы во времени, используя условие инвариантности:  $k_C=k_D$ ,  $k_V=1/k_i$ .
3. Провести симуляцию схемы и получить оптимальное значение постоянной времени  $T$  путем статистических испытаний схемы (не менее 1000 испытаний).
4. Рассчитать итоговые значения параметров  $T$ ,  $T_1$ ,  $k_V$ ,  $k_C$ ,  $k_i$ .
5. Построить графики основных процессов (график  $De$  на фоне  $D$ ,  $Ve$  на фоне  $V$  и графики ошибок оценивания).
6. Рассчитать средние квадраты ошибок (СКО) оценок  $De$ ,  $Ve$ .

Пусть процесс изменения дальности задан в файле *D.txt* в виде линейной зависимости от времени с наложением случайных свойств, соответствующих спектральной плотности  $S_D$  случайной составляющей  $D(t)$ :

$$D(k)=D(k-1)-dD,$$

где  $dD$  – шаг изменения дальности, зависящий от скорости объекта ( $dD=V \cdot dt$ ,  $dt$  – период дискретности при измерении  $D$ ,  $V$  – скорость движения объекта). Данные в файле *D.txt* представлены в виде двух колонок – первая содержит метки времени, вторая – непосредственно расстояние до цели.

Дальность изменяется от некоторого начального значения  $D_0$  до конечного значения, равного  $0,1 \cdot D_0$ , что соответствует режиму сближения с целью. Случайные свойства процесса дальности определяются спектральной функцией низкочастотного сигнала –  $S_D(\omega)$ . Помеха радиотехнического измерителя дальности имеет высокочастотный характер, что определяется спектральной функцией  $S_{nD}(\omega)$ . Помеха инерциального измерителя скорости имеет низкочастотный характер, что определяется спектральной функцией  $S_{nV}(\omega)$ .

Пусть в качестве исходных данных для схемы рис. 1 известны характеристики сигнала и помех, соответствующие следующим формулам:

$$S_D(\omega) = \frac{2\sigma_D^2 \alpha_D}{(\omega^2 + \alpha_D^2)}; \quad S_{nD}(\omega) = \frac{\sigma_{nD}^2 \omega^2}{(\omega^2 + \alpha_{nD}^2)}; \quad S_{nV}(\omega) = \frac{\sigma_{nV}^2}{(\omega^2 + \alpha_{nV}^2)}, \quad (6)$$

где обозначено:

$S_D, S_{nV}, S_{nD}$  – спектральные функции процессов соответственно  $D(t), n_V(t), n_D(t)$ ;

$\sigma_D, \sigma_{nV}, \sigma_{nD}$  – среднеквадратические отклонения процессов соответственно  $g(t), n_V(t), n_D(t)$ ;

$\alpha_D, \alpha_{nV}, \alpha_{nD}$ , – коэффициенты корреляции процессов соответственно  $D(t), n_V(t), n_D(t)$ .

Основным в решении задачи комплексной обработки информации при заданных исходных данных является определение оптимального значения параметра низкочастотного фильтра  $W_1$ , т.е. фактически его постоянной времени  $T$ . Это решается методом статистического моделирования, примененным ранее в работе [8] для оптимизации измерительных устройств по точности.

В данном случае производится подбор коэффициента интегрирования  $ki$ , обеспечивающего минимум среднего квадрата ошибки оценивания (СКО). Найденное значение  $ki$  определяет параметр  $T$  по формуле  $T=(k_i k_0 k_C)^{-1}$ . Предварительно параметры  $k_V$  и  $k_C$  выбираются из условия инвариантности:  $k_C=k_D, k_V=1/k_i$ .

Программа расчета и моделирования, составленная в *Matlab*, имеет управляющую часть и программу-функцию. Управляющая часть имеет вид:

```

CKOm=1e6; ind=0;
S=load('K_.txt');
ag=S(1); % коэффициента корреляции полезного сигнала;
sg=S(2); % СКВО полезного сигнала;
kv=S(3); % коэффициента инерциального ДПИ;
kd=S(4); % коэффициента радиизмерителя;
ko=S(5); % коэффициента усиления;
kio=S(6); % коэффициента интегратора;
kc=S(7); % коэффициента обратной связи;
Mu=S(8); % среднее значение входного полезного сигнала;
snd=S(9); % СКВО 1-го ВЧ шума радиоизмерителя;
and=S(10); % коэффициента корреляции 1-го ВЧ шума;
snv=S(11); % СКВО 2-го НЧ шума инерциального измерителя;
anv=S(12); % коэффициента корреляции 2-го НЧ шума инерциального измерителя;
DD=load('D.txt'); % чтение данных дальности;
for i=1:3600 t1(i)=DD(i,(var-1)*2+1);D1(i)=DD(i,(var-1)*2+2);end;
% ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ki ПРИ minCKO;
k=1; % счетчика;
while k<1000;
ki=0.01*kio+100*kio*rand(1,1); % равномерная вариация параметра kc;
[W1, CKOd, CKOv]=K(ag,sg,kv,kd,ko,ki,kc,snd,snv,and,anv,t,D,wm,ind);
if CKO<CKOm CKOm=CKO; ki0=ki; end;
k=k+1; end;

```

В управляющей программе использовано чтение некоторых исходных данных по конкретным параметрам спектральных функций  $S_D(\omega), S_{nD}(\omega), S_{nV}(\omega)$  из файла *K\_.txt*:  $ag=3,2$ ;  $sg=1$ ;  $k_V=2$ ;  $k_D=3 \cdot 10^{-6}$ ;  $k_0=3 \cdot 10^{+6}$ ;  $ki=0,07$ ;  $k_C=2,2$ ;  $snd=1$ ;  $snv=2$ ;  $and=0,1$ ;  $anv=1,1$ .

В управляющей программе использован вызов функции  $K()$ , которая осуществляет весь расчет параметров схемы и производит симуляцию ее работы во времени. Основное содержание функции  $K()$  следующее:

```

function[W1,kv,CKO]=K4(ag,sg,kv,kd,ko,ki,kc,snd,snv,and,anv,t,D,wm,ind);
kv=1/ki; kc=kd; % условие инвариантности;
T=1/(ki*kc*ko); % постоянная времени устройства обработки данных;
W1=tf(1,[T 1]); ПФ1 устройства обработки данных;
W2=tf([1 0],[T 1]); ПФ2 устройства обработки данных;
dt=t(2)-t(1); % период дискретности;
for i=1:length(D)-1 V(i)=(D(i+1)-D(i))/dt; end % скорость объекта;

```

```

V(length(D))=0; % конечное значение скорости объекта;
v=randn(length(t),1); % формирующий гауссовский шум;
nd=lsim(Wn1,v,t); nv=lsim(Wn2,v,t); % гауссовские помехи nd и nv;
nn=nd+nv; % сумма помех;
Ed=lsim(W1,nn,t)/(ko*kd); % ошибка оценивания по (4);
De=D+E; % оценка дальности;
CKOd=sum(Ed.*Ed)/length(Ed); % СКО оценивания D;
Ev=lsim(W2,nn,t)/(ko*kd); % ошибка оценивания по (5);
Ve=V+Ev; % оценка скорости;
CKOv=sum(Ev.*Ev)/length(Ev); % СКО оценивания V.

```

В результате статистического моделирования на основе скорректированных программ были получены следующие результаты:  $k_i=0,0042$ ;  $k_v=237,8$ ;  $k_c=3,0 \cdot 10^{-6}$ ;  $T=26,4$ ;  $CKOd=2,5 \cdot 10^{-5}$ ;  $CKOv=6,5 \cdot 10^{-6}$ . Полученное значение  $CKOd$  дает среднеквадратическое отклонение по дальности  $\sigma$ , равное 0,0045. Это характеризует максимальную величину ошибки оценивания, как  $3\sigma$ , равную 0,013 м. Предельное значение ошибки оценивания дальности подтверждается экспериментальным графиком ошибок, представленном на рис. 2.

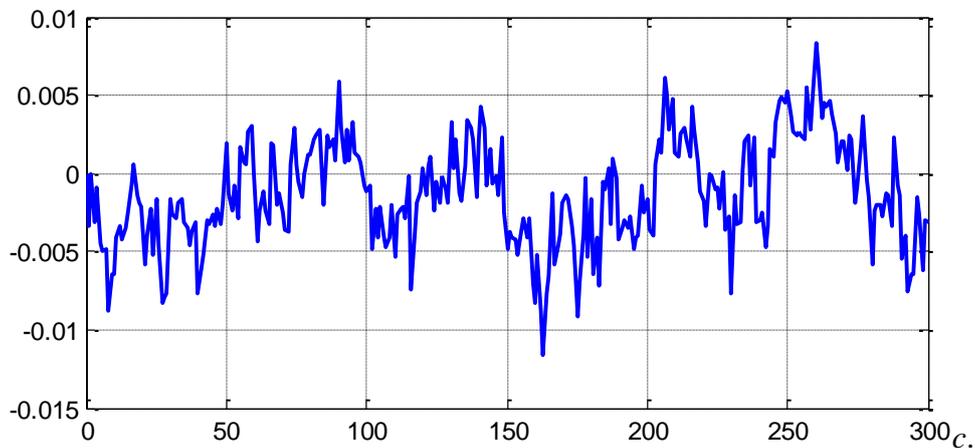


Рис. 2. График ошибки оценивания дальности

По результатам расчета и моделирования оптимального варианта комплексной системы построен также график оптимальной оценки дальности на фоне реального процесса (рис. 3).

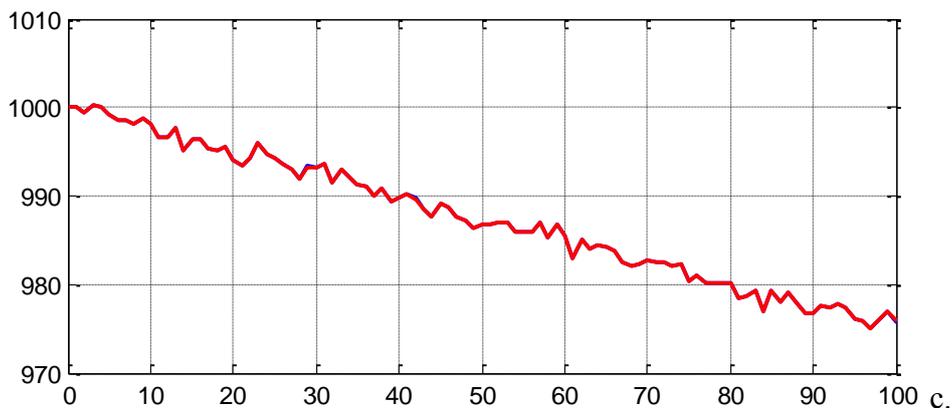


Рис. 3. График изменения дальности

Ошибка оценивания дальности настолько мала, что графики оценки и реального процесса дальности практически совпадают (рис. 3).

По результатам расчета и моделирования построен также график оптимальной оценки скорости на фоне реального процесса (рис. 4).

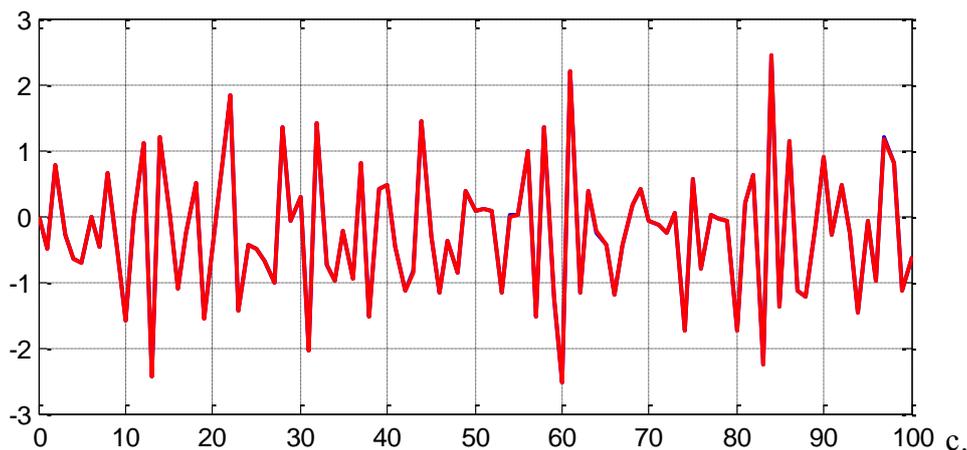


Рис. 4. График изменения скорости

Средний квадрат ошибки по скорости  $CKOv=6,5 \cdot 10^{-6}$  дает среднеквадратическое значение  $(CKOv)^{1/2}=0,0025$ , что в итоге дает предельную ошибку, равную 0,0075 м/с. Ошибка оценивания скорости настолько мала, что графики оценки и реального процесса скорости практически совпадают (рис. 4).

Предельное значение ошибки оценивания скорости подтверждается экспериментальным графиком ошибок, представленном на рис. 5.

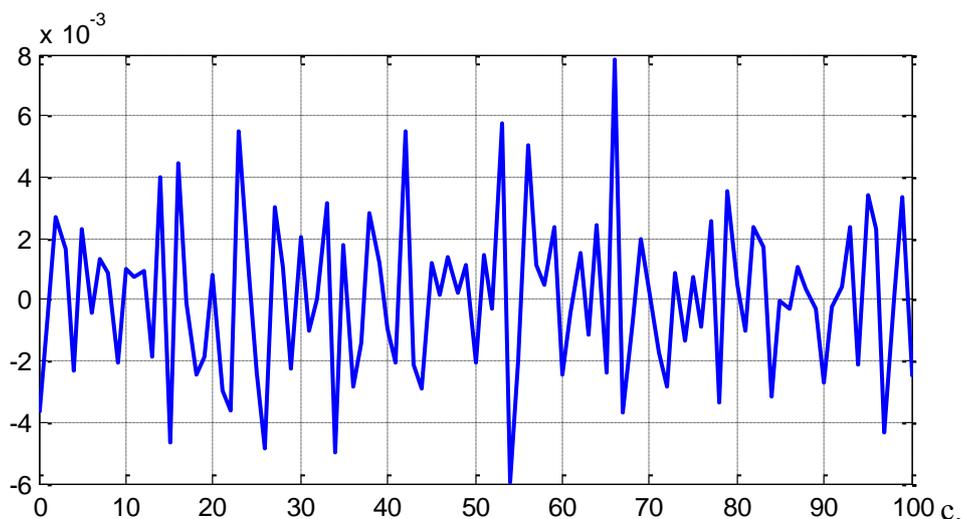


Рис. 5. График ошибки оценивания скорости

Следует отметить, что повышение быстродействия процессов дальности и скорости при комплексной обработке информации по схеме рис. 1 существенного изменения точности их оценивания не вносит.

### Заключение

В данной статье сформулированы требования к параметрам комплексной микроэлектромеханической системы с взаимной коррекцией по критерию динамической точности на основе принципа инвариантности.

Полученные результаты по эффективности комплексной обработки информации доказывают эффективность алгоритмов, как для быстрых, так и для медленных процессов.

Не исследованным остается вопрос влияния интенсивности помех на точностные характеристики комплексной системы.

## Библиографический список

1. **Вавилов, В.Д.** Оптимизация параметров микромеханического акселерометра / В.Д. Вавилов, В.Л. Волков, А.В. Улюшкин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2010. № 3 (82). С. 308–314.
2. **Волков, В.Л.** Обоснование требований к параметрам микромеханического акселерометра // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2011. № 2 (87). С. 288–295.
3. **Волков, В.Л.** Обеспечение статической и динамической точности микроэлектромеханического датчика угловой скорости / В.Л. Волков, М.В. Хрисанова // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2013. № 2 (99). С. 329–338.
4. **Волков, В. Л.** Эффективность работы микромеханических датчиков в условиях помех / В.Л. Волков, Н.В. Жидкова, А.А. Жидков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2014. № 2 (102). С. 302–313.
5. **Волков, В. Л.** Эффективность микрогироскопа в условиях случайной среды / В. Л. Волков, А.В. Улюшкин, Н.Н. Желтова // Управление большими системами: мат. XI Всероссийской школы-конференции молодых ученых. – М.: ИПУ РАН. 2014. С. 913–24.
6. **Hernandez, W.** A survey on optimal signal processing techniques applied to improve the performance of mechanical sensors in automotive applications // Sensors. 2007. V. 7. P. 84–102.
7. **Hernandez, W.** Improving the responses of several accelerometers used in a car under performance tests by using Kalman filtering // Sensors. 2001. V. 1. P. 38–52.
8. **Волков, В.Л.** Измерительные информационные системы: учеб. пособие / В.Л. Волков; НГТУ. – Н. Новгород, 2009. – 243 с.
9. **Волков, В.Л.** Математическое моделирование в приборных системах / В.Л. Волков, Н.В. Жидкова; НГТУ. – Н. Новгород, 2014. – 147 с.
10. **Тимошенко, С.П.** Математическая модель управления МЛА с использованием метода пропорциональной навигации в программе *Matlab* / С.П. Тимошенко, А.П. Кульчицкий // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 2. С. 189–196.
11. **Иванов, Ю.П.** Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов / Ю.П. Иванов, А.Н. Синяков, И.В. Филатов; под ред. В.А. Боднера. – Л.: Машиностроение, 1984. – 207 с.

Дата поступления  
в редакцию 02.09.2014

V.L. Volkov<sup>1</sup>, N.V. Zhidkova<sup>1</sup>, A.A. Zhidkov<sup>2</sup>

**COMPLEX INFORMATION HANDLING  
IN MICROELECTROMECHANIC SYSTEM**

Arzamasskiy polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod  
state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Arzamas electromechanical plant<sup>2</sup>

**Purpose:** Creation algorithm for micro electromechanic system (MEMS), providing dynamic accuracy complex information handling, on base principle to invariance.

**Design/methodology/approach:** is Formed mathematical model MEMS complex information handling, providing minimum dynamic mistakes of estimations. The Designed methods of computer experiment on base Matlab for reception estimation to efficiency of MEMS in condition of hindrances.

**Findings:** Explored capacity to work MEMS complex information handling in condition of influence of hindrances to different intensity on base invariant algorithm. The Brought results on importances of average square of the mistake (SKO) in numerical and graphic type in event of complex information handling, got at modeling in real condition of ambience.

**Research limitations/implications:** Using offered methods of provision to efficiency complex information handling gives minimum SKO micro electromechanical system in condition of real hindrances.

**Originality/value:** On the base of the considered methodes of the designing and studies complex information handling in MEMS is worded requirements to algorithmes on criterion of dynamic accuracy.

*Key words:* MEMS, invariance, dynamic accuracy, average square of the mistake, modeling, efficiency.

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ

УДК 51-7

А.С. Козицин, Е.В. Шадрина

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОПРОЦЕССОВ НА СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ 'МАРГАРИТКОВЫЙ МИР'

Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики

**Цель работы.** Исследовано влияние количества особей, обитающих на планете, на способность планеты приспособиваться к изменению температуры, вследствие поступления энергии от звезды, на орбите которой находится планета.

**Научный подход:** Для исследования было построено компьютерное приложение на языке программирования C# с использованием технологии .NET Framework 4.0, которое позволяет смоделировать все представленные в данной работе эксперименты.

**Результат:** Обоснованно подтверждение гипотезы о значении видового разнообразия на планете. Способность организмов к терморегулированию заставляет задуматься о поддержании видового разнообразия на планете Земля. В результате проведенных экспериментов доказано, что чем шире проявляется видовое разнообразие, тем больше вероятность противостоять глобальным изменениям температуры.

**Новизна:** результаты исследования температурного регулирования новые и позволяют предсказать возможные исходы глобальных изменений температуры, так как в современном мире очень остро стоит проблема экологической безопасности человечества.

*Ключевые слова:* модель «Маргаритковый Мир», глобальные изменения температуры, модель Дж. Лавлока, компьютерное приложение, моделирование экспериментов.

### Введение

Модель «Маргаритковый Мир» была предложена в 1983 Дж. Лавлоком и Э. Уотсоном «Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld» [1]. Модель «Маргариткового Мира» была построена с конкретной целью – показать корректность гипотезы Геи, выдвинутой в 1968 году Дж. Лавлоком. Данная гипотеза рассматривает Землю, как суперорганизм, способный к саморегуляции. Результат исследования представляется чрезвычайно интересным. «Маргаритковый Мир» сопротивлялся внешнему воздействию, и на какое-то время смог поддерживать необходимые параметры для существования биосферы. Таким образом, эксперимент Лавлока завершился успехом. В 1996 году Хардинг и Лавлок вновь обращаются к модели «Маргариткового Мира», добавляя в модель класс травоядных животных [2]. В 2000 году Д. Кохэн и А. Рич, взяв за основу оригинальный «Маргаритковый Мир», который был описан Лавлоком и Уотсоном в 1983 году, исследовали влияние видовой конкуренции на изменение температуры. Результатом [3] стало подтверждение предположения о повышении стабильности температуры. В 2001 году Дж. Лавлок вновь обратился к исследованию модели «Маргариткового Мира» в статье «Daisyworld revisited: quantifying biological effects on planetary self-regulation» [4]. Дж. Лавлок добавил новые параметры, усложнив систему. В частности, Лавлок стал учитывать способности к приспособлению у организмов. Результаты [5] показали, что способности «Маргариткового Мира» к саморегулированию возросли.

Исследование данного вопроса актуально и по сей день, так как в современном мире

очень остро стоит проблема экологической безопасности человечества. Исследование температурного регулирования позволяет предсказать возможные исходы глобальных изменений температуры. Существуют современные статьи, обращающиеся к модели «Маргариткового Мира». Г. Экланд в 2010 году опубликовал статью [6], в которой утверждал, что в природе существуют реальные системы, ведущие себя похожим на модель образом. В 2012 году Д. Пунитан и Р. МакКей исследовали данную модель с целью выявления особенностей поведения «Маргариткового Мира» при различных параметрах [7].

Целью данной работы является исследование влияния количества особей, обитающих на планете, на способность планеты приспосабливаться к изменению температуры, вследствие поступления энергии от звезды, на орбите которой находится планета. Для исследования этой проблемы было построено компьютерное приложение на языке программирования C# с использованием технологии .NET Framework 4.0, которое позволяет смоделировать все представленные в данной работе эксперименты.

### Методология исследования

В модели существуют два глобальных объекта: звезда и планета, находящаяся в зоне гравитационного взаимодействия с данной звездой. Полагаем, что на планете не образуются продукты конденсации водяного пара. Планету населяют несколько видов, отличающихся своей окраской. От окраски зависит коэффициент альбеда (характеристика отражательной способности поверхности). В данном контексте под альбедо подразумевается истинное Ламбертово альбеда. Виды, обитающие на планете, существуют в определенном диапазоне температур. Температура влияет на размножение видов – дает селективное преимущество. Таким образом, виды с темной окраской поглощают больше энергии, а значит, могут занять территории с более низкой температурой. В свою очередь виды со светлой окраской могут занять территории с более высокой температурой. Следует отметить, что это не связано с приспособляемостью организмов к долгому обитанию на данной территории, как это можно увидеть на планете Земля.

Ещё одной важной характеристикой является светимость звезды (полная энергия, излучаемая небесным телом в единицу времени). В процессе истощения звезда увеличивается в размерах и увеличивает излучаемую энергию. На планете, в условиях повышения температуры, обитающие виды борются за существование (за занимаемую территорию).

В данной работе был сделан ряд изменений оригинальной модели Дж. Лавлока с целью изучить взаимосвязь соотношения количества особей и температурных изменений. В частности, было увеличено количество возможных видов модели до 150000. В модели виды при благоприятных условиях пытаются заселить максимально доступное пространство. Также добавлен новый класс объектов, которые в дальнейшем будем называть *статическими*, они не вовлечены в борьбу за территорию, но их роль в процессах поглощения излучения важна. Примерами таких объектов в реальной жизни могут служить горные образования, водные поверхности, ледники и т.д. Для модели, представленной в данной работе, выбираются величины, которые близки к реальным физическим. В первую очередь, речь идет о фундаментальных физических постоянных, связывающих систему «Солнце - Земля». Также необходимо отметить, что параметр Ламбертово альбеда выбирается случайным образом, так как при работе с большим числом видов было бы разумно представить всевозможное видовое многообразие. В данном исследовании сделано допущение, что виды считаются одинаковыми тогда и только тогда, когда совпадает их Ламбертово альбеда. Опишем необходимые связи между ключевыми величинами с помощью формул. Планетарное альбеда  $A$  вычисляется по формуле:

$$A = \sum_{i \in X} a_i A_i + \sum_{j \in Y} a_j A_j, \quad (1)$$

где множество  $X$  – все виды, населяющие планету; множество  $Y$  – все статические объекты;  $a_i$  – площадь планеты в процентах, занимаемая видом  $i$ , обитающим на планете,  $a_j$  – пло-

щадь планеты в процентах, занимаемая статическим объектом  $j$ ;  $A_i$  – Ламбертово альbedo вида  $i$ ;  $A_j$  – Ламбертово альbedo статического объекта  $j$ .

Общая температура планетарной поверхности  $T$  вычисляется как

$$T = \sqrt[4]{L \frac{S_{\odot}}{4\sigma} (1 - A)}, \quad (2)$$

где  $L$  – светимость звезды, которая меняется с течением времени;  $S_{\odot}$  – Солнечная Постоянная;  $\sigma$  – Постоянная Стефана-Больцмана.

Температура над поверхностью, занимаемой видом или статическим объектом,  $T_{loc}$  вычисляется как

$$T_{loc} = \sqrt[4]{q' L \frac{S_{\odot}}{4\sigma} (A - A_{loc}) + T^4}, \quad (3)$$

где  $q'$  – коэффициент изоляции;  $A_{loc}$  – Ламбертово альbedo вида или статического объекта.

Коэффициент рождения новой особи  $i$ -вида  $\beta_i$  вычисляется как

$$\beta_i = 1 - \left( \frac{T_{loc} - T_{opt}}{T_{opt} + \varepsilon} \right), \quad (4)$$

где  $T_{opt}$  – оптимальная температура для существования жизни на планете;  $\varepsilon$  – граничная температура, при которой новая особь ещё может зародиться.

Изменение площади, занимаемой  $i$ -видом,  $a_i$  – вычисляется как

$$a_i = \frac{da_i}{dt} = a_i (\beta_i a_j - \gamma), \quad (5)$$

где  $\gamma = 0,3$  – смертность, как и в оригинальной модели.

В рамках одного эксперимента проводится изучение изменения площади, занимаемой видами в совокупности, как следствие регулирования температуры поверхности, в зависимости от изменения светимости звезды. Площадь занятой части вычисляется в процентах от всей поверхности планеты.

Для выбора ограничений на диапазон изменения светимости звезды требуются дополнительные вычисления. Необходимо рассмотреть спектральный класс стареющих звезд – красных гигантов, которые в прошлом были похожи на Солнце. Светимость звезды и ее размеры связаны следующим соотношением:

$$R = \sqrt{\frac{L \cdot L_{\odot}}{\sigma T^4 \cdot 4\pi}}, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус звезды;  $L$  – показатель сравнения светимости звезды и светимости Солнца;  $L_{\odot} = 3,827 \cdot 10^{26}$  Вт – светимость Солнца;  $T$  – температура поверхности звезды.

Очевидно, что при некотором  $L$  радиус звезды может превысить расстояние от звезды в первоначальных размерах до планеты, и тогда планета будет поглощена хромосферой звезды. Температуру поверхности Красного Гиганта примем равной 3000K – средняя для II класса Гигантов по диаграмме Герцшпрунга – Рассела [11]. Исходя из этих соображений, выбирается  $L_{max} = 6,65L_{\odot}$ , что приблизительно в 47 раз больше радиуса Солнца. В свою очередь  $L_{min} = 0,65L_{\odot}$ .

### Экспериментальная часть

Для работы с моделью было написано приложение, функциональной возможностью которого является построение графика изменения площади, занимаемой видами в совокупности, как следствие регулирования температуры поверхности, в зависимости от изменения

светимости звезды. Поддерживаются два режима: первый – изучение оригинальной модели Дж. Лавлока «Daisyworld», второй – изучение новой модели, описанной в данной работе. В результате работы приложения с параметрами оригинальной модели Дж. Лавлока были получены следующие результаты.

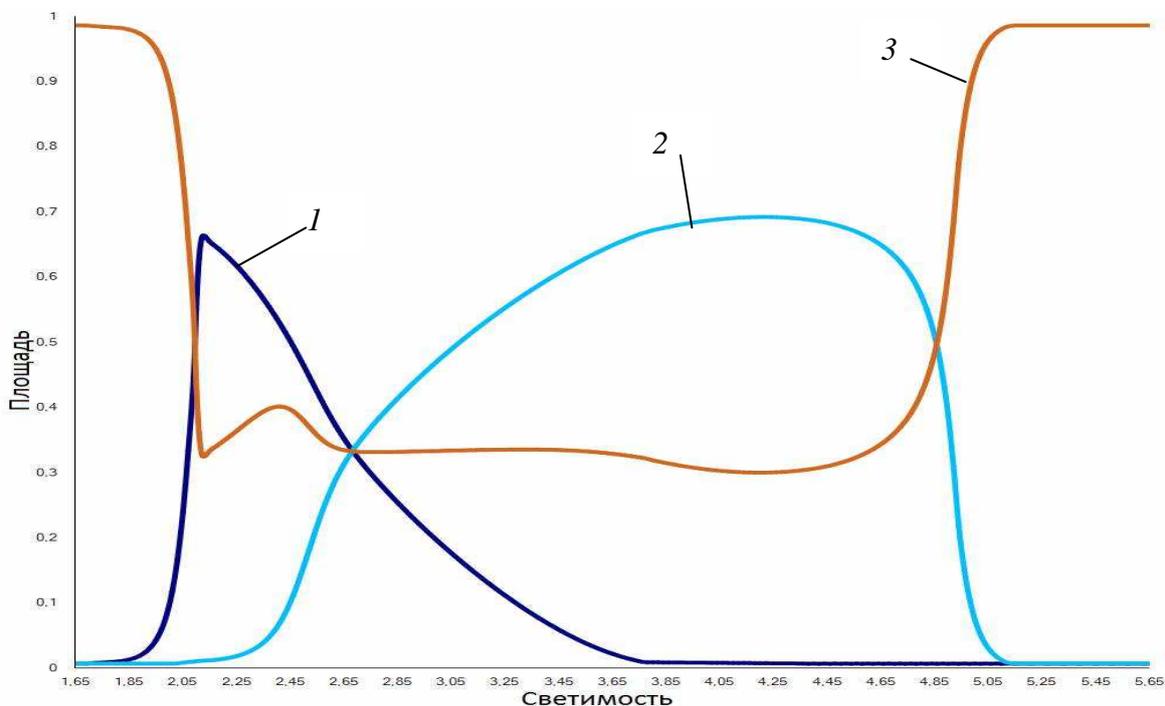


Рис. 1. Оригинальный эксперимент Дж. Лавлока

На рис. 1 кривой 1 отмечены черные маргаритки, кривой 2 – белые маргаритки, а кривой 3 – незаселенная поверхность планеты. По оси абсцисс отложены отметки изменения светимости, по оси ординат – площадь. На первом этапе, черные маргаритки активно развиваются и занимают порядка 67% территории при  $L = 2,15 \cdot L_{\odot}$ . После этого постепенно они снижают численность, в то время как белые маргаритки только начинают разрастаться. Такой попеременный рост позволяет контролировать общую численность особей на планете на одном уровне, тем самым снижая общую температуру поверхности. Но и белые маргаритки с ещё большим повышением светимости звезды после пиковой отметки в 67% территории при  $L = 4,35 \cdot L_{\odot}$  постепенно погибают, и при  $L = 5,15 \cdot L_{\odot}$  на планете перестали существовать представители видов белых и черных маргариток.

В результате работы приложения с параметрами измененной модели получены следующие результаты.

Проведем эксперимент с количеством видов равным 2. На рис. 2 кривой 1 отмечена совокупность всех видов, населяющих планету, кривой 2 – статические объекты. Можно заметить, что графики симметричны, здесь и далее по оси абсцисс отложены отметки изменения светимости, по оси ординат – площадь.

Заметим, что максимальная совокупная площадь, занимаемая обитающими видами, равна 27% при  $L = 2,50 \cdot L_{\odot}$ , и уже при  $L = 3,00 \cdot L_{\odot}$  на планете перестают существовать представители видов. Очевидно, что это связано с особенностью выбора альбедо – случайным образом, а не задание значений, близких к полярным – 0,75 для черных маргариток и 0,25 для белых. Чтобы удостовериться в предположении, проведем ещё один эксперимент с такими же параметрами.

На рис. 3 изображены результаты данного эксперимента. Можно заметить, что ре-

зультаты очень близки к первому опыту с оригинальной моделью Дж. Лавлока. Максимальная совокупная площадь, занимаемая обитающими видами, равна 70% при  $L = 3,75 \cdot L_{\odot}$ , при  $L = 4,50 \cdot L_{\odot}$  населяющие планету виды погибают.

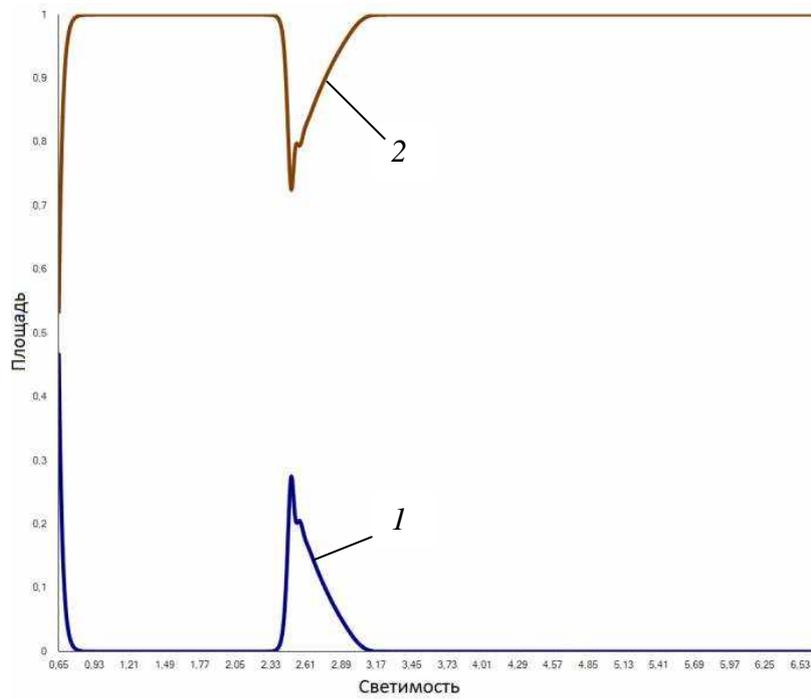


Рис. 2. Измененная модель с двумя видами

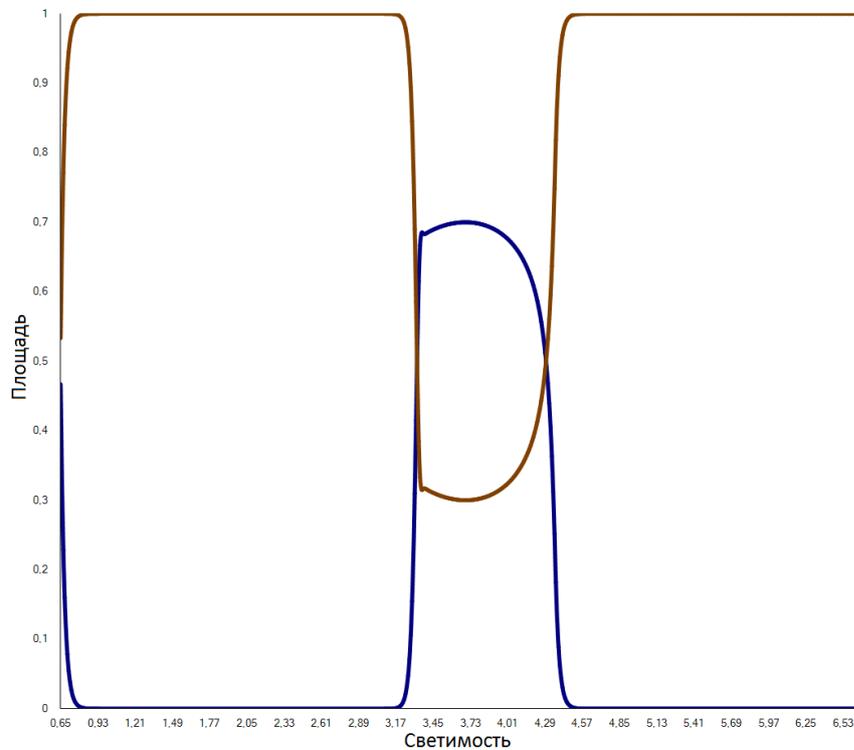


Рис. 3. Измененная модель с двумя видами

В следующем эксперименте увеличим количество видов на 3, таким образом, проведем исследование модели с пятью видами. Вновь отметим, что на рис. 4 максимальная сово-

купная площадь, занимаемая обитающими видами, равна 70% при  $L = 3,70 \cdot L_{\odot}$ , при  $L = 4,29 \cdot L_{\odot}$  населяющие планету виды погибают. Но примечательно в этом эксперименте, что появляется область при значениях светимости от  $2,40 \cdot L_{\odot}$  до  $3,17 \cdot L_{\odot}$ . В этот отрезок времени жизни планеты погибают виды, которые не способны выносить высокие температуры и при этом бороться с конкуренцией. Если данная гипотеза верна, то именно этим обусловлен резкий скачок занимаемой площади. Другим видам требовалась большая территория, так как при данном уровне температур коэффициент рождения новой особи подобного вида из уравнения (4) наиболее высокий.

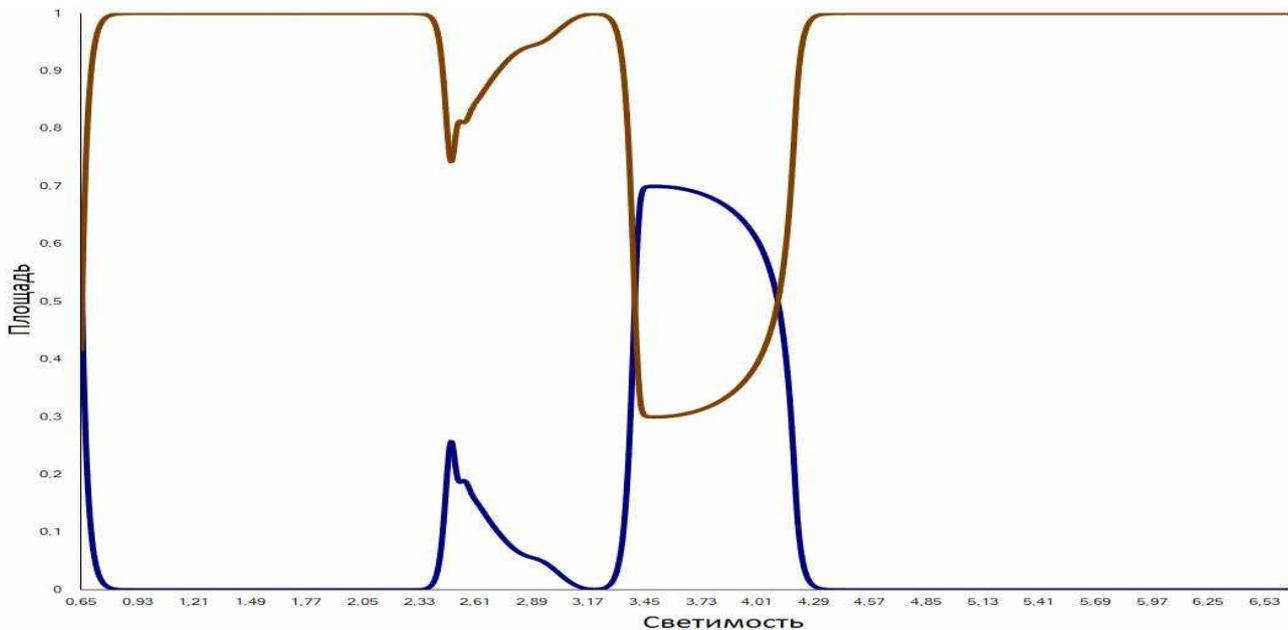


Рис. 4. Измененная модель с пятью видами

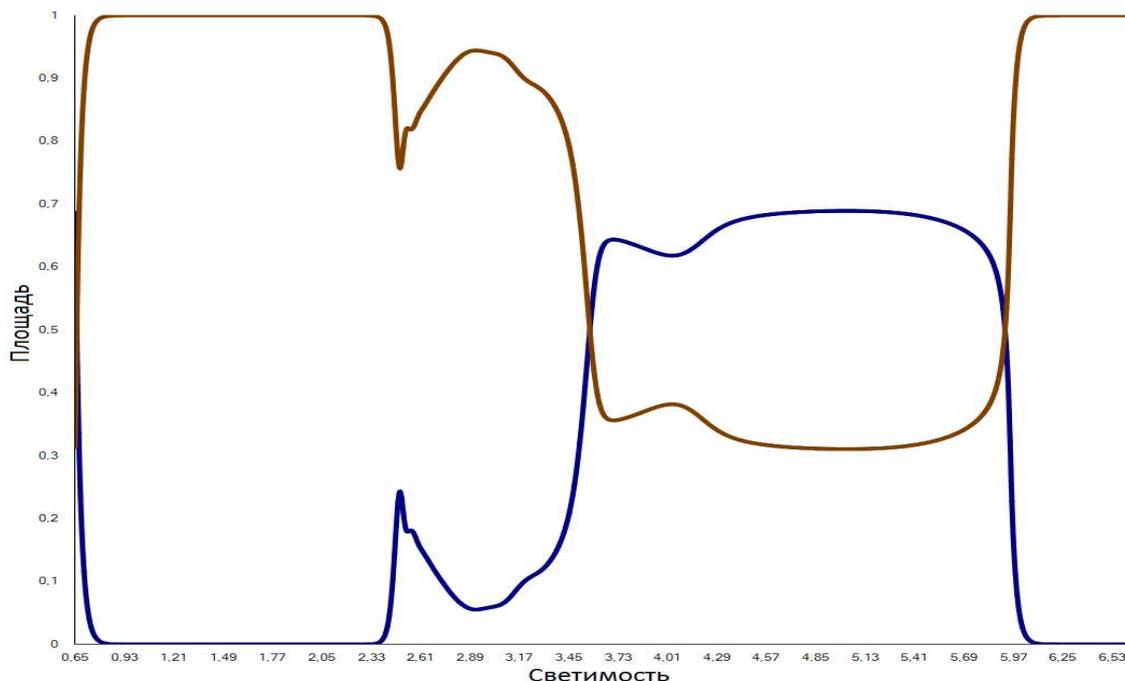


Рис. 5. Измененная модель с 50 видами

В следующем эксперименте увеличим количество особей на порядок. Зададим значение

количества особей равное 50. На рис. 5 представлен результат. Вновь можно заметить область значений светимости от  $L = 2,33L_{\odot}$  до  $L = 2,89L_{\odot}$ , при которой погибает часть видов, согласно нашей гипотезе. Максимальная совокупная площадь, занимаемая обитающими видами, равна 70% при  $L = 2,85L_{\odot}$  при  $L = 6,00L_{\odot}$  населяющие планету виды погибают.

Уже сейчас можно заметить, что увеличение числа особей на порядок дает определенный выигрыш во времени существования жизни на планете. Проверим предположение, увеличив число видов до 150.

На рис. 6 представлен результат исследования модели с 150 видами. Общий вид графика в этом эксперименте напоминает график, изображенный на рис. 5. Обратим лишь внимание, что жизнь на планете погибает при  $L = 6,15L_{\odot}$ , что уже очень близко к ее сохранению в условиях нашей модели (верхняя граница светимости была определена в уравнении (6)).

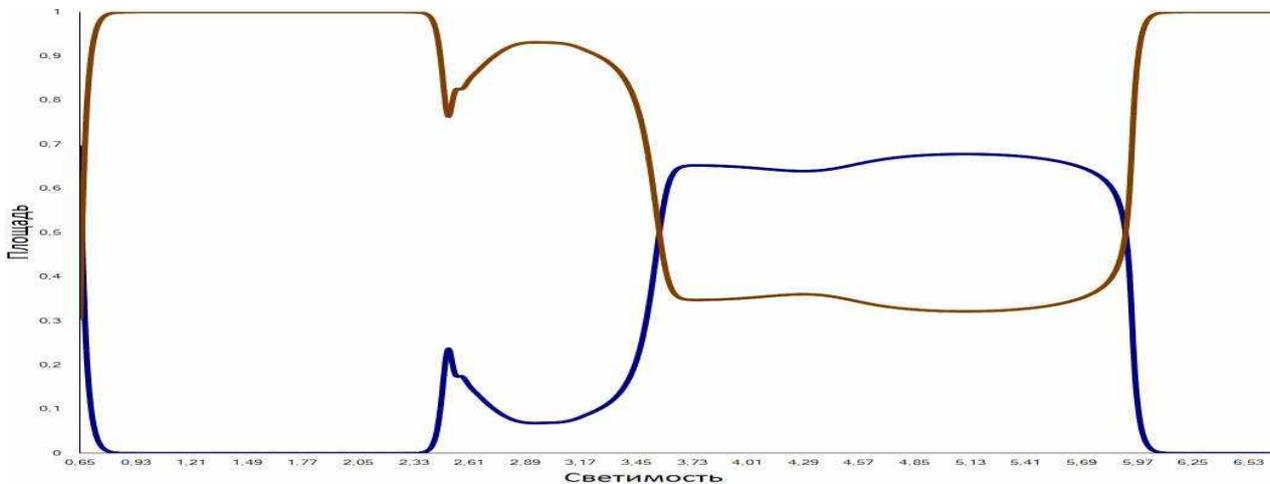


Рис. 6. Измененная модель с 150 видами

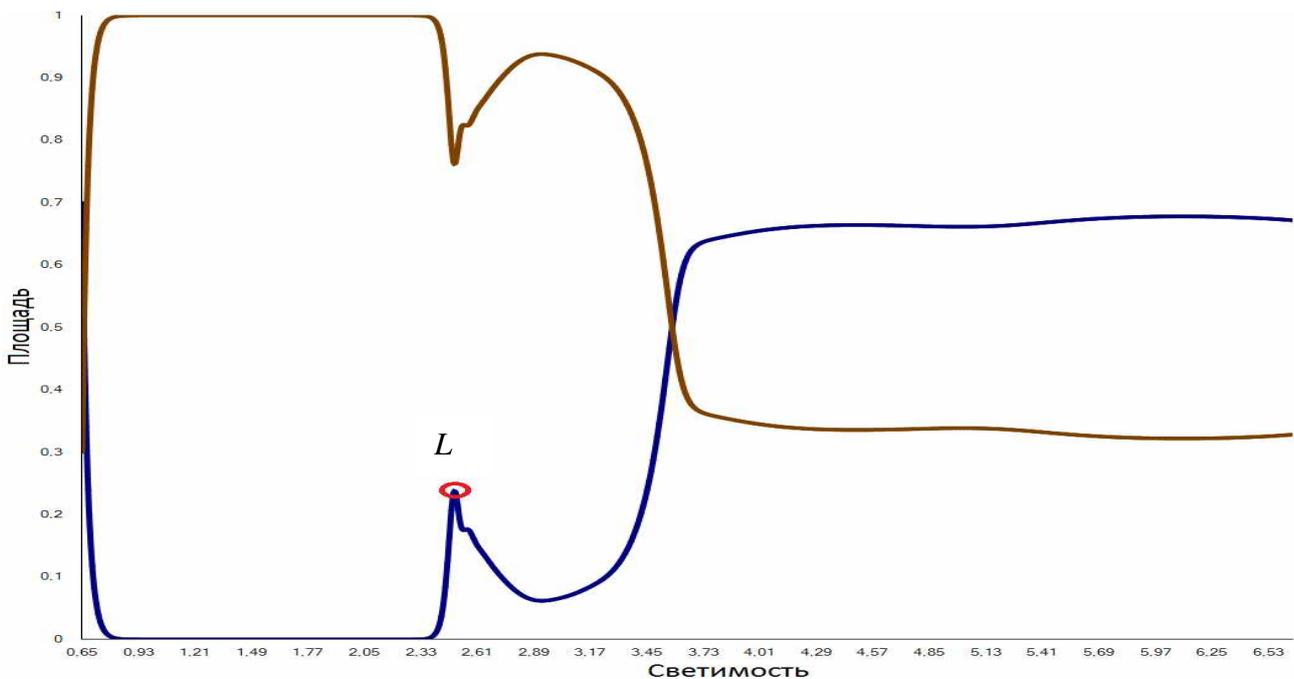


Рис. 7. Измененная модель с 1500 видами

Вновь увеличим количество видов на порядок, и построим модель для 1500 видов. На рис. 7 продемонстрирован результат. В результате этого эксперимента подтвердилось предпо-

ложение о существовании такого числа видов, при котором температура планеты будет оставаться на некотором уровне, комфортном для существования видов. Отметим точку  $L = 2,55 \cdot L_{\odot}$ . Она интересна тем, что в ней могли исчезнуть несколько видов, которые не смогли перенести роста светимости, излучения и, как следствие, температуры.

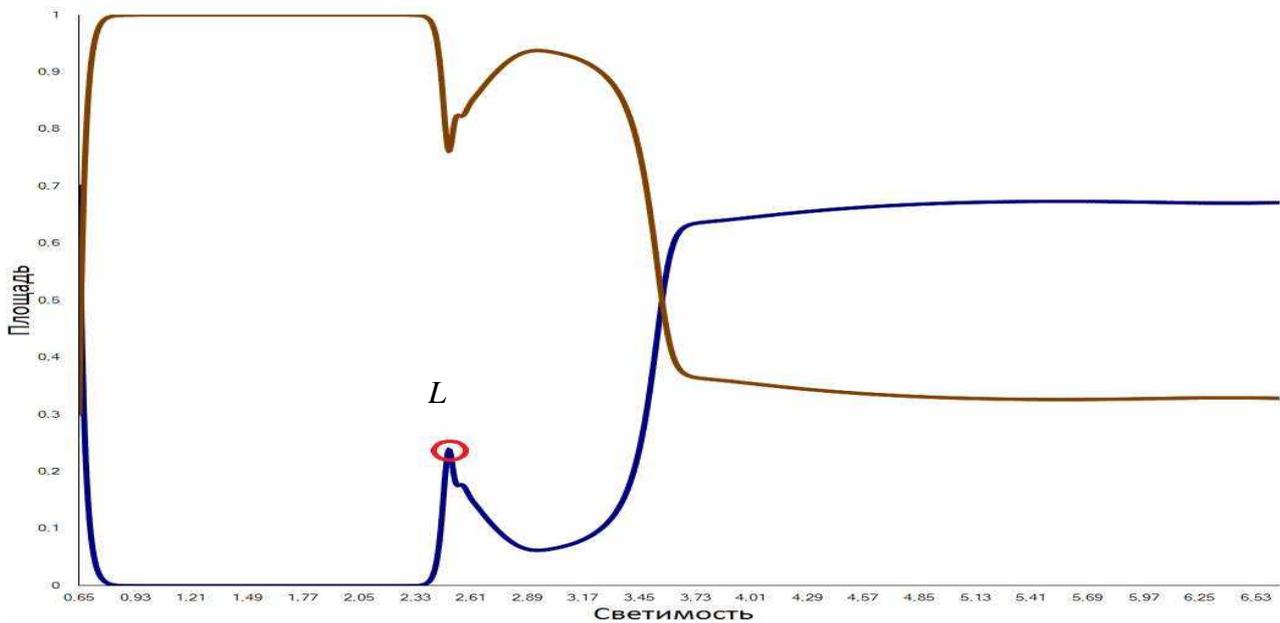


Рис. 8. Измененная модель с 15000 видами

Для демонстрации работы запустим модель с количеством особей 15000 и 150000. Результаты на рис. 8 и рис. 9 соответственно. Обратим внимание на точку  $L = 2,55L_{\odot}$ . На рис. 7–9 она отмечена символом  $L$ . Координаты данной точки совпадают на всех рис. 7–9, да и сами графики не отличаются друг от друга. Поэтому дальнейшее увеличение числа видов даже не требуется. На основании уже сделанных построений можно удостовериться в корректности выдвинутых гипотез.

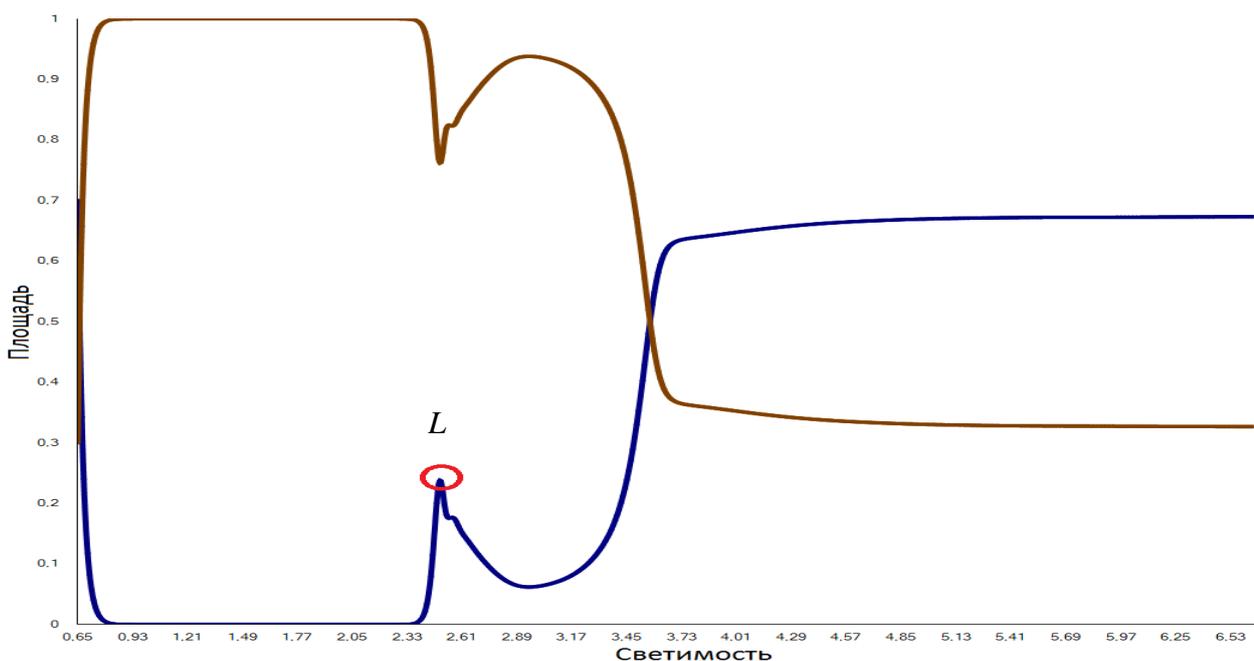


Рис. 9. Измененная модель с 150000 видами

### Заключение

В ходе проведенного исследования была подтверждена возможность использования модели Дж. Лавлока для большого числа видов. Более того, видовое многообразие модели дало возможность говорить не только о способности к сопротивлению внешним факторам, но и о поддержании гомеостаза.

При некотором количестве видов наблюдался процесс увеличения площади, занимаемой видами за счет первичного увеличения числа видов с более высокими коэффициентами альбедо на некотором интервале ( $L_1, L_2$ ). Затем, наблюдалась гибель некоторых из этих видов в результате повышения температуры и дальнейшее освобождение части территории. В дальнейшем это давало видам с более низкими коэффициентами альбедо возможность занимать большую территорию  $A_{\max}$ . Но с ростом излучения звезды, при некотором  $L_{\text{гибели}}$ , в ряде опытов с  $N$  количеством видов, наступала гибель жизни на планете. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

$N$	$A_{\max}$	$(L_1, L_2)$	$L_{\text{гибели}}$
2	27%	–	$3,00L_{\odot}$
5	70%	$(2,40L_{\odot}, 3,17L_{\odot})$	$4,29L_{\odot}$
50	70%	$(2,33L_{\odot}, 2,89L_{\odot})$	$6,00L_{\odot}$
150	68%	$(2,33L_{\odot}, 2,89L_{\odot})$	$6,15L_{\odot}$
1500	70%	$(2,33L_{\odot}, 2,89L_{\odot})$	–
15000	70%	$(2,33L_{\odot}, 2,89L_{\odot})$	–
150000	70%	$(2,33L_{\odot}, 2,89L_{\odot})$	–

Важным результатом работы стало подтверждение гипотезы о значении видового разнообразия на планете. Способность организмов к терморегулированию заставляет задуматься о поддержании видового разнообразия на планете Земля. Очевидный вывод из проведенных экспериментов – чем шире проявляется видовое разнообразие, тем больше вероятность противостоять глобальным изменениям температуры.

### Библиографический список

1. **Watson, A. J.** Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld [Электронный ресурс] / A.J. Watson, J.E. Lovelock // Режим доступа: <http://www.tellusb.net/index.php/tellusb/article/download/14616/16397> // Tellus, 35B.- 1997. С. 284-289. (дата обращения: 28.01.2014).
2. **Harding, S.P.** Exploiter-mediated Coexistence and Frequency-Dependent Selection in a Numerical Model of Biodiversity [Электронный ресурс] / S.P. Harding, J.E. Lovelock // Режим доступа: [http://www.ingentaconnect.com/content/ap/jt/1996/00000182/00000002/art00146#aff\\_1](http://www.ingentaconnect.com/content/ap/jt/1996/00000182/00000002/art00146#aff_1) // Journal of Theoretical Biology, Volume 182, Number 2.-1996.-С.109-116. (дата обращения: 20.02.2014).
3. **Cohen, J. E.,** Interspecific competition affects temperature stability in Daisyworld [Электронный ресурс] / J.E.Cohen, A.D. Rich // Режим доступа: <http://www.tellusb.net/index.php/tellusb/article/view/17079> // Tellus, 52B.- 2000. - С. 980-984. (дата обращения: 20.02.2014).
4. **Lenton, T.M.,** Daisyworld revisited: quantifying biological effects on planetary self-regulation [Электронный ресурс] / T.M. Lenton, J.E. Lovelock // Режим доступа: <http://www.tellusb.net/index.php/tellusb/article/download/16597/18531> // Tellus, 53B.-2001.-С. 288-305. (дата обращения: 28.01.2014).
5. **Lenton, T.M.** Daisyworld revisited: quantifying biological effects on planetary self-regulation [Электронный ресурс] / T.M. Lenton, J.E. Lovelock // Режим доступа: <http://www.tel->

- lusb.net/index.php/tellusb/article/download/16597/18531 // Tellus, 53B.-2001.-С. 303-305. (дата обращения: 28.01.2014).
6. **Ackland, G.J.** Emergent patterns in space and time from daisyworld: a simple evolving coupled biosphere-climate model [Электронный ресурс] / G.J. Ackland, A.J. Wood // Режим доступа: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/368/1910/161.full> // Phil. Trans. R. Soc. A 368. 2010./С.161-179 (дата обращения: 28.01.2014).
  7. **Punithan, D.**, Self-Organizing Spatio-temporal Pattern Formation in Two-Dimensional Daisyworld [Электронный ресурс] / D. Punithan, R.I. McKay // Режим доступа: [http://www.academia.edu/2038605/Self-organizing\\_spatio-temporal\\_pattern\\_formation\\_in\\_two-dimensional\\_daisyworld](http://www.academia.edu/2038605/Self-organizing_spatio-temporal_pattern_formation_in_two-dimensional_daisyworld) // IWSOS 2012, LNCS 7166.-2012.-С. 72–83 (дата обращения: 20.02.2014).
  8. **Watson, A. J.** Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld [Электронный ресурс] / A. J. Watson, J.E. Lovelock // Режим доступа: <http://www.tellusb.net/index.php/tellusb/article/download/14616/16397> // Tellus, 35B. 1997. С. 284. (дата обращения: 28.01.2014).
  9. **Watson, A. J.** Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld [Электронный ресурс] / A. J. Watson, J.E. Lovelock // Режим доступа: <http://www.tellusb.net/index.php/tellusb/article/download/14616/16397> // Tellus, 35B. 1997. С. 287. (дата обращения: 28.01.2014).
  10. **Booth, G.** DaisyBall model [Электронный ресурс] / G. Booth // Режим доступа: <http://gingerbooth.com/flash/daisyball/DaisyBall.html> (дата обращения: 28.01.2014).
  11. **Russel, H. N.** Relations between the spectra and other characteristics of the stars. [Электронный ресурс] / H. N. Russel // Режим доступа: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1914PA.....22..275R> // Popular Astronomy. V. 22. 1914. С. 275-294 (дата обращения: 28.01.2014).

*Дата поступления  
в редакцию 02.09.2014*

**A.S. Kozitzyn, E.V. Shadrina**

## **STUDY OF THE EFFECT OF MICRO-PROCESSES ON THE SYSTEM OF THE EXAMPLE OF A COMPUTER MODEL DAISYWORLD**

National Research University Higt Economics School

**Research focus:** In this article was issued the influence of number of species, which are living on the planet surface, on the temperature regulation ability of the planet. The planet is located in the orbit of the star and receives the solar energy.

**Research methods:** In order to study the processes was built a C# application with use of .NET Framework 4.0, which is able to simulate all experiments of this paper.

**Results:** The hypothesis about the importance of species diversity on the planet was proved. The ability of organisms to thermal control raises questions about maintaining species diversity on Earth. The experiments proved the fact, that wider species diversity increases the probability of resisting global temperature changes.

**Novelty:** The result of the study of the temperature regulations are new and are able to predict actual possible outcomes of the global temperature changes, as in the modern world the ecological security problems are very acute.

*Key words:* model DaisyWorld, global temperature changes, J.Lovelock's model, computer application, simulation experiments.

# МАТЕРИАЛЫ 87-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»

## Секция 1. АКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ДИНАМИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.33.02.073.243.5

В.А. Савельев

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ РЕЗОНАНСНЫХ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КАРДАННОГО ВАЛА ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕУРАВНОВЕШЕННЫХ СИЛ ИНЕРЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА РЯДНОГО ЧЕТЫРЕХЦИЛИНДРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», г. Москва

Показано, что в случае установки на транспортное средство рядных четырехцилиндровых двигателей из-за эффекта принудительной синхронизации (захвата частот), проявляющемся в том, что при приближении частоты действия неуравновешенных сил инерции второго порядка двигателя к критической частоте вращения карданных валов, эти валы входят в резонансный режим колебаний, подвергаются интенсивным изгибным колебаниям, приводящим к аварийной ситуации.

*Ключевые слова:* неуравновешенные силы инерции, двигатель, карданный вал, критическая частота, изгибные колебания, принудительная синхронизация

Одной из важнейших задач при проектировании карданной передачи для трансмиссий транспортных средств является обеспечение отсутствия при работе резонансных, в том числе, изгибных, колебаний ее валов.

Изгибные колебания карданной передачи, происходящие в резонансной зоне, не только вызывают резкое увеличение вибрации и внутреннего шума в автомобилях, но и приводят к поломкам картерных деталей силового агрегата и самой карданной передачи.

Показателем, позволяющим определить возможную область работы без опасного самовозбуждения изгибных колебаний карданного вала при его вращении, является критическая частота.

#### Критическая частота вращения стального карданного вала как балки с сосредоточенной массой

В практике автомобилестроения для определения критической частоты вращения традиционных карданных валов со стальными трубами обычно используется формула, получаемая в результате рассмотрения вращающегося в жестких шарнирных опорах вала, масса которого со-средоточена в точке, расположенной между этими опорами [1-3]. При этом производится расчет критической частоты вращения карданного вала по формуле:

$$n_{кр} = 1,185 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{D^2 + d^2} \cdot L^{-2}, \quad (1)$$

где  $n_{кр}$  - критическая частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $D$  - наружный диаметр трубы, см;  $d$  - внутренний диаметр трубы, см;  $L$  - расстояние между центрами карданных шарниров вала (для промежуточных карданных валов - расстояние между центрами карданного шарнира и промежуточной опоры), см.

В этой формуле учтены свойства упругости стали как изотропного материала.

Аналогичный подход к определению критической частоты вращения карданного вала, труба которого выполнена из полимерного композиционного материала, осуществлен в работе [4].

В качестве материала труб этих карданных валов чаще всего используется гибридный полимерный материал, в котором армирующим элементом являются стеклянные, базальтовые, углеродные, арамидные волокна, а связующим служат смолы эпоксидно-фенольного типа. Такие валы часто называют композитными.

### Критическая частота вращения композитного карданного вала как балки с сосредоточенной массой

Формула, приведенная в работе [4], имеет следующий вид:

$$n_{кр} = \frac{20949}{L^2} \sqrt{\frac{E_x(D^2 + d^2)}{\gamma}}, \quad (2)$$

где  $E_x$  - модуль упругости композиционного материала в направлении продольной оси трубы карданного вала, МПа;  $\gamma$  - плотность материала трубы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

В этой формуле  $D$ ,  $d$ ,  $L$  имеют тот же смысл, что и в приведенной ранее формуле (1), но другую размерность - м.

Работы, связанные с применением труб карданных валов из полимерных композиционных материалов для трансмиссий легковых и грузовых автомобилей, ведутся специалистами многих автомобилестроительных фирмам и исследовательских организаций мира, в том числе и в России [4-8]. В них нашли отражение особенности расчета таких карданных валов.

Следует отметить, что более естественным и точным является подход к определению критической частоты вращения карданного вала на основе решения дифференциального уравнения изгибных колебаний шарнирно опертой балки постоянного сечения с равномерно распределенной массой, а не из предположения, что масса конструкции сосредоточена в одной точке.

### Критическая частота вращения карданного вала как балки с распределенной массой

В этом случае для определения первой критической частоты вращения карданного вала может быть использовано соответствующее решение уравнения изгибных колебаний [9, 10]:

$$n_{кр} = \frac{30\pi}{L^2} \sqrt{\frac{10^6 \cdot E_x \cdot J \cdot L}{m}}, \quad (3)$$

где  $J$  - момент инерции сечения вала при изгибе,  $\text{м}^4$ ;  $m$  - масса трубы карданного вала, кг.

Момент инерции сечения трубы карданного вала при изгибе:

$$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}.$$

Масса трубы определяется по формуле:

$$m = \frac{\pi(D^2 - d^2)\gamma L}{4}.$$

Подставив выражения для момента инерции сечения трубы  $J$  и массы трубы  $m$  в формулу (3), последняя получит вид:

$$n_{кр} = \frac{23550}{L^2} \sqrt{\frac{E_x(D^2 + d^2)}{\gamma}}. \quad (4)$$

Размерность параметров в формулах (3) и (4) та же, что и в формуле (2).

### **Особенность проявления резонансных изгибных колебаний карданного вала при использовании в силовом приводе четырехцилиндрового рядного двигателя**

Формулы (1) и (4) позволяют конструктору оценить область опасного самовозбуждения изгибных колебаний карданных валов, приводимых во вращение в процессе работы двигателями разных конструкций, кроме широко распространенных рядных четырехцилиндровых двигателей. Для случая установки в автомобиль этого типа двигателя оценка области опасного самовозбуждения изгибных колебаний карданного вала является не полной в связи с возможными особенностями колебательных процессов сложной (нелинейной) динамической системы.

Наиболее естественным объяснение возбуждения изгибных колебаний карданных валов в данном случае представляется как процесс синхронизации динамических систем [11-13], т.е. как процесс достижения связанными объектами различной природы общего ритма функционирования [11, 14-16].

При вращении с частотой  $n$  коленчатого вала рядного четырехцилиндрового четырех-тактного двигателя характерно действие неуравновешенных сил инерции второго порядка [17]. Это воздействие происходит с частотой  $2n$  и передается на опоры двигателя, с коленчатым валом которого через механизм изменения частоты вращения и крутящего момента (через коробку перемены передач) соединен карданный вал. В случае совпадения частоты  $2n$  действия неуравновешенных сил инерции второго порядка двигателя с критической частотой вращения карданного вала последний входит в режим резонанса изгибных колебаний, с резким возрастанием амплитуд изгибных колебаний. Таким образом, при  $2n = n_{кр}$  наступает резонансный режим работы карданного вала.

При этом важно наглядно показать с помощью соответствующей модели механизм возникновения опасных изгибных колебаний валов карданной передачи, приводящих к аварийной ситуации.

Схема действия неуравновешенных сил инерции второго порядка возвратно-поступательно движущихся масс двигателя на его опоры показана на рис. 1.

На этом рисунке обозначено: 1 – двигатель, 2 – сцепление, 3 – коробка передач, 4 – промежуточный карданный вал, 5 – задний карданный вал, 6 – задний мост, 7 – колесо, 8 – рама, 9 – неуравновешенная масса вибратора, 10 – стойка вибратора, 11 – направляющая стойки вибратора.

Частота вращения коленчатого вала двигателя –  $n$ . Неуравновешенная масса  $m_d$  вибратора вращается с частотой  $2n$ . Направляющая стойки вибратора не связана с корпусом двигателя и предотвращает нагружение опор двигателя в горизонтальном направлении действием составляющей центробежной силы в этом направлении. На опоры двигателя передается только составляющая центробежной силы в вертикальном направлении при вращении неуравновешенной массы вибратора.

Изображенный схематично на приведенном рисунке вибратор может быть представлен как вибратор (рис. 2), который имеет две одинаковые, но вдвое меньшие по величине неуравновешенные массы, вращающиеся в противоположных направлениях (в противофазе) также с частотой  $2n$  и с таким их взаимным расположением (как показано на этом рисунке), что горизонтальная составляющая от действия центробежных сил в каждый момент времени равна нулю, а на опоры передается только составляющая центробежных сил вертикального направления [18].

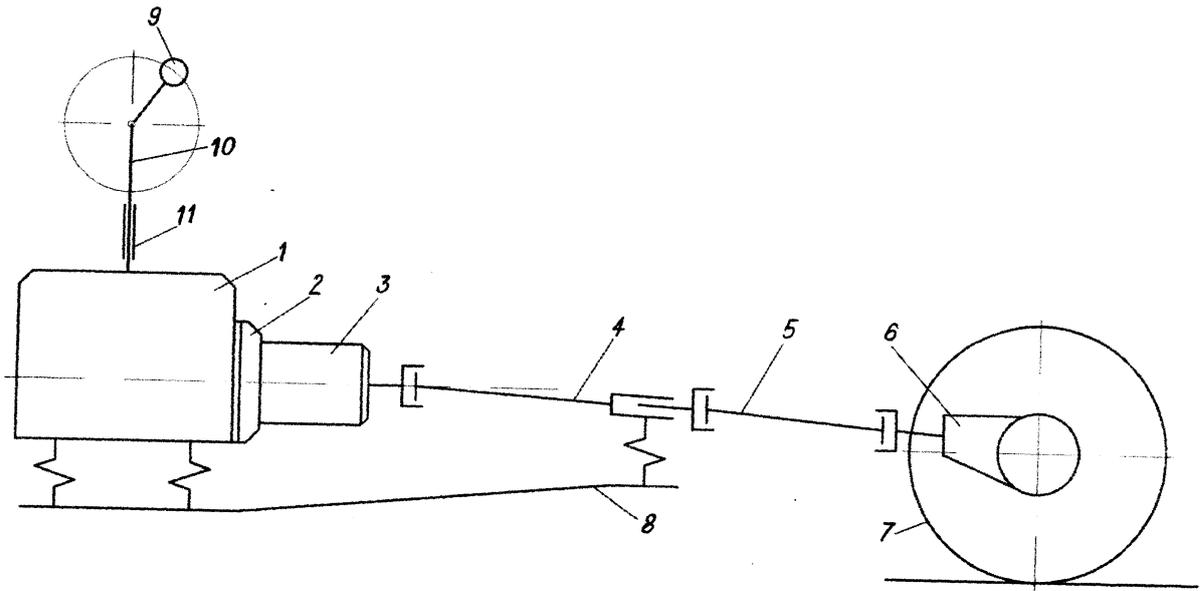


Рис. 1. Схема действия неуравновешенных сил инерции двигателя на карданный вал

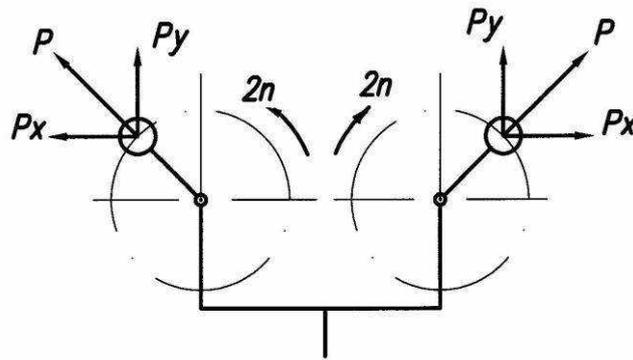


Рис. 2. Схема вибратора как аналога неуравновешенных сил инерции второго порядка двигателя

Двигатель, агрегаты трансмиссии, в том числе и валы карданной передачи, имеют связь с общим податливым элементом – рамой. При приближении частоты  $2n$  действия на опоры двигателя неуравновешенных сил инерции второго порядка к критической частоте изгибных колебаний карданного вала, соединенного через коробку перемены передач и сцепление с вращающимся с частотой  $n$  коленчатым валом, происходит принудительная синхронизация колебаний, захватывание частоты. Карданный вал подвергается интенсивным изгибным колебаниям с частотой  $2n$  синхронизирующей системы, так как при этом начинает функционировать в резонансной зоне, финалом чего может быть разрушение вала. С учетом формулы (4) это происходит при частоте вращения карданного вала, оцениваемой величиной

$$n = \frac{11775}{L^2} \sqrt{\frac{E_x(D^2 + d^2)}{\gamma}} \quad (5)$$

Аналогично возможность резонанса изгибных колебаний карданного вала со стальной трубой транспортного средства вследствие принудительной синхронизации от действия неуравновешенных сил инерции второго порядка рядного четырехцилиндрового двигателя при выполнении условия  $2n = n_{кр}$  может быть оценена с помощью следующей формулы, получаемой из зависимости (1):

$$n = 0,5925 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{D^2 + d^2} \cdot L^{-2} \quad (6)$$

Расчеты с помощью формулы (6) позволили скорректировать параметры трехопорной карданной передачи для автобусов ПАЗ 320412-03 с четырехцилиндровым рядным двигателем CUMMINS, ранее вышедшей из строя по причине резонансных изгибных колебаний ее валов, и разработать новую конструкцию [19]. Испытания и опыт эксплуатации автобусов ПАЗ 320412-03 показали, что проблема резонансных изгибных колебаний валов вследствие захвата частот синхронизирующей системой, в данном случае решена и нашла свое объяснение.

Следует отметить, что приведенные ранее формулы получены для идеализированной схемы, обычно используемой при расчетах, в соответствии с которой карданный вал представляется в виде шарнирно опертой балки постоянного сечения. В действительности карданный вал более сложная в геометрическом отношении конструкция, к тому же имеющая подвижное шлицевое соединение и зазоры в сочленениях, а собственная частота изгибных колебаний такой конструкции находится в зависимости от действующего на нее крутящего момента [20].

### Заключение

1. В случае установки на транспортное средство рядных четырехцилиндровых двигателей из-за эффекта принудительной синхронизации (захвата частот), проявляющемся в том, что при приближении частоты действия неуравновешенных сил инерции второго порядка двигателя к критической частоте вращения карданного вала он входит в резонансный режим колебаний, подвергается интенсивным изгибным колебаниям, вследствие чего возможно возникновение аварийной ситуации.

2. Определение запаса по критической частоте вращения карданного вала с установленным на транспортном средстве рядным четырехцилиндровым двигателем по традиционной методике с целью обеспечения безопасности при работе в эксплуатационных условиях является необходимым, но не является достаточным. Дополнительным условием при этом является учет влияния на колебательную систему неуравновешенных сил инерции второго порядка двигателя.

### Библиографический список

1. Проектирование трансмиссий автомобилей: справочник / под общ. ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
2. Лукин, П.П. Конструирование и расчет автомобиля / П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В.Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
3. ГОСТ Р 52430 – 2005. «Автомобильные транспортные средства. Передачи карданные автомобилей с шарнирами неравных угловых скоростей. Общие технические условия». – М.: Стандартинформ, 2006. – 12 с.
4. Иванов, С. Н. Карданные валы с трубами из композиционного материала / С.Н. Иванов, О.В. Соколов // Автомобильная промышленность. 1986. №1. С. 19–20.
5. Лютцау, В.Г. Проблемы и перспективы применения композитных материалов в машиностроении / В.Г. Лютцау, Н.А. Махутов, А.Н. Полилов // Машиноведение. 1988. №2. С. 3–11.
6. Иванов, С.Н. Карданные передачи трансмиссий. Перспективы и проблемы / С.Н. Иванов, В.А. Савельев, Н.П. Кочешков // Автомобильная промышленность. 1988. №12. С. 20–21.
7. Савельев, В. А. Особенности расчета листовых рессор и труб карданных валов из гибридных полимерных композиционных материалов // Совершенствование технико-экономических показателей автомобильной техники. – М.: Изд. НАМИ. 1989. С. 83–92.
8. Савельев, В. А. Гибридные карданные валы. Особенности расчета // Автомобильная промышленность. 1992. №8. С. 18–20.
9. Маслов, Г.С. Расчеты колебаний валов: справочное пособие / Г.С. Маслов. – М.: Машиностроение. 1968. – 271 с.
10. Беркер, А.Х. Проектирование универсальных шарниров и ведущих валов: [пер. с англ. Ю.В. Попова] / А. Х. Беркер, И. Р. Вагнер, Н. В. Вебстер [и др.]. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1984. – 463 с.

11. **Блехман, И.И.** Синхронизация динамических систем / И.И. Блехман. – М.: Наука, 1971. – 896 с.
12. **Савельев, В.А.** Особенности влияния дисбаланса вращающихся масс транс-миссии автомобиля на ее виброактивность // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: материалы 71-й Международной научно-технической конференции. Н. Новгород. 12-13 октября 2010 г. С. 20–22.
13. **Савельев, В. А.** Влияние неуравновешенных сил инерции второго порядка четырехцилиндрового рядного двигателя на изгибные колебания валов карданной передачи автомобиля // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. №5 (2). С. 197–200.
14. **Бутенин, Н.В.** Введение в теорию нелинейных колебаний / Н.В. Бутенин, Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев. – М.: Наука, 1987. – 384 с.
15. **Пановко, Я.Г.** Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1991. – 256 с.
16. **Веричев, Н.Н.** Порядок и хаос в динамике ротаторов / Н.Н. Веричев, С.Н. Веричев, В.И. Ерофеев. – М.; Н. Новгород: Университетская книга, 2008. – 132 с.
17. **Тольский, В.Е.** Колебания силового агрегата автомобиля / В.Е. Тольский, Л.В. Корчемный, Г.В. Латышев, Л.М. Минкин. – М.: Машиностроение, 1976. – 266 с.
18. **Литвак, В.И.** Автоматизация усталостных испытаний натуральных конструкций / В.И. Литвак. – М.: Машиностроение, 1972. – 384 с.
19. **Иванов, С.Н.** Особенности расчета карданной передачи с целью обеспечения ее безопасной работы в процессе эксплуатации / С.Н. Иванов, В.А. Савельев, Н.П. Кочешков // ААИ (Журн. ассоциации автомобильных инженеров). 2010. № 5. С. 46–48.
20. **Иванов, С.Н.** Изгибные колебания карданного вала / С.Н. Иванов, В.П. Мамаева // Совершенствование технико-экономических показателей автомобильной техники. – М.: Изд. НАМИ. 1989. С. 93–103.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.A. Saveliev**

**INFLUENCE OF UNBALANCED FORCES OF INERTIA OF THE SECOND ORDER  
OF THE FOUR-CYLINDER ROW ENGINE ON FLEXURAL OSCILLATIONS  
OF CARDAN DRIVE SHAFTS OF A VEHICLE**

**GNTS NAMI**

The State Scientific Centre of the Russian Federation  
in the Automotive Equipment  
The Central Automobile and Automobile Engine  
Scientific Research Institute

It is shown that in installed on a vehicle four-cylinder row engines, because of the effect of forced synchronization (capture of frequencies), which is manifested in the fact that as the frequency of action of unbalanced forces of inertia of the second order of the four-cylinder engine approaches a critical frequency of rotation of cardan shafts, these shafts enter into a resonance oscillations mode and they undergo intensive flexural oscillations leading to an emergency situation.

*Key words:* unbalanced forces of inertia, engine, cardan shaft, critical frequency, flexural oscillations, forced synchronization.

УДК 629.3

С.Р. Кристальный, В.А. Фомичёв, Н.В. Попов

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ АБС НА АВТОМОБИЛЕ, ОСНАЩЁННОМ ШИПОВАННЫМИ ШИНАМИ, И ЕЁ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Представлены результаты испытаний эффективности действия АБС на льду. Приведены зависимости коэффициента сцепления от скольжения для зимних шипованной и нешипованной шин на льду. Описывается метод определения коэффициента сцепления шипованной шины с опорной поверхностью при помощи автомобиля – шинного тестера.

*Ключевые слова:* шинный тестер, испытания, коэффициент сцепления, антиблокировочные системы, шипованные шины.

Кафедрой «Автомобили» МАДИ в сотрудничестве с НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» на территории Дмитровского автополигона были проведены научно-исследовательские испытания эффективности действия антиблокировочных систем тормозов (АБС) на автомобилях, оснащённых шипованными шинами. В процессе испытаний планировалось получить зависимость коэффициента сцепления от скольжения для зимней шипованной шины ( $\varphi - S$  диаграмму) на льду, а также сравнить эффективность действия АБС при торможении на льду легкового автомобиля, оснащённого шипованными и такими же нешипованными шинами. Для этого фирмой Yokohama были предоставлены два комплекта аналогичных по размеру и конструкции зимних шин модели iceGUARD Stud IG35 (размерность 185/70 R14 92T), отличающихся друг от друга только наличием шипов противоскольжения у одного комплекта.

Испытания были проведены с помощью автомобилешинного тестера, конструкция которого подробно описана в [5, 6, 7].

### Характеристика проведенных испытаний

Программа испытаний была основана на методике измерения коэффициента реализуемого сцепления  $\varepsilon$  (Приложение 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09)) [1] и включала проведение серий следующих испытательных заездов на льду:

- 1) торможение с начальной скоростью 55 км/ч с АБС, работающей в режиме непрерывной цикличности – для определения коэффициента торможения  $Z_{AL}$ ;
- 2) торможение с начальной скоростью 50 км/ч передней осью (задние тормозные механизмы отключены) без АБС с постепенным увеличением давления в тормозном трубопроводе – для определения коэффициента сцепления передней оси  $k_f$ ;
- 3) торможение с начальной скоростью 50 км/ч задней осью (передние тормозные механизмы отключены) без АБС с постепенным увеличением давления в тормозном трубопроводе – для определения коэффициента сцепления задней оси  $k_r$ .

Лёд был заморожен на прямолинейном горизонтальном участке для оценки тормозных свойств автомобилей с АБС полигона НИЦИАМТ. Стабильность результатов обеспечивалась тщательным соблюдением тождественности условий проведения испытаний: температуры окружающего воздуха и льда не отличались более чем на 0,5 °С от заезда к заезду, состояние льда и атмосферы были идентичными за все время проведения испытательных заездов (табл. 1).

Таблица 1

## Условия проведения испытаний

Температура воздуха	-9,2...-9,7 °С
Температура льда	-7,6...8,1 °С
Состояние льда	Неразбитый, чистый
Состояние атмосферы	Осадки отсутствовали, солнечно

Весовые и геометрические характеристики испытательного автомобиля, используемые при определении коэффициента реализуемого сцепления  $\varepsilon$ , представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Характеристики испытательного автомобиля

Масса, приходящаяся на переднюю ось, кг	822,5
Масса, приходящаяся на заднюю ось, кг	551
Общая масса, кг	1373,5
База, мм	2615
Высота центра масс, мм	545,5

Общая масса автомобиля состояла из масс снаряженного автомобиля, испытателя-эксперта, балласта и испытательного оборудования. Автомобиль был забалластирован 75 кг с целью достижения равномерного распределения нагрузок по бортам для уравнивания массы водителя. Количество топлива в баке поддерживалось в диапазоне 25...28 л. Давление в шинах было выставлено номинальное – 2,2 кгс/м<sup>2</sup>. Высота центра масс была определена по методике полигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (РД 37.052.207-89).

## Методика обработки экспериментальных данных и результаты проведённых испытаний

Коэффициент реализуемого сцепления  $\varepsilon$  определяется отношением максимального коэффициента торможения при включенной АБС ( $Z_{AL}$ ) к коэффициенту сцепления ( $k_M$ ) [1]:

$$\varepsilon = \frac{z_{AL}}{k_M}. \quad (1)$$

Коэффициент сцепления  $k_M$  рассчитывается с учётом динамических нагрузок на ось на основании полученных коэффициентов сцепления  $k_f$  и  $k_r$ .

Передний  $k_f$  и задний  $k_r$  коэффициенты сцепления для переднеприводного автомобиля рассчитываются по формулам [1]:

$$k_f = \frac{z_m \cdot P - 0,01 \cdot P_2}{P_1 + \frac{h}{E} \cdot z_m \cdot P}; \quad (2)$$

$$k_r = \frac{z_m \cdot P - 0,015 \cdot P_1}{P_2 - \frac{h}{E} \cdot z_m \cdot P}, \quad (3)$$

где  $z_m$  – средний минимальный коэффициент торможения;  $P$  – масса автомобиля, кг;  $P_1$  – масса автомобиля, приходящаяся на переднюю ось, кг;  $P_2$  – масса автомобиля, приходящаяся на заднюю ось, кг;  $h$  – высота центра масс, мм;  $E$  – база, мм.

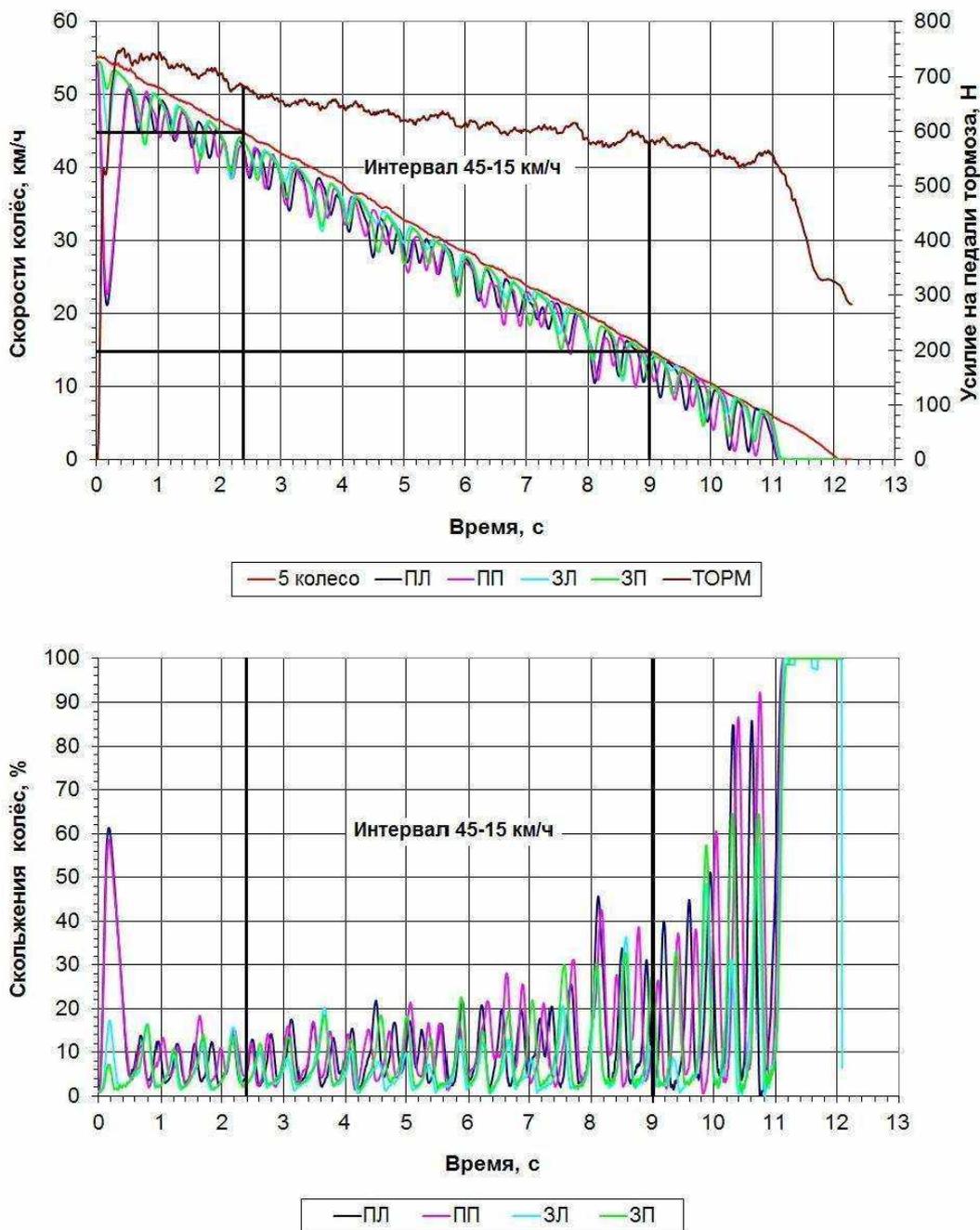
Подробно процедура определения  $Z_{AL}$ ,  $k_f$  и  $k_r$  и  $k_M$  изложена в [1].

Записи параметров движения автомобиля в графическом виде при проведении типовых заездов по определению коэффициентов  $Z_{AL}$ ,  $k_f$ ,  $k_r$  приведены на рис. 1-3. На графиках отображаются окружные скорости каждого из колёс, скорость автомобиля по «пятому коле-

су) и усилие нажатия на педаль тормоза. Также на рис. 1-3 были построены графики изменения во время заезда относительного скольжения затормаживаемых колёс, подсчитанного по формуле:

$$S = \frac{V_a - V_k}{V_a}, \quad (4)$$

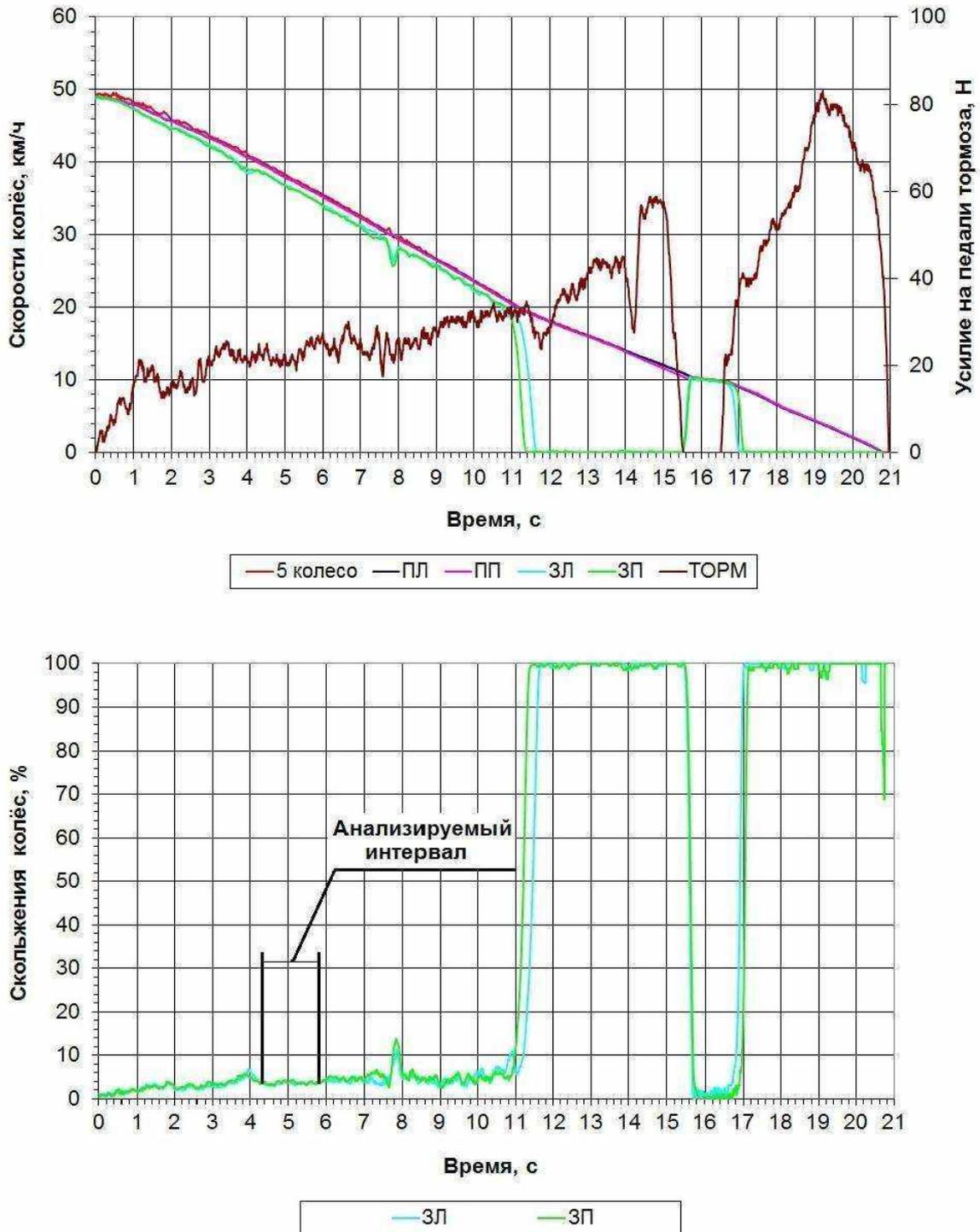
где  $V_a$  – скорость автомобиля по «пятому колесу», км/ч;  $V_k$  – окружная скорость тормозящего колёса, км/ч.



**Рис. 1. Торможение с АБС – определение коэффициента  $Z_{AL}$ :**

5-е колесо – скорость автомобиля по системе типа «пятое колесо»;

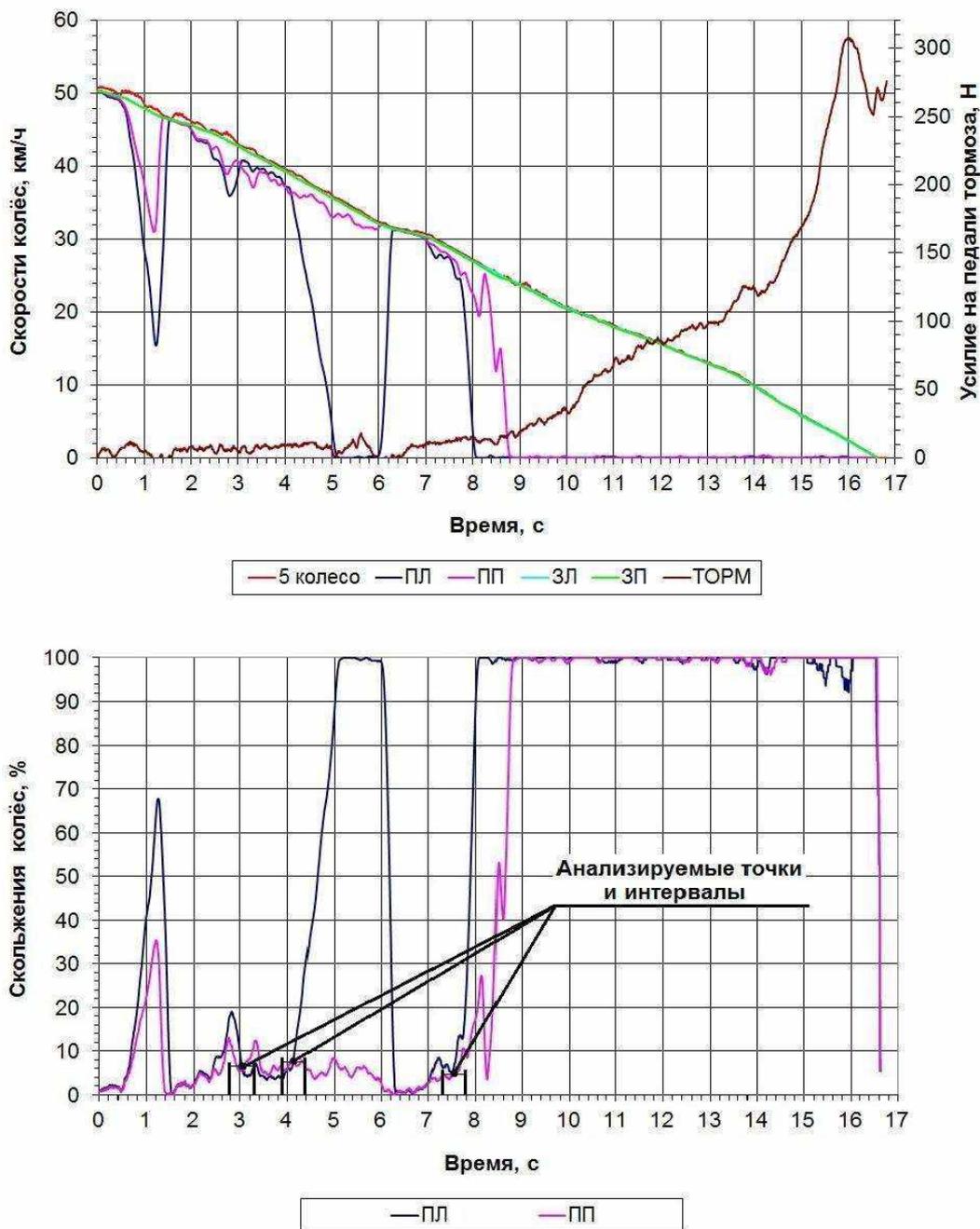
ПЛ, ПП, ЗЛ, ЗП – окружная скорость и скольжение соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колёс; ТОРМ – усилие на педали тормоза



**Рис. 2. Торможение задней осью – определение коэффициента  $k_r$ :**

5-е колесо – скорость автомобиля по системе типа «пятое колесо»;  
 ПЛ, ПП, ЗЛ, ЗП – окружная скорость и скольжение соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колёс; ТОРМ – усилие на педали тормоза

Частота регулируемого АБС давления в тормозных механизмах колёс, определённая по графикам на рис. 1, составила 3,5 Гц. При проведении серии заездов были показаны стабильные результаты времени торможения в интервале снижения скорости от 45 до 15 км/ч, на основании которых по методике Приложения 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09) были определены максимальные коэффициенты торможения с АБС (табл. 3).



**Рис. 3. Торможение передней осью – определение коэффициента  $k_f$ :**

5-е колесо – скорость автомобиля по системе типа «пятое колесо»;

ПЛ, ПП, ЗЛ, ЗП – окружная скорость и скольжение соответственно переднего левого, переднего правого, заднего левого и заднего правого колёс; ТОРМ – усилие на педали тормоза

**Таблица 3**

**Результаты испытаний эффективности действия АБС на льду**

Коэффициент	$k_f$	$k_r$	$k_M$	$Z_{AL}$	$\epsilon$
Нешипованные шины	0,163	0,179	0,169	0,149	0,88
Шипованные шины	0,210	0,214	0,211	0,171	0,81

Анализ заездов для определения коэффициентов  $k_f$  и  $k_r$  (рис. 2, 3) показал, что при торможениях на льду усилия, прилагаемые к тормозной педали, требуются очень небольшие. Данное обстоятельство значительно затрудняет дозирование тормозного усилия экспертом-испытателем при выполнении соответствующих заездов без блокировки тормозящих колёс. При этом, несмотря на большое мастерство экспертов-испытателей, блокировка колёс происходит довольно часто, что приводит к частой выбраковке заездов и трудоемкости определения необходимых коэффициентов  $z_m$ .

По методике Приложения 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09) коэффициент  $z_m$  должен определяться из расчета заданного промежутка времени ( $t_m$ ) для снижения скорости с 40 до 20 км/ч:

$$z_m = \frac{0,566}{t_m}. \quad (5)$$

Для увеличения точности и достоверности получения коэффициентов сцепления  $k_f$  и  $k_r$  методика определения коэффициента торможения  $z_m$  была скорректирована относительно Приложения 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09). Корректировка стала возможной благодаря регистрации во время заезда скоростей вращения колёс и построенных на этом основании графиков относительных скольжений. Для получения коэффициентов торможения были рассмотрены следующие участки по всем заездам:

1) интервалы с неизменяющимся одинаковым относительным скольжением обоих тормозящих колес (рис. 2);

2) интервалы продолжительностью 0,5 с, центры которых располагаются в точке с одинаковым относительным скольжением обоих тормозящих колес (рис. 3). Продолжительность интервала в 0,5 с установлена экспериментально и представляет собой баланс между точностью определения замедления в исследуемой точке и необходимой точностью расчёта замедления для данного интервала.

Анализ этих участков позволяет решить более точно по сравнению с Приложением 13 к Правилам ЕЭК ООН № 13 (-09) задачу определения наиболее эффективных условий качения тормозящих колёс.

Коэффициент торможения  $z$  для исследуемого интервала определяется по формуле:

$$z = \frac{0,0283(V_2 - V_1)}{t_{yч}}, \quad (6)$$

где  $V_1$  – скорость автомобиля в начале исследуемого интервала, км/ч;  $V_2$  – скорость автомобиля в конце исследуемого интервала, км/ч;  $t_{yч}$  – продолжительность участка, с

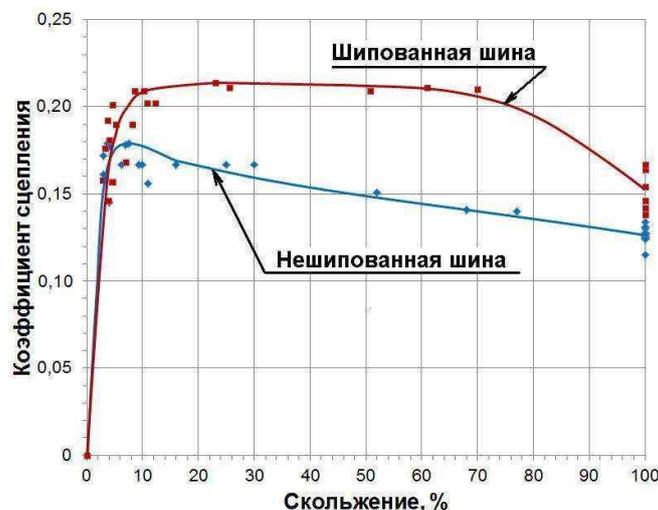


Рис. 4. Зависимости коэффициента сцепления от скольжения ( $\phi - S$  диаграммы) на льду для зимних нешипованной и шипованной шин

Для каждого коэффициента торможения  $z$  необходимо регистрировать относительное скольжение тормозящих колёс, при котором он был рассчитан.

Из полученных коэффициентов торможения выбираются три минимальные величины, и подсчитывается как среднее арифметическое средний минимальный коэффициент торможения  $z_m$ . Коэффициенты сцепления  $k_f$  и  $k_r$  рассчитываются по формулам (2), (3) на основании определенных коэффициентов  $z_m$  для каждой оси – результаты представлены в табл. 3. Также в табл. 3 представлены результаты испытаний эффективности действия АБС при торможении с нешипованными и шипованными шинами на льду.

Если подсчитать  $k_f$  и  $k_r$  на основании  $z$  для всех участков, то можно получить массив данных коэффициентов сцепления и относительных скольжений, на основании которого можно построить зависимость коэффициента сцепления от скольжения ( $\varphi - S$  диаграмму) (рис. 4).

Для определения коэффициента сцепления при проведении испытаний на эффективность действия АБС был применен новый метод, основанный на анализе скольжений колёс при торможении.

*Достоинствами* разработанного метода являются:

- более точное определение коэффициента сцепления;
- более точное определение коэффициента реализуемого сцепления  $\epsilon$ ;
- определение величины оптимального скольжения, при котором обеспечивается максимальный коэффициент сцепления для каждой оси – перспектива совершенствования алгоритмов функционирования систем активной безопасности;
- возможность определения  $\varphi - S$  диаграммы в дорожных условиях без применения специальных шинных тестеров (в том числе и для шипованных шин);
- меньшая трудоемкость проводимых испытаний, связанная с определением наименьшего коэффициента торможения при торможении одной осью (особенно на дорогах с низким коэффициентом сцепления).

*К недостаткам* применённого метода можно отнести:

- необходимость установки и настройки сложного испытательного оборудования, обеспечивающего высокую точность измерений;

В заключение хотелось бы выразить глубокую признательность директору Центра испытаний НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (Дмитровского автополигона) Загарину Денису Александровичу за помощь в организации экспериментальных исследований и предоставленную возможность использования инфраструктуры НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ».

#### Библиографический список

1. **Правила ЕЭК ООН № 13-09.** Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – Введены 1996-06-28. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 112 с.
2. **Кристалльный, С.Р.** Проблемы эффективности действия антиблокировочных систем автомобилей, оснащенных средствами противоскольжения / С.Р. Кристалльный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автотранспортное предприятие. 2012. №5. С. 44–49.
3. **Кристалльный, С.Р.** Проблемы функционирования АБС на автомобилях, оснащённых средствами противоскольжения / С.Р. Кристалльный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Вестник МАДИ. 2012. №2 (29). С. 10–17.
4. **Кристалльный, С.Р.** Проблемы эффективности действия антиблокировочных систем автомобилей, оснащенных шипованными шинами/ С.Р. Кристалльный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Журнал автомобильных инженеров. 2012. №2 (73). С. 32–37.
5. **Кристалльный, С.Р.** Шинный тестер для исследования характеристик шипованных шин / С.Р. Кристалльный, В.Н. Задворнов, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Вестник МАДИ. 2013. № 3 (34). С. 10–17.

6. **Кристалльный, С.Р.** Шинные тестеры. Перспектива и альтернатива / С.Р. Кристалльный [и др.] // Автотранспортное предприятие. 2013. № 9. С. 37–44.
7. **Кристалльный С.Р.** Принцип создания шинного тестера на базе серийного легкового автомобиля / С.Р. Кристалльный [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. 2013. № 5 (82). С. 38–45.
8. **Кристалльный, С.Р.** Выбор, подготовка и настройка измерительного и регистрирующего оборудования для проведения испытаний эффективности действия АБС на автомобиле, оснащённом шипованными шинами / С.Р. Кристалльный [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета – Серия «Наземные транспортные системы». 2013. Вып. 7. № 21 (124). С. 28–38.
9. **Кристалльный, С.Р.** Легковой автомобиль – шинный тестер / С.Р. Кристалльный [и др.] // Автомобильная промышленность. 2014. № 1. С. 34–36.
10. **Кристалльный, С.Р.** Проблемы функционирования АБС на автомобилях, оснащённых шипованными шинами / С.Р. Кристалльный, Н.В. Попов, В.А. Фомичёв // Автомобильная промышленность. 2012. № 8. С. 20–22.
11. **Иванов, А.М.** Экспериментальная проверка методов оценки эффективности систем динамической стабилизации АТС / А.М. Иванов [и др.] // Автомобильная промышленность. 2009. №7. С. 31–33.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**S.R. Kristalnyi, V.A. Fomitchev, N.V. Popov**

**THE EFFICIENCY OF THE ABS ON VEHICLES EQUIPPED WITH STUDED TIRES  
AND ITS EXPERIMENTAL DEDUCTION**

Moscow state automobile and road technical university

The test report for the efficiency of the ABS on an icy surface is been considered. The relationship between the coefficient of friction with relative skidding for winter studded tires and non-studded tires on an icy surface is shown. The article describes the method of determining the coefficient of friction of studded tires with the road surface of a vehicle with the help of the tire tester.

*Key words.* Tire tester, testing, coefficient of friction, anti-lock braking system, studded tires.

УДК 629.113

Д.И. Истомина, А.В. Келлер, А.А. Шелепов

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИНТОШАРИКОВОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА НА КОЛЕСНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО

Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет) ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ)

Рассматривается исследование самоблокирующегося винтошарикового дифференциала при различных режимах движения автомобиля. Для каждого режима движения представлены зависимости числа оборотов полуосей и коэффициента блокировки от времени. Данные зависимости получены в ходе испытаний на динамическом нагрузочном стенде.

*Ключевые слова:* винтошариковый дифференциал, самоблокирующийся дифференциал, испытания дифференциала, коэффициент блокировки.

Специфические особенности винтошарикового дифференциала (ВШД), вместе с новыми достижениями технологии обуславливали и обуславливают расширение области их применения.

В настоящее время складывается тенденция применения ВШД в трансмиссии автомобиля с целью рационального использования его сцепного веса и силы тяги по сцеплению для улучшения динамических характеристик.

С учетом разнообразных условий и режимов эксплуатации автомобилей возникают различные требования, предъявляемые к ним, и, следовательно, к характеристикам их трансмиссий и дифференциалов. Если из соображения проходимости предполагают увеличение значения коэффициента блокировки дифференциала, основного параметра, характеризующего ВШД, то из соображения устойчивости и управляемости автомобиля в случае движения с высокой скоростью требуют значительного его ограничения.

В настоящее время существуют колесные транспортные средства, которые объединяют в себе свойства как автомобилей повышенной проходимости (такие как полный привод и увеличенный дорожный просвет), так и легковых автомобилей личного пользования (эксплуатация на повышенных скоростях, требования к легкости управления и безопасности) [1]. Движение этих автомобилей в их основных режимах – на повышенной скорости, в сочетании с постоянным полным приводом и ВШД – изучено пока недостаточно подробно, притом, что требования к проходимости и требования к устойчивости и управляемости, примененные к одному автомобилю, вступают в противоречие друг с другом. Это, в частности, отражается в различии рекомендаций по выбору оптимальных значений коэффициентов блокировок дифференциалов ( $K_6$ ). Диапазон рекомендованных значений коэффициента блокировки чрезвычайно широк – от 1 до 8. Известны рекомендации по выбору коэффициента блокировки в диапазоне 2,5...4, рационального как с точки зрения проходимости, так и удовлетворительной управляемости [2].

Таким образом, представляется целесообразным исследование проблемы влияния особенностей работы ВШД на устойчивость движения автомобиля.

В процессе прямолинейного движения при бортовой симметрии (при равных вертикальных реакциях и одинаковых дорожных условиях) и отсутствии действующих на колесную машину боковых сил происходит оптимальный характер распределения мощности в ВШД, цепочка шариков неподвижна, а корпус дифференциала вращается как единое целое с полуосями и перераспределяет мощность ( $N=M \cdot \omega$ ) поровну между колесами [3]. Экспериментальные исследования проводились на динамическом нагрузочном для испытаний веду-

щих мостов транспортных средств [4]. В серии испытаний ВШД производства ООО "ДАК" [5] было выявлено, что при установившемся режиме движения и одинаковой нагрузке на колеса 1000 Н коэффициент блокировки находится в диапазоне от 1 до 1,3. При дальнейшем исследовании установлено, что с ростом нагрузки на колеса коэффициент блокировки увеличивается, при одинаковой нагрузке на колеса 3000 Н коэффициент блокировки находится уже в диапазоне от 1,4–3,5. При разных установившихся режимах движения с одинаковой нагрузкой коэффициент блокировки не отклоняется от данных диапазонов.

При этом отношение частот вращения колес во всех испытаниях приблизительно равно 1, что способствует устойчивому прямолинейному движению автомобиля. Сумма моментов на колесах при этом равна  $M_{вх}$ , что еще раз доказывает, что дифференциал работает в заблокированном режиме.

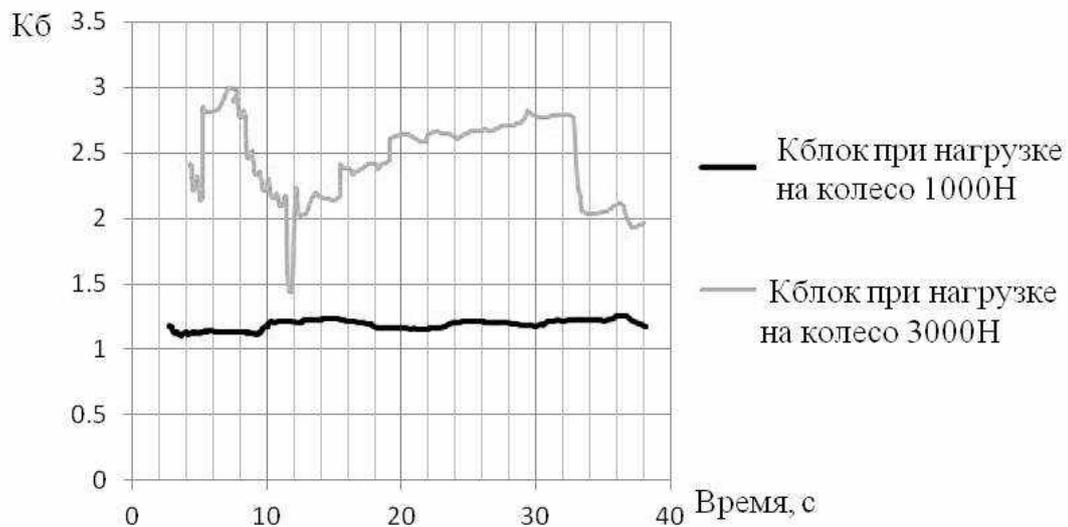


Рис. 1. Коэффициенты блокировки на прямолинейном установившемся режиме движения

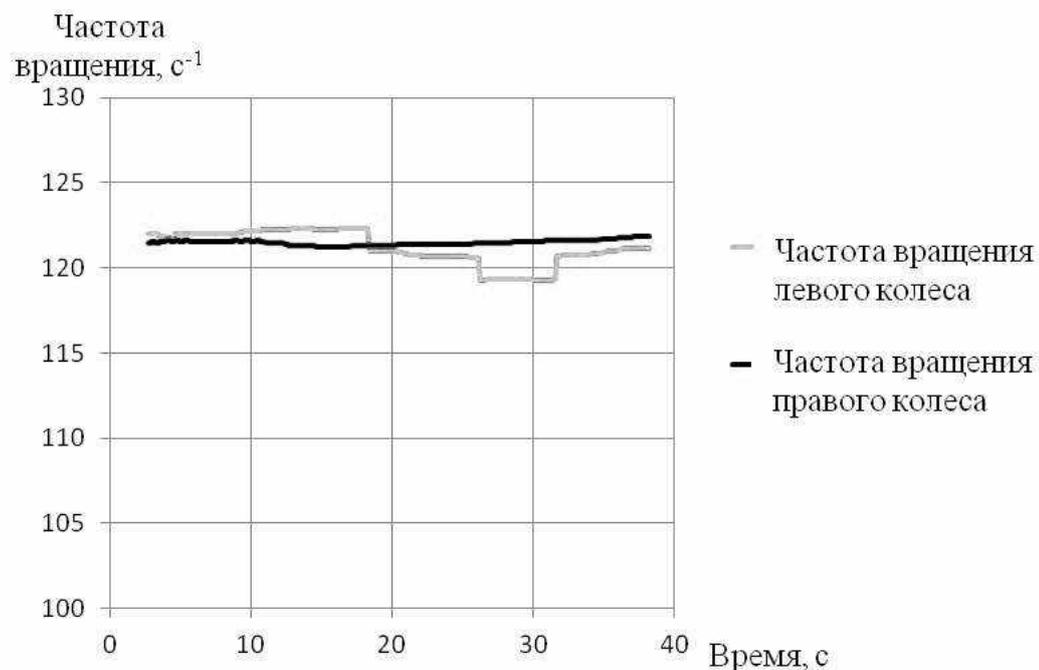


Рис. 2. Частота вращения колес при установившемся режиме движения с одинаковой нагрузкой на колеса

Тяговый режим исследовался при изменении частоты вращения входного вала от 0 до 500 мин<sup>-1</sup>, нагрузках на колеса 3000 Н. Характеристики, полученные в ходе проведения данного эксперимента, представлены на рис. 3, 4.

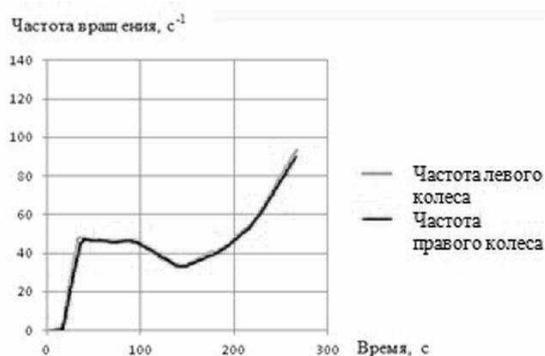


Рис. 3. Частота вращения

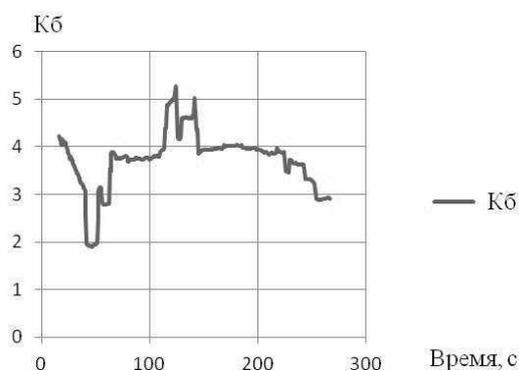


Рис. 4. Коэффициент блокировки

Представленные ранее зависимости показывают, что при движении в тяговом режиме в случае равномерного распределения нагрузки на ведущие колеса  $K_b$  увеличивается в среднем до 4, а максимальное значение коэффициент блокировки достигает 5,5. При увеличении тяги двигателя отмечается возрастание внутреннего трения в дифференциале, что приводит к росту коэффициента блокировки дифференциала.

Наибольший интерес вызывают исследования работы ВШД при появлении бортовой неравномерности коэффициентов сцепления в случае прямолинейного движения.

Бортовая неравномерность коэффициентов сцепления колес с дорогой в тяговом режиме может вызвать занос в случае, если колеса "слабого" борта находятся в режиме буксования, при появлении разности угловых скоростей на колесах ведущих мостов автомобиля [6-8]. Как известно, ВШД отличается от обычного дифференциала тем, что при возникновении разницы нагрузки со стороны дорожного покрытия и со стороны тяги двигателя дифференциал блокируется. Блокировка ВШД позволяет обеспечить безопасное движение с высокой скоростью на магистральных дорогах и возможность уверенного движения на заснеженных и обледенелых дорогах, по неровному грунту.

В ходе работы исследовано движение автомобиля в тяговом режиме с различными силами коэффициентами сцепления ведущих колес при прямолинейном движении. Частота вращения входного вала изменялась от 0 до 500 мин<sup>-1</sup>, нагрузка на правое колесо составила 2500 Н, нагрузка на левое колесо 1000 Н. Характеристики, полученные в ходе проведения данного эксперимента, представлены на рис. 5, 6.

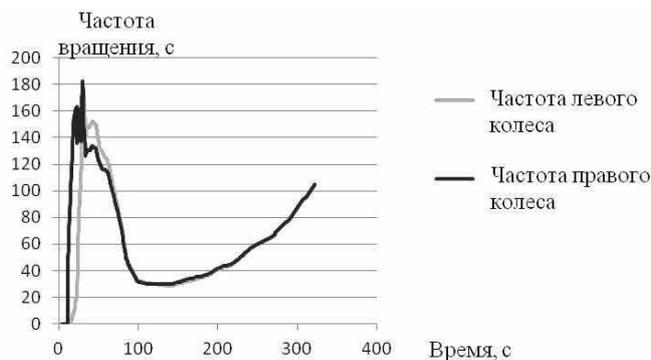


Рис. 5. Частоты вращения

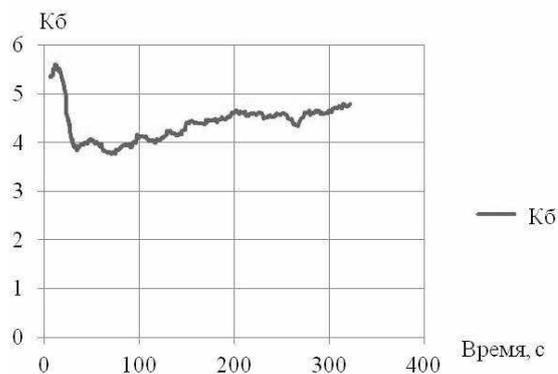


Рис. 6. Коэффициент блокировки

При движении с места автомобиля с различными нагрузками на колесах наблюдается переходный период, сопровождающийся ростом  $K_6$ , после выравнивания частот вращения колес значение  $K_6$  снижается и сохраняется на уровне достаточном для равномерного движения автомобиля в данных условиях.

Аналогичные исследования проводили и для работы дифференциала при моделировании движения автомобиля на повороте и в условиях маневрирования.

В рассмотренном эксперименте моделируется движение автомобиля на повороте с постоянной скоростью и одинаковыми нагрузками на колесах с радиусом 8 м, частота вращения входного вала  $500 \text{ мин}^{-1}$ , нагрузка на ведущие колеса 2500 Н. Полученные характеристики для данного режима изображены на рис. 7, 8.

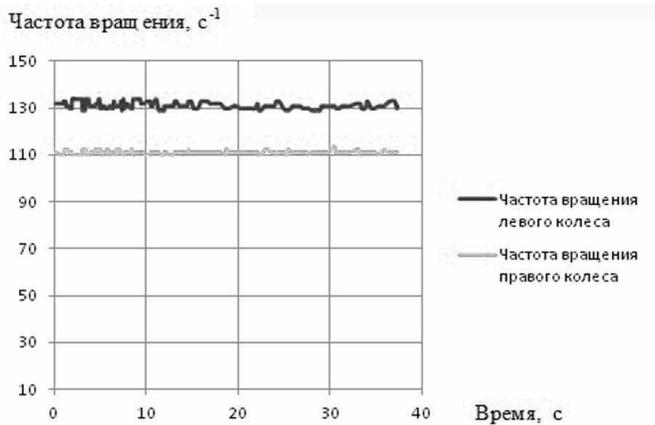


Рис. 7. Частоты вращения

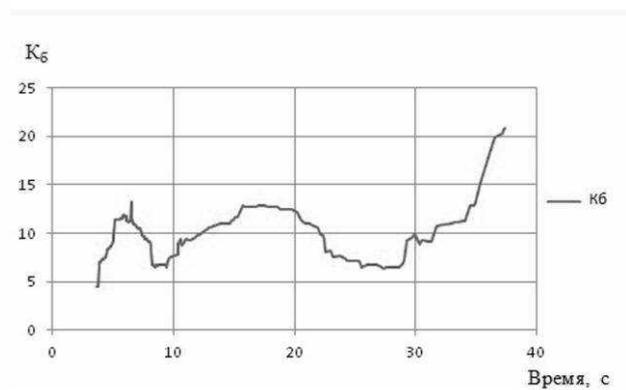


Рис. 8. Коэффициент блокировки

Представленные выше зависимости показывают, что при выполнении поворота с постоянной скоростью работа дифференциала обеспечивает постоянную разность частот вращения колес. Значение коэффициента блокировки данного дифференциала возрастает  $K_6$ , и перераспределяет крутящий момент на отстающее колесо, что повышает устойчивость автомобиля, неблагоприятно сказывается на прохождении поворотов, маневрировании и снижает ресурс дифференциала и элементов трансмиссии.

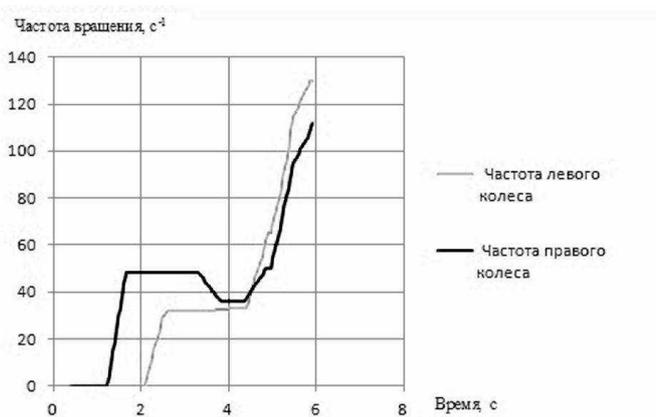


Рис. 9. Частоты вращения

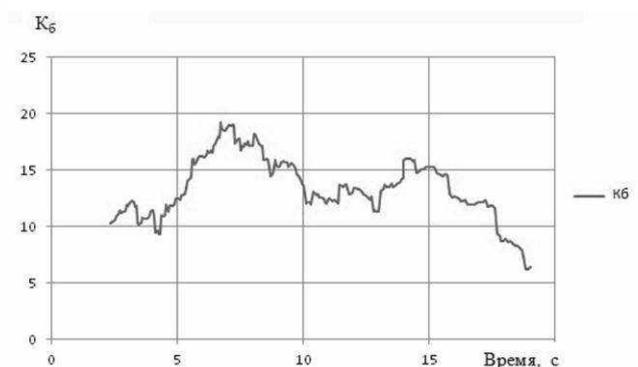


Рис. 10. Коэффициент блокировки

Следующим этапом стало испытание дифференциала при моделировании прохождения автомобилем поворота заданного радиуса с ускорением. Полученные в ходе этого эксперимента характеристики дифференциала во многом определяют его работу на всех режимах движения автомобиля, так как наиболее характерным режимом движения является равноускоренное либо равнозамедленное криволинейное движение. Полученные характеристики

представлены на рис. 9, 10. Во время проведения исследования нагрузка на ведущих колесах составляла  $2000\text{ Н}$ , частота вращения входного вала увеличивалась от 0 до  $500\text{ мин}^{-1}$ .

В начале эксперимента наблюдается буксование одного из колес, после чего разница частот вращения становится постоянной. При данном режиме движения вновь наблюдается высокий  $K_b$ , оказывающий негативное влияние на движение автомобиля в повороте.

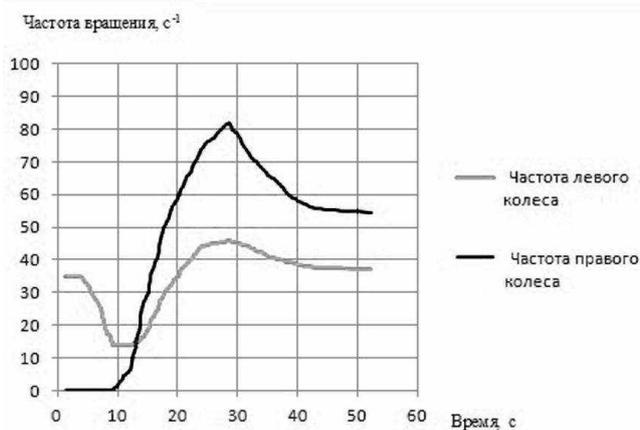


Рис. 11. Частоты вращения

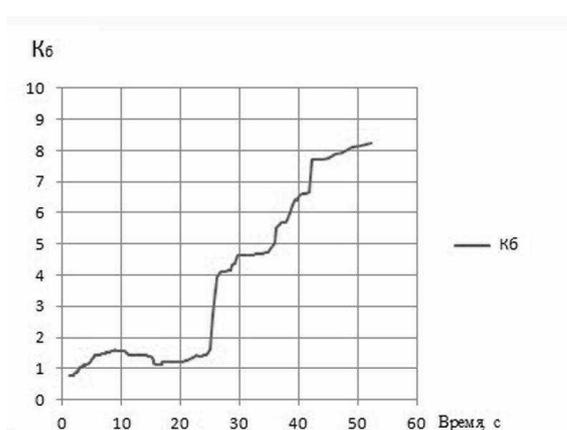


Рис. 12. Коэффициент блокировки

Далее рассмотрим движение автомобиля в повороте с ускорением и различными нагрузками на ведущих колесах. Условия проведения эксперимента: частота вращения входного вала изменяется 0 до  $500\text{ мин}^{-1}$ , нагрузка на правое колесо  $1700\text{ Н}$ , на левое колесо —  $1500\text{ Н}$ . Радиус поворота  $6,5\text{ м}$ . Полученные зависимости представлены на рис. 11, 12. В данном случае забегающее колесо имеет большую заданную нагрузку, и дифференциал перераспределяет больший крутящий момент на него, при этом крутящий момент возрастает с ростом частоты вращения входного вала. Это приводит к росту  $K_b$  с увеличением скорости движения и нежелательному нагружению трансмиссии.

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

- ВШД является автоматической системой с обратной связью и реагирует на изменение дорожных условий путем установления оптимального значения  $K_b$ ;
- внутреннее трение в ВШД является положительным фактором воздействия на стабилизацию прямолинейного движения автомобиля, что благотворительно влияет на курсовую устойчивость автомобиля, но неблагоприятно влияет на маневрирование;
- с ВШД повышается проходимость автомобиля в сложных условиях движения за счет подвода большего крутящего момента к колесу, которое имеет лучшее сцепление с дорожным покрытием;
- результаты испытаний и экспертные оценки свидетельствуют, что распределение мощности в ВШД обеспечивает достаточную сбалансированность при движении автомобиля таких характеристик, как проходимость, управляемость и устойчивость.

Аналогичные исследования будут проведены в реальных дорожных условиях с использованием автомобиля УАЗ. Изучение данных процессов позволит выявить недостатки алгоритма работы ВШД и в последующем будут сформулированы предложения по совершенствованию процесса работы дифференциала для повышения комфорта и безопасности движения автомобиля.

#### Библиографический список

1. Круташов, А.В. Исследование влияния особенностей работы комплекса дифференциалов повышенного трения на устойчивость движения легкового полноприводного автомобиля / А.В. Круташов, Д.А. Федирко // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты раз-

- вития и подготовка кадров: материалы международной научно-технической конференции ААИ», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». – М.: МГТУ «МАМИ», 2010. С. 209–2011.
2. **Круташов, А. В.** Методы формирования рационального распределения мощности в трансмиссии легкового полноприводного автомобиля: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03; [Место защиты: Моск. гос. техн. ун-т (МАМИ)] / Круташов, А. В. – М., 2009. – 136 с.
  3. «ДАК» Дифференциалы автоматические Красикова: [Электронный ресурс]. Челябинск, 2005-2014. URL: <http://www.dak4x4.com>. (Дата обращения: 18.02.2014).
  4. Рабочие процессы механизмов распределения мощности ведущих мостов: [Электронный ресурс]. Челябинск, 2005-2014. URL: [http://labstand.ru/catalog/avto/03\\_01\\_00\\_02\\_alk\\_rabochie\\_protssesy\\_mekhanizmov\\_raspredeleniya\\_moshchnosti\\_vedushchikh\\_mostov\\_4989/#](http://labstand.ru/catalog/avto/03_01_00_02_alk_rabochie_protssesy_mekhanizmov_raspredeleniya_moshchnosti_vedushchikh_mostov_4989/#). (Дата обращения: 18.02.2014).
  5. Пат. 2319875 Рос. Федерация: МПК F16H48/20 Самоблокирующийся дифференциал транспортного средства / Красиков В.Н.; заявитель и патентообладатель Красиков В.Н. – 2005137272/11; заявл. 30.11.2005; опубл. 20.03.2008.
  6. **Келлер А.В.** Методологические принципы оптимизации распределения мощности между движителями колесных машин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2006. № 11 (66).
  7. **Келлер, А.В.** Принципы и методы распределения мощности между ведущими колесами автомобильных базовых шасси / А.В. Келлер, И.А. Мурог. – Челябинск, 2009. – 218 с.
  8. **Ксеневиц, И.П.** Наземные тягово-транспортные системы. Энциклопедия [Текст] / И.П. Ксеневиц, В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман; под общ. ред. И.П. Ксеневица. 2003. – 743 с.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**D.I. Istomin, A.V. Keller, A.A. Shelepov**

## **EVALUATION OF THE EFFECT OF SCREW-BALL DIFFERENTIAL WHEELED VEHICLE**

South ural state university  
(National research university)

In article the study was conducted self-blocked screw-ball differential on various modes of movement of the car. For each mode presented dependences of movement stated revolutions per minute of semi-axis and coefficient lock differential from time. The given dependences are received during tests at the dynamic loading stand.

*Key words:* screw-ball differential, self-locking differential, test differential, coefficient lock differentia.

УДК 629.113

В.Г. Дыгало, В.В. Котов, Л.В. Дыгало, А.А. Ревин

## ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С АБС

Волгоградский государственный технический университет

Описаны средства для выявления диагностических признаков пневматической тормозной системы автомобиля с АБС и параметры диагностирования, основанные на изменении динамики рабочего процесса тормозного привода.

*Ключевые слова:* тормозная система, неисправности, диагностика, параметры, признаки, АБС, виртуально-физическая технология.

Общепризнанно, что одним из наиболее перспективных путей решения проблемы повышения активной безопасности большегрузных автомобилей при торможении является применение автоматизированных систем. На дорогах страны эксплуатируется большее число автомобилей с автоматизированными системами [14], в том числе находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии. Такое положение диктует острую необходимость контроля за техническим состоянием автоматизированных тормозных систем как при ежегодном техническом осмотре в структурах ГАИБДД, так и в процессе эксплуатации по заявкам водителей на основе бортовых диагностических систем. Результаты эксплуатации большегрузных автомобилей с АБС показывают, что при отказе системы могут возникнуть даже более негативные последствия, чем при обычных тормозных системах, не оснащенных АБС. На многоосных автомобилях возможно возникновение резонансных колебаний мостов балансирной подвески, снижение показателей устойчивости и тормозной динамичности даже по сравнению с традиционным способом торможения юзом и т. п. [2] Положение усложняется еще и тем, что специализированные центры по проверке исправности АБС встречаются в России пока еще крайне редко, что затрудняет оперативность контроля. Кроме того, встроенная в АБС самодиагностика ориентирована на выявление отказов ее элементов. При этом возникающие неисправности тормозного привода и самой АБС полностью выпадают из поля зрения, что создает у водителя крайне опасную иллюзию кондиции системы.

В этой связи разработка диагностических признаков, позволяющих средствами бортовых ПК получать текущую информацию о техническом состоянии тормозной системы грузового автомобиля с АБС, является актуальной задачей.

При установке АБС в тормозном приводе автомобиля обеспечивается затормаживание колес в области оптимального их проскальзывания, независимо от типа дорожной поверхности и изменения (флуктуации) коэффициента сцепления, как по пути, так и в поперечном направлении. Поэтому современные серийно выпускаемые антиблокировочные системы автомобилей с пневмоприводом тормозов представляют собой систему автоматического регулирования экстремального типа, включающую датчики состояния вращения колес, фильтры помех, блок управления, где логическая схема формирует управляющую команду, передающуюся далее через усилитель мощности на исполнительные механизмы. В качестве исполнительного механизма в большегрузных автомобилях обычно используется модулятор с электрическими клапанами, посредством которых осуществляется изменение давления в тормозном приводе с частотой до  $6 \div 8$  Гц. В этой связи на рабочий процесс затормаживания колес автомобиля с АБС оказывают влияние различные факторы (нарушение регулировки зазора в тормозном механизме, ослабление стяжной пружины, деформация опорно-

разжимного устройства и т.п.) [11]. Поэтому необходимо учитывать влияние технического состояния как элементов собственно тормозной системы, так и элементов АБС.

При разработке диагностических признаков авторы исходили из того, что оценка влияния параметров технического состояния пневматической тормозной системы с АБС на процесс торможения колеса автомобиля методом дорожных испытаний затруднена из-за наличия большого числа случайных факторов и вариации вследствие этого результатов проводимых замеров. Так, по данным исследователей, даже при многократных торможениях автомобиля на одном и том же участке дороги, расхождение между отдельными измерениями одной серии могут достигать 15-20% [2,11]. Прежде всего это вызвано тем, что на результаты испытаний влияют условия и режимы их проведения (начальная скорость торможения и загрузка автомобиля, уклон дороги, неровности дорожного покрытия и флуктуация коэффициента сцепления по пути, температура трущихся поверхностей тормозных механизмов, усилие на педали тормоза и т.п.). Выходом из сложившейся ситуации является фиксирование ряда стохастических факторов, что возможно в лабораторных условиях [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

С этой целью в ВолгГТУ была создана комплексная моделирующая установка, реализованная на основе агрегатов и узлов тормозной системы автомобилей типа КамАЗ, позволяющая фиксировать основные случайные факторы, связанные с проведением дорожного эксперимента, на определенном уровне, т. е. обеспечить возможность воспроизведения действующего на колеса автомобиля тормозного момента с заданным нарастанием и периодичностью, соответствующей выбранным условиям движения автомобиля. Последнее крайне важно, так как позволяет выявить влияние неисправностей на рабочий процесс методом "сравнения состояний" при практически абсолютной воспроизводимости эксперимента. Общий вид и принципиальная схема комплексной моделирующей установки (КМУ), использующей *виртуально-физическую технологию моделирования* [1, 3, 6, 8, 9, 10], показаны на рис. 1 и 2. Адекватность установки подтверждена результатами испытаний автомобиля КамАЗ-5320 [2] с АБС отечественного производства (блок управления и датчики КЗАМЭ, а модуляторы полтавского автоагрегатного завода).

Созданная КМУ состоит из двух функциональных блоков: персонального компьютера (ПК) с математической моделью, где взаимодействие колеса с дорожным покрытием задается в виде  $\varphi(S)$ - диаграмм и физической модели, реализованной на основе агрегатов и узлов тормозной системы автомобилей типа КамАЗ (двухсекционный тормозной кран, пневмоматриала, тормозной механизм, модулятор давления, агрегаты АБС).

Связь стендовой части физической модели с компьютером осуществляется с помощью датчика давления 13 (рис. 2), который установлен перед рабочей тормозной камерой 5 и служит для преобразования давления рабочего тела в электрический сигнал. Последний, с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) устройства сопряжения объектов 10 (УСО) преобразуется из аналоговой формы в цифровую и поступает в персональный компьютер. В математической модели осуществляется решение дифференциальных уравнений и уравнений связи, описывающих динамику затормаживания колеса. На основе полученного расчетным путем значения угловой скорости формируется сигнал, который, проходя через TTL-выход УСО 10, преобразуется в импульсы и через усилитель 9 поступает на блок управления 8 (БУ), в котором реализован алгоритм, управляющий электромагнитными клапанами модулятора давления 4.

Для обеспечения функционирования агрегатов установки и моделирования процесса торможения автомобиля с пневматическим приводом, используется стационарный компрессор 1, который поддерживает давление воздуха в ресивере 2 в заданных пределах.

На созданной комплексной моделирующей установке были проведены эксперименты при кондиции элементов тормозной системы, а также с отклонением параметров техническо-

го состояния, характеризующих основные неисправности пневматической тормозной системы с АБС. В качестве примера на рис. 3 и 4 приведены динамические характеристики процесса торможения колеса автомобиля КамАЗ-5320 в различных условиях. Дальнейший анализ проведен путем сопоставления методом "сравнения состояний".

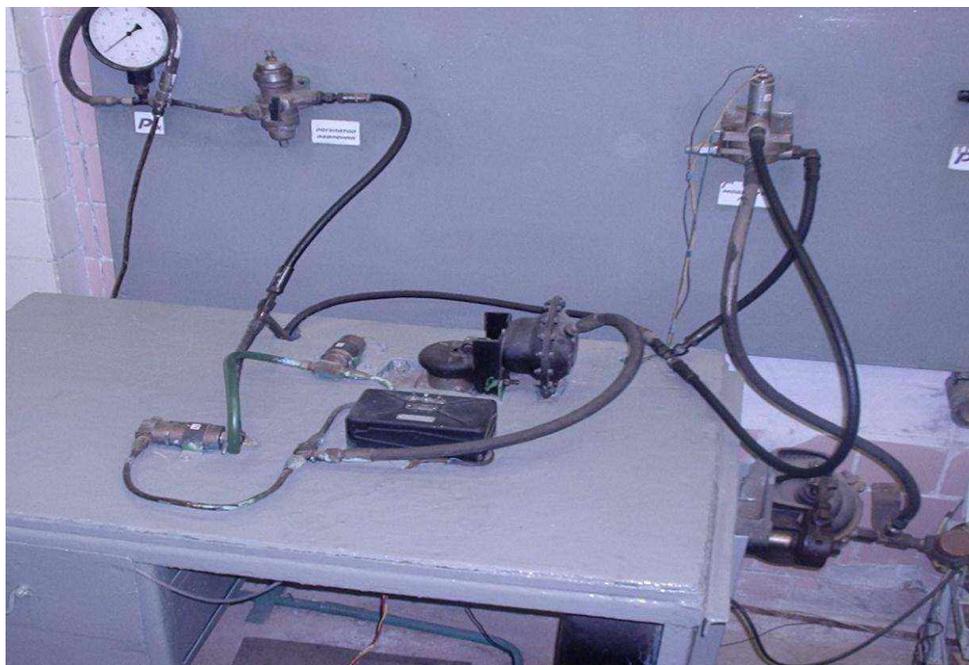


Рис. 1. Общий вид комплексной моделирующей установки

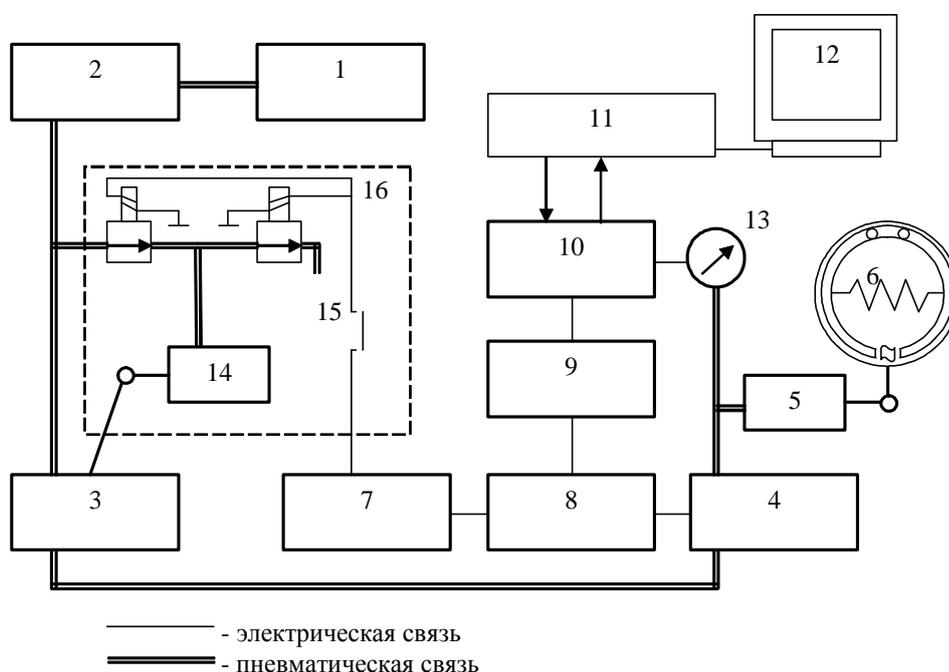
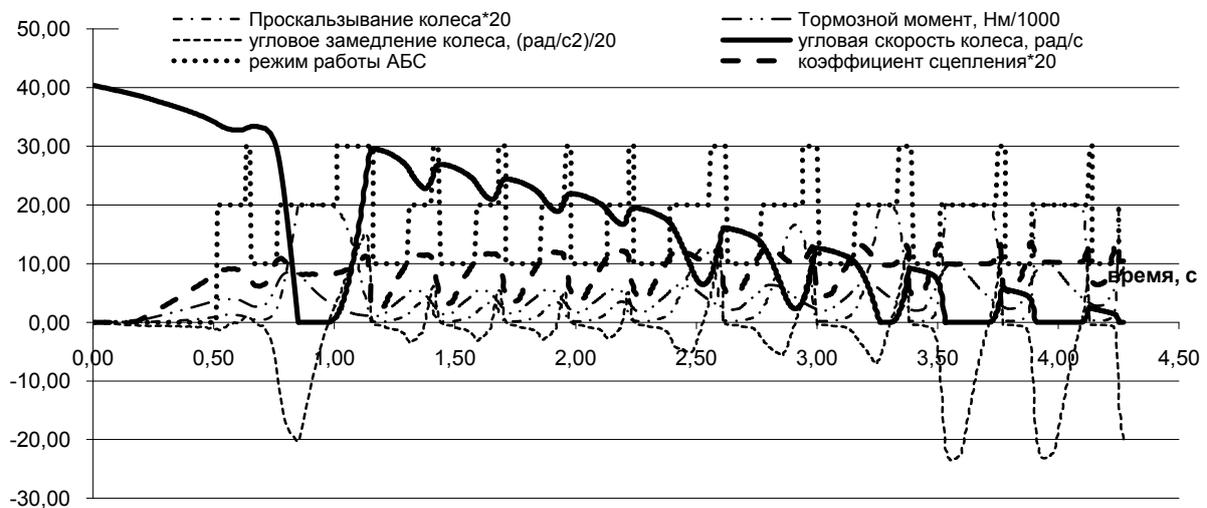


Рис. 2. Принципиальная схема комплексной моделирующей установки:

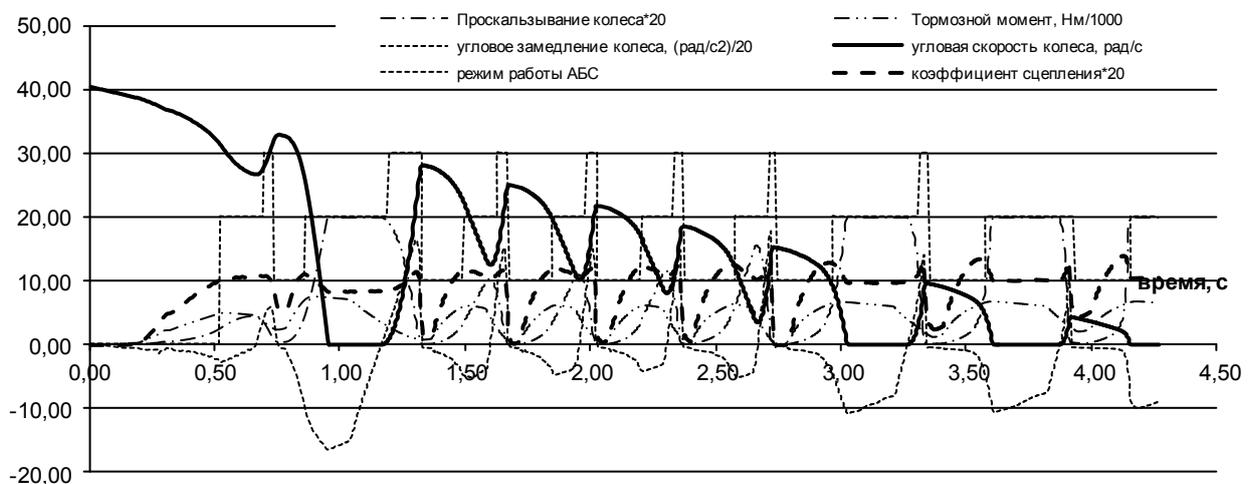
- 1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – тормозной кран; 4 – модулятор давления;
- 5 – рабочая тормозная камера; 6 – тормозной механизм; 7 – блок питания; 8 – блок управления;
- 9 – усилитель; 10 – устройство сопряжения объектов; 11 – персональный компьютер; 12 – монитор;
- 13 – датчик давления; 14 – вспомогательная тормозная камера; 15 – кнопка управления;
- 16 – задатчик усилия нажатия на тормозную педаль

Анализ полученных динамических характеристик, а также характера изменения среднереализованных значений основных параметров торможения, позволил разработать диагностические признаки изменения технического состояния тормозного механизма и элементов АБС на основе построения структурно-следственных схем. На рис. 5 приведена в качестве примера структурно-следственная схема для диагностирования основных неисправностей тормозного механизма автомобиля с пневматической тормозной системой оснащенной АБС.

Разработанный метод диагностирования пневматической тормозной системы с АБС, основанный на изменении динамики тормозного привода, работающего в циклическом режиме, позволяет не только фиксировать отказы элементов системы "тормозной привод – АБС" (позволяют существующие в настоящее время встроенные в АБС системы самодиагностирования), но и выявлять наличие отклонений параметров технического состояния, с определением предполагаемой локальной неисправности на бортовом ПК.



**Рис. 3. Торможение на мокром асфальтобетоне колеса автомобиля КамАЗ –5320 с АБС (снаряженное состояние автомобиля) с начальной скоростью  $V_0 = 19,4$  м/с (70 км/ч) при кондиции тормозного механизма**



**Рис. 4. Торможение на мокром асфальтобетоне колеса автомобиля КамАЗ –5320 с АБС (снаряженное состояние автомобиля) с начальной скоростью  $V_0 = 19,4$  м/с (70 км/ч) с увеличенным до 40 % гистерезисом тормозного механизма**



Рис. 5. Структурно-следственная схема для диагностирования тормозного механизма автомобиля с пневматической тормозной системой, оснащенной АБС

## Библиографический список

1. Дыгало, В.Г. Виртуально-физическая технология лабораторных испытаний систем активной безопасности автотранспортных средств: монография / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 316 с.
2. Ревин, А.А. Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения: монография / А.А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК "Политехник", 2002. – 372 с.
3. Ревин А.А. Комплексное моделирование в цикле проектирования автомобилей и их систем / А.А. Ревин, В.Г. Дыгало // Автомобильная промышленность. 2002. №11. С. 29–30.
4. Шадрин, С.С. Возможности использования бортовых сетей передачи данных автотранспортных средств в задачах интеллектуальных транспортных систем / С.С. Шадрин, А.М. Иванов // Автотранспортное предприятие. 2014. № 5. С. 43–46.
5. Костин, С.Ю. Исследование активной безопасности транспортных средств методом имитационного моделирования / С.Ю. Костин, В.Г. Дыгало // Безопасность транспортных средств в эксплуатации : матер. 71-й междунар. науч.-техн. конф. (12-13 окт. 2010 г.) / Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. - Н. Новгород, 2010. С. 17–19.
6. Дыгало, В.Г. Виртуально-физическая технология моделирования систем активной безопасности / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011. № 3. С. 146–155.
7. Исследование свойств активной безопасности транспортных средств методом имитационного моделирования / А.В. Тумасов [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. 2011. № 2. С. 34–37.
8. Дыгало, В.Г. Применение виртуально-физической технологии моделирования для проектирования систем активной безопасности / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: сб. матер. 79-й междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 95-летию НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2012. С. 55–62.
9. Дыгало, В.Г. Технологии испытания систем активной безопасности автотранспортных средств: монография / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин. – М. : Машиностроение, 2012. – 387 с.
10. Дыгало, В.Г. Принципы синтеза виртуально-физических моделей, предназначенных для разработки тормозной системы автомобиля с АБС / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Автомобильная промышленность. 2014. № 8. С. 17–19.
11. Котов, В.В. Разработка диагностических признаков пневматической тормозной системы автомобиля с АБС: дисс. ... канд. техн. наук.05.22.10 / Котов В.В. – Волгоград, 2007. –164 с.
12. Костин, С.Ю. Сравнительная оценка моделирования и дорожных испытаний управляемости и устойчивости автобуса / С.Ю. Костин, Р.А. Мусарский, В.Н. Кравец // Журнал ААИ. 2012. №6. С. 35–39.
13. Тумасов, А.В. Исследование свойств активной безопасности автобуса среднего класса методом имитационного моделирования / А.В. Тумасов, С.Ю. Костин, В.А. Колтунов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 1 (94). С. 134–142.
14. Грошев А.М. Применение электронных систем курсовой устойчивости на коммерческом транспорте российского производства / А.М. Грошев, А.В. Тумасов, Л. Палкович // Журнал ААИ. 2010. № 1. С. 34–37.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.G. Dygalo, V.V. Kotov, L.V. Dygalo, A.A. Revin**

**APPLICATION OF VIRTUAL-PHYSICAL TECHNIQUES OF MODELING, WHEN STUDYING THE EFFECTS ON WORKING PROCESS OF FAULT-NESS AIR BRAKE SYSTEM ABS**

Volgograd state technical university

**Purpose:** In this work we describe means for reveal diagnostic signs in pneumatic braking system of automobile equipped ABS and parameters for diagnostic based on braking drive working process dynamic change.

**Design/methodology/approach:** Application of virtual-physical simulation technology when studying the effects on working process troubleshooting air brake system ABS.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of breaking condition on the basis of simulation results that shows high convergence with experimental data.

**Originality/value:** Development of diagnostic features that make the PC board means to receive current information about the technical condition of the brake system of the truck with ABS.

*Key words:* brake system, fault diagnosis, options, features, ABS, virtual-physical technology.

УДК 629.113

В.Г. Дыгало, В.В. Котов, Л.В. Дыгало, А.А. Ревин

## ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТОРМОЗНОЙ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ АБС

Волгоградский государственный технический университет

Приводится результат верификации при применении виртуально-физической технологии моделирования для испытания пневматических автоматизированных тормозных систем автомобилей.

*Ключевые слова:* процесс торможения, верификация, виртуально-физическая технология моделирования, автомобиль, автоматизированная тормозная система.

При проведении испытаний с использованием виртуально-физической технологии моделирования [1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10], возникает вопрос оценки адекватности, т.е. тождественности созданной модели физическому объекту. И для этого применяются различные способы. Так, при создании модели автоматизированной тормозной системы АТС верификацию целесообразно вести, как показывает опыт авторов, в двух аспектах: сопоставлять, как это делается традиционно, не только величины основных моделируемых параметров физического объекта (параметрическая адекватность), но и проверять способность автоматизированной системы управлять логическими операциями при определенных условиях функционирования модели (логическая адекватность) [1, 2, 4, 8, 11].

Основанием для такого подхода служит то обстоятельство, что используемые для оценки нормативные показатели тормозных свойств автомобиля часто базируются на интегральных критериях (например, тормозной путь, установившееся замедление, время нарастания замедления и т.п.). При этом одинаковые величины тормозного пути или установившегося замедления получаются при реализации одной и той же средней величины реализованного сцепления, которое может быть получено при различном состоянии заторможенного колеса, т.е. в достаточно широком диапазоне проскальзывания и, следовательно, при различной настройке АБС или даже юзе колес (АБС не функционирует).

С другой стороны, вследствие флуктуации коэффициента сцепления колеса с опорной поверхностью по мере срабатывания АБС фазы регулирования тормозного момента на колесах автомобиля, как правило, с течением времени расходятся, что уже после нескольких циклов регулирования приводит к существенным параметрическим отклонениям.

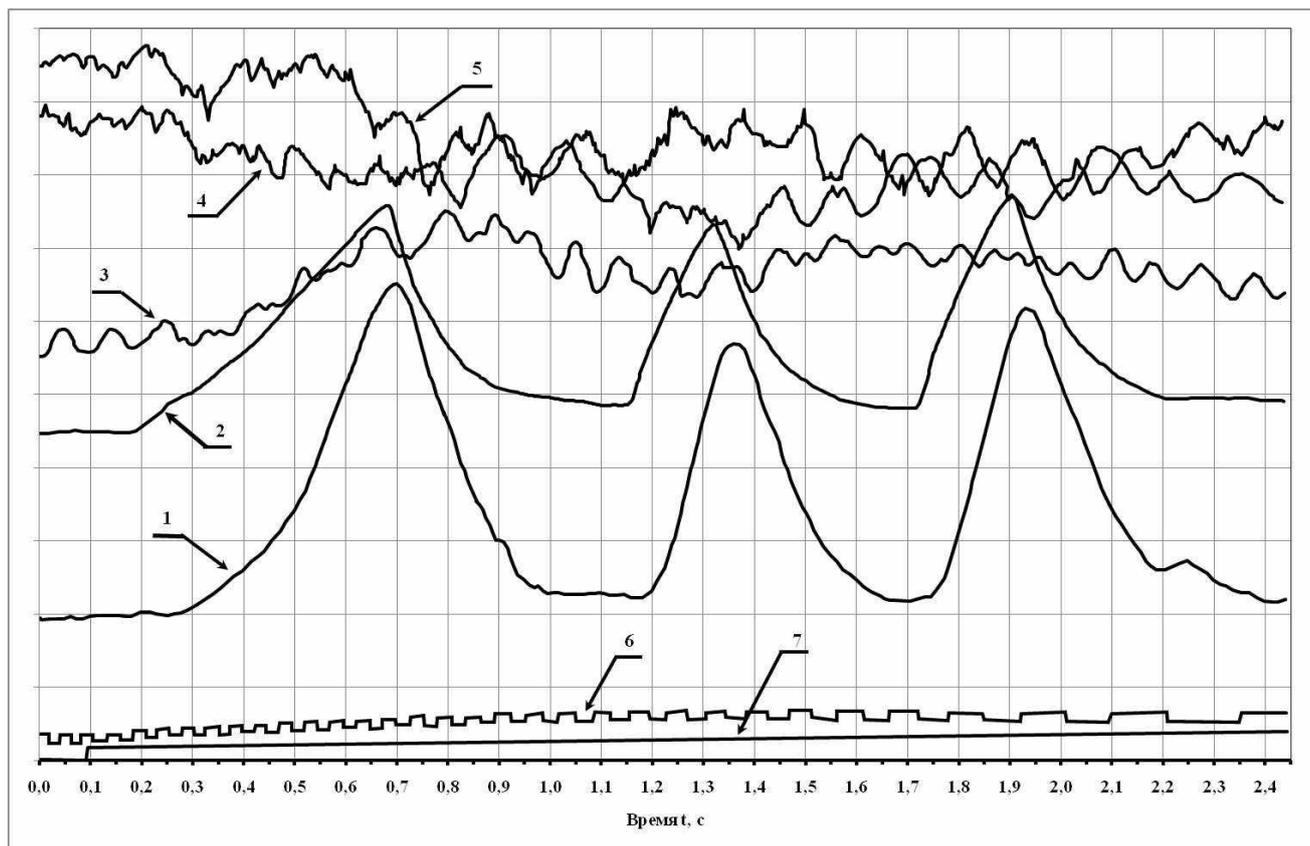
В связи с изложенным проверку на адекватность разработанной модели целесообразно проводить по следующей схеме.

Сначала оценивается адекватность воспроизведения физического процесса при выполнении логических операций по принципу «да-нет». При этом задаются тестовые режимы движения автомобиля в процессе торможения: величина давления рабочего тела в приводе или максимальное усилие на тормозной педали; величина коэффициента сцепления пары «шина-дорога»; состояние тормозных механизмов, при котором должна срабатывать (или не срабатывать) антиблокировочная система. Затем осуществляется проверка модели на выдачу соответствующей логической команды на включение (или не включение) АБС. Аналогично осуществляется проверка точки настройки модели на срабатывание и отработка фаз процессов затормаживания, растормаживания и отсечки как на восходящей, так и на нисходящей ветвях.

Для торможения автомобиля с отключенной АБС в условиях характерной для транспортных средств неравномерности действия тормозных механизмов проверка осуществляет-

ся по числу заблокированных в процессе торможения колес, а также оценивается направление смещения центра масс и изменение курсового угла автомобиля. Это позволяет проверить адекватность моделирования тормозных моментов на колесах, т.е. первоисточника возмущения для рассматриваемого движения автомобиля.

После проверки модели на отработку логических операций оценивается адекватность по величинам отклонения параметров. Но поскольку на практике всегда имеет место флуктуация коэффициента сцепления пары «шина–дорога» по пути, то оценку целесообразно проводить как в пределах цикла регулирования тормозного момента (на основе анализа темпов изменения давления рабочего тела или тормозного момента, длительности выдержки, периода регулирования или частоты процесса), так и по традиционным интегральным показателям – величине тормозного пути и установившегося замедления, смещению центра масс в боковом направлении и курсовому углу (как на траектории, так и в конце процесса). С этой целью при экспериментах для регистрации основных параметров в процессе движения авторы использовали гироскопическое устройство, расположенное в центре масс автомобиля, и сопло форсунки, управляемое от задатчика с фиксированной частотой нанесения на поверхность дороги легко смываемой красящей жидкости, датчиков продольного и поперечного ускорений и «пятого колеса».



**Рис. 1. Динамические характеристики торможения автомобиля  $V_0 = 40$  км/ч (дорожный эксперимент):**

- 1 – тормозные моменты  $M_{Tj}$  на его колесах; 2 – давление  $P_{TK}$  рабочего тела в тормозных камерах; 3 – продольное замедление  $j$ ; 4, 5 – нормальные нагрузки  $R_{lj}$  на колесах правого и левого бортов; 6 – тормозной путь  $S_T$  «пятое колесо»; 7 – поперечное смещение  $\Delta_{ц.м.}$  центра масс

В соответствии с предлагаемым подходом достоверность работы модели в составе комплексной моделирующей установки при использовании АБС сначала проверялась путем

оценки правильности чередования фаз и режимов функционирования моделируемых объектов в заданных эксплуатационных условиях (логическая адекватность). Зафиксированный на установке процесс затормаживания колеса затем сравнивался с таким же процессом, полученным в ходе дорожных испытаний. Такое сравнение касалось срабатывания АБС при заданных сцепных свойствах опорной поверхности, скоростей движения, соответствующих началу торможения и изменению нагрузки, реализуемой на колесе (“да–нет”); отработки фаз регулирования тормозного момента (“затормаживание–растормаживание–отсечка”); воспроизведения характерных участков изменения угловой скорости и ускорения колеса при входе его в юз и разблокировании. В итоге была оценена логическая адекватность самой экспериментальной установки, а затем, анализируя расхождение результатов, полученных на ней и в дорожных условиях, уверенно выполнять и параметрическую адекватность моделей, применяя формулу

$$P_i = \frac{P_{ci} - P_{ди}}{P_{ci}} \cdot 100,$$

где  $P_i$  – расхождение при сравнении  $i$ -го параметра;  $P_{ci}$  – значение  $i$ -го параметра, полученное на стенде;  $P_{ди}$  – значение того же параметра, но полученное при дорожных испытаниях.

Предлагаемый метод – предельно простой с точки зрения практической его реализации. Дело в том, что сопоставление результатов стендовых и дорожных испытаний в данном случае осуществляется путем наложения друг на друга динамических характеристик процесса затормаживания, полученных для одинаковых начальных условий и выполненных в одном масштабе.

Рассмотрим этот процесс на конкретном примере – для автомобиля КамАЗ-5320.

Работа начинается с дорожного эксперимента, в ходе которого записывается осциллограмма (рис. 1) процесса его торможения [2]. При этом линейная скорость и тормозной путь регистрируются прибором «пятое колесо».

Для верификации на моделирующей установке воспроизводятся именно эти условия соответствующие дорожным испытаниям.

Сопоставление результатов стендовых и дорожных испытаний осуществлялось путем наложения друг на друга динамических характеристик процесса затормаживания полученных для одинаковых начальных условий и выполненных в одном масштабе. Для этого на комплексной моделирующей установке был проведен ряд экспериментов, повторяющих ранее проведенный дорожный эксперимент [2].

На рис. 1, 2 в качестве примера представлены: осциллограмма процесса торможения автомобиля КамАЗ – 5320, полученная в ходе дорожного эксперимента и динамические характеристики торможения автомобиля КамАЗ – 5320 на КМУ.

Основными параметрами, полученными в ходе дорожного эксперимента, являются: тормозные моменты на колесах, давления рабочего тела в тормозных камерах, нормальные нагрузки на колесах правого и левого борта, продольное замедление автомобиля, поперечное смещение центра масс, угол разворота продольной оси автомобиля, тормозной путь и линейная скорость автомобиля. С учетом того факта, что в используемой на КМУ модели расчет ведется для равнозамедленного движения, найдем среднереализованное замедление за период времени, приведенного на осциллограмме дорожного эксперимента (рис. 1).

Линейная скорость и тормозной путь регистрировались прибором “пятое колесо”. Сигнал от бесконтактных фотоэлектрических датчиков расположенных на “пятом колесе”, поступал в пересчетный блок, расположенный в кабине, где формирователь импульсов отправлял сигнал для записи на осциллографическую бумагу, форма которого приведена на осциллограмме дорожного эксперимента, а один оборот колеса соответствует четырем импульсам (рис. 1).

При радиусе "пятого колеса"  $r = 0,36$  м, длина окружности – 2,26 м.

Как видно из осциллограммы, за первые 0,1 с колесо делает  $\approx 0,5$  оборота, т. е. проходит расстояние  $\approx \frac{2,26}{2} = 1,13$  м, следовательно, скорость начала торможения

$$V_0 = 11,3 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 40,7 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Период времени между последними двумя импульсами на осциллограмме  $t = 0,17$  с.

За это время "пятое колесо" проходит расстояние 0,28 м и его линейная скорость  $V = 1,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Изменение скорости за 1,85с, от первого до последнего импульса на осциллограмме составляет  $\Delta V = 11,3 - 1,7 = 9,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Тогда среднереализованное замедление  $j_{cp} = \frac{9,6}{1,85} = 5,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

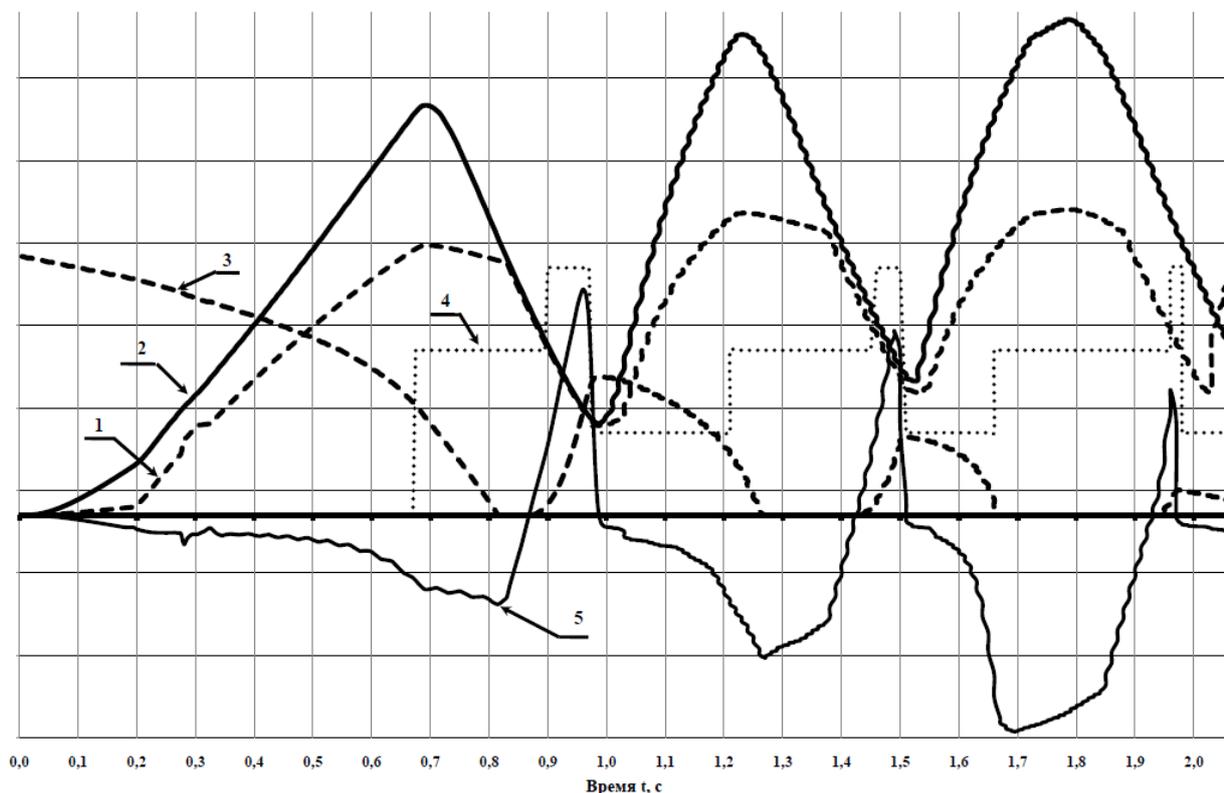
Поэтому для оценки воспроизводимости результатов, полученных на КМУ, рассмотрим динамические характеристики торможения автомобиля КамАЗ – 5320 на сухом асфальтобетоне в снаряженном состоянии (с 10% загрузки, примерно соответствующей весу контрольно-измерительной аппаратуры) с начальной скоростью  $V_0 = 40,7 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  при замедлении

$j_{cp} = 5,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . На рис. 2 показана такая динамическая характеристика. Как видно, при торможении в данных условиях за первые две секунды процесса происходит 3 цикла трехфазового регулирования тормозного момента.

При сопоставлении давления на выходе тормозной камеры и тормозного момента для переднего левого колеса, полученных в дорожном эксперименте и на КМУ (рис. 1, 2), наблюдается качественная воспроизводимость картины процесса, с одинаковым числом циклов и с разницей частоты регулирования не превышающей 4%. Что касается темпов нарастания и сброса, в первом цикле регулирования, углы наклона кривых изменения давления и тормозного момента, полученных в разных условиях, практически совпадают, а отличие по времени, как для фазы нарастания, так и для фазы сброса, не превышает 0,05с. В последующих циклах регулирования наблюдается более существенная разница в темпах нарастания и сброса и в амплитудах колебания особенно для кривой изменения тормозного момента. Это различие обусловлено тем, что в ходе дорожных испытаний на изменение нормальной нагрузки на колесе в процессе торможения влияет не только изменение дифферента кузова и микронеровностей поверхности по пути (учтено в модели), но и явления колебания мостов автомобиля в продольном направлении вследствие выявленного эффекта галлопирования [2].

Такая характеристика приведена на рис. 2. Как из нее видно, за первые 2 с торможения в данных условиях происходит три цикла трехфазового регулирования тормозного момента. При сопоставлении давления  $P_{\text{тк}}$  на выходе тормозной камеры и тормозного момента  $M_{\text{тн}}$  для переднего левого колеса, полученных в дорожном эксперименте (см. рис. 1) и на моделирующей установке (см. рис. 2), очень четко наблюдается качественная воспроизводимость картины процесса – с одинаковым числом циклов и с разницей частоты регулирования, не превышающей 4 %.

Что же касается темпов нарастания и сброса давления в первом цикле регулирования, то углы наклона кривых изменения его и тормозного момента, полученные в разных (на установке и дороге) условиях, практически совпадают, а отличие по времени как для фазы нарастания, так и для фазы сброса не превышает 0,05 с.



**Рис. 2. Динамические характеристики торможения автомобиля  $V_0 = 40$  км/ч (моделирование):**

1 – тормозные моменты  $M_T$  на его колесах; 2 – давление  $P_{\text{тк}}$  рабочего тела в тормозных камерах;  
3 – продольное замедление  $j$ ; 4 – фазы работы АБС; 5 – нормальная нагрузка  $R_{\text{л}}$  на колесе

Однако в последующих циклах регулирования разница в темпах нарастания и сброса и в амплитудах колебания, особенно для кривой изменения тормозного момента, становится более существенной. Ее причина состоит в том, что в ходе дорожных испытаний на изменение нормальной нагрузки на колесе в процессе торможения влияет не только изменение дифферента кузова и микронеровностей поверхности по пути (что в модели учтено), но и колебания мостов автомобиля в продольном направлении (эффект галлопирования).

Результаты верификации полученных на стенде динамических характеристик процесса затормаживания и конечных величин интегральных параметров, в том числе периода  $t_{\text{дф}}$  динамической фазы и частоты  $F_{\text{АБС}}$  функционирования АБС, с характеристиками, полученными дорожным экспериментом для торможения КамАЗ-5320 на сухом асфальтобетоне [2], приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Конечные значения параметров процесса затормаживания колеса**

Параметр получен	$P_{\text{тк max}}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	$M_T \text{ max}$ , кН·м	Амплитуда $P_{\text{тк}}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Амплитуда $M_T$ , кН·м	$F_{\text{АБС}}$ , Гц	Период динамической фазы, с
На стенде	0,6 (6,0)	7,36	0,49 (4,9)	5,35	1,90	0,72
Экспериментально	0,5 (5,2)	6,430	0,44 (4,4)	6,43	1,83	0,78
Погрешность, %	13,4	13,6	10,2	16,8	3,7	7,7

Аналогичные работы были проведены и для других вариантов опорных поверхностей (сухой и мокрый асфальтобетон) и загрузки автомобиля КамАЗ-5320 [2] (снаряженное состояние и максимальная загрузка). Оказалось, что разница между результатами дорожных испытаний и проверки на моделирующей установке во всех случаях не выходит за пределы 4–15 %. Это свидетельствует о том, что использование в установке реальных тормозного привода и узлов АБС [1, 2, 10, 12, 13] позволяет получить хорошую сходимость расчетных значений параметров с результатами эксперимента и полностью отражает физическую картину процесса затормаживания колеса. Другими словами, виртуально-физическое моделирование [1, 3] может эффективно применяться для решения различных функциональных задач как при проектировании тормозной системы, так и для задач эксплуатационного характера. Например, для исследования влияния неисправностей тормозной системы с АБС на рабочий процесс затормаживания колеса с целью выявления диагностических признаков этой системы [12, 13].

### Библиографический список

1. **Дыгало, В.Г.** Виртуально-физическая технология лабораторных испытаний систем активной безопасности автотранспортных средств: монография / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 316 с.
2. **Ревин, А.А.** Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения: монография / А.А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК "Политехник", 2002. – 372 с.
3. **Ревин, А.А.** Комплексное моделирование в цикле проектирования автомобилей и их систем / А.А. Ревин, В.Г. Дыгало // Автомобильная промышленность. 2002. №11. С. 29–30.
4. **Шадрин, С.С.** Возможности использования бортовых сетей передачи данных автотранспортных средств в задачах интеллектуальных транспортных систем / С.С. Шадрин, А.М. Иванов // Автотранспортное предприятие. 2014. № 5. С. 43–46.
5. **Дыгало, В.Г.** Виртуально-физические технологии испытаний для проектирования автоматизированных тормозных систем / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Машиностроение & электротехника (Болгария). 2005. №5. С. 26–29.
6. **Костин, С.Ю.** Исследование активной безопасности транспортных средств методом имитационного моделирования / С.Ю. Костин, В.Г. Дыгало // Безопасность транспортных средств в эксплуатации : матер. 71-й междунар. науч.-техн. конф. (12-13 окт. 2010 г.) / Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2010. С. 17–19.
7. **Дыгало, В.Г.** Виртуально-физическая технология моделирования систем активной безопасности / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Труды Нижегородского гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород. 2011. № 3. С. 146–155.
8. **Тумасов, А.В.** Исследование свойств активной безопасности транспортных средств методом имитационного моделирования / А.В. Тумасов [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. 2011. № 2. С. 34–37.
9. **Дыгало, В.Г.** Применение виртуально-физической технологии моделирования для проектирования систем активной безопасности / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Безопасность транспортных средств в эксплуатации : сб. матер. 79-й междунар. науч.-техн. конф. (3-4 окт. 2012 г.), посвящ. 95-летию НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2012. С. 55–62.
10. **Дыгало, В.Г.** Технологии испытания систем активной безопасности автотранспортных средств : монография / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин. – М. : Машиностроение, 2012. – 387 с.
11. **Дыгало, В.Г.** Принципы синтеза виртуально-физических моделей, предназначенных для разработки тормозной системы автомобиля с АБС / В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Автомобильная промышленность. 2014. № 8. С. 17–19.
12. **Комплекс для диагностики систем активной безопасности автомобиля / Г.О. Мельников, Е.С. Ларин, В.Г. Дыгало, А.А. Ревин // Известия ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. Вып. 6. № 10 (113). С. 102–105.**

13. Компьютерный метод диагностики систем активной безопасности автомобиля. Диагностика ABS и ESP / Г.О. Мельников, Е.С. Ларин, А.А. Ревин, В.Г. Дыгало // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований = Topical areas of fundamental and applied research : матер. междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 4-5 марта 2013 г.). V. 2 / spc Academic. – North Charleston, (SC, USA), 2013. С. 81–85.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.G. Dygalo, V.V. Kotov, L.V. Dygalo, A.A. Revin**

**VERIFICATION IN THE PROCESS OF MODELING BRAKE DYNAMICS  
VEHICLE WITH PNEUMATICS ABS**

Volgograd state technical university

**Purpose:** In the papers verification in use virtually-physical technology method modeling in the process develop and test automated breaking system vehicles is described.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based virtually-physical technology method modeling in the process develop and test automated breaking system.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of breaking condition on the basis of simulation results that shows high convergence with experimental data.

**Originality/value:** The main peculiarity is original approach use virtually-physical technology method modeling that could have a good practical application.

*Key words:* virtually-physical technology modeling, vehicles, automated breaking system, verification.

УДК 629.365

С.А. Сергиевский

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ  
ДВУХСЕКЦИОННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ**

ООО “Эм-Эс-Си Софтвэр Рус”, г. Москва

Представлены результаты разработки подхода к виртуальному моделированию двухсекционной гусеничной машины с помощью проблемно-ориентированного программного модуля Adams Tracked Vehicle Toolkit. Разработанный подход позволяет выполнять оценку нагрузок, действующих на поворотное-цепное устройство двухсекционной гусеничной машины.

*Ключевые слова:* двухсекционная гусеничная машина, поворотное-цепное устройство, нагрузки, моделирование.

По сравнению с колёсными машинами гусеничные транспортные средства обладают значительными преимуществами в части проходимости. Низкое удельное давление гусеничного движителя на опорную поверхность позволяет создавать транспортные средства, способные перевозить значительные грузы по пересечённой местности и по грунтам с низкой несущей способностью. Перспективы дальнейшего повышения проходимости и грузоподъёмности гусеничных машин связаны, в том числе, с применением двухсекционной схемы транспортного средства. Применение двухсекционной схемы позволяет повысить маневренность гусеничной машины за счёт использования схемы поворота путём изменения взаимного положения секций в горизонтальной плоскости и проходимость за счёт естественного и/или принудительного складывания секций в вертикальной плоскости, а также за счёт относительного поворота секций вокруг продольной горизонтальной оси.

Наряду с преимуществами машины с гусеничными движителями отличаются также недостатками, среди которых повышенная сложность и высокая стоимость. Кроме того, применение устройств управления двухсекционными гусеничными машинами за счёт изменения взаимного положения секций также способствует усложнению и удорожанию машины. Указанные обстоятельства неизбежно влекут усложнение и удорожание процесса разработки двухсекционной гусеничной машины. В этих условиях особенно актуальным является применение современных технологий компьютерного виртуального моделирования двухсекционной гусеничной машины, позволяющее выбрать рациональные конструктивные параметры изделия на возможно раннем этапе проектирования, свести к минимуму объём конструкторско-доводочных испытаний и доработок опытных образцов.

Эффективность использования виртуального моделирования зависит от применяемого программного обеспечения. Наиболее распространённым в транспортной промышленности мира программным пакетом для виртуального моделирования механизмов является комплекс Adams (Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems = автоматический динамический анализ механических систем). Adams предоставляет возможности создания и исследования расчётных моделей динамических систем практически любой сложности. Кроме того, Adams имеет открытую архитектуру, которая позволяет разрабатывать проблемно-ориентированные приложения, обеспечивающие автоматизацию решения сложных динамических задач, актуальных для высокотехнологичных отраслей промышленности. В числе таких приложений Adams Tracked Vehicle Toolkit – проблемно-ориентированный модуль, обеспечивающий автоматизацию построения и расчёта виртуальных моделей транспортных средств с гусеничным движителем.

В принципе, средств базовой конфигурации программного пакета Adams достаточно

для построения виртуальной модели гусеничной машины. Однако создание моделей гусеничной ленты (включающей десятки траков), задание параметров взаимодействия траков гусеницы между собой, с катками, с ведущими звёздочками и с опорной поверхностью характеризуется очень большой трудоёмкостью и содержит в себе высокую потенциальную опасность совершения ошибок. Применение Adams Tracked Vehicle Toolkit позволяет автоматизировать указанные операции, сократить время построения виртуальной модели гусеничного движителя и понизить вероятность совершения ошибок.

Программное обеспечение Adams Tracked Vehicle Toolkit включает:

- параметризованные модели элементов гусеничной ленты (траков, соединителей), опорных и поддерживающих катков, устройств натяжения гусениц, ведущих звёздочек, приводов звёздочек (силовых установок);
- геометрические модели опорных поверхностей;
- модели свойств грунтов;
- инструменты создания пользовательских моделей вышеуказанных элементов;
- средства генерации моделей гусениц, сопряжения их с катками и звёздочками, а также с опорной поверхностью;
- средства задания параметров движения виртуальной модели машины, параметров счёта и вывода результатов.

Создание виртуальной модели гусеничной машины включает следующие этапы:

1. Выбор параметризованных моделей элементов гусеничной машины, соответствующих требуемым или (в случае если в библиотеке параметризованных моделей отсутствуют требуемые параметризованные модели) разработка собственных параметризованных моделей с заданной кинематической схемой;

2. “Настройка” параметризованных моделей элементов машины путём задания конкретных значений конструктивных параметров (например, для опорных катков радиусов и ширины катков, длины балансиров подвески катков, колеи и т.п.);

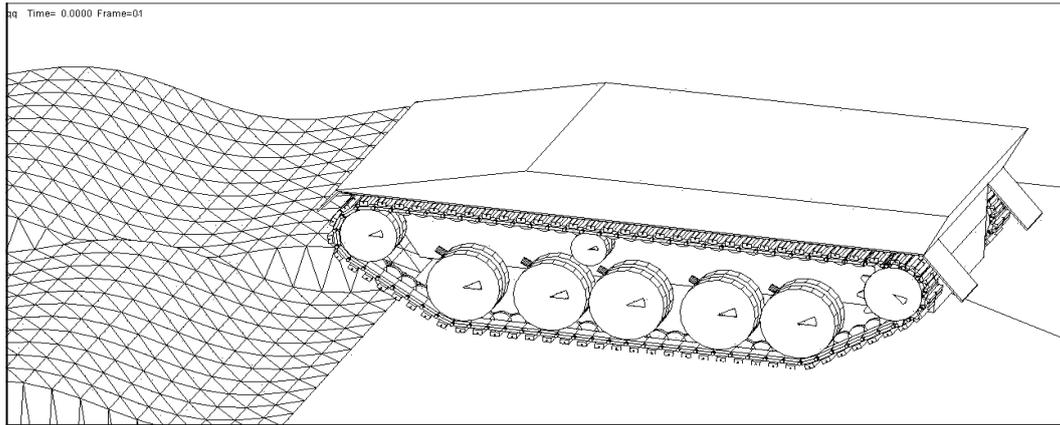
3. “Сборка” виртуальной модели машины из моделей отдельных элементов (моделей подвесок опорных катков, устройств натяжения гусениц, поддерживающих катков, ведущих звёздочек, *одного* трака на каждую гусеничную ленту);

4. Построение модели гусеничного движителя в сборе (генерация заданного количества траков, сопряжение их между собой, задание контактных взаимодействий траков гусениц между собой, с опорными и поддерживающими катками, с “ленивцами”, с ведущими звёздочками, с корпусом машины);

5. Построение модели опорной поверхности с заданными геометрическими параметрами и упруго-диссипативными характеристиками, задание контактных взаимодействий траков, катков и корпуса с опорной поверхностью.

Виртуальная модель *односекционной* гусеничной машины, подготовленная с использованием модуля Adams Tracked Vehicle Toolkit, представлена на рис. 1.

При запуске расчёта задаются длительность временной реализации, начальная скорость движения модели машины, количество временных интервалов вывода результатов. По окончании расчёта с использованием постпроцессора могут быть построены и выведены результаты в виде графиков и анимационных файлов. Среди количественных результатов могут быть перемещения, скорости и ускорения отдельных элементов машины (в том числе элементов гусеничного движителя), силовые факторы и т.д. Если среди элементов расчётной модели присутствовали упругие тела, импортированные из конечно-элементных программных систем (например, из MSC Nastran), то среди результатов расчётов могут быть параметры напряжённо-деформированного состояния этих упругих тел. Полученные временные зависимости могут быть обработаны с применением различных алгоритмов, предоставляемых постпроцессором, например, ускорения могут быть подвергнуты преобразованию Фурье с использованием частотных фильтров для получения характеристик плавности хода транспортного средства.



**Рис. 1. Виртуальная модель односекционной гусеничной машины**

Ранее указывалось, что программное обеспечение Adams имеет открытую архитектуру, позволяющую создавать на его базе проблемно-ориентированные приложения, одним из которых является Adams Tracked Vehicle Toolkit. В свою очередь, Adams Tracked Vehicle Toolkit также является открытой архитектурой, но более высокого уровня. Расчётная модель Adams Tracked Vehicle Toolkit имеет структуру базы данных, в которой строго определённым образом хранятся компоненты модели: *шаблоны* (параметризованные модели элементов машины с *обобщёнными* параметрами), *подсистемы* (параметризованные модели элементов машины с *конкретными* параметрами),  *сборки* (модели гусеничных машин в сборе). В базе данных Adams Tracked Vehicle Toolkit присутствует инструмент разграничения доступа. Пользователь со “стандартными” полномочиями имеет возможность “собрать” виртуальные модели гусеничных машин из *имеющихся в базе данных* параметризованных моделей элементов, настраивать (конкретизировать) значения параметров моделей, запускать счёт и анализировать результаты. Таким образом, пользователь со “стандартными” полномочиями дистанцирован от проблем разработки моделей и их отладки, его задача – исследование динамики гусеничной машины и разработка рекомендаций по выбору оптимальных параметров изделия. Пользователь с “экспертными” полномочиями имеет все возможности “стандартного” пользователя плюс возможности разработки, отладки и включения в базу данных новых параметризованных моделей элементов гусеничного движителя и других частей машины. Разработка виртуальной имитационной модели двухсекционной гусеничной машины базируется на принципах, положенных в основу Adams Tracked Vehicle Toolkit, и позволяющих этому программному обеспечению распознавать связи между моделями отдельных частей машины и “собрать” из них модель машины в сборе.

Для сообщения программе Adams Tracked Vehicle Toolkit функционального назначения узла машины, ассоциированного с конкретной параметризованной моделью, ей назначается “роль”, значение которой кодируется именем специальной переменной, определяемой при разработке параметризованной модели. Примеры “ролей”: “корпус”, “элемент гусеничного движителя” (например, опорный каток и его подвеска), “привод звёздочки”, “башня” (крана, экскаватора или боевой машины). Может применяться также “обобщённая роль” для обозначения моделей элементов машины, которые невозможно отнести ни к одной из классифицированных частей транспортного средства. Следует отметить, что для модели поворотносцепного устройства (ПСУ) назначается “обобщённая роль”.

Для того чтобы Adams Tracked Vehicle Toolkit “мог распознать”, что две параметризованные модели частей машины должны сопрягаться между собой, в параметризованных моделях, определяются специальные переменные (*коммуникаторы*). На этапе сборки модели машины Adams Tracked Vehicle Toolkit просматривает списки коммуникаторов и если в двух параметризованных моделях обнаруживаются коммуникаторы с одним именем, это служит сигналом о необходимости сопряжения этих моделей между собой.

Модель двухсекционной гусеничной машины включает два корпуса, удвоенный набор опорных и поддерживающих катков, устройств натяжения гусениц, ведущих звёздочек, собственно гусениц, а также устройство, которое является “общим” для первой и второй секций – поворотнo-сцепное устройство. Для того чтобы на этапе сборки модели Adams Tracked Vehicle Toolkit мог корректно отнести каждую модель к первой или второй секции и правильно сопрячь модели между собой (в том числе сопрячь корпуса секций с поворотнo-сцепным устройством), параметризованные модели отдельных частей машины должны иметь соответствующие роли и включать коммуникаторы, позволяющие сопрягаться моделям частей машины, относящимся к одной и той же секции. Назначение ролей и имён коммуникаторов производится на этапе планирования структуры модели двухсекционной машины и предшествует собственно разработке параметризованных моделей частей машины. Эта работа требует определённой квалификации и выполняется пользователем-“экспертом”. Несмотря на то, что разработка параметризованных моделей частей двухсекционной машины характеризуется повышенной трудоёмкостью, затраты времени с запасом окупаются оперативностью работы с моделью на этапе выполнения расчётов с целью исследования динамики машины и выбора оптимальных параметров её конструкции.

Рассмотрим результаты применения программного обеспечения Adams Tracked Vehicle Toolkit для виртуального моделирования динамики двухсекционной гусеничной машины.

Для отработки методики виртуального моделирования двухсекционной гусеничной машины в качестве “основы” для моделей секций была взята модель гусеничной машины, изображённая на рис. 1. Для применения в модели двухсекционной машины параметризованные модели всех составных частей (модели корпуса, катков, звёздочек, ленивцев, трансмиссии) были модифицированы путём назначения соответствующих ролей и коммуникаторов, обеспечивающих на этапе сборки модели гусеничной машины возможность однозначной идентификации моделей составных частей как относящихся к первой и второй секции, а также корректное их сопряжение.

Кроме того, потребовалось создание специальной дополнительной модели – поворотнo-сцепного устройства, сопрягающего секции гусеничной машины и обеспечивающее её поворот за счёт изменения взаимного положения секций. Для отработки методики моделирования двухсекционной машины использовалась упрощённая модель ПСУ (рис. 2), включающая два звена, неподвижно соединяемых с корпусам секций, шаровой шарнир, соединяющий звенья, и актуаторы, соединённые со звеньями. Длины актуаторов изменяются по кинематическому закону. В используемой модели ПСУ звенья представлены упругими телами, конечно-элементные модели которых импортированы из пакета MSC Nastran.

Виртуальная модель двухсекционной гусеничной машины приведена на рис. 3. Длина опорной базы каждой секции составляет 4591 мм, колея по серединам гусениц 2540 мм. Масса каждой секции около 16 т.

С использованием разработанной модели выполнено два расчёта: поворот машины “на месте” при заторможенных ведущих звёздочках и переезд единичной неровности при заблокированных актуаторах ПСУ.

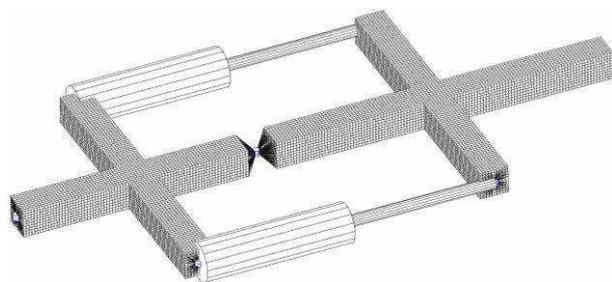


Рис. 2. Модель поворотнo-сцепного устройства

Поворот машины “на месте” выполнялся путём удлинения правого актуатора ПСУ на величину 300 мм и соответственно уменьшением длины левого актуатора на 300 мм. Зависимость удлинения правого актуатора от времени приведена на рис. 4.

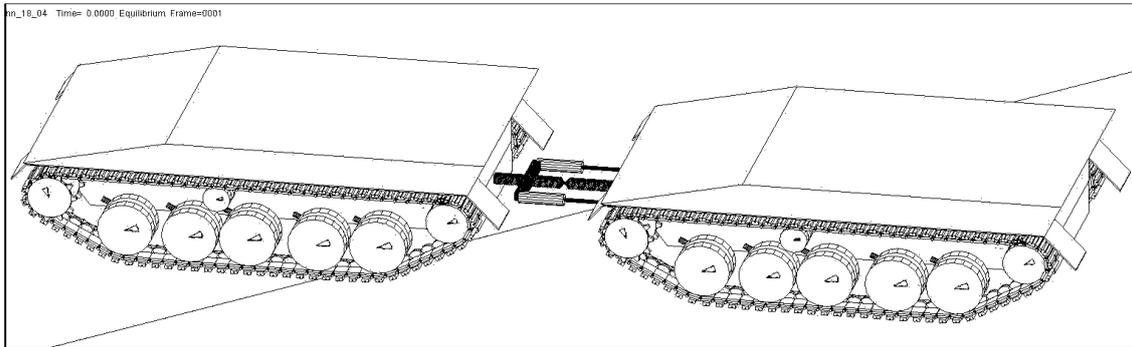


Рис. 3. Виртуальная модель двухсекционной гусеничной машины

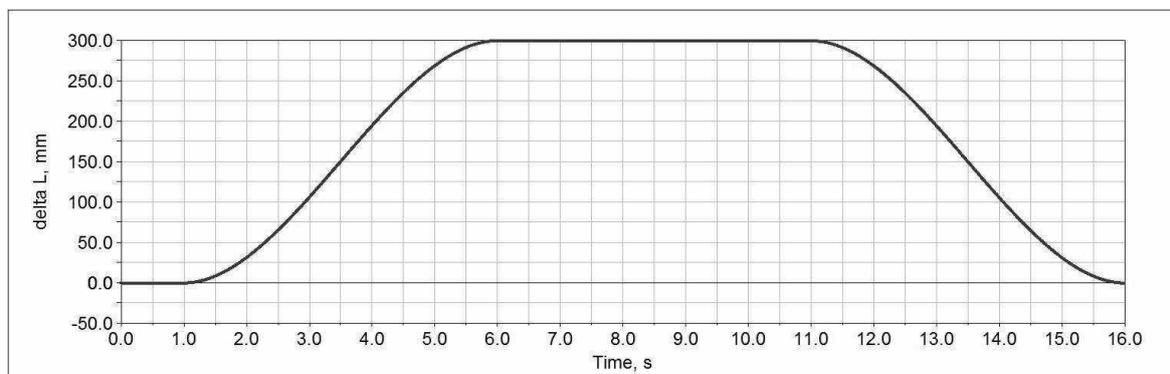


Рис. 4. Зависимость удлинения правого актуатора от времени при моделировании поворота машины “на месте”

При расчёте значение статического коэффициента трения в паре “трак гусеницы-опорная поверхность” принято на уровне 0,9, а динамического коэффициента трения на уровне 0,7, т.е. моделируется поворот в “жёстких” условиях (трение между траками гусениц и опорной поверхностью велико).

Полученная в результате расчёта зависимость от времени угла между продольными осями корпусов секций гусеничной машины приведена на рис. 5. На рис. 6 представлена зависимость от времени абсолютного значения момента нагрузки в точке сопряжения ПСУ с корпусом первой секции гусеничной машины.

При виртуальном моделировании переезда машиной единичной неровности высота последней принята 0,4 м, длина по вершине – 3,4 м, по основанию – 4,6 м. Скорость движения машины –  $5 \text{ м/с} = 18 \text{ км/ч}$ .

Положение частей машины в один из моментов времени в процессе переезда единичной неровности представлено на рис. 7. Зависимость от времени ускорений центров масс корпусов секций машины представлены на рис. 8, а зависимость от времени абсолютного значения момента нагрузки в точке сопряжения ПСУ с корпусом первой секции гусеничной машины – на рис. 9. Начало взаимодействия первой секции машины с неровностью (первое касание трака гусеницы с неровностью) происходит при  $t = 3,085 \text{ с}$ , а “окончание” переезда (момент, когда обе гусеницы второй секции машины опираются на поверхность дороги) происходит при  $t = 6,485 \text{ с}$ .

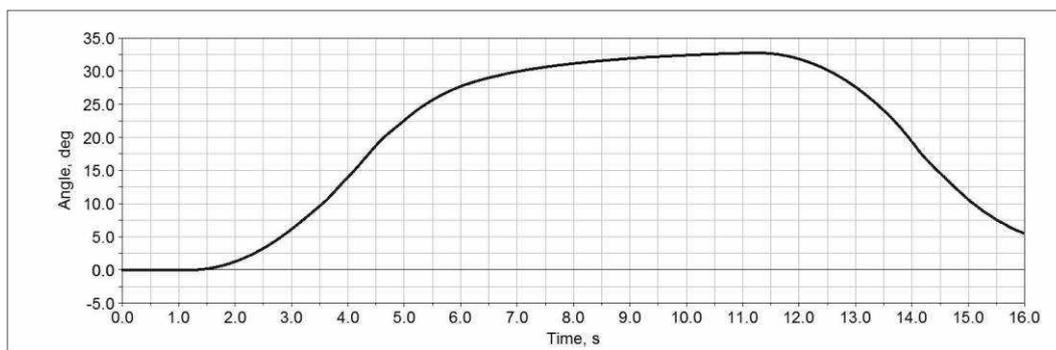


Рис. 5. Зависимость от времени угла между продольными осями корпусов секций гусеничной машины при повороте “на месте”

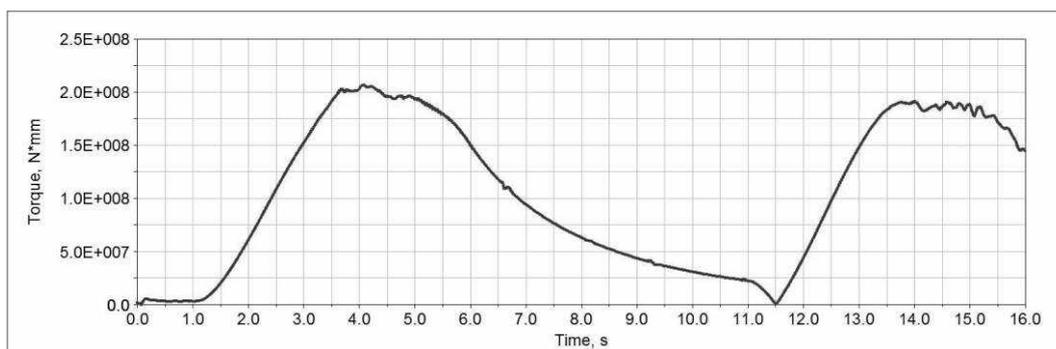


Рис. 6. Зависимость от времени абсолютного значения момента нагрузки в точке сопряжения ПСУ с корпусом первой секции гусеничной машины при повороте “на месте”

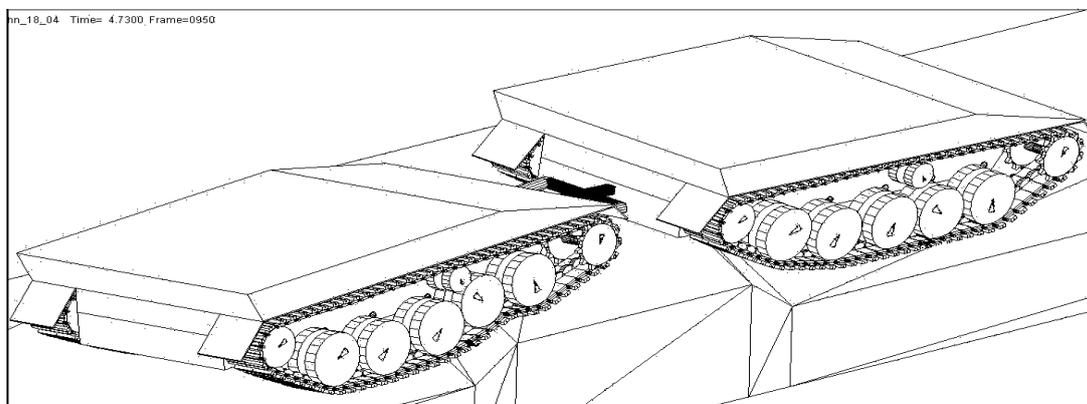


Рис. 7. Переезд двухсекционной гусеничной машиной единичной неровности

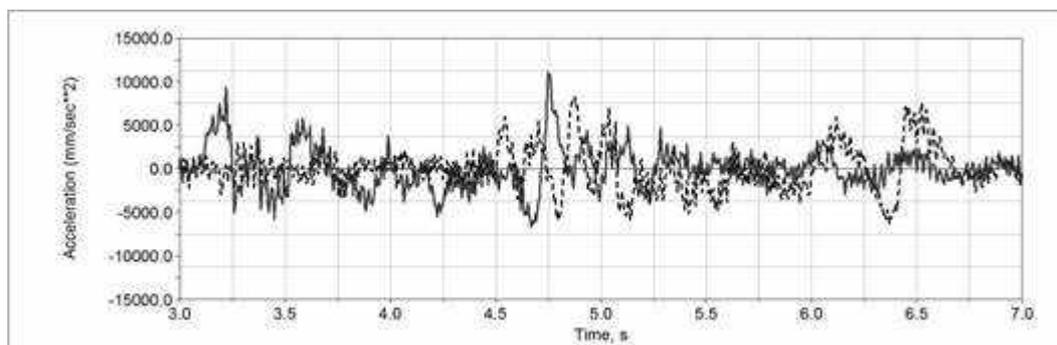
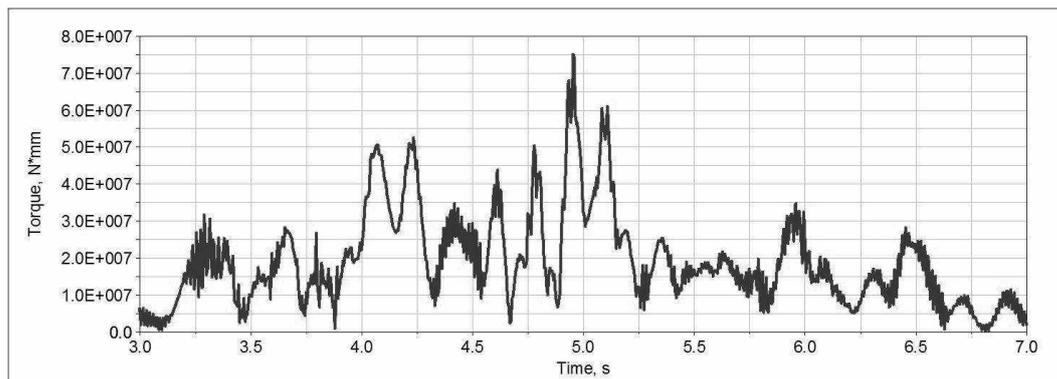


Рис. 8. Вертикальные ускорения центров масс корпусов секций машины (сплошная линия – корпус первой секции, штриховая линия – корпус второй секции)



**Рис. 9. Зависимость от времени абсолютного значения момента нагрузки в точке сопряжения ПСУ с корпусом первой секции гусеничной машины при переезде единичной неровности**

В результате проведённых работ продемонстрирована возможность применения проблемно-ориентированного программного модуля Adams Tracked Vehicle Toolkit для виртуального моделирования двухсекционной гусеничной машины. Применение специализированного программного модуля для автоматизированного виртуального моделирования гусеничных транспортных средств обеспечивает значительную экономию времени на разработку расчётной модели и практически исключает возможные ошибки, которые с большой долей вероятности возникают при создании расчётных моделей большой размерности и насыщенных большим количеством упруго-демпфирующих связей и контактных взаимодействий.

Виртуальное моделирование двухсекционной машины позволяет на раннем этапе разработки оценить нагрузки, действующие на поворотное-сцепное устройство, что дает возможность оптимизировать его конструкцию, обеспечив требуемую прочность и функциональность.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**S.A. Sergievskiy**

## **COMPUTER VIRTUAL SIMULATION OF THE TWO SECTION ARTICULATED TRACKED VEHICLE DYNAMICS**

Limited Liability Company “MSC Software RUS”, Moscow

Results of a development of approach to virtual simulation of two-section articulated tracked vehicle by a problem-oriented software Adams Tracked Vehicle Toolkit are presented. The developed approach allows to assess of loads acting on the steering and coupling device of a two-section articulated tracked vehicle.

*Key words:* two-section articulated tracked vehicle, steering and coupling device, loads, simulation.

УДК 629.113

Д.В. Соловьев<sup>1</sup>, А.В. Герасин<sup>1</sup>, А.А. Штурмин<sup>1</sup>, В.И. Отмахов<sup>2</sup>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛОВОГО АГРЕГАТА НА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛЕГКОГО КОММЕРЧЕСКОГО ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ООО «Хекса»<sup>2</sup>

Представлены результаты расчетных и экспериментальных исследований виброакустических процессов, характерных для эксплуатации грузового автомобиля семейства Газель Next с двигателем Cummins ISF2.8s4129P. Исследования выполнены в НГТУ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г.

*Ключевые слова:* двигатель, силовой агрегат, колебания, вибрация, виброакустика, NVH анализ.

Одним из основных источников шума и вибраций, возникающих при эксплуатации грузового автомобиля, является его силовой агрегат, совершающий при своей работе довольно сложные колебания разнообразных форм и частот [1-3]. Как показывают результаты многочисленных испытаний, значительный уровень звукового давления в салоне автомобиля создают колебания силового агрегата, вызванные силами инерции второго порядка в кривошипно-шатунном механизме. У четырехцилиндрового рядного двигателя эти силы инерции являются неуравновешенными, и их воздействие передается на несущую систему автомобиля через упругие опоры силового агрегата, создавая так называемый структурный шум.

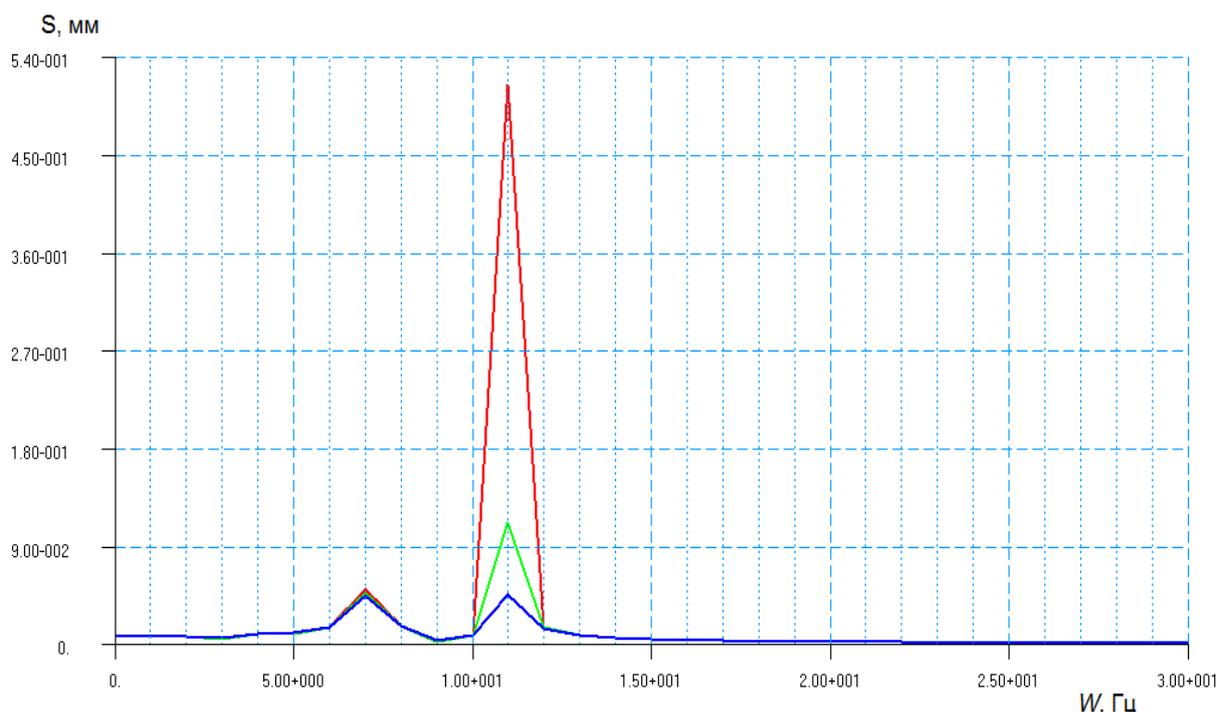
Представленные результаты исследований, проводимых в НГТУ совместно со специалистами «Группы ГАЗ», направлены на разработку конструктивных решений с целью уменьшения вибраций элементов конструкции и снижения уровня внутреннего шума грузовых автомобилей семейства Газель Next. На первом этапе исследований была разработана конечно-элементная модель несущей системы автомобиля с силовым агрегатом, установленным на раме посредством элементов, моделирующих упругие опоры двигателя и коробки передач. Упругие характеристики опор были получены при их испытании на нагрузочном стенде. Для корректной постановки задач совершенствования конструкции автомобиля с точки зрения виброакустики необходима предварительная оценка влияния отдельных элементов динамической системы на происходящие в ней колебательные процессы. Для такой оценки были проведены расчеты частотных спектров виброперемещений силового агрегата в составе конечно-элементных моделей разной степени сложности. В самой упрощенной модели присутствует только силовой агрегат, установленный на упругих опорах. Во втором варианте силовой агрегат установлен на раме автомобиля, которая в свою очередь связана с опорным основанием через элементы, моделирующие подвеску и шины. В наиболее подробной модели на раму установлен кузов. Во всех трех вариантах осуществлялось возбуждение силового агрегата единичной гармонической вертикальной силой, приложенной в задней части коробки передач. Для каждой модели был проведен расчет двух вариантов опор силового агрегата соответственно с исходной и увеличенной вертикальной жесткостью. Такой расчет позволил оценить влияние жесткости опор на характер колебаний силового агрегата, а также скорректировать параметры элементов опор в модели для лучшей сходимости результатов расчета и эксперимента.

Как показывает инженерная практика, при прочностных расчетах подробных конечно-элементных моделей несущих систем автомобилей важным этапом разработки КЭМ является моделирование элементов закрепления конструкции и мест приложения внешней нагрузки. Расчетные модели с высокой степенью детализации конструкции в ряде случаев

дают неверное представление напряженно-деформированного состояния системы из-за неправильного или слишком упрощенного задания граничных условий. Как правило, для достижения точных результатов расчета требуется не только подробное моделирование деталей конструкции, но и введение в модель дополнительных элементов, обеспечивающих правильное приложение нагрузки и реакций внешних опор. В моделях несущих систем автомобилей для этого должны присутствовать элементы подвески и мостов с соответствующими связями. Изложенное относится к расчетам, связанным с оценкой прочности, жесткости и безопасности несущих систем, а также может быть применимо при моделировании колебаний в конструкции. Но динамические процессы имеют свои особенности: многообразие форм колебаний, широкий диапазон частот, наличие резонансных режимов, зависимость амплитуд колебаний от степени демпфирования в особенности при резонансе и др. Довольно существенным может оказаться влияние на колебания конструктивных особенностей сопряжения деталей в некоторых соединениях. В связи с этим, при решении задач, связанных с совершенствованием конструкции автомобиля с точки зрения его виброакустических характеристик, необходимо исследовать конечно-элементные модели с различными способами задания граничных условий для того чтобы правильно учитывать особенности конструкции и специфику задачи при разработке расчетной модели [4-9].

В рамках данных исследований была проведена оценка влияния граничных условий на колебания силового агрегата. За основу была принята подробная конечно-элементная модель, в которой на раме установлен двигатель с коробкой передач и кузов. В данной модели присутствуют элементы подвесок моста и колес. Было рассмотрено два варианта граничных условий. В варианте 1, по трем степеням свободы были закреплены узловые точки, соответствующие упругим элементам, моделирующим колеса. Далее, для того чтобы оценить конструкции рамы и подвески автомобиля на колебания силового агрегата, расчетная модель во втором варианте закреплялась в точках рамы, соответствующих местам крепления элементов направляющего аппарата подвески. Результаты расчета спектров колебаний силового агрегата в составе данных моделей свидетельствуют о значительном влиянии подвески в целом на колебания конструкции, следовательно, при решении задач снижения вибронегативности силового агрегата и его влияние уровень звукового давления в салоне возникает необходимость более тщательного моделирования подвески автомобиля, а также обоснованного выбора ее упругих и демпфирующих характеристик. В связи с этим в качестве основной расчетной модели далее будет использована модель, включающая в себя элементы подвески. Но, как известно, подвески имеют некоторую нелинейность упругих характеристик даже при использовании в них упругих элементов с линейными характеристиками. Обусловлено это разными причинами. Помимо самого упругого элемента на характеристику подвески влияет способ его установки, а также конструкция направляющего аппарата. Кроме этого, подвески имеют некоторое сухое трение, которое также влияет на их упругие свойства особенно при малых деформациях. В значительной степени это относится к рессорным подвескам, в которых межлистовое трение может существенно увеличивать жесткость, поскольку рессора за счет трения при малых деформациях будет работать как монолитная балка. Исходя из этого, при расчетах, связанных с вибрацией агрегатов автомобиля, когда мы имеем дело с относительно небольшими виброперемещениями, жесткость подвески в расчетной модели целесообразно увеличить с учетом действующего в подвеске трения. Из результатов проведенных расчетов следует, что увеличение жесткости подвески автомобиля существенно снижает амплитуду колебаний силового агрегата при заданных условиях возбуждения. При этом значения резонансных частот остаются прежними. Полученные результаты характеризуют существенное влияние системы поддресоривания автомобиля на колебания силового агрегата.

Предварительные расчеты частотных спектров колебаний силового агрегата показали также значительное влияние демпфирующих свойств опор на величину виброперемещений в особенности в зоне резонансных частот.



**Рис. 1. Влияние демпфирования в опорах силового агрегата на его виброперемещения**

На графике рис. 1 показано изменение спектра виброперемещений контрольной точки силового агрегата при введении в расчетную модель демпфирующих свойств его опор. Верхняя линия показывает спектр для модели без учета демпфирования. Средняя – спектр при введении условного показателя демпфирования в направлении вертикальной оси величиной 5% от критического для опоры коробки передач. Нижний график показывает результаты расчета при учете того же показателя демпфирования во всех опорах силового агрегата. Из данного предварительного расчета следует вывод о существенном влиянии демпфирования на колебания исследуемого объекта. Как и следовало ожидать, наибольшее влияние на виброперемещения демпфирование оказывает в зоне резонансных частот. В нашем случае амплитуда колебаний наиболее значительно снижается на частоте 11 Гц. На частоте 7 Гц влияние демпфирования не столь заметно в связи с изменением формы колебаний и уменьшением доли вертикальных перемещений в опорах.

В связи с этим для уточнения характеристик демпфирования подвески силового агрегата был проведен анализ его свободных затухающих колебаний. В проведенном эксперименте, с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Транспортные системы», к силовому агрегату, установленному на автомобиле, прикладывалась сила, чтобы вывести его из положения равновесия, далее после снятия внешнего воздействия регистрировалась амплитуда затухающих колебаний. Затем полученные экспериментальные данные использовались для задания показателей демпфирования элементов опор силового агрегата в расчетной конечно-элементной модели. На рис. 2 показан график вертикальных перемещений точки картера двигателя, полученный в результате данного эксперимента.

Далее путем обработки результатов эксперимента был получен спектр вертикальных перемещений контрольной точки картера двигателя. Анализ спектра показал, что основная частота колебаний при данных условиях возмущения составляет около 5 Гц, что соответствует первой частоте собственных колебаний силового агрегата. Таким образом, сравнение расчетных и экспериментальных данных подтверждает правильность задания упругих характеристик опор силового агрегата, а также его массовых и инерционных параметров в расчетной модели. Но для уточнения показателей демпфирования упругих опор необходимо провести специальный расчет, имитирующий условия проведенного эксперимента.

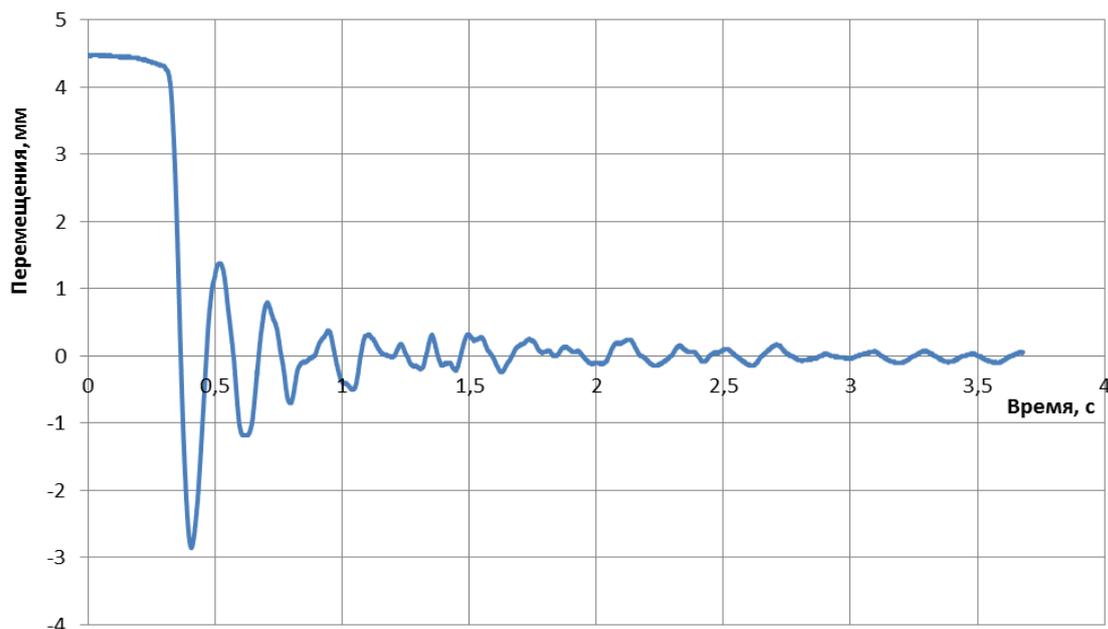


Рис. 2. Свободные затухающие колебания силового агрегата

В расчете возмущение колебаний модели проводилось заданием силы, приложенной в узловой точке, соответствующей точке приложения силы в эксперименте. Величину силы определяли по перемещению узла, соответствующего точке контроля перемещений в эксперименте. Подбирая в модели показатели демпфирования элементов опор двигателя и коробки передач, добивались декремента затухания, полученного в ходе эксперимента.

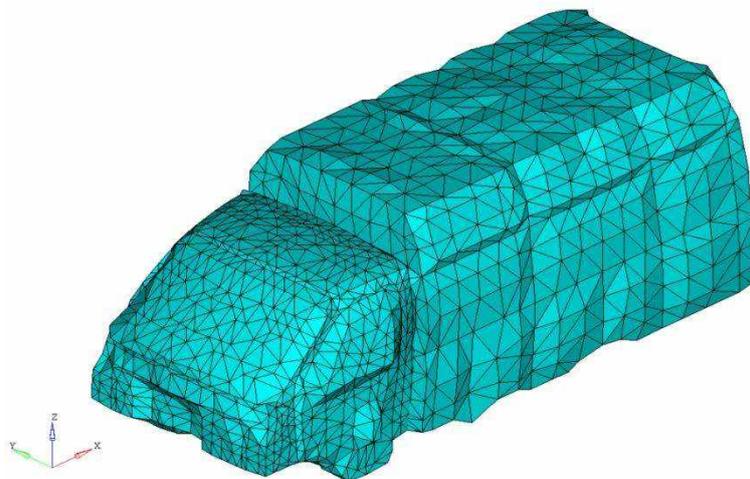


Рис. 3. Конечно-элементная модель акустического объема

Таким образом, последовательное проведение ряда экспериментов и решение соответствующих задач имитационного моделирования позволяет получить в результате исследования адекватную расчетную модель, адаптированную для расчетов, направленных на разработку технических решений по снижению вибронгруженности элементов конструкции автомобиля. Для проведения акустического анализа была разработана модель воздушной среды внутреннего пространства салона (акустического объема), показанная на рис. 3. Все узловые точки внешней поверхности модели акустического объема, прилегающие к элементам несущей структуры автомобиля, совпадают по координатам с соответствующими узлами модели несущей системы, таким образом, было задано взаимодействие акустического объема с элементами конструкции автомобиля.

В качестве начального этапа акустического анализа был проведен расчет уровня структурного шума в акустическом объеме при возбуждении колебаний неуравновешенными силами инерции второго порядка рядного четырехцилиндрового двигателя. Для контроля уровня шума выбрана точка модели, соответствующая положению правого уха водителя. В результате был получен частотный спектр звукового давления в контрольной точке в диапазоне частот до 140 Гц. Для анализа влияния уровня внутреннего шума на людей был проведен перерасчет звукового давления в эквивалентный уровень шума, измеряемый шумомером по шкале А, то есть с учетом чувствительности человека к уровню звукового давления при разных частотах. График спектра уровня шума в дБА показан на рис. 4.

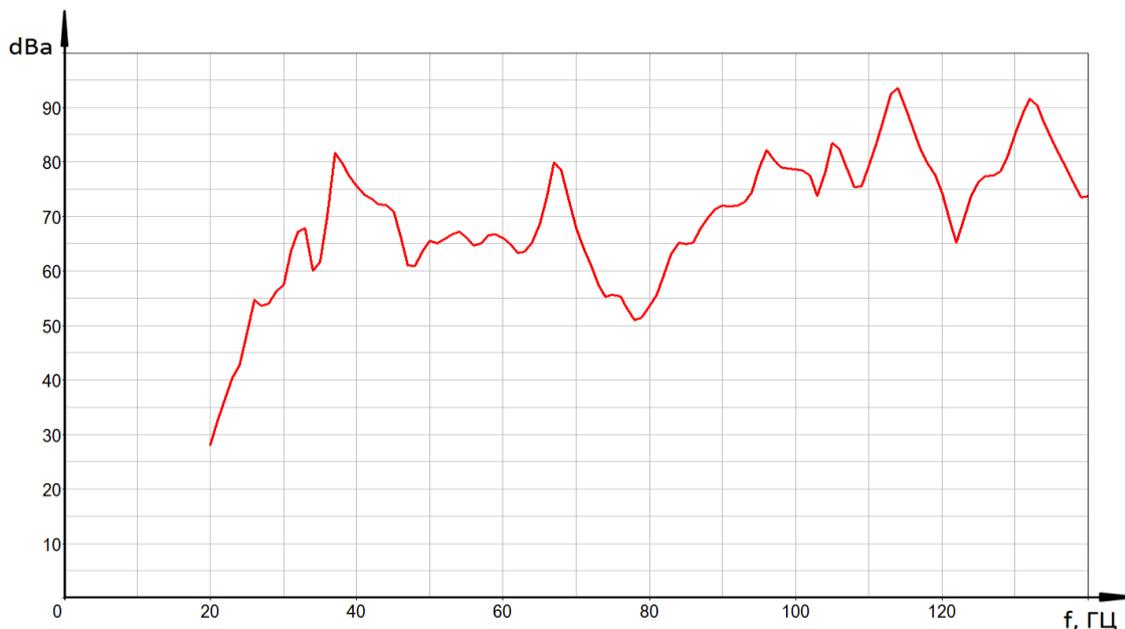


Рис. 4. Спектр уровня шума (дБА)

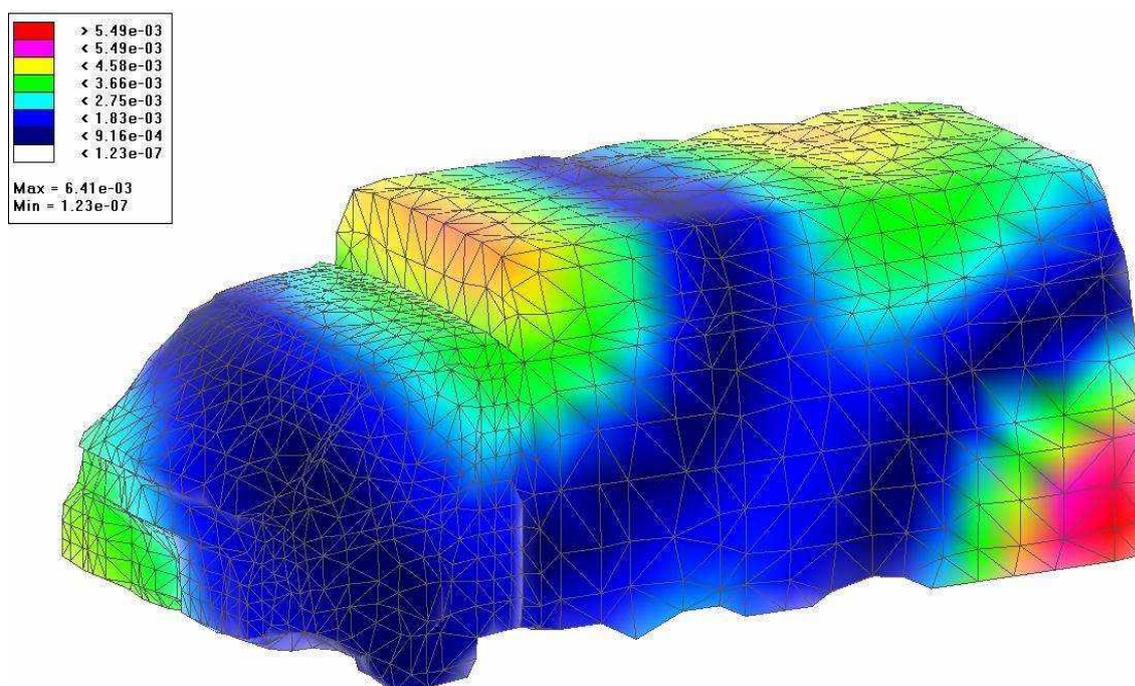


Рис. 5. Уровни звукового давления в акустическом объеме, МПа

На графике заметно возрастание эквивалентного уровня шума при увеличении частоты. На рис. 5 показан характер распределения звукового давления в пространстве салона автомобиля при одной из пиковых частот спектра - 113 Гц.

Полученные результаты расчета показывают, что в области внутреннего пространства кабины автомобиля уровни звукового давления от структурного шума относительно невысокие. Звуковое давление возрастает в зоне крыши фургона и в задней нижней части кузова, при этом эквивалентный уровень шума в кабине возрастает с увеличением частоты.

#### Библиографический список

1. **Соловьев, Д.В.** Расчетные и экспериментальные исследования колебаний двигателя автомобиля на режиме холостого хода / Д.В. Соловьев [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2014. №1. С. 150–155.
2. Колебания силового агрегата автомобиля / В.Е. Тольский [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976.
3. **Тольский, В.Е.** Виброакустика автомобиля / В.Е. Тольский. – М.: Машиностроение, 1988.
4. **Takahashi, T.** Sound transmission analysis using the hybrid finite element - wave based approach for coupled vibroacoustic problems / T. Takahashi [et al.] // Proceedings of ISMA including USD, 2010 P. 4697–4712.
5. **Lenzi, M. S.** New insights of an energy flow visualization into vehicle design / M. S. Lenzi [et al.] // Proceedings of ISMA including USD, 2010. P. 2025–2038.
6. **Huijssen, J.** Simulation of pass-by noise of automotive vehicles in the mid-frequency range using Fast Multipole BEM / J. Huijssen [et al.] // Proceedings of ISMA including USD, 2010. P. 4697–4712.
7. **Eisele, G.** Application of Vehicle Interior Noise Simulation (VINS) for NVH Analysis of a Passenger Car / G. Eisele [et al.] // SAE International, 2005.
8. **Sang-Hyun, Jee.** The Application of the Simulation Techniques to Reduce the Noise and Vibration in Vehicle Development / Jee Sang-Hyun, Yi Jong-Cheol // FISITA World Automotive Congress June 12-15, Korea, Seoul, 2000.
9. **Yuksel, E.** Vibro-Acoustic Design Optimization Study to Improve the Sound Pressure Level Inside the Passenger Cabin / E. Yuksel, G. Kamci, I. Basdogan // Journal of Vibration and Acoustics. 2012. V. 134.

*Дата поступления  
в редакцию 30.09.2014*

**D.V. Solovyov<sup>1</sup>, A.V. Gerasin<sup>1</sup>, A.A. Shturmin<sup>1</sup>, V.I. Otmahov<sup>2</sup>**

#### THE RESEARCH OF POWER UNIT INFLUENCE ON VIBROACOUSTIC PERFORMANCES OF LIGHT COMMERCIAL VEHICLE

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>

**Purpose:** Estimating acoustic performances of commercial truck on the basis of computer analysis results and its comparison with experimental data.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based on FE method using MSC.NASTRAN software and experimental measurements of power unit vibration parameters.

**Findings:** The possibility of precise vibroacoustic processes computer modeling that shows high convergence with experimental data.

**Research limitations/ implications:** The present study provides a starting-point for further research in the field of NVH vehicle analysis.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is original approach of NVH analysis that could have a wide practical application.

*Key words:* engine, power unit, hesitation, vibration, modal analysis, acoustics, NVH analysis.

УДК 629.113

И.Е. Анучин, А.В. Тумасов, В.В. Беляков

## ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ АНТИКРЫЛЬЕВ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПОРТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ КЛАССА ФОРМУЛА-СТУДЕНТ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетных исследований аэродинамических характеристик спортивного автомобиля класса Формула-Студент, спроектированного и созданного командой НГТУ «АМІgo». Представлены результаты моделирования процесса обтекания воздушным потоком модели автомобиля с установленными аэродинамическими элементами и без них, полученные в программе CD-adapco Star CCM+.

*Ключевые слова:* антикрыло, коэффициент аэродинамического сопротивления, аэродинамические характеристики, прижимная сила.

Аэродинамические настройки спортивного автомобиля – неотъемлемая часть подготовки транспортного средства к соревнованиям. Во время настройки автомобиля, при тестовых заездах, инженерам необходимо максимально быстро подобрать соответствующие характеристики аэродинамических элементов. Сделать такие настройки грамотно, как правило, без предварительных расчетов, затруднительно. При этом важным являются не только характеристики аэродинамических элементов, но и их расположение относительно кузова автомобиля. Неправильное расположение может привести к ухудшению аэродинамических характеристик автомобиля.

При выборе места расположения антикрыльев важно понимать, какую силу лобового сопротивления и какую прижимную силу они будут создавать. Для выявления общей картины влияния расположения аэродинамических элементов на характеристики автомобиля предлагается провести ряд расчетов, по которым в дальнейшем можно выделить наиболее рациональные варианты конструкции.

Объектом данного исследования является модель спортивного автомобиля класса Формула-Студент команды «АМІgo» Нижегородского государственного технического университета [1].

С 2013 года в регламенте Formula SAE разрешена установка аэродинамических элементов на автомобиль [2]. В данном исследовании оценивается влияние расположения переднего и заднего антикрыльев автомобиля на его аэродинамические характеристики. Виртуальные модели антикрыльев (их геометрические модели) были взяты из ресурса сети Интернет, имеющего свободный доступ [3]. Внешний вид и сечения антикрыльев показаны на рис. 1 и 2.

Расчетная модель автомобиля формируется по принципу, описанному в работе [4]. Различием является лишь использование упрощенной геометрической модели (закрытые колеса и отсутствие элементов подвески) и расчетной сетки типа Trimmer (рис. 3). Скорость воздушного потока, при котором происходит расчет, составляет 28 м/с. Расчет осуществляется в программном комплексе CD-adapco Star CCM+.

Рассматривается несколько вариантов моделей автомобиля, при этом в каждом варианте геометрические характеристики антикрыльев остаются постоянными, изменяется лишь относительное расположение антикрыльев.

Модель 1 – автомобиль без аэродинамических элементов. Коэффициент лобового сопротивления: 0,54. Подъемная сила всего автомобиля: 1,5 Н. Следует отметить, что у стандартной модели автомобиля наблюдается значительная подъемная сила, которая ухудшает поведение автомобиля при совершении маневров на высокой скорости.

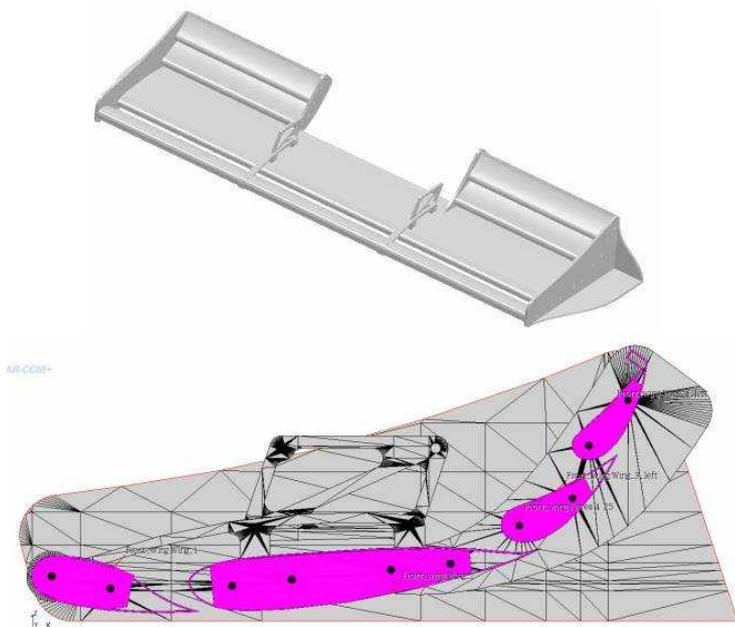


Рис. 1. Переднее антикрыло

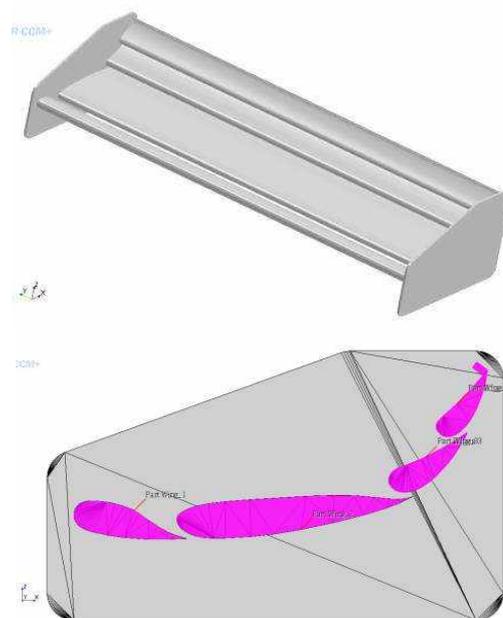


Рис. 2. Заднее антикрыло

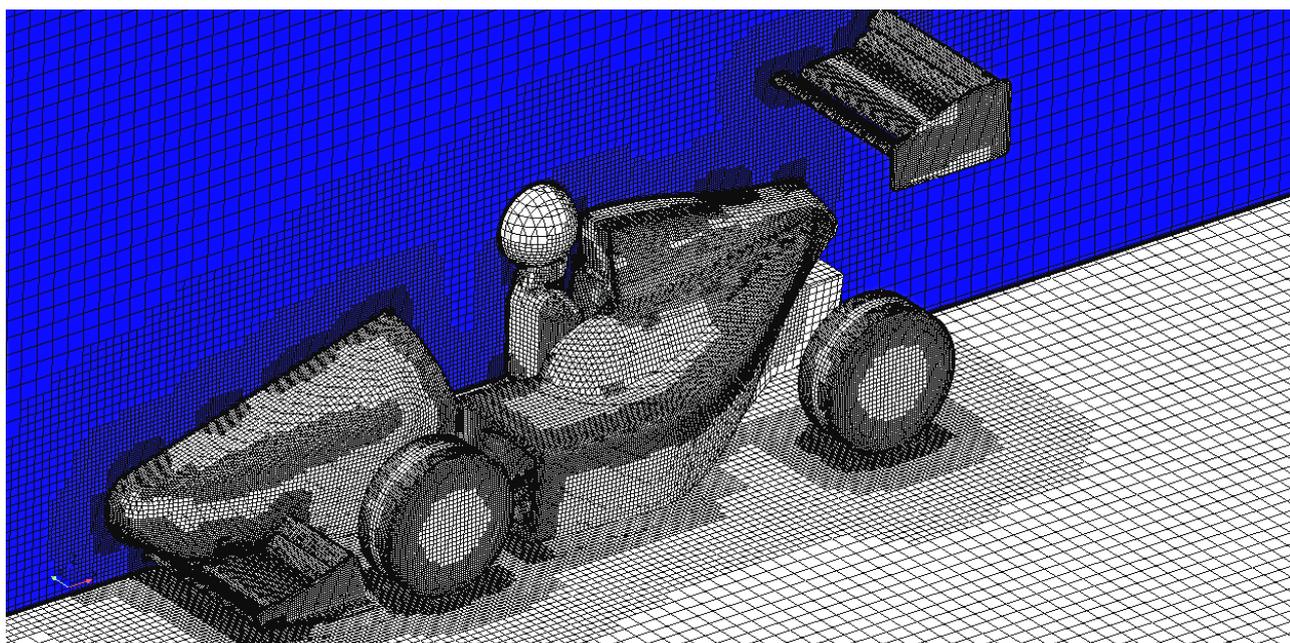


Рис. 3. Сеточная модель модели автомобиля

Модель 2 – автомобиль с установленными антикрыльями в начальном положении (рис. 4 и 5). На данной модели возникает прижимная сила, большая часть которой приходится на заднюю часть автомобиля. Однако наблюдается повышение коэффициента лобового сопротивления, которое вызвано дополнительным сопротивлением от установленных антикрыльев [5].

Модель 3 – автомобиль с установленными антикрыльями, переднее антикрыло смещено на 0,015 м вперед по ходу автомобиля (рис. 6). По сравнению со стандартным положением переднего антикрыла (модель 2), на данной модели незначительно увеличился коэффициент аэродинамического сопротивления, но на 31% возрастает прижимная сила, что следует признать положительным.

Модель 4 – автомобиль с установленными антикрыльями, переднее антикрыло сме-

щено на 0,0075 м вперед по ходу автомобиля (рис. 7). Для данного варианта модели также характерно повышение коэффициента аэродинамического сопротивления, но прижимная сила, создаваемая передним антикрылом, оказывается меньше, чем у варианта 3.

Модель 5 – автомобиль с установленными антикрыльями, переднее антикрыло смещено на 0,0075 м вверх (рис. 8). При поднятии переднего антикрыла уменьшается зона пониженного давления под ним, что приводит к уменьшению прижимной силы крыла.

Модель 6 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,03 м вперед по ходу автомобиля (рис. 9). При смещении заднего антикрыла вперед по ходу автомобиля, уменьшается прижимная сила на задней оси и коэффициент аэродинамического сопротивления. Данное явление происходит из-за частичного попадания спутного следа (с низким давлением) от шлема пилота на антикрыло.

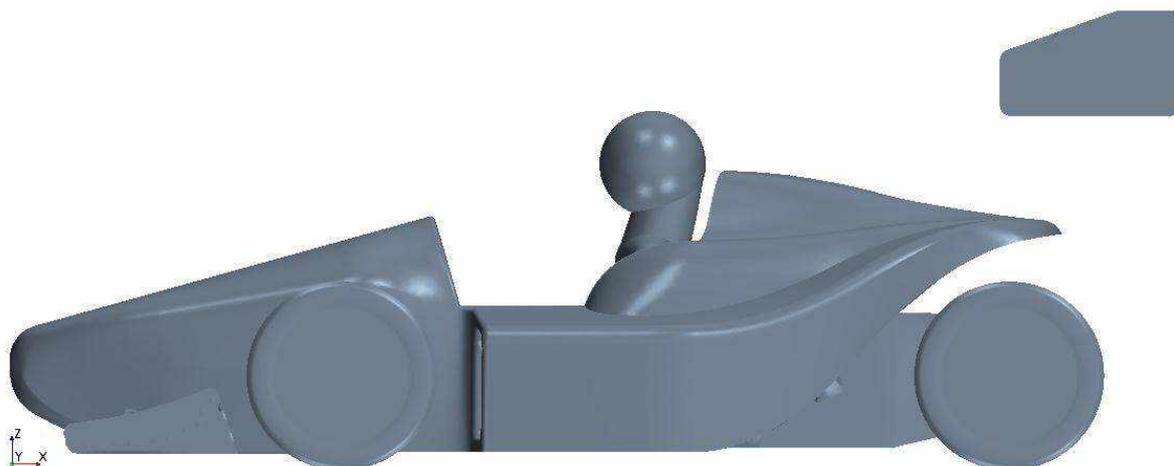


Рис. 4. Модель автомобиля (вариант 2) с установленными аэродинамическими элементами в начальном положении

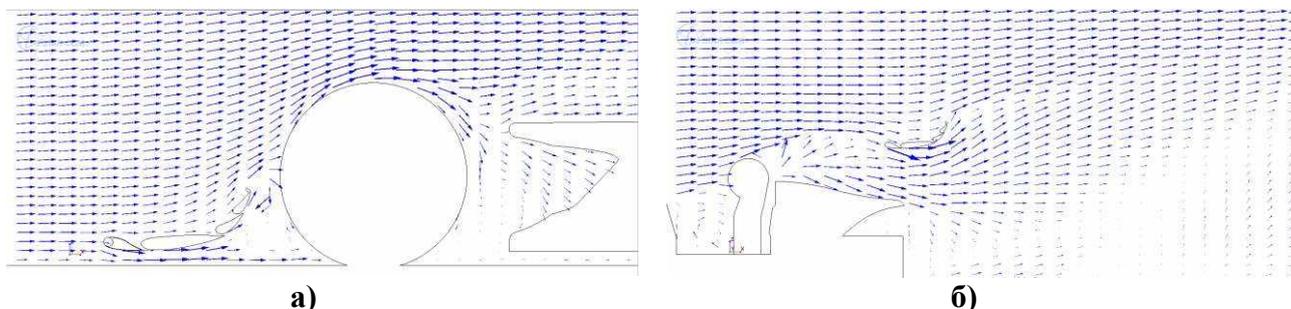


Рис. 5. Векторные и скалярные сцены обтекания частей автомобиля:  
а – переднего антикрыла; б – заднего антикрыла

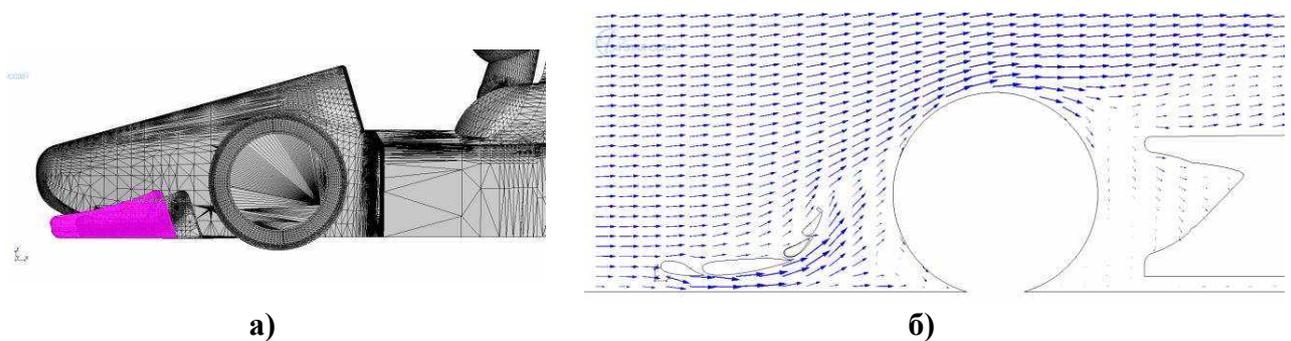
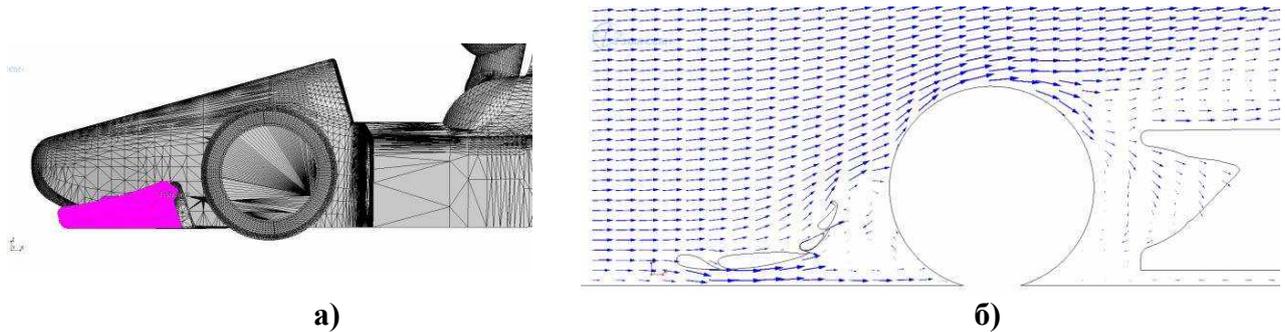


Рис. 6. Результаты расчета модели варианта 3:  
а – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
б – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии колеса



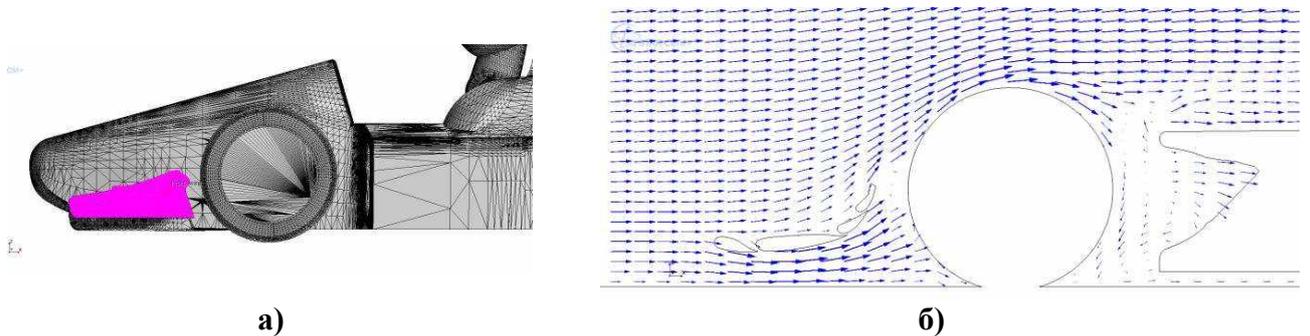
а)

б)

**Рис. 7. Результаты расчета модели варианта 4:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;

*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии колеса



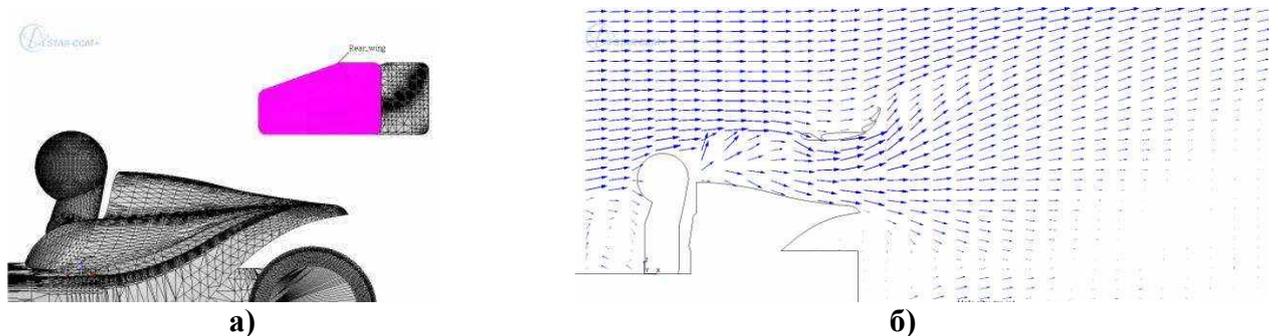
а)

б)

**Рис. 8. Результаты расчета модели варианта 5:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;

*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии колеса



а)

б)

**Рис. 9. Результаты расчета модели варианта 6:**

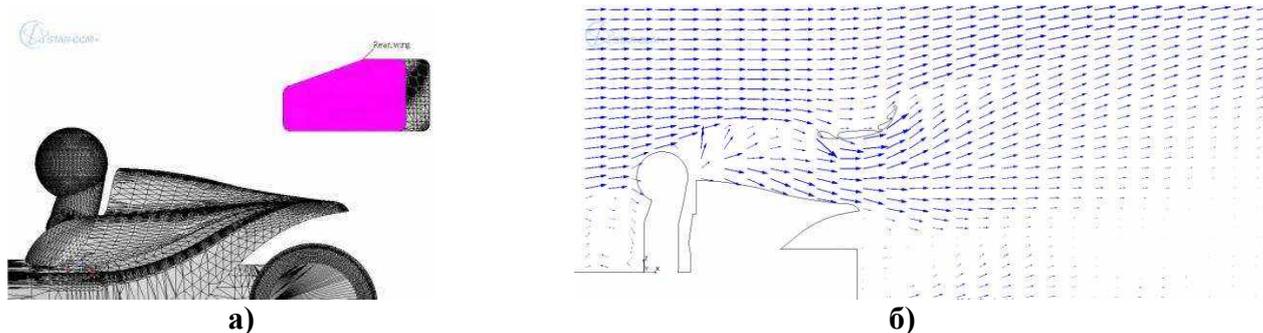
*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;

*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля

Модель 7 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,015 м вперед по ходу автомобиля (рис. 10). В этом варианте антикрыло смещено на расстояние вдвое меньшее, чем на модели варианта 6, что также приводит к уменьшению прижимной силы заднего антикрыла по сравнению со стандартной моделью, но на несколько меньшее значение (по сравнению с вариантом 6).

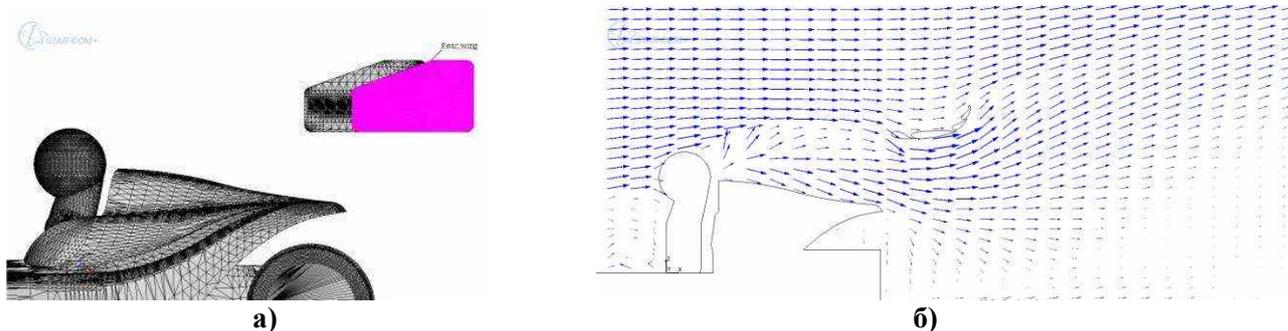
Модель 8 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,03 м назад по ходу автомобиля (рис. 11). Дальнейшее смещение антикрыла приводит к возрастанию прижимной силы, но вместе с ней и увеличивается коэффициент аэродинамического сопротивления.

Модель 9 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,03 м вниз (рис. 12). Данное положение является менее рациональным, так как большая часть антикрыла находится в зоне с пониженным давлением, которая остается от шлема пилота, поэтому значение прижимной силы в данном случае минимальное.



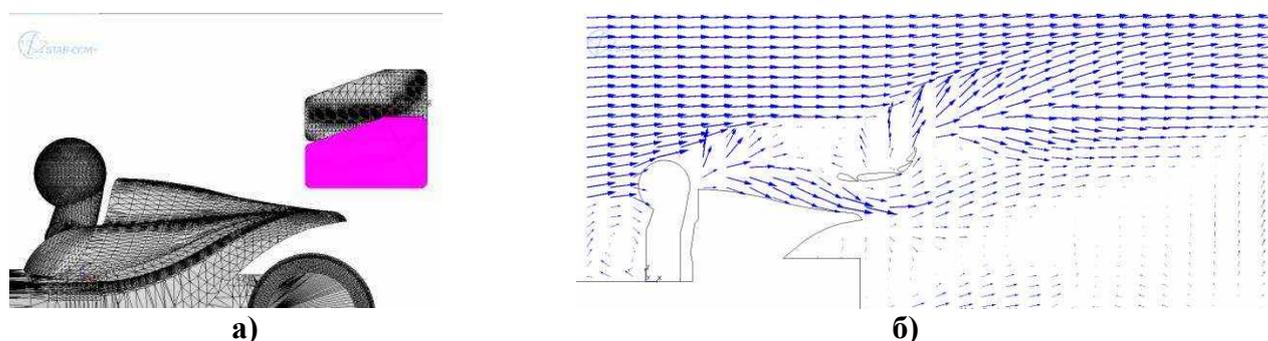
**Рис. 10. Результаты расчета модели варианта 7:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



**Рис. 11. Результаты расчета модели варианта 8:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



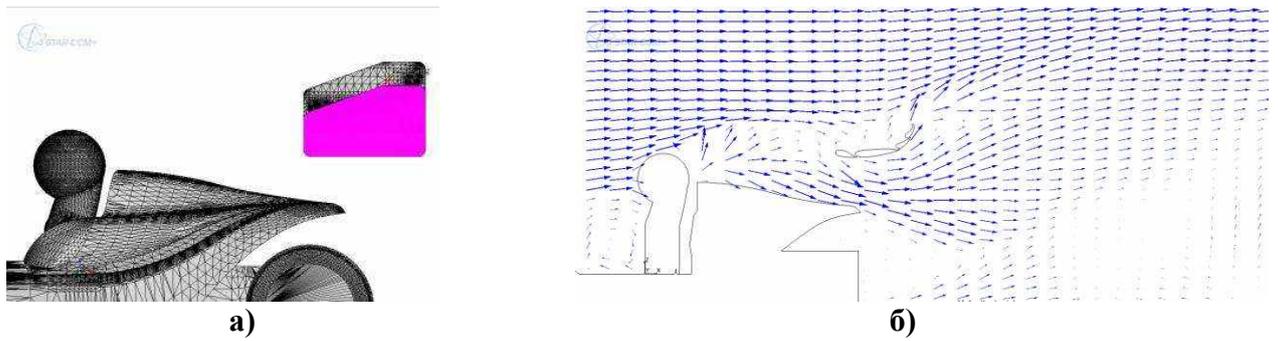
**Рис. 12. Результаты расчета модели варианта 9:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля

Модель 10 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,015 м вниз (рис. 13). В данном положении антикрыло находится в более выгодном положении, чем на модели варианта 9, при этом наблюдается уменьшение коэффициента аэродинамического сопротивления и прижимной силы.

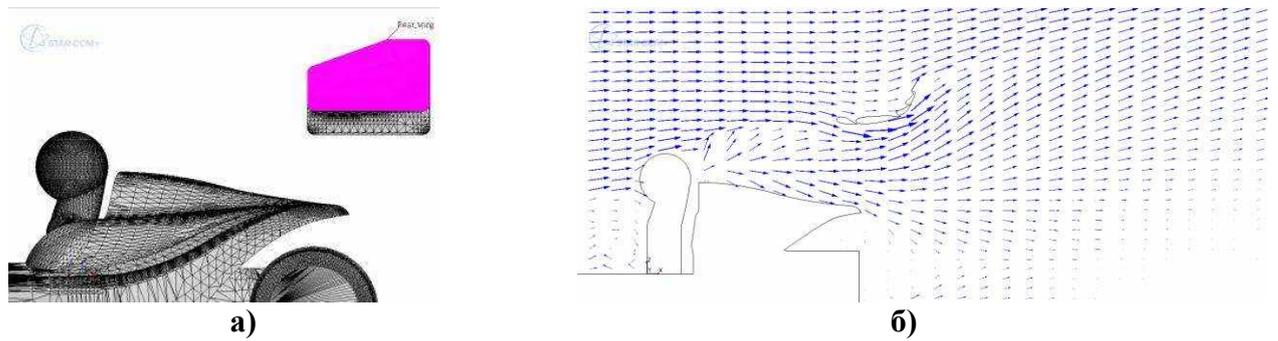
Модель 11 – автомобиль с установленными антикрыльями, заднее антикрыло смещено на 0,015 м вверх (рис. 14). При повышении антикрыла, из-за наименьшего влияния спутного следа от шлема пилота, увеличивается прижимная сила. По сравнению с моделью варианта 2 уменьшается коэффициент аэродинамического сопротивления.

Приведенные результаты расчетных исследований позволяют сделать вывод о том, что изменение положения антикрыльев существенно влияет на аэродинамические характеристики автомобиля (диаграмма рис. 15).



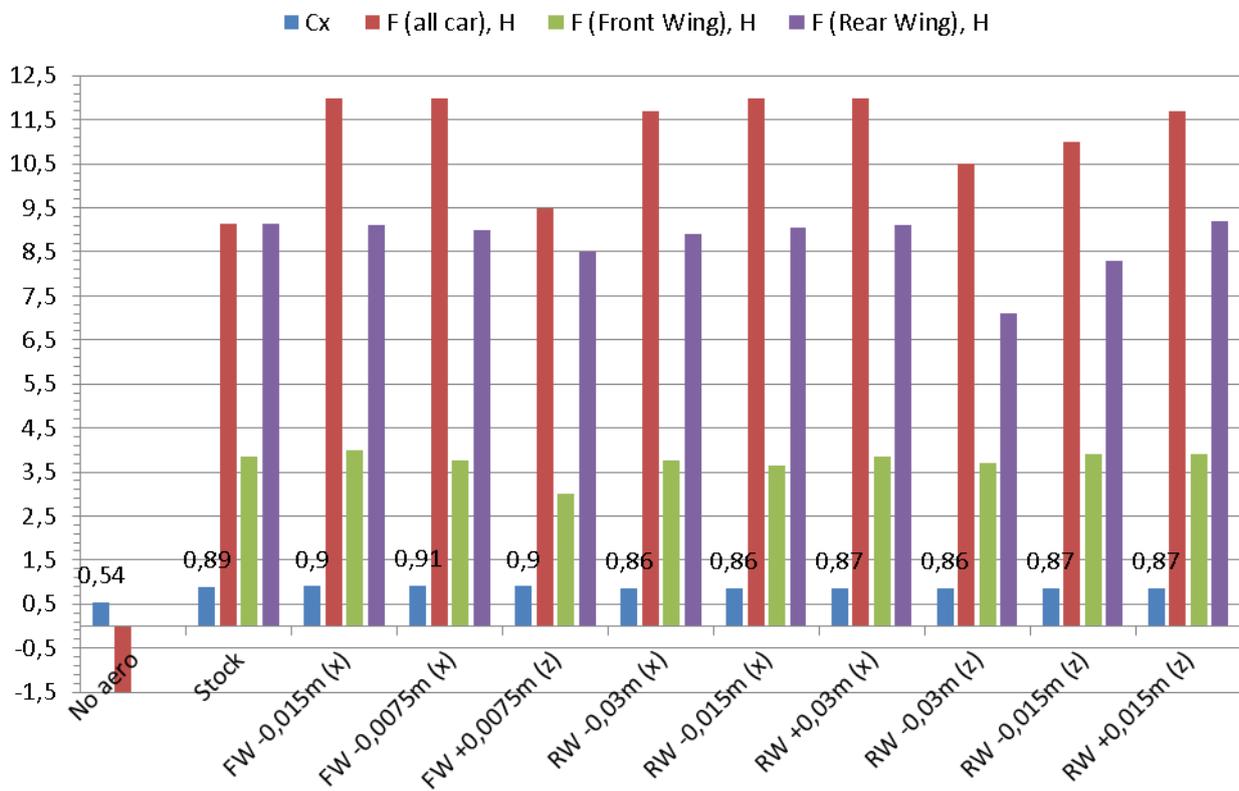
**Рис. 13. Результаты расчета модели варианта 10:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



**Рис. 14. Результаты расчета модели варианта 11:**

*a* – смещение антикрыла относительно его начального положения;  
*б* – сцена распределения скорости воздушного потока в плоскости симметрии автомобиля



**Рис. 15. Сравнение аэродинамических характеристик автомобиля в зависимости от положения аэродинамических элементов**

Из всех рассмотренных вариантов моделей можно рекомендовать следующие:

- с наименьшим коэффициентом аэродинамического сопротивления: модели вариантов 6, 7 и 9;
- с наибольшей прижимной силой всего автомобиля: модели вариантов 3, 4, 7 и 8;
- с наибольшей прижимной силой, создаваемой передним антикрылом: модели вариантов 2, 3, 8, 10 и 11;
- с наибольшей прижимной силой, создаваемой задним антикрылом: модели вариантов 2, 3, 8 и 11;

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что модели вариантов 2, 6, 8 и 11 обладают наилучшими аэродинамическими характеристиками.

### Библиографический список

1. **Анучин, И.Е.** Исследования аэродинамических свойств масштабной модели спортивного автомобиля класса Formula Student / И.Е. Анучин [и др.] // Будущее технической науки: тез. докл. XIII междунар. молодеж. научно-техн. конф. / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород. 2014.
2. Регламент Formula SAE [электронный ресурс] URL: <http://www.fsaeonline.com/content/2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf> (дата обращения 27.08.2014)
3. SAE FHR 2010 Project Car [электронный ресурс] URL: <https://grabcad.com/library/sae-fhr-2010-project-car> (дата обращения 27.08.2014)
4. **Анучин, И.Е.** Исследование аэродинамических свойств спортивного автомобиля класса “Формула - студент” по результатам расчетно-экспериментальных исследований: докл. на конференции Star Russian Conference по теме. – Н.Новгород, 2014. [электронный ресурс] URL: [http://download.star-russian-conference.ru/star2014/SRC2014\\_NNTU\\_Anuchin.pdf](http://download.star-russian-conference.ru/star2014/SRC2014_NNTU_Anuchin.pdf) (дата обращения 27.08.2014)
5. **Михайловский, Е.Г.** Аэродинамика автомобиля / Е.Г. Михайловский. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.

*Дата поступления  
в редакцию 30.09.2014*

**I.E. Anuchin, A.V. Tumasov, V.V. Belyakov**

## **EFFECTS OF WING LOCATION ON THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SPORTS CAR OF FORMULA-STUDENT CLASS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The assessment of the impact of splashes location on the aerodynamic characteristics of a sports car of Formula-Student class.

**Design/methodology/approach:** The simulation is based on the computational fluid dynamic using modern package CD-adapco Star CCM + which allows to take into account the shape of the vehicle, the air flow rate, occupancy splashes.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of controllability, speed and tractive characteristics of Formula-Student sport car on the basis of simulation results.

**Research limitations/implications:** Present study provides a starting-point for further research in the field of sport car active safety.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is original approach of computer simulation of Formula-Student sport car behavior that could have a good practical application.

*Key words:* wing, the drag coefficient, aerodynamic characteristics, downforce.

УДК 629.113

В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский

## ВЛИЯНИЕ МАКРОПРОФИЛЯ ДОРОГИ НА РАСХОД ТОПЛИВА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлена методика определения показателей топливной экономичности автомобилей на дорогах с переменным продольным профилем.

*Ключевые слова:* топливная экономичность автомобилей, макропрофиль дороги.

Методики определения показателей топливной экономичности автомобилей, содержащиеся в нормативных документах [1,2], предусматривают проведение дорожных испытаний на горизонтальных участках дорог. В действительных условиях эксплуатации автомобилей выполняют транспортную работу на дорогах с переменным продольным профилем, содержащим не только горизонтальные участки, но подъёмы и спуски различной протяжённости и крутизны.

Для оценки расхода топлива на дорогах с различными величинами коэффициентов сопротивления академик Чудаков Е.А. ввёл в теорию автомобиля понятие о топливной характеристике автомобиля [3], которую в современной научной литературе называют топливно-экономической характеристикой [4]. Топливо-экономическая характеристика установившегося движения автомобиля представляет зависимость путевого расхода  $Q_S$  от скорости установившегося движения ( $V=\text{const}$ ) на дорогах с различными коэффициентами сопротивления  $\psi$ .

Путевой расход топлива (л / 100 км) рассчитывают по формуле

$$Q_S = \frac{g_D(P_\psi + P_S)}{36\rho_t k_c \eta_{тр}}, \quad (1)$$

где  $g_D$  – удельный расход топлива двигателя, г/(кВт·ч);  $P_\psi$  и  $P_S$  – мощность сопротивления дороги и воздуха соответственно, кВт;  $V$  – скорость автомобиля, м/с;  $\rho_t$  – плотность топлива, кг/л;  $k_c$  – коэффициент коррекции стендовой характеристики двигателя;  $\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии.

Входящие в формулу (1) параметры рассчитывают по известным в теории автомобиля выражениям:

- удельный расход топлива двигателя (г/(кВт·ч)):

$$g_D = g_{ep} k_E k_H, \quad (2)$$

где  $g_{ep}$  – удельный эффективный расход топлива двигателя по внешней скоростной характеристике при максимальной мощности, г/(кВт·ч);  $k_E$  и  $k_H$  – коэффициенты, учитывающие степень использования угловой скорости (частоты вращения) вала и мощности двигателя соответственно.

Поправочные коэффициенты в формуле (2) рассчитаны по аналитическим зависимостям, предложенным Гришкевичем А.И. [5] и Песковым В.И. [6]:

$$k_E = 1.25 - 0.99E + 0.98E^2 - 0.24E^3; \quad (3)$$

$$k_H = 3,52 - 17,24H + 44,85H^2 - 55,28H^3 + 31,23H^4 - 6,08H^5, \quad (4)$$

где  $k_E$  и  $k_H$  – степень использования угловой скорости (частоты вращения) и мощности двигателя соответственно;

- мощности сопротивления дороги и воздуха (кВт):

$$P_{\psi} = \frac{\psi m_a g V}{1000}; \quad (5)$$

$$P_g = \frac{WV^3}{1000}; \quad (6)$$

где  $\psi$  – коэффициент сопротивления дороги;  $m_a$  – масса автомобиля, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $W$  – фактор обтекаемости, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $V$  – скорость автомобиля, м/с;  
- скорость автомобиля (м/с):

$$V = \frac{0.105 n_e r_k}{u_k u_0}, \quad (7)$$

где  $n_e$  – частота вращения вала двигателя, об/мин;  $r_k$  – радиус качения ведущих колёс, м;  $u_k$  и  $u_0$  – передаточные числа коробки передач и главной передачи соответственно.

Коэффициент сопротивления дороги в формуле (5)

$$\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha, \quad (8)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $\alpha$  – угол продольного уклона дороги, рад или град.

Угол определяют по принятому в дорожной технике продольному уклону  $i$

$$\alpha = \arctg i, \quad (9)$$

В теории автомобиля под макропрофилем дороги понимают неровности длиной 25 м и более. Такие неровности называют уклонами, которые состоят из подъёмов и спусков. Из формул (1),(5),(8) и (9) следует, что макропрофиль дороги оказывает влияние на путевой расход топлива.

Детальный анализ макропрофилей дорог общетранспортного назначения приведён в работе [7]. В данной статье были приняты наибольшие продольные уклоны дорог общего пользования, которые в зависимости от категории составляют, согласно требованиям СНиП 2.05.02 – 85 [8], от 3 до 7 %.

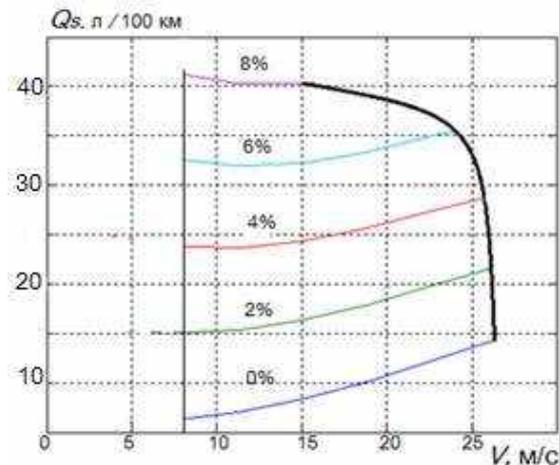
Расчёт топливно-экономической характеристики был выполнен для легкого коммерческого грузового автомобиля, который относится к транспортным средствам категории  $N_1$ , конструктивные параметры которого близки к параметрам автомобиля ГАЗель Next:

- полная масса  $m_a = 3500$  кг, в том числе: на переднюю ось 1250 кг, на заднюю ось 2250 кг;
- двигатель дизельный с турбонаддувом, максимальная мощность  $P_{e\max} = 90$  кВт при частоте вращения вала  $n_{ep} = 3200$  об/мин, максимальный крутящий момент  $T_{e\max} = 289$  Н·м при  $n_{eT} = 2400$  об/мин;
- коробка передач механическая пятиступенчатая с передаточными числами:
- $u_{кI} = 4,05$ ;  $u_{кII} = 2,34$ ;  $u_{кIII} = 1,395$ ;  $u_{кIV} = 1,00$ ;  $u_{кV} = 0,849$ ;
- главная передача одинарная гипoidная с передаточным числом  $u_0 = 4,556$ ;
- шины 185/75R16С, статический радиус колёс  $r_{ст} = 0,33$  м;
- коэффициент полезного действия трансмиссии  $\eta_{тп} = 0,93$ ;
- аэродинамические характеристики: коэффициент лобового сопротивления  $c_x = 0,6$ ; площадь миделя  $A_b = 3,6$  м<sup>2</sup>; фактор обтекаемости  $W = 1,32$  Н·с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

На основании статистических данных для дизельного двигателя удельный расход топлива при максимальной мощности  $g_{ep} = 200$  г/(кВт·ч), плотность дизельного топлива  $\rho_T = 0,82$  кг/л [4].

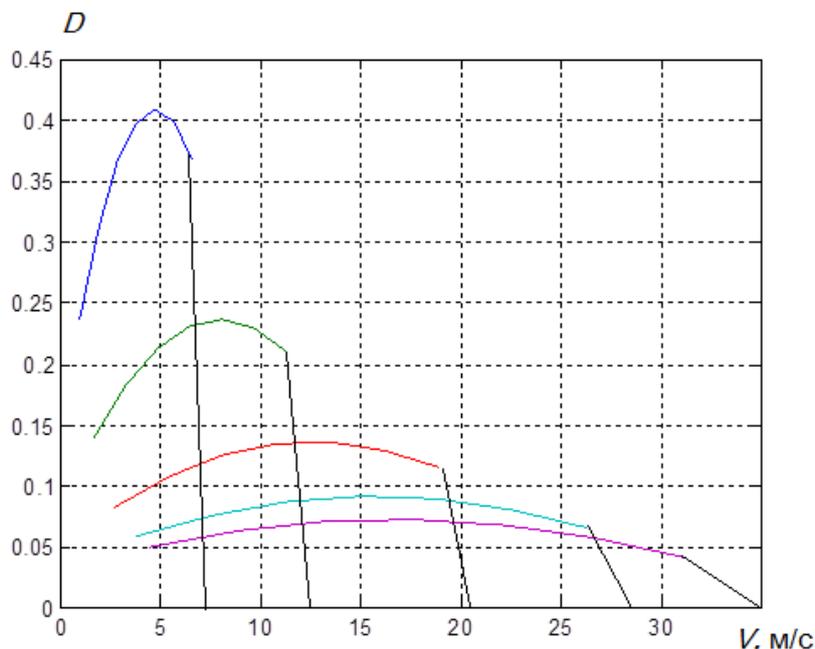
Характеристики дорог: коэффициент сопротивления качению  $f = 0,012$ , продольные уклоны  $i = \pm(0,03...0,07)$ .

График топливно-экономической характеристики автомобиля на IV (прямой) передаче приведён на рис. 1 Он позволяет выявить влияние величин продольных уклонов на путевой расход топлива.



**Рис. 1.** Топливо-экономическая характеристика исследуемого автомобиля на IV (прямой) передаче трансмиссии

Топливо-экономическая характеристика была использована для определения расхода топлива на заданном маршруте по методике, изложенной в работе [4]. Методика предусматривает использование динамической характеристики автомобиля и характеристики маршрута его движения. Динамическая характеристика, представляющая зависимость динамического фактора от скорости движения на всех передачах трансмиссии  $D=f(V)$ , была рассчитана и построена по формулам [4] и приведена на рис. 2.



**Рис. 2.** Динамическая характеристика исследуемого автомобиля

Характеристика маршрута движения представляет совокупность участков дороги, имеющих на всей длине  $S_i$  неизменный коэффициент сопротивления дороги  $\psi_i$ . Для исследуемого маршрута Нижний Новгород – Павлово его характеристика (рис. 3) построена путём обработки спутниковой информации по методике, изложенной в [7].

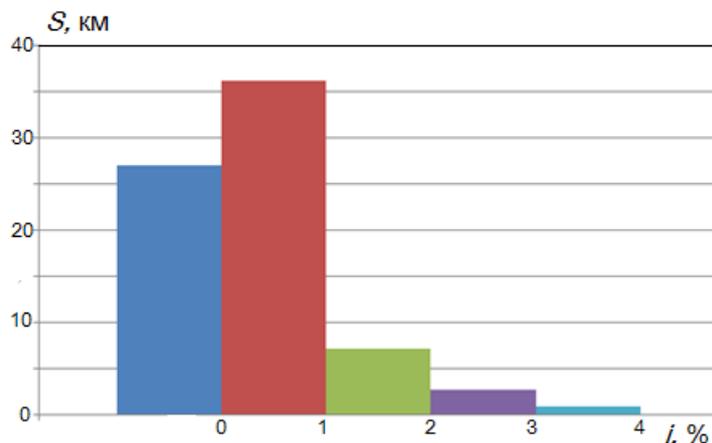


Рис. 3. Характеристика маршрута Нижний Новгород – Павлово

Графоаналитическое определение расхода топлива выполнено с использованием графика (рис. 4), на котором топливно-экономическая характеристика  $Q_s = f(V, \psi)$  расположена в правом нижнем квадранте, динамическая характеристика  $D = f(V)$  – в правом верхнем квадранте и характеристика маршрута  $\psi = f(S)$  – в верхнем левом квадранте. Расчёт выполнен при допущении о том, что на каждом участке дороги с постоянным коэффициентом сопротивления автомобиль движется с максимально возможной скоростью  $V_{\max i}$ .

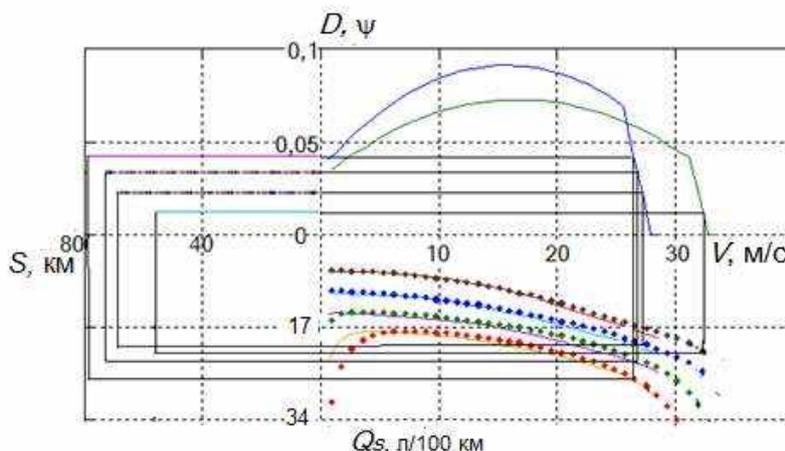


Рис. 4. Схема определения расхода топлива на маршруте Нижний Новгород – Павлово

При каждом заданном значении коэффициента сопротивления дороги  $\psi_i$  по графику динамической характеристики определяют максимальную скорость движения  $V_{\max i}$ , и при этой скорости по графику топливно-экономической характеристики вычисляют путевой расход топлива  $Q_{Si}$ . Площади в левом нижнем квадранте в соответствующем масштабе эквивалентны затратам топлива на каждом участке маршрута (л):

$$Q_i = \frac{Q_{Si} S_i}{100}, \quad (10)$$

где  $Q_{Si}$  – путевой расход топлива на  $i$ -м участке маршрута, л/100 км;  $S_i$  – протяжённость  $i$ -го участка маршрута, км.

Общий расход топлива на маршруте равен сумме расходов топлива на каждом участке маршрута:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_{Si}, \quad (11)$$

где  $n$  – количество участков маршрута.

Расчёты с использованием рис. 4 показали, что общий расход топлива на маршруте Нижний Новгород – Павлово протяжённостью 78 км составил 5,5 л. Расход топлива учитывался только при движении автомобиля на горизонтальных участках и на подъёмах.

#### Библиографический список

1. ГОСТ Р 54810 – 2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандартинформ, 2012.
2. **Кравец, В.Н.** Измерители эксплуатационных свойств автотранспортных средств: учеб. пособие / В. Н. Кравец; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 157 с.
3. **Чудаков, Е.А.** Избранные труды. Т. 1. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 464 с.
4. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учебник для вузов / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
5. **Гришкевич, А.И.** Автомобили: теория / А.И. Гришкевич. – Минск: Вышэйш. шк., 1986. – 208 с.
6. **Песков, В. И.** Совершенствование эксплуатационных качеств автомобиля / В.И. Песков, В.И. Сердюк, А.Е. Сердюк; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2009. – 135 с.
7. **Мусарский, Р.А.** Структурный и фрактальный анализ макропрофилей дорог // Автомобильная промышленность. 2014. №2. С. 21–23.
8. СНиП 2.05.02–85. Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги. – Введ. 1987–01–01. – М.: Госстрой СССР, 1986.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.N. Kravets, R.A. Musarsky**

#### **INFLUENCE MACRO PROFILE OF THE ROAD ON FUEL CONSUMPTION OF TRUCK**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article presents a method of determining the fuel economy of cars on the roads with a variable longitudinal profile.

*Key words:* fuel economy car, macro profile of the road.

## Секция 2. ПРОЧНОСТЬ И ПАССИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.113

М.Ю. Зеленов, Р.Н. Шабров, А.В. Тумасов, Л.Н. Орлов

### РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ, УСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ НА ГРУЗОВЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетных исследований прочности защитных устройств, устанавливаемых на грузовые автомобили для защиты от попадания под них автомобилей категории М1 и N1, а также при наезде на внешние препятствия.

*Ключевые слова:* заднее защитное устройство, боковое защитное устройство, моделирование, прочность, деформации, нагрузка.

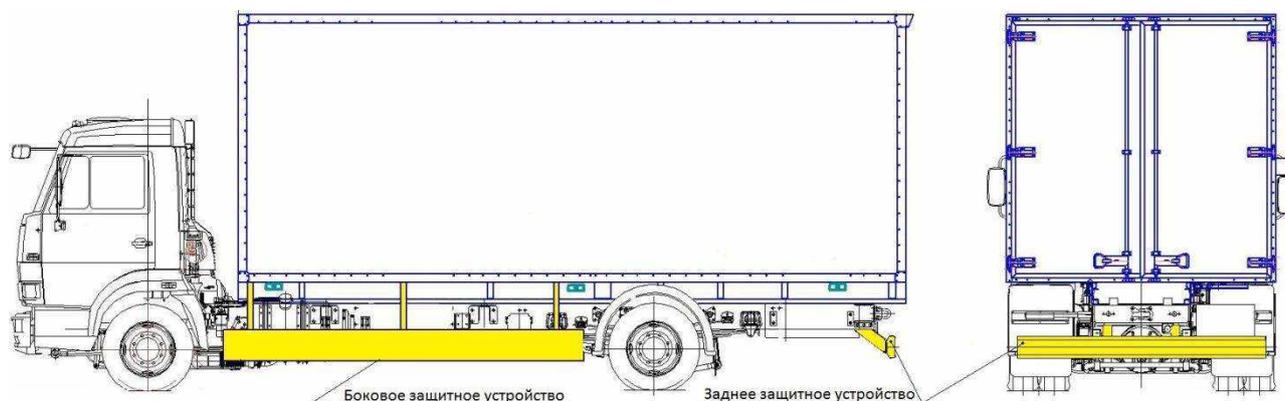
Повышение пассивной безопасности транспортных средств является актуальной и значимой проблемой в автомобилестроении. В настоящее время при проектировании отдельных силовых элементов и узлов пассивной безопасности должно вестись с учетом существующих требований. К таким элементам относятся защитные устройства. Их проектный расчет и выбор безопасной конструкции могут выполняться на основе применения компьютерного моделирования и проведения экспериментальных исследований. Все большее значение при выполнении работ, направленных на создание безопасной и надежной конструкции, приобретает компьютерное моделирование, так как это является экономически целесообразным по сравнению с проведением натурных экспериментов [1-4].

В данной работе представлены результаты моделирования условий нагружения бокового и заднего защитных устройств грузового автомобиля. В качестве программного комплекса для создания моделей выбран программный комплекс HyperMesh лицензионного пакета Altair Engineering's HyperWorks, обладающий значительным функционалом и имеющий широкий спектр возможностей. Для расчетов использовался программный комплекс LS-Dyna.

Объектами исследования являются заднее и боковое защитные устройства, установленные на грузовой автомобиль с полной массой 18 т. Информация о конструктивных особенностях, марки стали, чертежи исследуемых защитных устройств получены с предприятия изготовителя. Остальные параметры моделирования приняты по результатам аналитических расчетов, проведенных специалистами НГТУ. В настоящее время требования, предъявляемые к защитным устройствам грузовых автомобилей, регламентируются Правилами ЕЭК ООН №73 для боковых защитных устройств и Правилами ЕЭК ООН №58 для задних защитных устройств. Также необходимо отметить, что данными Правилами предусмотрено оценку прочности проводить по результатам расчетных исследований.

Схема расположения заднего и бокового защитных устройств на грузовом автомобиле показана на рис. 1. Моделирование нагружения защитных устройств можно разделить на четыре основных этапа:

1. Создание геометрической модели:
  - разработка 3-D модели защитных устройств;
  - создание нагружающей плиты и выбор мест приложения нагрузок согласно требованиям Правил ЕЭК ООН.
2. Создание сетки конечных элементов:
  - разбиение созданной геометрической модели на сетку конечных элементов;
  - задание характеристик материалов;
  - проработка сварочных, болтовых соединений конструкции.
3. Задание граничных условий и проведение расчета:
  - закрепление модели согласно креплению реальной конструкции на автомобиле;
  - имитация реальных режимов нагружения.
4. Анализ и обработка результатов моделирования.



**Рис. 1. Схема расположения защитных устройств на транспортном средстве**

В соответствии с требованиями Правилами ЕЭК ООН №73 и №58, защитные устройства должны обладать достаточной прочностью в отношении усилий, действующих параллельно продольной оси транспортного средства, а для заднего защитного устройства и поперечной оси для бокового защитного устройства. В соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 73, боковое защитное устройство (БЗУ) считается пригодным, если оно способно выдерживать горизонтальную статическую нагрузку в 1 кН, прилагаемую перпендикулярно к любой части их внешней поверхности, центральной плоской частью силового цилиндра круглого сечения диаметром  $220 \text{ мм} \pm 10 \text{ мм}$  (рис. 2, а). При этом прогиб устройства под нагрузкой, измеренный в центре силового цилиндра, не должен превышать:

- 30 мм на самом заднем участке устройства длиной 250 мм;
- 150 мм на остальной части устройства.

В соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №58-01, заднее защитное устройство (ЗЗУ) должно обладать достаточной прочностью в отношении усилий, действующих параллельно продольной оси транспортного средства. Во время и после действия усилий, регламентированных Правилами ЕЭК ООН №58-01 (прил. 5), расстояние по горизонтали между задней частью ЗЗУ и задней кромкой транспортного средства не превышает 400 мм в любой точке действия испытательных нагрузок. Нормативным документом предусматриваются следующие виды испытаний (рис. 2, б):

- горизонтальная нагрузка, равная 100 кН или 50% усилия, создаваемого максимальной массой транспортного средства (в зависимости от того, какая из этих величин меньше), прилагается последовательно в двух точках (рис. 2, б, зоны 1 и 2) расположенных симметрично относительно средней линии устройства на расстоянии не менее 700 мм и не более 1 м от нее;
- горизонтальная нагрузка, равная 50 кН, или 25% усилия, создаваемого максимальной

массой транспортного средства (в зависимости от того, какая из этих величин меньше), прилагается последовательно в двух точках, расположенных в  $300 \pm 25$  мм от продольных плоскостей (рис. 2, б, зоны 3 и 4), касательных к внешним кромкам колес задней оси, и в третьей точке, которая расположена в среднем вертикальном сечении транспортного средства на прямой линии, соединяющей первые две точки (рис. 2, б, зона 5).

На рис. 3 показаны типовые конечно-элементные модели защитных устройств грузового автомобиля.

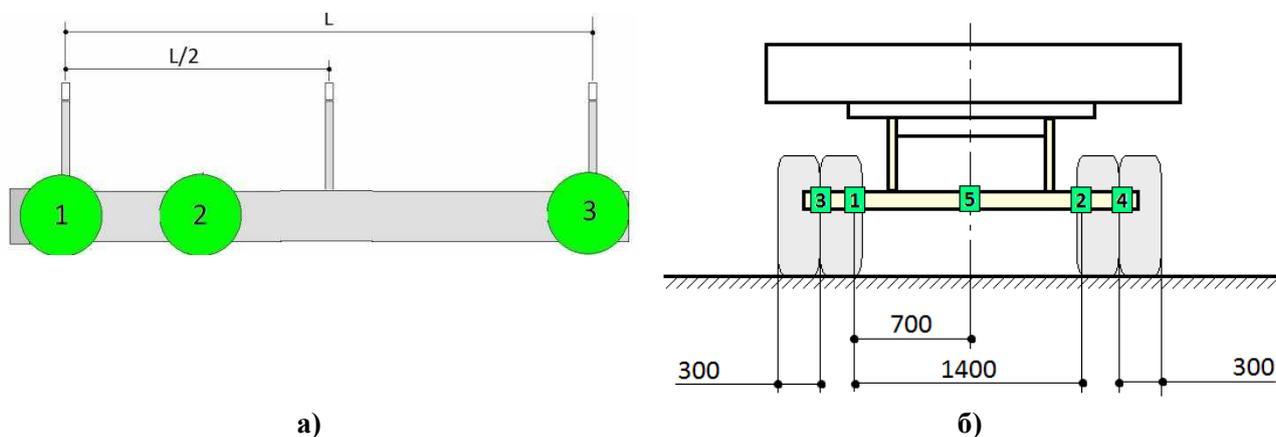


Рис. 2. Зоны приложения регламентированных нагрузок:  
а – к боковому защитному устройству;  
б – к заднему защитному устройству

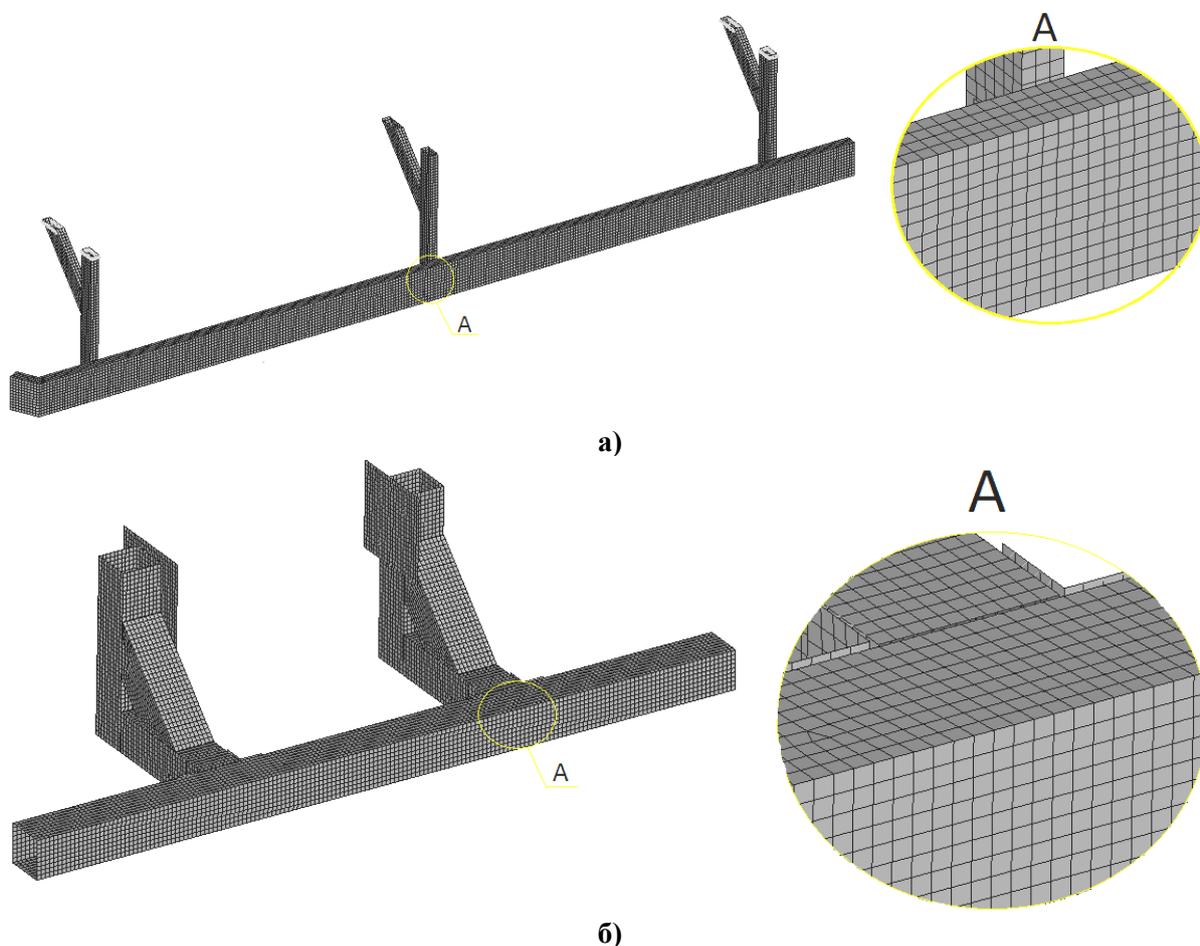


Рис. 3. Конечно-элементные модели защитных устройств:  
а – боковое защитное устройство; б – заднее защитное устройство

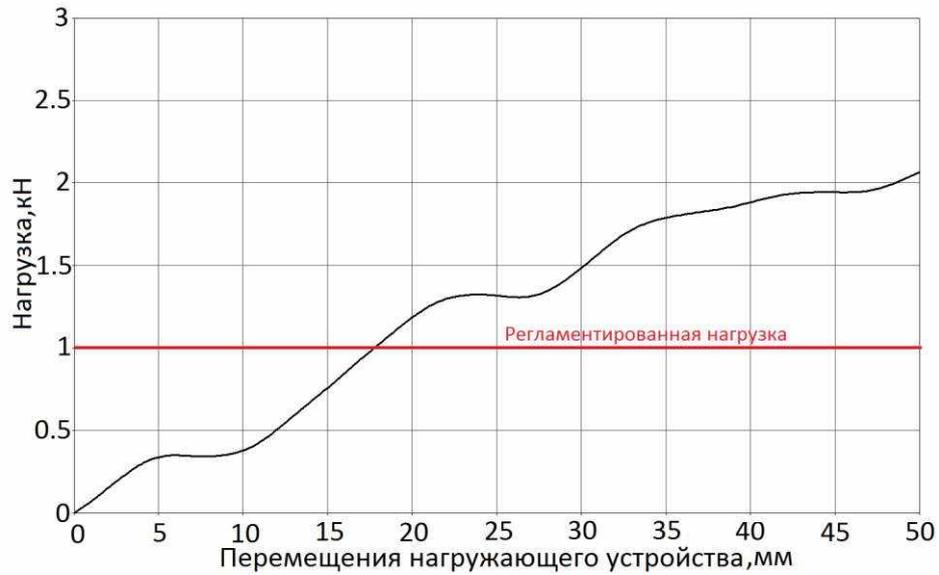


Рис. 4. График зависимости прикладываемой нагрузки и деформаций БЗУ в условиях нагружения зоны №2 (рис. 2, а)

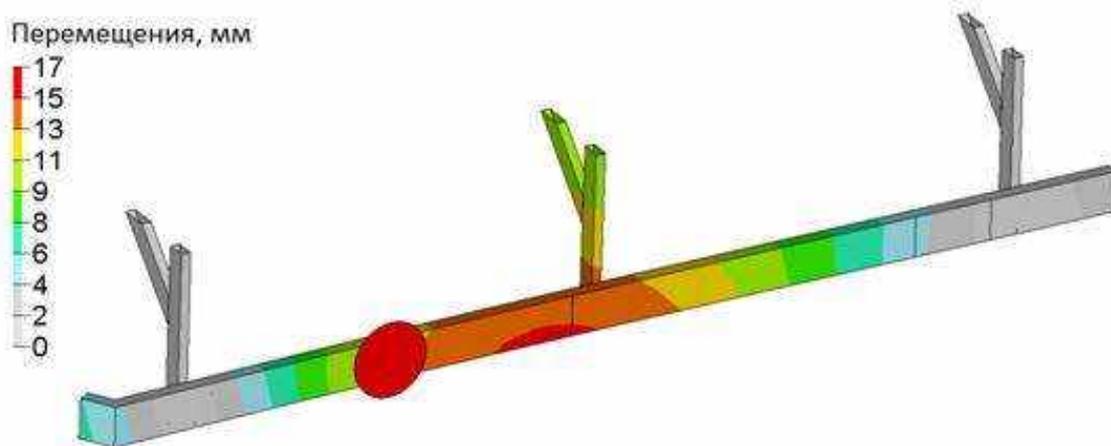


Рис. 5. Деформированный вид БЗУ в условиях нагружения зоны №2 (рис. 2, а)



Рис. 6. График зависимости прикладываемой нагрузки и деформаций ЗЗУ в условиях нагружения зоны №2 (рис. 2, б)

На рис. 4 и рис. 5, для примера, показаны графики зависимости деформаций конструкции БЗУ от усилия на нагружающей плите и деформированный вид БЗУ в результате воздействия на него нагружающим устройством с регламентированной нагрузкой.

На рис. 6 и рис. 7, для примера, показаны графики зависимости деформаций конструкции ЗЗУ от усилия на нагружающей плите и соответствующий деформированный вид ЗЗУ.

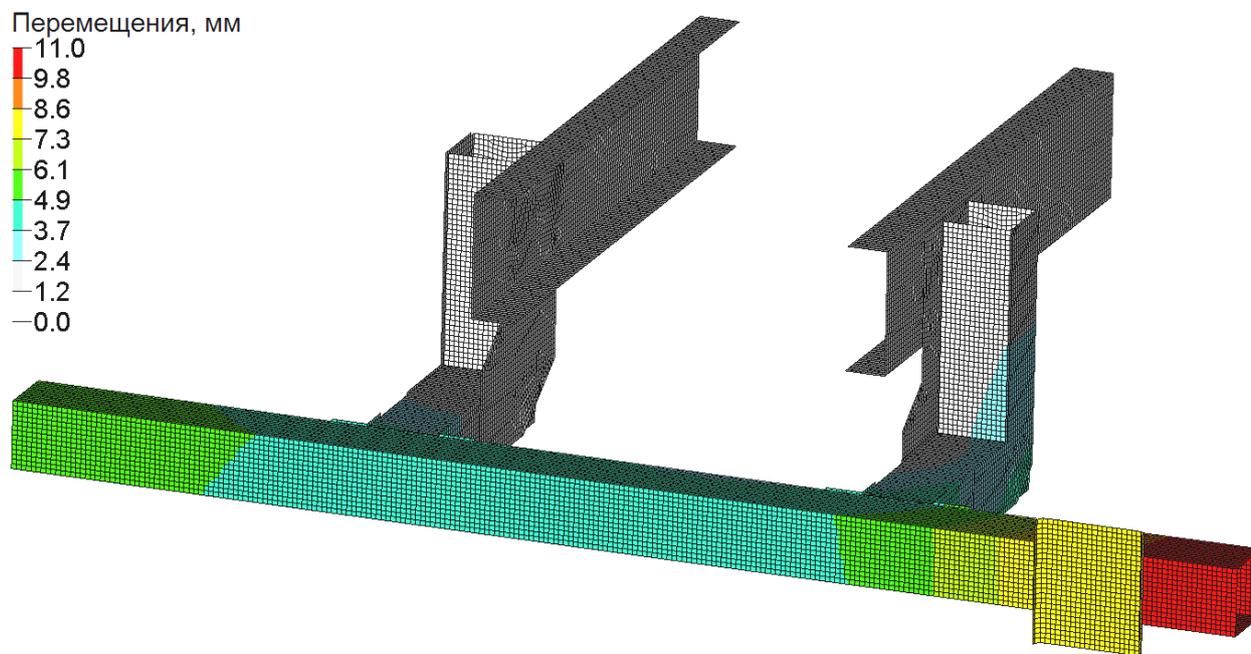


Рис. 7. Деформированный вид ЗЗУ в условиях нагружения зоны №2 (рис. 2, б)

Полученные результаты расчета позволяют оценить соответствие конструкций защитных устройств требованиям Правил ЕЭК ООН. По результатам моделирования можно выделить области, в которых возникают максимальные напряжения, оценить самые слабые места в конструкции. В совокупности полученные результаты могут представлять большой практический интерес для инженеров, занимающихся проектированием защитных устройств для грузовых автомобилей.

#### Библиографический список

1. **Erk, O.** Heavy Duty Truck Rear Underrun Protection Design For Regulative Load Cases / O. Erk, H.A. Solak, B. Balta // Otomotiv Teknolojileri Kongresi 2014, 26 – 27 May, BURSA (<http://www.otekon.org/bildiriler/B2.pdf>)
2. **Joseph, G.** Design and Optimization of the Rear Under-Run Protection Device Using LS-DYNA / G. Joseph, D. Shinde, G. Patil // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). 2013. V. 3, Issue 4. Jul-Aug, P. 152–162. ([http://www.ijera.com/papers/Vol3\\_issue4/Z34152162.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol3_issue4/Z34152162.pdf))
3. **Joshi, K.** Finite Element Analysis of Rear Under-Run Protection Device (RUPD) for Impact Loading / K. Joshi, T.A. Jadhav, A. Joshi // International Journal of Engineering Research and Development. 2012. V 1. Issue 7. P. 19–26 (<http://www.ijerd.com/paper/vol1-issue7/E0171926.pdf>)
4. **Khore, A.K.** Impact Crashworthiness of Rear under Run Protection Device In Heavy Vehicle Using Finite Element Analysis / A.K. Khore, T. Jain, K. Tripathi // International Journal of Innovative Re-

search and Development. 2013. V. 2. Is. 13 (December). P. 332–338.  
(<http://www.ijird.com/index.php/ijird/article/viewFile/44511/35988>)

*Дата поступления  
в редакцию 30.09.2014*

**M.Y Zelenov, R.N Shabrov, A.V. Tumasov, L.N. Orlov**

## **CALCULATIVE ESTIMATION OF ROBUSTNESS OF PROTECTING DEVICES MOUNTED ON TRUCKS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Estimating of robustness of side and rear protecting devices according to ECE Rules, designing computer models of protecting devices, creating load conditions, calculating and analyzing results.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based on finite elements method with using of LS-Dyna software that allows taking into account main structures design parameters.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of passive safety characteristics of trucks on the basis of simulation results.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the field of trucks passive safety and estimation of robustness of side and rear protecting devices.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is original approach of computer simulation of side and rear protecting devices behavior under different loading conditions.

*Key words:* rear underrun protection device, side underrun protection device, simulation, robustness, deformations, loads.

УДК 629.113

С.А. Багичев, Е.В. Кочанов, А.В. Шатилов, А.С. Вашурин, Ю.П. Трусов

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КАРКАСА СИДЕНЬЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований характерных конструкций каркасов сидений. Численное исследование каркасов выполнено методом конечных элементов в статической и динамической нелинейной постановке.

*Ключевые слова:* сидение, каркас, моделирование, пассивная безопасность.

Пассивная безопасность автотранспортных средств является актуальной проблемой на сегодняшний день [1-4]. Одним из вопросов повышения пассивной безопасности является разработка прочных каркасов пассажирских сидений. Для автомобильных заводов все большее значение приобретает имитационное моделирование. Разработка на ЭВМ каркаса сидения и имитация нагрузочной системы с целью выявления наиболее слабых мест конструкции с точки зрения восприятия возможных эксплуатационных нагрузок.

В данной работе представлены результаты моделирования каркасов сидений на соответствие требованиям Правил ЕЭК ООН №14, 80 (ГОСТ Р 41.80-99, 41.14-2003) и верификация модели по результатам экспериментов.

Рассмотрим требования Правил ЕЭК ООН. По требованиям Правил №80 нагружение сиденья должно быть выполнено сзади, что схематично представлено на рис. 1, а. Испытательная нагрузка прикладывается при помощи цилиндрических поверхностей (нагрузочные батоны) к спинке в верхних и нижних местах. Усилия действуют в средней вертикальной плоскости, оно должно быть горизонтальным и соответствовать направлению от задней к передней части сиденья. Нагружающие цилиндры должны иметь возможность поворачиваться в горизонтальной плоскости. Заданное усилие конструкция должна выдерживать в течение 0,2 с. По требованиям Правил № 14 нагружение сидений должно быть выполнено спереди согласно схеме, представленной на рис. 1, б. При испытании на прочность приспособлений для крепления ремней безопасности к ним прикладывают растягивающие усилия через специальные натяжные устройства заданной формы, которые они должны выдержать в течение 0,2 с. Тянущее усилие должно действовать в направлении, соответствующем сидячему положению, под углом  $10^\circ \pm 5^\circ$  выше горизонтали.

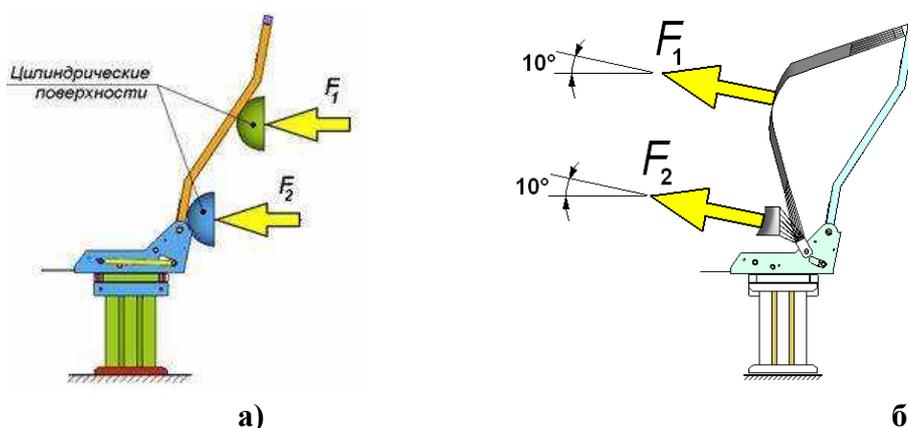


Рис. 1. Схемы нагружений сиденья в соответствии с требованиями Правил №80 (а), Правил №14 (б)

В качестве объектов исследования, согласно требований Правил ЕЭК ООН, были выбраны характерные конструкции каркасов сидений, показанные на рис. 3.

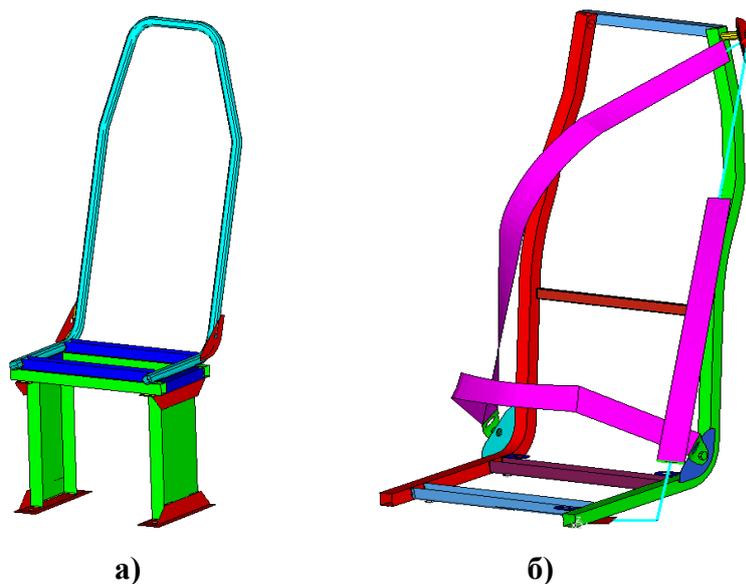


Рис. 2. Характерные конструкции каркасов сидений

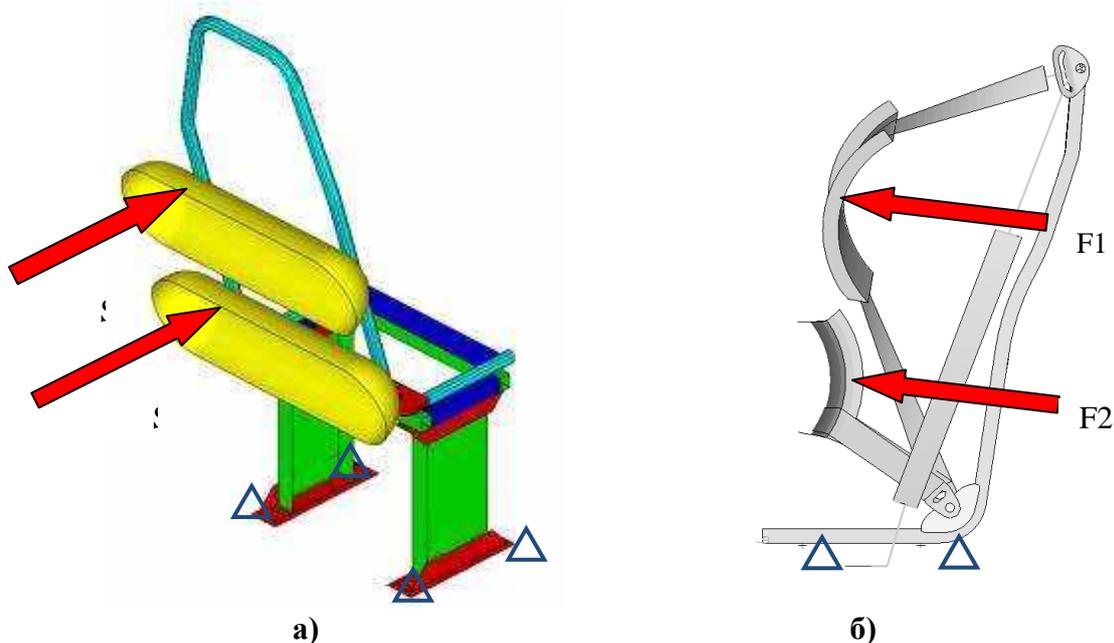


Рис. 3. Модель закрепления и нагружения сиденья для расчета:  
*a* – основная труба каркаса цельная; *б* – основная труба каркаса наборная

Расчет представленных моделей проводился в нелинейной статической и динамической постановках. Для расчета модели по Правилам №80 (нагружение сзади) был проведен статический нелинейный расчет, а для расчета по требованиям Правил №14 – динамический. Нагружение моделей проводилось так, как показано на рис. 3. При этом условия нагружения и закрепления выбирались исходя из требований соответствующих Правил ЕЭК ООН. На рис. 3, *a* показана модель нагружения сиденья по правилам ЕЭК ООН №80. Закрепление модели осуществлялось в местах расположения отверстий для крепления.  $S_1$ ,  $S_2$  – перемещение блоков. На рис. 3, *б* показана модель нагружения сиденья по правилам ЕЭК ООН №14. Закрепление модели осуществлялось в месте расположения отверстий для крепления.

$F1$ ,  $F2$  – силы, приложенные к блокам. Перемещения (силы) нагружающих элементов задавались по графику рис. 4.

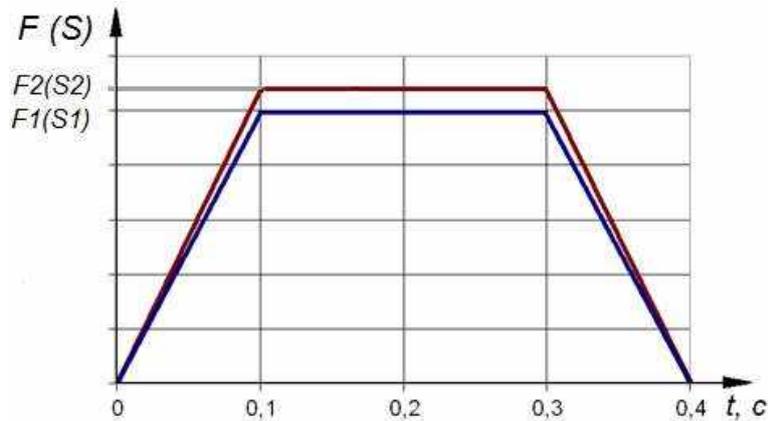


Рис. 4. График задания силы (перемещений)

В качестве результатов расчетов может быть получена картина распределения эквивалентных напряжений по критерию Мизеса. На рис. 5 показано исходное состояние конструкции (прозрачное) и деформированное при приложении полной нагрузки, с распределением эквивалентных напряжений по силовым элементам.

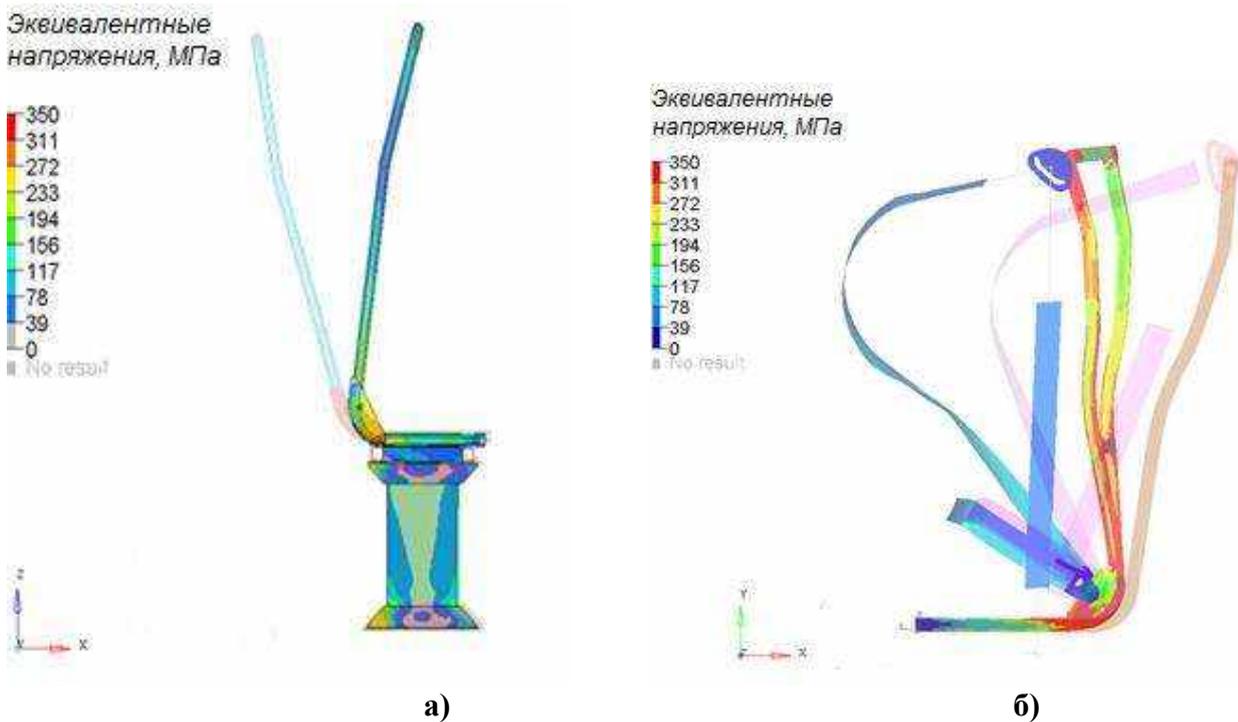
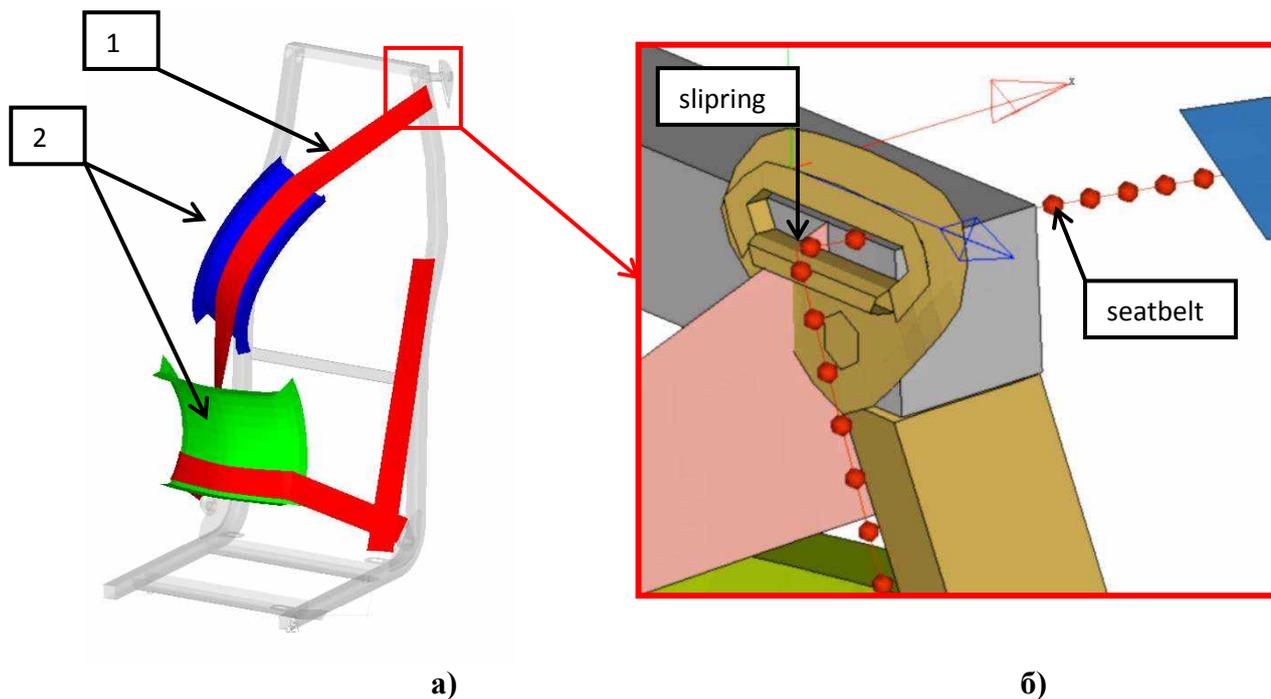


Рис. 5. Максимальные эквивалентные напряжения модели при нагружении модели сзади (а) и спереди (б)

Чтобы тянущее усилие передавалось от блоков к ремню безопасности детали каркаса сидения должны иметь возможность контактировать между собой. Коэффициент трения  $f$  задан равным 0,15. В задаче использован тип контактного взаимодействия: поверхность с поверхностью. На рис. 6, а приведен пример контактирующих поверхностей.

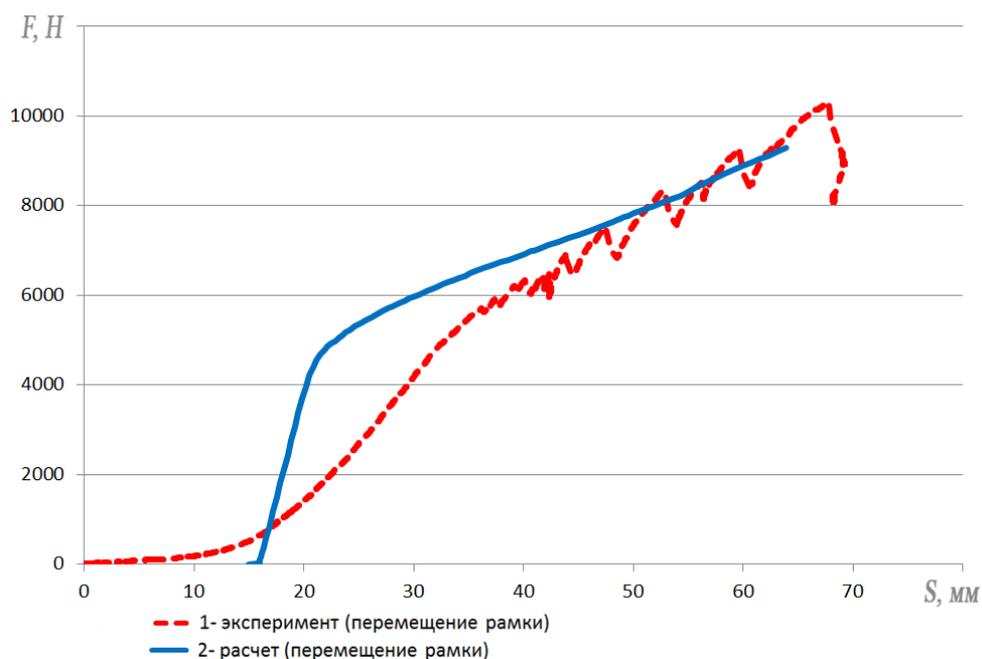
При моделировании ремня безопасности были применены элементы: seatbelt, slipring. На рис. 6, б приведен фрагмент ремня с указанными типами элементов. Элемент slipring используется для имитации проскальзывания ремня безопасности через отверстие в

креплении. Материал ремня безопасности - ткань. Для этого были заданы физические свойства материала, описывающие ткань ( $E=2000$  МПа,  $\rho=1,000e-09$  т/мм<sup>3</sup>).



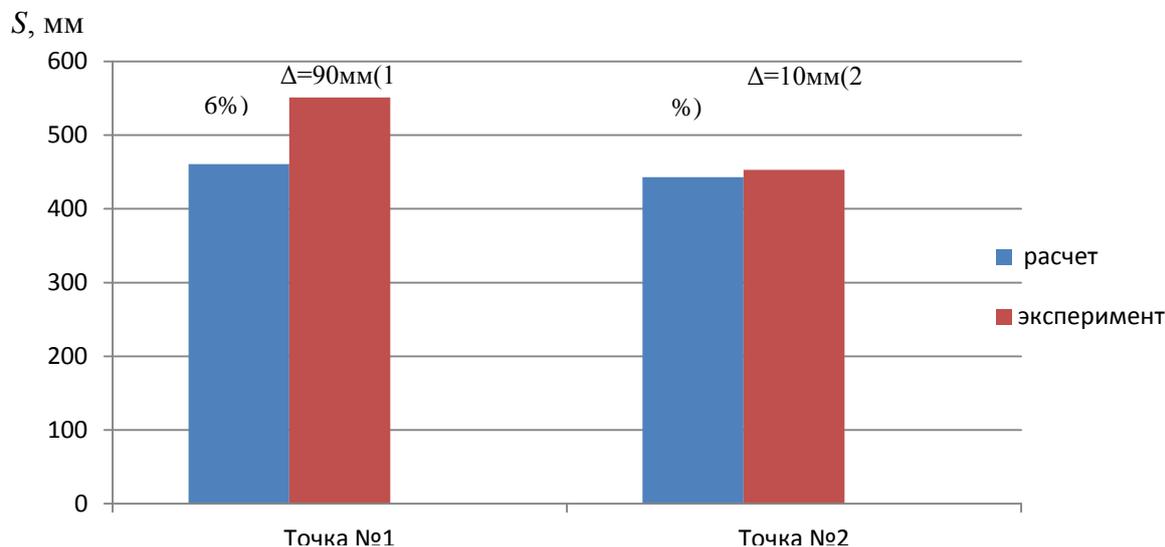
**Рис. 6. Контактные поверхности и фрагмент модели:**  
1 (ремень) - ведомые поверхности; 2 (блоки) - ведущие поверхности

Параллельно расчетам проводятся экспериментальные исследования с использованием современного испытательного оборудования Центра коллективного пользования «Транспортные системы». Для возможности оценки сидений по требованиям безопасности было проведено сравнение данных, полученных в ходе эксперимента и расчета в виде графиков и диаграммы, представленных на рис. 7 и рис. 8.



**Рис. 7. Зависимости усилия на рамке (системы нагрузочных батонов) от ее перемещения для эксперимента (1) и расчета (2)**

На рис. 8 показана зависимость усилия, приложенного к нагружающим батонам от их перемещения. На рис. 9 дано сравнение перемещений контрольных точек, полученных при натуральных испытаниях и при расчете в виде гистограммы. В точке 1 разница между данными расчета и эксперимента составляет 16%, в точке 2 - 2%.



**Рис. 8. Сравнение перемещений контрольных точек:**  
1 - правый верхний угол; 2 - левый верхний угол

Малое расхождение результатов расчетов и экспериментов дает возможность правильно представить процесс нагружения сидения в модели. Это позволяет использовать подход для создания моделей сидений для различных типов транспортных средств. По результатам моделирования можно выделить параметры (толщина сечения основной трубы каркаса сидения, физические параметры материалов, способ изготовления основной трубы каркаса и т.д.), которые влияют на безопасность каркаса сидения. Полученные результаты исследования могут представлять определенный интерес у инженеров-конструкторов, занимающихся разработкой конструкций каркасов сидений.

#### Библиографический список

1. Солопов, Д.Ю. Разработка конечно-элементных моделей автомобильных кресел с пассивными подголовниками, отвечающих требованиям пассивной безопасности / Д.Ю. Солопов, В.Н. Зузов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 4. <http://technomag.bmstu.ru/doc/706991.html> (дата обращения 27.08. 2014), DOI: 10.7463/0414.0706991.
2. Louis Molino Determination of Moment-Deflection Characteristics of Automobile Seat Backs/ Louis Molino// National Highway Traffic Safety Administration November 25, 1998. <http://www.nhtsa.gov/cars/rules/crashworthy/Seats/deflrep1/deflrep1.html> (дата обращения 28.08.2014).
3. Singh, R. Designing of High Comfort, Reliable and Economical Driver Car Seat / R. Singh, S.L. Ahirwar, S. K. Tiwari// International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2013. [http://www.ijetae.com/files/Volume3Issue10/IJETAE\\_1013\\_22.pdf](http://www.ijetae.com/files/Volume3Issue10/IJETAE_1013_22.pdf) (дата обращения 28.08.2014).

4. Lightweight seat concept Development of 'Future Steel Vehicle' seat frame.  
[http://www.tatasteelautomotive.com/file\\_source/StaticFiles/Automotive/new-2013/White%20papers/TS\\_WhitePapers\\_Stage%205\\_EN.pdf](http://www.tatasteelautomotive.com/file_source/StaticFiles/Automotive/new-2013/White%20papers/TS_WhitePapers_Stage%205_EN.pdf) -

*Дата поступления  
в редакцию 30.09.2014*

**S.A. Bagichev, E.V. Kochanov, A.V. Shatilov, A.S. Vashurin, U.P. Trusov**

**COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL STUDY  
OF STRENGTH OF A SEAT FRAME**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** of the study is the strength of the passenger seats in accordance with the requirements of ECE Regulations No. 14, 80 (GOST R 41.80-99, 41.14-2003) and the verification of the model by experimental results.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based on static and dynamic analysis method with using of Finite Elemental Method that allows taking into account main seat parameters and behavior.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of passive safety characteristics of seats on the basis of simulation results that shows high convergence with experimental data.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the field of passive safety and estimation of seats and theirs components.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is original approach of computer simulation of seat behavior that could have a good practical application.

*Key words:* seat, frame, simulation, passive safety.

УДК 629.113

А.С. Вашурин, А.С. Волков, Д.И. Сизоненко, Л.Н. Орлов

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КУЗОВОВ ВАХТОВЫХ АВТОБУСОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ МНОГОСЛОЙНЫХ СЕНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетно-экспериментальной оценки пассивной безопасности кузова вахтового автобуса, выполненного из многослойных панелей. Экспериментальные исследования выполнены в лаборатории Института транспортных систем с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Транспортные системы». Компьютерное моделирование конструкции и условий ударного нагружения выполнено в программных комплексах AltairHyperWorks (HyperMesh, HyperView) и LS Dyna.

*Ключевые слова:* вахтовый автобус, сэндвич-панели, моделирование, безопасность, опрокидывание.

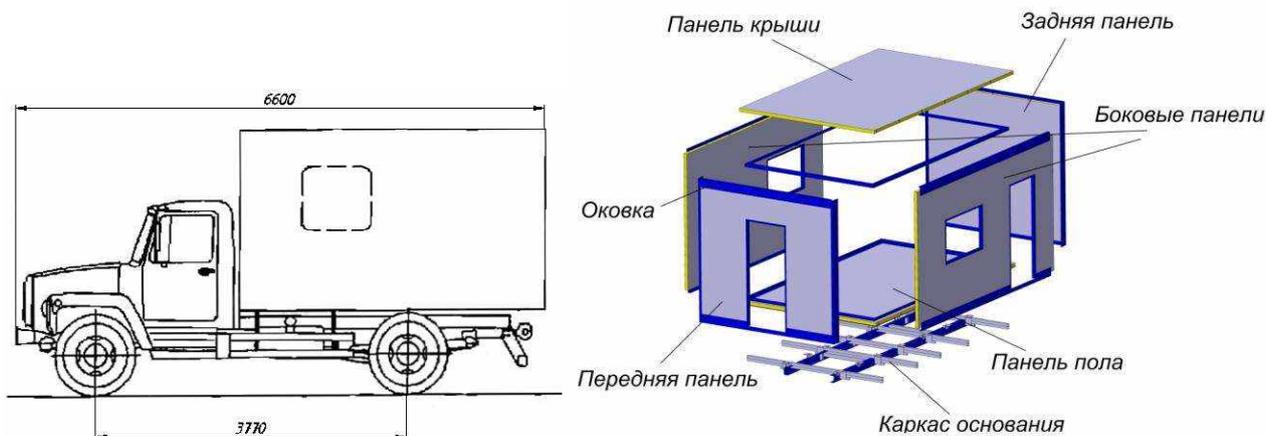
Повышение пассивной безопасности автобусов является одной из важных задач при разработке новых конструкций или модернизации существующих. Пассивная безопасность автобуса в основном определяется конструкцией кузова, который должен обеспечивать сохранение остаточного жизненного пространства внутри салона. Известно, что оценка безопасности автобуса может проводиться как по результатам натурных экспериментальных исследований (опрокидывание с уступа), так и результатам компьютерного моделирования соответствующих условий аварийного нагружения [1, 2]. Среди существующих конструкций автобусов отдельную группу составляют вахтовые автобусы, состоящие из многослойных панелей и предназначенные к эксплуатации в различных природно-климатических условиях (в том числе в труднодоступных районах с высокими и низкими температурами) [3–6].

Известно, что оценку пассивной безопасности можно проводить экспериментальным путем, испытывая реальную конструкцию автобуса. Однако в случае неудовлетворительного результата возникнет необходимость в изменении конструкции и повторном испытании, что приведет к дополнительным временным и материальным затратам. С этой точки зрения целесообразным является использование современных методов расчета, позволяющих на начальных этапах проектирования выбрать рациональную силовую схему конструкции, определить геометрические характеристики сечений силовых элементов и дать предварительную оценку пассивной безопасности конструкции. Использование подробных расчетных моделей и алгоритмов нелинейного расчета (с учетом упругопластической характеристики материала) позволяет спрогнозировать прочностные свойства конструкции, а также доработать ее по результатам расчетов. В результате имеется возможность сокращения количества экспериментальных работ за счет увеличения объема расчетных исследований. В некоторых случаях компьютерное моделирование позволяет полностью отказаться от проведения экспериментальных исследований и оценивать конструкции только по результатам расчетов. Эффективность такого подхода подтверждается успешной практикой ведущих инженеринговых и проектных центров, осуществляющих исследовательские и конструкторские работы для предприятий автомобильной отрасли.

В данной работе представлены результаты оценки пассивной безопасности вахтового автобуса, выполненного из многослойных панелей, при опрокидывании в соответствии с правилами ЕЭК ООН №66.

Объектом исследования являлся вахтовый автобус на базе шасси ГАЗ-33081. Реальная модель кузова автобуса для проведения эксперимента и информация о конструктивных особенностях была получена от производителя. Остальные параметры автобуса приняты по ре-

зультатам аналитических расчетов, проведенных специалистами НГТУ. На рис. 1 показана конструкция кузова исследуемого транспортного средства, состоящая из стального каркаса, основания и многослойных сэндвич-панелей, из которых выполнены боковины, крыша, пол, а также передняя и задняя стенки.



**Рис. 1. Схема автобуса специального на базе шасси ГАЗ-33081 и его кузова**

Расчетно-экспериментальную оценку пассивной безопасности кузова вахтового автобуса можно разделить на три основных этапа:

- 1) моделирование виртуальных испытаний;
- 2) экспериментальная оценка пассивной безопасности автобуса;
- 3) сравнительный анализ результатов. Выводы и рекомендации.

В рассматриваемой конструкции используются трехслойные сэндвич-панели, состоящие из внешней обшивки (стального листа толщиной 0,5 мм), внутренней обшивки (стального листа толщиной 0,5 мм) и заполнителя (армированный пенополистирол толщиной 50 мм). Все панели имеют деревянный каркас, выполненный из брусков с прямоугольным поперечным сечением 50х9 мм.

Каркас основания представляет собой сварную ферму из гнутых открытых профилей, изготовленных из листов различной толщины (от 1,5 до 7 мм). В рассматриваемых конструкциях используется несколько соединительных технологий:

- соединение с помощью отрывных заклепок, при этом соединение происходит через отбортовки алюминиевых листов панелей;
- соединение панелей со стальными уголками, расположенными внутри кузова, с помощью отрывных заклепок;
- соединение панелей с уголками, расположенными снаружи кузова, с помощью отрывных заклепок;
- болтовое и сварное (для связи металлических элементов) соединения.

Согласно требованиям нормативных документов Правил ЕЭК ООН №66, которые регламентируют прочность силовой структуры пассажирских одноэтажных транспортных средств (ТС), под силовой структурой подразумеваются несущие элементы ТС, которые обеспечивают сохранение остаточного жизненного пространства пассажирского салона ТС в случае его опрокидывания.

Испытание на опрокидывание проводят на комплектном ТС, соответствующем серийному ТС по массе, центру тяжести и распределению массы. В соответствии с методикой испытаний, ТС устанавливается на поворотную платформу. При этом разница между высотой расположения горизонтальной исходной плоскости поворотной платформы и горизонтальной нижней плоскости, на которой происходит удар, составляет 0,8 м. При определенном угле наклона площадки ТС начинает свободное падение под действием силы тяжести. После

удара в салоне автобуса должно сохраняться регламентированное остаточное жизненное пространство.

Согласно прил. 9 Правил ЕЭК ООН №66 «Компьютерное моделирование испытания на опрокидывание комплектного транспортного средства в качестве эквивалентного метода официального утверждения», допускается проводить оценку пассивной безопасности кузовной конструкции по результатам компьютерного моделирования условий опрокидывания с использованием подробных расчетных моделей и современного программного обеспечения.

Расчетная модель должна быть в состоянии описывать реальное физическое поведение силовой структуры в процессе опрокидывания. При этом модель должна быть разработана и связанные с ней предположения сформулированы таким образом, чтобы результаты расчетов являлись стабильными.

Разработанная конечно-элементная модель кузова исследуемого автобуса представлена на рис. 2 и состоит из 3 295 234 узлов и 3 953 844 элементов, из них:

- оболочечные типа SHELL (elform2), моделирующие уголки, наружную и внутреннюю обшивку кузова, – 1 572 076 (324 треугольных элемента, что составляет 0,02% от общего числа пластинчатых элементов);
- одномерные жесткие элементы типа Spotweld, моделирующие заклепочные соединения (CONSTRAINED\_SPOTWELD) – 1 328;
- объемные элементы типа SOLID (elform1), моделирующие панели из пенополистирол – 2 204 208;
- объемные элементе типа SOLID (elform1), моделирующие деревянные рейки между панелями – 176 232.

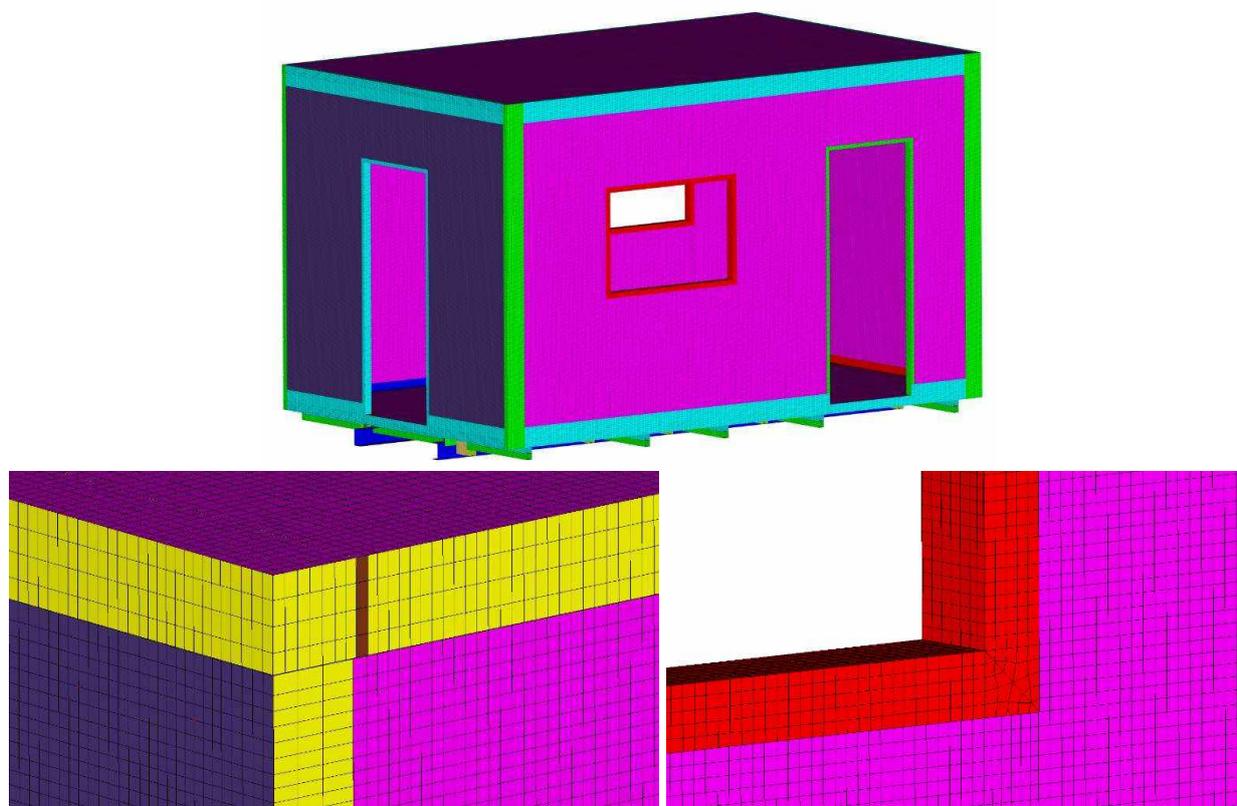
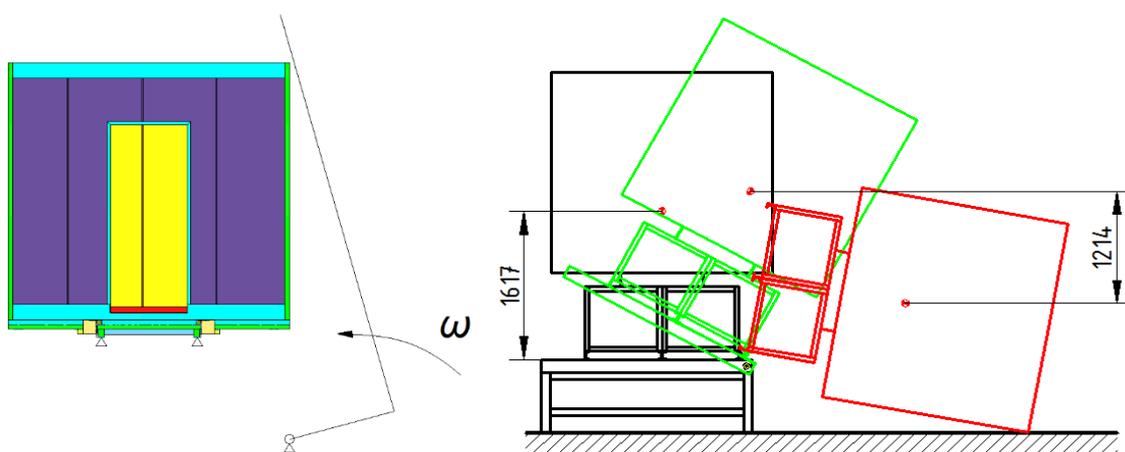


Рис. 2. Подробная конечно-элементная модель кузова вахтового автобуса и ее отдельные фрагменты

В расчете при компьютерном моделировании опрокидывание было заменено на эквивалентный режим нагружения неподвижного кузова жесткой плитой, совершающей враща-

тельное движение. Для этого на основе методики, изложенной в Правилах ЕЭК ООН №66, был выполнен расчет высоты центра тяжести автомобиля и энергии удара при опрокидывании. Особенности моделирования условий опрокидывания исследуемого вахтового автобуса на шасси ГАЗ-33081 заключаются в задании жесткой ударной плите таких характеристик, которые обеспечивают эквивалентность условиям опрокидывания конструкции с уступа и адекватное воспроизведение условий крепления кузова на раме базового ТС (рис. 3). Лонжероны каркаса основания лежат на лонжеронах рамы базового ТС, поэтому перемещения нижней полки швеллеров лонжеронов каркаса основания было ограничено по шести степеням свободы. Так как данная конструкция не имеет свеса кузова автобуса относительно рамы шасси в задней части, то закрепление по вертикальной оси было реализовано по всей длине лонжеронов каркаса основания кузова.



**Рис. 3. Схемы нагружения модели вахтового автобуса и опрокидывания его с уступа высотой 0,8 м (в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН №66)**

С учетом основных положений прил. 5 Правил ЕЭК ООН №66 разработана методика проведения специальных испытаний. Ее специфика определяется поставленной целью – получения экспериментальных данных для проведения верификации разработанной конечно-элементной модели кузова вахтового автобуса. Методика предусматривает обеспечение условий проведения испытаний в соответствии с п. 2 прил. 5 Правил, то есть максимальное соответствие базовому методу опрокидывания автобуса.

Для воспроизведения кинематики опрокидывания кузовов был установлен на специальную подставку с высотой, равной высоте верхней полки рамы базового шасси в снаряженном состоянии. Установка кузова на стенде показана на рис. 4.

При проведении специальных верификационных испытаний не воспроизводилась масса, регламентируемая Правилами ЕЭК ООН №66. Масса экспериментального кузова с балластом составила 1 993 кг. Этого было достаточно для получения необходимой картины и разрушения кузова, которая предварительно оценивалась по результатам расчетов.

По результатам расчета исходного варианта модели конструкции вахтового автобуса на базе шасси ГАЗ-33081 было установлено, что в процессе аварийного нагружения имеет место нарушение целостности конструкции (отрыв каркаса основания от панели пола). Таким образом, данная конструкция не отвечала требованиям пассивной безопасности, силовые элементы заходили в зону нормируемого остаточного жизненного пространства.

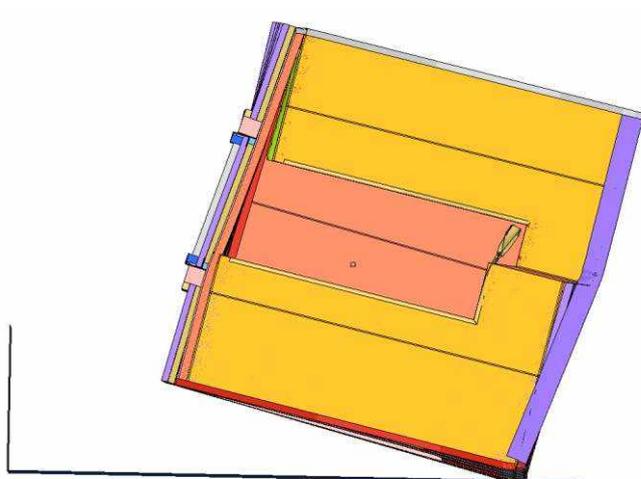
В связи с этим была разработана модификация каркаса основания, усиленная пятью поперечными трубами, приваренными к лонжеронам основания. По результатам расчета измененного варианта модели было установлено, что в процессе аварийного нагружения деформации панелей кузова и конструкции основания незначительные, отрыва корпуса основания от панели пола не наблюдается.

Следует отметить, что в ходе исследований была получена удовлетворительная схо-

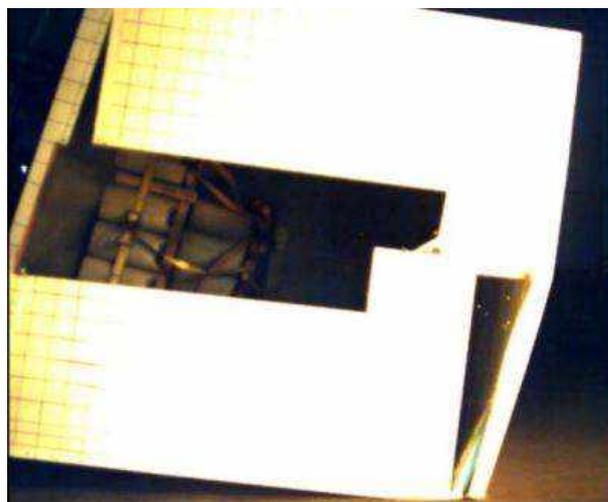
димость результатов расчета и эксперимента. На рис. 5 видно, что механизмы разрушения и зоны разрушений модели и реального кузова совпадают. В модели и при эксперименте произошло разрушение задней панели в месте стыковки листов обшивки панели, одинаковые разрушения соединений задней панели с панелями пола и крыши. Таким образом, предложенные подходы и способы моделирования могут быть использованы при проведении расчетных оценок пассивной безопасности кузовов других вахтовых автобусов, выполненных из многослойных панелей.



Рис. 4. Установка кузова вахтового автобуса на стенд – опрокидыватель



а)



б)

Рис. 5. Деформированное состояние кузова из многослойных панелей:  
а – компьютерное моделирование; б – натурный эксперимент

В качестве дальнейшего развития рассматриваемой проблемы планируется проведение дополнительных исследований, направленных на повышение точности конечно-элементной модели и компьютерного моделирования условий опрокидывания. Предлагается использовать уточненные параметры материалов, из которых изготовлены детали кузова автобуса, полученные по результатам стендовых испытаний реальных образцов.

#### Библиографический список

1. Основы разработки конечно-элементных моделей кузовных конструкций автотранспортных средств. Расчеты на безопасность и прочность: учеб. пособие / Л.Н. Орлов [и др.]; под ред. Л.Н. Орлова; НГТУ им Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2009. – 153 с.
2. **Орлов, Л.Н.** Оценка пассивной безопасности, прочности кузовных конструкций автомобилей и автобусов: монография / Л.Н. Орлов; НГТУ им Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2005. – 230 с.
3. Расчетно-экспериментальная оценка прочности и пассивной безопасности кузова автобуса с трехслойными панелями / Л.Н. Орлов [и др.] // Журнал ААИ. 2011. №1. С. 20–22.
4. Определение характеристик многослойных панелей кузова автобуса / Л.Н. Орлов [и др.] // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2012. №1. С. 4–7.
5. **Вашурин, А.С.** Исследование несущей способности многослойных панелей / А.С. Вашурин, А.В. Герасин, Л.Н. Орлов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 128–133.
6. Оценка несущей способности каркаса кузова автобуса по результатам компьютерного моделирования / Л.Н. Орлов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 3 (96). С. 150–156.

*Дата поступления  
в редакцию 30.09.2014*

**A.S. Vashurin, A.S. Volkov, D.I. Sizonenko, L.N. Orlov**

#### **CALCULATIVE-EXPERIMENTAL ESTIMATION OF PASSIVE SAFETY OF BUS BODIES MADE FROM MULTILAYER SANDWICH-PANELS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Estimating of passive safety of bus body made from multilayer sandwich-panels in conditions that are regulated by ECE R66 on the basis of computer simulation results and its comparison with experimental data.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based on nonlinear dynamic finite element method with using of LS Dyna software as well as testbench testing methodology.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of passive safety of bus body made from multilayer sandwich-panels in conditions of rollover at the initial stages of design as well as during certification tests.

**Research limitations/implications:** Present study provides a starting-point for development of methodology of improving of buses passive safety by means of effective design solutions as well as using of advanced software capabilities.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is using of advantages of simulation and real tests for predicting of passive safety of bus bodies made from multilayer sandwich-panels and analyzing of possible solutions for improving of passengers' safety.

*Key words:* shift bus, sandwich-panel, simulation, safety, rollover.

## Секция 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 629.33.017

В. В. Гаевский

### КУЗОВНОЙ ОДНОКОЛЕЙНЫЙ ТРАНСПОРТ (КОТ) - ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВИД ГОРОДСКОГО КОМПАКТНОГО ОДНОКОЛЕЙНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Рассмотрены транспортные проблемы современного мегаполиса, возможные пути их решения и более подробно описан один из способов с помощью создания нового типа индивидуального транспорта.

*Ключевые слова:* одноколейные транспортные средства (ОТС), кузовной одноколейный транспорт (КОТ), мотоцикл, мегаполис, пробки, парковка, общественный транспорт.

Ни для кого не секрет, что современный мегаполис имеет серьёзные транспортные проблемы, он просто задыхается от огромного количества транспорта, выезжающего на его улицы. Причем страдают от избытка автомобилей не только участники движения, но и все жители города.

Частные автовладельцы страдают из-за пробок и невозможности добраться к месту назначения за приемлемое время, а добравшись, теряют время на поиск парковочного места из-за отсутствия мест для стоянки. У многих имеются проблемы из-за отсутствия доступных стоянок и гаражей. Цена на топливо высока.



Рис. 1. Проблемы в мегаполисе

Пассажиры общественного наземного транспорта теряют время из-за пробок и нерегулярности движения общественного транспорта.

Государственные службы и частные развозные конторы также страдают от пробок, службы быстрого реагирования (ГИБДД, скорая, пожарные) не могут быстро добраться до проблемных мест и вовремя оказать помощь.

И наконец, все жители страдают от смога и шума.

Получается парадоксальная ситуация: с одной стороны современные технологии поз-

воляют увеличить скорость перемещения человека из пункта "А" в пункт "Б" и соответственно снизить время, затрачиваемое на поездку, с достаточным уровнем комфорта, с другой - количество транспорта и условия движения таковы, что реальная скорость перемещения из "А" в пункт "Б" снижается из года в год, и время, затрачиваемое на стояние в пробках, растёт катастрофически.

Назрела необходимость решения транспортных проблем мегаполиса с позиций города и человека.

Путей решения перечисленных проблем несколько:

1) совершенствование инфраструктуры дорог и коммуникаций (новые дороги, развязки, надземные и подземные пешеходные переходы, ликвидация светофоров и др.).

*Преимущества:* увеличение протяженности дорог и развязок напрямую сокращает пробки и является необходимым условием развития любого мегаполиса;

*недостатки:* площадь, отводимая под дороги, ограничена и конечна.

2) запрет строительства жилых домов, торговых комплексов и офисных зданий без автостоянок (подземных, на крышных).

*Преимущества:* решается проблема с парковочными местами в новостройках и в поездках за покупками и на работу;

*недостатки:* решается только проблема места на стоянке, однако не полностью.

3) развитие инфраструктуры городского общественного транспорта, интеллектуальное взаимодействие транспортных средств и коммуникаций [1].

*Преимущества:* чем более развит городской общественный транспорт, тем меньше частных выезжает в город по делам, а наличие подземного или надземного общественного транспорта является обязательным требованием выживания любого мегаполиса;

*недостатки:* неудобство перемещения в толпе и невозможность подвести общественный транспорт во все необходимые места, неравномерная загрузка в течение дня, низкая рентабельность (надземного общественного транспорта).

4) создание городского компактного, экологичного, экономичного транспортного средства.

*Преимущества:* 90 % всех частных автомобилей в городе перевозят одного или двух человек на работу и обратно (в часы пик такие транспортные средства составляют подавляющее большинство на дорогах), поэтому для перемещения им не нужен большой автомобиль - транспорт меньших размеров экономичен, экологичен, требует меньше места на стоянке, дешевле в обслуживании и т.д.;

*недостатки:* не существует на настоящий момент массового производства транспортных средств, кардинально решающих проблему занимаемого места на дороге.

Первые три варианта в ведении городских властей и их постановлений, поэтому рассмотрим четвертый вариант решения проблемы пробок в мегаполисе как наиболее реальный и в большей степени зависящий от инженерных решений и налаженного производства.

**Рассмотрим предполагаемые технические характеристики и ограничения городского компактного, экологичного, экономичного транспорта.**

Изначально нужно понять, каким должен быть идеальный индивидуальный городской автомобиль, поэтому рассмотрим требования к нему с различных точек зрения:

- требования с позиции потребителя: компактный, дешевый, экономичный, безопасный, всесезонный;
- требования с позиции города: компактный, экологичный, безопасный;
- требования с позиции производителя: дешевый в производстве, ремонтпригодный, простой, надёжный.

Приведем типы транспортных средств, соответствующих перечисленным требованиям.

**Легковые автомобили малого класса (категория "А" по европейской классификации):**

- дешевле среднего класса, но не намного;

- меньше по габаритам, но также занимают одну полосу для движения и не имеют преимущества в пробках;
- безопасные;
- на стоянке занимают меньше места;
- всесезонные.

**Вывод:** легковые автомобили малого класса частично удовлетворяют нужным требованиям и только по части параметров и не смогут решить возникающие в мегаполисе проблемы пробок и места.



Рис. 2. Компактные легковые автомобили класса «А»

### Одноколейные транспортные средства (ОТС) [2] - мотоциклы, мопеды, скутеры:

#### Преимущества:

- компактные, занимают половину полосы движения, имеют серьёзные преимущества при движении в пробках;
  - нет проблем со стоянками;
  - намного дешевле автомобиля;
  - экономичные;
- недостатки:*

- опасные транспортные средства;
- нет защиты от внешних неблагоприятных факторов;
- необходимость специальной амуниции для перемещения (шлем, как минимум)
- только летней эксплуатации.

**Вывод:** Если бы не недостатки, ОТС идеально бы подошли в качестве городского транспорта. В южных странах, например в Китае, Индии и Вьетнаме ОТС по количеству единиц на дорогах намного превосходят другие виды транспорта, проблемы безопасности в этих странах частично решаются малыми скоростями передвижения по городу, а тёплый климат позволяет эксплуатировать одноколейники круглый год без существенных ограничений.

#### Кузовной одноколейный транспорт (КОТ):

- компактные, занимают половину полосы движения, имеют серьёзные преимущества при движении в пробках;
- нет проблем со стоянками;
- дешевле автомобиля;

- пассивная безопасность как у автомобиля (ремни безопасности, подушки безопасности);
- экономичные;
- экологичные;
- в отличие от ОТС есть защита от внешних неблагоприятных факторов и не требуется амуниция;
- всесезонная эксплуатация.



Рис. 3. Мотоциклы и скутеры (некоторые из видов ОТС)



Рис. 4. Варианты КОТа

Для того, чтобы КОТ имел преимущества как автомобиля, так и ОТС он должен иметь следующие характеристики:

- габариты: длина не более 3,5 м, ширина не более 0,75 м, высота не более 1,8 м;
- снаряженная масса не более 400 кг;
- расход топлива не более 1,5 л/100 км;
- скорость не менее 90 км/ч;

- наличие подушек безопасности;
- цена не более 200.000 руб.

**Вывод:** В случае создания КОТа с характеристиками, лежащими в пределах указанных, он станет идеальным индивидуальным транспортом для мегаполиса и прямым конкурентом обычным автомобилям.

#### **Типы КОТов**

В настоящее время только начинаются разработки по созданию КОТа в различных странах, но уже можно его классифицировать по ряду параметров:

- по количеству сидеков: один или два;
- по назначению: для государственных служб (ГИБДД, МВД, медслужбы); такси; развозные (пицца, почта и т.д.); спортивные; утилитарные (частные); для инвалидов;
- по способу обеспечения устойчивости: с выдвигающимся шасси; с гироскопом; с постоянно вертикальными колёсами [3]; комбинированные;
- по количеству колёс: двухколёсные; трёхколёсные; четырёхколёсные;
- по типу двигателя: с ДВС; электроКОТ; гибридные (с комбинированной силовой установкой);
- по типу трансмиссии: механическая, электрическая, комбинированная.

#### **Перспективы развития КОТа**

Процесс развития КОТа можно разбить на несколько этапов:

1. Накопление опыта и создание различных типов КОТа частными мелкими фирмами и предпринимателями - уже идёт.
2. Оптимизация конструкций КОТа и начало мелкосерийного производства - ближайшие 1-3 года.
3. Интерес к КОТу со стороны крупных производителей автомобилей: масштабные испытания и доводка конструкции - ближайшие 3-5 лет.
4. Массовое производство КОТа - ближайшие 5-10 лет.
5. Прямая конкуренция обычным автомобилям - примерно через 10 лет.

#### **Библиографический список**

1. **Иванов, А.М.** Разработка системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств / А.М. Иванов, С.С. Шадрин // Изв. ВолгГТУ. Сер. Наземные транспортные системы: межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград: ВолгГТУ. 2013. Вып. 7. № 21 (124). С. 74–77.
2. **Гаевский, В.В.**, Одноколейные транспортные средства - обобщённая классификация / В.В. Гаевский, М.С. Подольский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2012. № 4 (31).
3. **Гаевский, В.В.** Одноколейное транспортное средство с постоянно-вертикальными колёсами: Патент на полезную модель № 133498. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ от 20.10.2013 г.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.V. Gaevskiy**

### **COVER ONE-TRACK (COT) - PERSPECTIVE VIEW OF THE CITY COMPACT SINGLE-TRACK VEHICLE**

Moscow car – road state technical university

In present article shows problems of the modern megalopolis and their decision from a position of creation of new type of the vehicle.

*Key words:* single-track transport facility, cover one-track transport, single-track transport facility body, motorcycle, megalopolis, traffic, parking.

УДК 621.113

А.Д. Кустиков<sup>1</sup>, Н.А. Кузьмин<sup>2</sup>, М.Г. Корчажкин<sup>2</sup>

## ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ ПОДЪЕМОВ ГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ АВТОБУСОВ

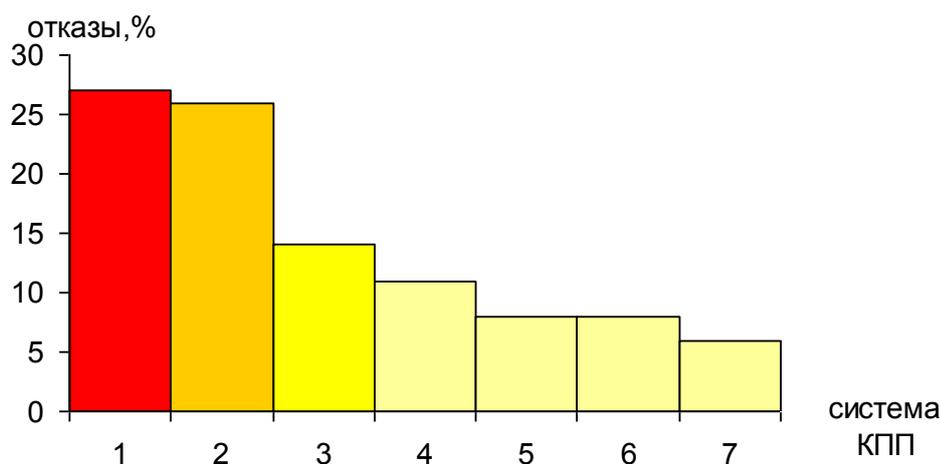
ООО «Автомобили Баварии»<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Целью работы является исследование возможностей увеличения ресурса коробок передач городских автобусов, работающих на маршрутах с подъемами на примере ПАЗ-32054 и ПАЗ-4234, а также установление наличия причинно-следственной связи между отказами и системой технического обслуживания. Свойства работающего масла агрегатов трансмиссии (особенно коробки перемены передач) вследствие температурных, скоростных и нагрузочных воздействий (а также внешних загрязнений) заметно меняются в зависимости от времени и условий эксплуатации. Для оценки физико-химических характеристик трансмиссионного масла использовались нормативные документы, действующие в настоящее время на территории РФ. Установлено, что при соблюдении рекомендованной периодичности технического обслуживания массовая доля механических примесей и массовая доля воды в трансмиссионном масле могут превышать допустимое значение. В связи с этим предложены решения по повышению надежности коробок передач путем разработки методики оценки состояния масла, внедрения операции промывки картеров, разработки обкаточного цикла после ремонта, корректирования периодичности и содержания технических обслуживаний, изменения конструкции.

*Ключевые слова:* отказ, коробка передач, маршрут с подъемом, трансмиссионное масло, механические примеси, износ, периодичность обслуживания, надежность.

Городские автобусы, зачастую, работают в режимах повышенных нагрузок, что влечет за собой снижение надежности и увеличение затрат на ремонт и обслуживание. Такая эксплуатация требует доработок конструкций трансмиссий и/или корректировок технических воздействий в процессе их эксплуатации.

Для проведения анализа отказов коробок передач ПАЗ МП «НИЖЕГОРОДПАССАЖИ-РАВТОТРАНС» выборка была обработана по системам и по полученным результатам построена гистограмма распределения отказов коробок передач автобусов ПАЗ – 32054 (рис. 1).



**Рис.1. Гистограмма распределения отказов коробок передач автобусов:**  
1 – шестерни (27%); 2 – подшипники (26%); 3 – синхронизаторы (14%); 4 – валы (11%);  
5 – сальники (8%); 6 – картер (8%); 7 – механизм переключения (6%)

На рис. 1 приведено распределение отказов коробок передач автобусов, работающих в условиях III категории эксплуатации в Н.Новгороде. Наибольшее количество отказов приходится на отказы шестерен (27%), подшипников (26%), синхронизаторов (14%) и валов (11%), что связано с повышенными нагрузками, возникающими при преодолении затяжных подъемов.

О преимущественном абразивном изнашивании трансмиссии свидетельствуют данные выполненных нами ранее исследований: массовая доля механических примесей в пробах трансмиссионного масла вдвое выше при эксплуатации на маршрутах с подъемами, в отличие от равнинных маршрутов, где все показатели в пределах нормы (табл. 1).

Таблица 1

**Анализ масла трансмиссионного марки ТАп-15В при пробеге 40 тыс. км  
на равнинном маршруте и маршруте с подъемом**

	Наименование показателей	Нормы	Фактически (равнинный)	Фактически (с подъемом)	Методы испытаний
1	Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup> , не более	0.930	0.9230	0.9390	ГОСТ 3900
2	Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> /с, (сСт)	14.0-16.0	14.70	14.97	ГОСТ 33
3	Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	185	193	199	ГОСТ 4333
4	Температура застывания, °С, не выше	-20	- 20	- 7	ГОСТ 20287
5	Массовая доля механических примесей, %, не более	0.03	0.0291	0.0466	ГОСТ 6370
6	Массовая доля воды, %, не более	следы	следы	0.21	ГОСТ 2477
7	Испытание на коррозию в течение 3 ч при 100 °С на пластинах из стали и меди	выдерживает	выдерживает	выдерживает	ГОСТ 2917
8	Массовая доля активных элементов: серы, не более	-	2.03	2.18	ГОСТ 1437
9	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствует	отсутствует	отсутствует	ГОСТ 6307
10	Совместимость с резиной УИМ-1 (по изменению объема),%	4-10	10.09	11.01	ГОСТ 9.03 ГОСТ 23652 п.5.9

Тяжелые условия работы, динамический характер нагружения, абразивные частицы снижают прочность и время эксплуатации зубчатых передач и их приводов.

Принятая оценка долговечности зубчатой передачи по исходным параметрам эвольвентных профилей зубьев является приближенной. Такая оценка не содержит отражения того факта, что из-за износа зубьев форма профиля становится отличной от эвольвентной. В результате изменяются нагрузочно-кинематические параметры контакта, которые изменяют темп изнашивания и форму профилей зубьев.

Абразивный износ можно рассчитывать статистическими методами, важной особенностью которых является то, что задачу оценки износа можно свести к определению действия, производимого одной частицей (механика частицы), и суммированию этих независимых повреждений (статистика частиц).

Крагельский И. В. предложил рассчитывать износ зубчатых передач статистическими методами, основанными на вероятности попадания абразивной частицы в контакт между зубьями [1].

На основе общей теории износа удалось показать, что абразивный износ тяжело-нагруженных сопряжений связан с интенсивным дроблением абразивных частиц, чем и объясняется весьма слабая зависимость такого вида износа от нагрузки (в области больших нагрузок). Важной особенностью этого случая является то, что задачу оценки износа можно свести к определению действия, производимого одной частицей (механика частицы), и суммированию этих независимых повреждений (статистика частиц).

Применительно к исследованию изнашивания пар трения качения, работающих с проскальзыванием, можно выделить два механизма взаимодействия абразивных частиц с элементами пары трения:

- абразивные частицы проходят из клиновидного зазора в зону контакта и, не разрушаясь под действием нагрузки, производят износ;
- абразивные частицы, испытывая действие все возрастающих нормальных сил, дробятся при определенной глубине внедрения.

Дробление частиц происходит до размеров  $d_i$ , сопоставимых с величиной  $(h' + R_{\max})$ , где  $h'$  – толщина смазывающей пленки;  $R_{\max}$  – максимальная высота микронеровностей, после чего частицы проходят зону контакта.

Экспериментальные исследования и оценочные расчеты показали, что особенности условий работы элементов пар трения качения (высокие нагрузки в контакте, значительные твердости трущихся поверхностей, небольшое количество абразивных частиц, попадающих в зазоры) приводят к осуществлению второго механизма износа, внешним признаком которого является слабая зависимость интенсивности изнашивания от нагрузки.

Для рассмотрения задачи механики абразивной частицы в зазоре вводится вероятностное представление ее скорости  $v$  как линейной комбинации скоростей поверхностей  $v_1$  и  $v_2$ :

$$v = \alpha v_1 + \beta v_2, \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — вероятности закрепления частицы на поверхностях 1 и 2 соответственно, средние значения которых приближенно можно принять обратно пропорциональными твердостям сопряженных поверхностей, поскольку твердость является определяющим фактором глубины внедрения индентора в поверхность.

Вероятностное представление скорости позволяет разграничить систему трех взаимодействующих элементов (поверхность 1 — частица — поверхность 2) на две независимые подсистемы (поверхность 1 — частица) и (поверхность 2 — частица) и в каждой из этих подсистем определить характеристики движения частицы, от которых зависит износ поверхностей.

Скорость износа (мкм/ч) для поверхности 1:

$$v_1 \approx 4 \cdot 10^2 \frac{\varepsilon^{2/3} \sigma^{2.5} r^{0.5}}{\varepsilon_0^t HB_1^{1.5} HB_2} \sqrt{\rho^*} \frac{v_1 - v_2}{\alpha v_1 + \beta v_2} n_{\omega 1}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  — концентрация абразивных примесей;  $\sigma$  — условно разрушающее напряжение;  $r$  — средний размер частиц;  $\varepsilon_0$  — относительное удлинение материала при разрыве;  $t$  — коэффициент усталости материала при пластических деформациях;  $HB_1, HB_2$  — твердости сопряженных поверхностей по Бринеллю;  $\rho^*$  — приведенный радиус кривизны поверхностей;  $v_1, v_2$  — скорости поверхностей 1 и 2;  $\alpha, \beta$  — вероятности закрепления частицы на поверхностях 1 и 2;  $n_{\omega 1}$  — число нагружений для поверхности 1.

Для анализа износа выделим три группы факторов:

$$A = \varepsilon^{2/3} \sigma^{2.5} r^{0.5}, \quad (3)$$

$$M = \varepsilon_0^t HB_1^{1.5} HB_2, \quad (4)$$

$$K = \sqrt{\rho^*} \frac{v_1 - v_2}{\alpha v_1 - \beta v_2}. \quad (5)$$

Фактор «А» характеризует абразивное воздействие и зависит от концентрации абразивных примесей, их среднего размера и условного разрушающего напряжения частиц. Фактор «М» показывает влияние на износ механических свойств материалов поверхностей соприкосновений (твердости). Фактор «К» показывает влияние на износ кинематических и геометрических параметров сопряжения: скоростей, числа нагружений, скольжения, приведенного радиуса кривизны поверхностей.

Минимальный износ, согласно усталостной теории, будет при оптимальном сочетании свойств материалов, т. е. когда произведение пластичности и твердости материала детали имеет максимальное значение.

В проведенном исследовании значение износа для 1-й передачи рассчитывалось по формуле

$$h_1 \approx 6.8 \frac{\varepsilon^{2/3} \sigma^{2.5} r^{0.5}}{\varepsilon_0^t HB_1^{1.5} HB_2} \sqrt{\rho^*} \frac{v_1 - v_2}{\alpha v_1 + \beta v_2}. \quad (6)$$

Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	Маршрут с подъемом	Равнинный маршрут
Концентрация абразива, $\varepsilon$ , %	0,0466	0,0291
Средний размер частицы, $r$ , мм	0,03	0,015
Износ за 1 нагружение, $h1$ , мкм	8,278e-06	4,3e-06
Скорость износа, $v1$ , мкм/ч	0,463386	0,23939

Сравнение износа за одно нагружение для равнинного маршрута и маршрута с подъемом показано на рис. 2.

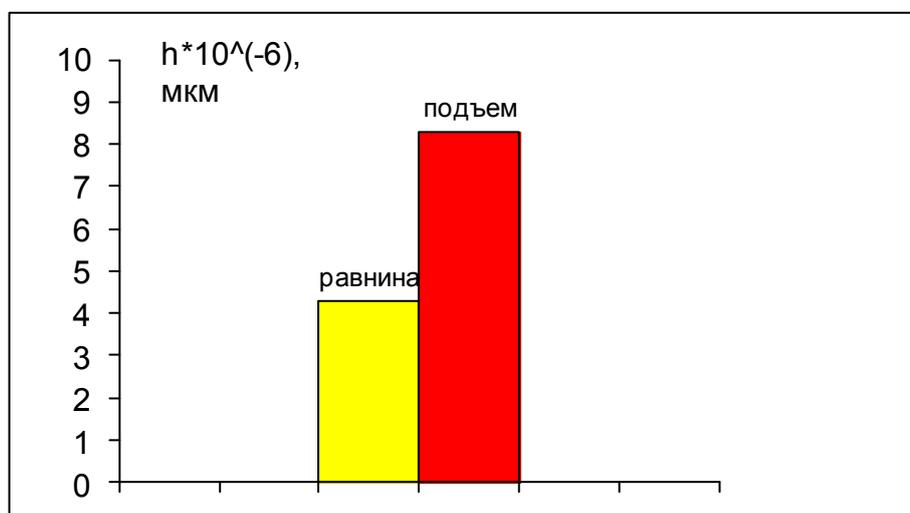


Рис. 2. Сравнение износа за одно нагружение

Зависимость скорости износа от концентрации абразивных веществ в масле представлена на рис. 3.

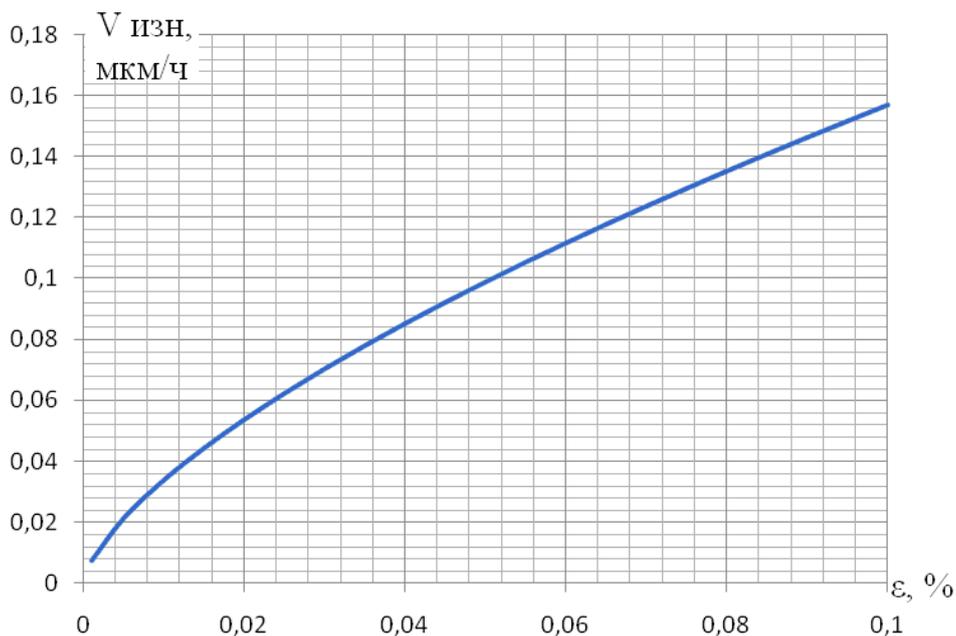


Рис. 3. Зависимость скорости износа от концентрации абразивных веществ

Результаты расчетов, приведенные в табл. 2, указывают на то, что износ и значение скорости износа на маршрутах с подъемами практически в два раза превышают аналогичные показатели при эксплуатации на равнинных маршрутах.

Таким образом, суммарный износ зубчатого зацепления первой передачи автобуса ПАЗ-32054, например, за один год эксплуатации на маршруте с подъёмом составит 108,101 мкм.

Полученные значения указывают на то, что ресурс коробки передач в таких условиях заметно снижается, поэтому необходимо рассмотреть эксплуатационные способы, направленные на повышение ресурса коробок передач при эксплуатации городских автобусов на маршрутах с подъемами.

Основными направлениями в разработке способов повышения надежности трансмиссий являются:

- разработка методики отрицательной оценки состояния масла;
- использование промывочных масел для коробки передач при проведении технического обслуживания;
- проведение испытаний и обкатки отремонтированных коробок передач, работающих на маршрутах с подъемами;
- корректирование периодичности технических воздействий на трансмиссии автобусов, работающих на маршрутах с подъемами по допустимому уровню безотказности;
- разработка коэффициента корректирования периодичности замены трансмиссионного масла, учитывающего наличие подъемов на маршруте следования.
- внедрение изменений в конструкции агрегатов трансмиссии.

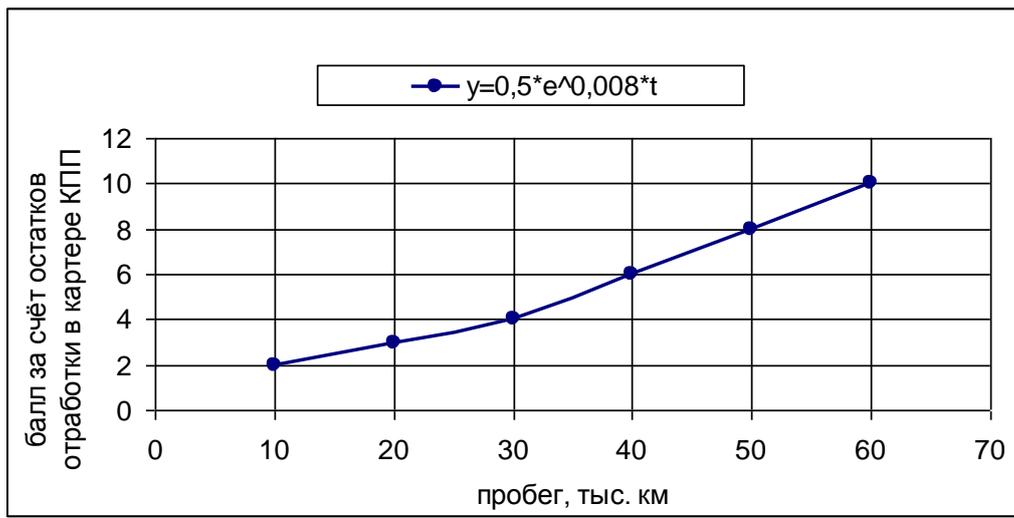
1. Предложенная отрицательная система оценки ухудшения качества и увеличения примесей в масле представляет собой десятибалльную систему показателей  $M$  трансмиссии:

$$M_{\text{транс}} = (\Pi_{\text{max п}} - \Pi_0) / 10Ж, \quad (7)$$

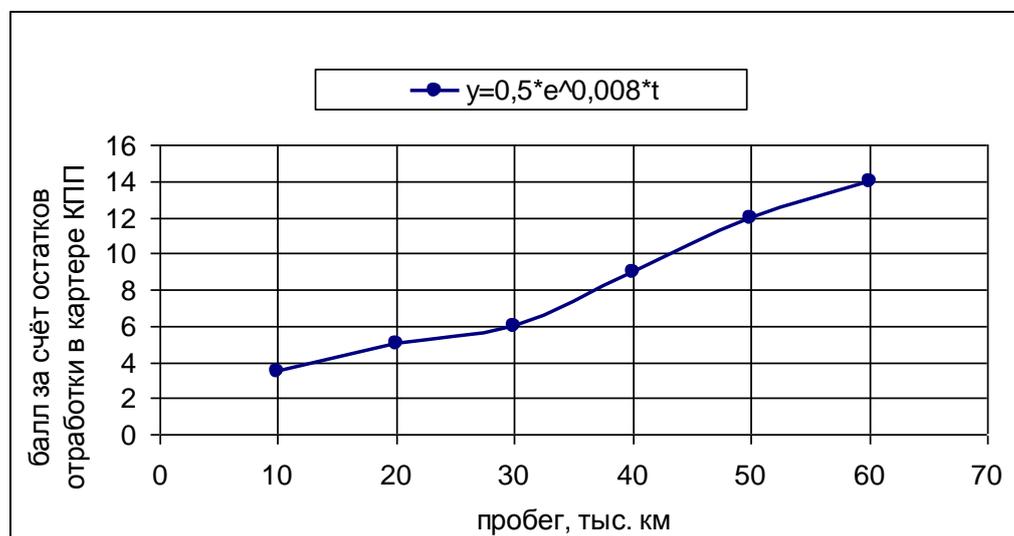
где  $\Pi_{\text{max п}}$  – максимально допустимое количество примесей в отработавшем масле (по результатам анализа) для максимального пробега;  $\Pi_0$  – количество примесей в свежем масле при его замене (согласно ТУ).

Предлагается определить качество трансмиссионных масел на основании десятибалльной шкалы отрицательной системы оценки по показателям механических примесей. При этом качество свежего масла будет оцениваться 0 баллов, а предельно загрязненному отработанному маслу следует давать оценку 10 баллов.

Значение концентрации механических примесей равной 0,5–0,6% принято в качестве предельной, определяющей износ деталей и степень срабатывания присадок в трансмиссионном масле, тогда отрицательная система оценки качества масла для десятибалльной шкалы составит (0,5% : 10) для каждого балла. Для изменения  $K_M$  (процентное содержание механических примесей в масле) можно зафиксировать следующую зависимость: при 10 тыс. пробега  $K_M \approx 2$  балла; при 20 тыс.  $\approx 3$  балла; при 40 тыс.  $\approx 6$  баллов и при 60 тыс. км  $\approx 10$  баллов.



а)



б)

**Рис. 4(б). Баллы механических примесей в трансмиссионном масле ПАЗ-32054:**  
а – обслуживание равнинного маршрута; б – обслуживание маршрута с подъемами

Из анализа рис. 4 следует, что при проведении соответствующего технического обслуживания, предполагающего замену трансмиссионного масла отработавшее масло автобусов, эксплуатирующихся на маршрутах с подъемами (рис. 4, б), будет содержать механических примесей больше на 1,5 – 2,0 балла, чем у автобусов, эксплуатирующихся на равнинных маршрутах (рис. 4, а).

Таким образом, предложенная система позволяет получать количественные характеристики срабатываемости масла и оптимизировать периодичность его замены для данных условий эксплуатации автобусов.

2. Далее показана целесообразность внедрения обязательной операции промывки картера КПП при замене масла и методика ее проведения.

Удельный вес масла при увеличении его температуры может быть определен по формуле Д.И. Менделеева:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_{15}}{1 + \beta(t_m - 15)}, \quad (8)$$

где  $\gamma_t$  – удельный вес масла при данной температуре,  $\gamma_{15}$  – удельный вес масла при температуре 15°C;  $\beta$  – коэффициент (для масел имеет значение 0,0007);  $t_m$  – температура масла при измерении.

Так как рабочая температура масла в летнее время может достигать 90°C и выше, а процессы замены масла происходят при температуре 25–28°C, то примерно 5–8 см<sup>3</sup> масла остается на стенках внутренних полостей картеров коробки передач. Для коробки передач ПАЗ-32054, например, это составит 0,2–0,4% от общего объема. При заливке свежего масла оставшиеся компоненты отработанного масла будут служить активными центрами окислительных цепных реакций при дальнейшей эксплуатации коробок передач.

Вследствие того, что цепные реакции окисления протекают с нарастающей скоростью, необходимо введение операции промывки коробок передач при плановых заменах трансмиссионного масла.

В качестве промывочных масел можно использовать либо специальное промывочное масло, либо очищенное от воды и механических примесей отработанное трансмиссионное масло с добавлением 30% дизельного топлива. Промывочные операции можно проводить на стендах с беговыми барабанами в течение 30 мин с периодическим изменением передаточного числа (переключением передач) при числе оборотов ведущего вала КПП не более 1200–1400 об/мин.

3. На основании рекомендаций предприятий «Группы ГАЗ» - ОАО «ГАЗ» и ОАО «Автодизель» (ЯМЗ) – предложен обкаточно-испытательный цикл отремонтированных коробок передач автобусов:

- на первой передаче – 30 мин с нагрузкой 50% на первичном валу;
- на второй передаче – 2 ч с нагрузкой 50% с короткими тремя переключениями на третью передачу и обратно;
- на третьей передаче – 2 ч с нагрузкой 50% с короткими переключениями на четвертую передачу и обратно;
- на четвертой передаче – 1 ч с нагрузкой 50%;
- на пятой передаче – 1 ч с нагрузкой 50%.

В случаях излишнего нагрева и повышенной шумности работы цикл следует повторить после полного остывания агрегата. Обкатку и испытания следует проводить на стандартном или специальном обкаточном масле.

Указанные выше режимы способствуют предотвращению задиров на рабочих поверхностях деталей и увеличивают ресурс отремонтированных коробок передач на 10–12% вследствие предотвращения критической глубины микротрещин (менее 0,015мм) на рабочих поверхностях пар трения.

4. Вычисление оптимальных периодичностей проведения работ осуществлялись с использованием известного метода – по допустимому уровню безопасности. По результатам исследований периодичность замены трансмиссионного масла автобуса ПАЗ-32054 получена равной 35 065 км, что не является кратным с периодичностью ТО-1. Однако, если принять периодичность замены равной 35 200 км, то кратность с ТО-1 соблюдается. Расчетная периодичность замены трансмиссионного масла микроавтобусов ГАЗ-322132 получена равной 41 500 км. Для

получения кратности с ТО-1 необходимо скорректировать периодичность замены до 40 000 км. Это обоснованно, так как скорректированная периодичность данного технического воздействия не выходит за границы допустимого вероятности отказов (риска)  $F_d = 10\%$ .

5. Ключевым вопросом является определение коэффициента, характеризующего влияние подъемов на маршруте на состояние трансмиссионного масла.

Найденный коэффициент будет учитывать зависимость, общую для расчета периодичности замены трансмиссионного масла, поэтому станет возможным введение данного коэффициента во все формулы корректирования периодичности замены масла в трансмиссии, что значительно снизит затраты на определение оптимальных значений периодичностей.

Рассчитанный далее коэффициент будет иметь очень широкое применение при корректировании периодичности обслуживания трансмиссии в зависимости от наличия на маршруте подъемов и от их числа.

Для расчета коэффициента необходимо знать: количество подъемов на маршруте, величину угла подъема, которую можно определить, зная высоту подъема  $h$ , продолжительность подъема  $L$ . Определяющей величиной будет являться  $\sin$  величины угла подъема. Но так как на маршруте может быть не один подъем, а несколько, то следует учитывать их суммарное влияние. Также необходимо принять во внимание, что автобусы за рабочий день делают несколько рейсов, поэтому требуется учесть и их количество.

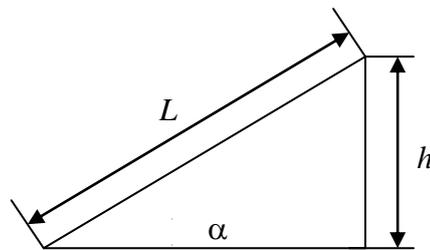


Рис. 5. Угол подъема

Таким образом, формула для расчета необходимого коэффициента будет иметь вид

$$K_{\text{подъема}} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{L_i} N, \quad (9)$$

где  $h_i$  – высота подъема  $i$ ;  $L_i$  – длина подъема  $i$ ;  $N$  – количество рейсов.

Критериями введения предложенного коэффициента являются:

- наличие на маршруте подъема величиной 7 и более процентов;
- время нахождения автобуса на подъеме, которое должно быть не менее 3 мин.

Для расчета коэффициента следует пользоваться картой маршрута, где указаны все значения перепадов высот и длин преодолеваемых участков. Например, на одном из исследованных нами маршрутов (маршрут Т-34) присутствует два значительных подъема:

- первый - Зеленский съезд, протяженностью 1071 м и перепадом высот 75 м;
- второй - Ракатное шоссе, протяженностью 1552 м и высотой подъема 63 м.

Таким образом, для автобуса ПА3-32054, обслуживающего этот маршрут, коэффициент, учитывающий наличие подъема, будет рассчитан следующим образом:

$$K_{\text{подъема}} = \left( \frac{75}{1071} + \frac{63}{1552} \right) 8 = 0,9. \quad (10)$$

При этом периодичность замены масла в трансмиссии составит

$$38\,400 \cdot 0,9 = 34\,560. \quad (11)$$

Однако в целях оптимизации рабочего времени необходимо соблюдать кратность с периодичность ТО-1, поэтому принимаем периодичность замены равной 35 200 км.

Соответствие полученного значения рассчитанному по допустимому уровню безотказности подтверждает верность формулы расчета предложенного коэффициента.

Аналогичные исследования и расчеты были проведены и для других маршрутов с подъемами в Нижнем Новгороде: полученные значения также совпали с расчетами по допустимому уровню безотказности.

В этой связи для городских автобусов общего пользования требуется введение указанных мер при наличии на маршруте хотя бы одного подъема за рабочую смену. Повышение нагрузок коробки наступает при преодолении номинально загруженным автобусом подъема величиной 7% и более. Контрольным критерием введения предложенных мероприятий является время нахождения автобуса на подъеме, которое должно быть не менее 3 мин. При этом стало возможным корректирование периодичности замены трансмиссионного масла с использованием предложенного коэффициента  $K_{\text{подъема}}$ .

Данные критерии действуют для автобусов с бензиновыми двигателями и механическими коробками передач. Скорость движения автобусов при этом ограничивается сверху мощностными характеристиками двигателей, по опыту на уклоне 7% не превышает 30 км/ч и должна быть максимально возможной для того, чтобы автобус не отклонился от временного графика движения на маршруте.

6. Анализ проб трансмиссионного масла показал, что на автобусах ПАЗ-4234 с коробкой передач САЗ-3206 эффект от влияния подъемов на состояние трансмиссионного масла тот же, но в меньшей степени. Также на этих автобусах было зарегистрировано большее количество отказов картеров коробок передач (рис. 6).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что повышенный износ зубчатых передач имеет причинно-следственный характер, возникающий из-за нарушения соосности валов, что, в свою очередь, является следствием недостаточной жесткости картера.

Основными дефектами картеров коробок передач являются: износ посадочных поверхностей гнезд под подшипники качения; износ отверстий под оси шестерни заднего хода; износ или срыв резьбы в отверстиях; трещины.

С целью повышения долговечности и надежности данного элемента конструкции выполнен анализ напряженно-деформированного состояния картера коробки передач в процессе эксплуатации автомобиля:

Для проведения прочностного расчета картера коробки передач была построена конечно-элементная модель, объемом в 492 437 элементов второго порядка. Основной используемый элемент - тетраэдр второго порядка, который имеет 10 точек интегрирования;

Для получения значений и определения направлений радиальных усилий на отверстия под подшипники вторичного, промежуточного валов и на ось блока шестерён заднего хода, использовались значения и направления равнодействующих сил, возникающих от зацепления зубчатых колес. Радиальные усилия в отверстиях гнезд подшипников распределяются через контактную поверхность с наружным кольцом опор рассматриваемых валов.

Рассмотрены два наиболее нагруженных случая для картера коробки передач: движение на первой передаче, движение на передаче заднего хода.

Конструкция картера коробки передач принималась удовлетворительной для использования в условиях переходных процессов, если коэффициент запаса  $n > 2,5$ .

В результате анализа проведенных расчетов сделан вывод: высокие напряжения и деформации в рассматриваемой зоне указывают на недостаточную жесткость картера для приведенных нагрузок, что может привести к появлению различного рода трещин, деформаций. Нарушения в виде деформаций картера приводят к износу отверстий под подшипники, несоосности валов, а следовательно, к повышенному износу зубчатых соединений коробки передач.

Предложено введение дополнительного ребра жесткости и увеличение радиуса сопряжений в зоне между подшипниками вторичного и промежуточного валов коробки передач (рис. 7), что позволит снизить максимальные напряжения в рассматриваемой зоне на 35,04 % в режиме заднего хода и на 27,91 % на первой передаче.

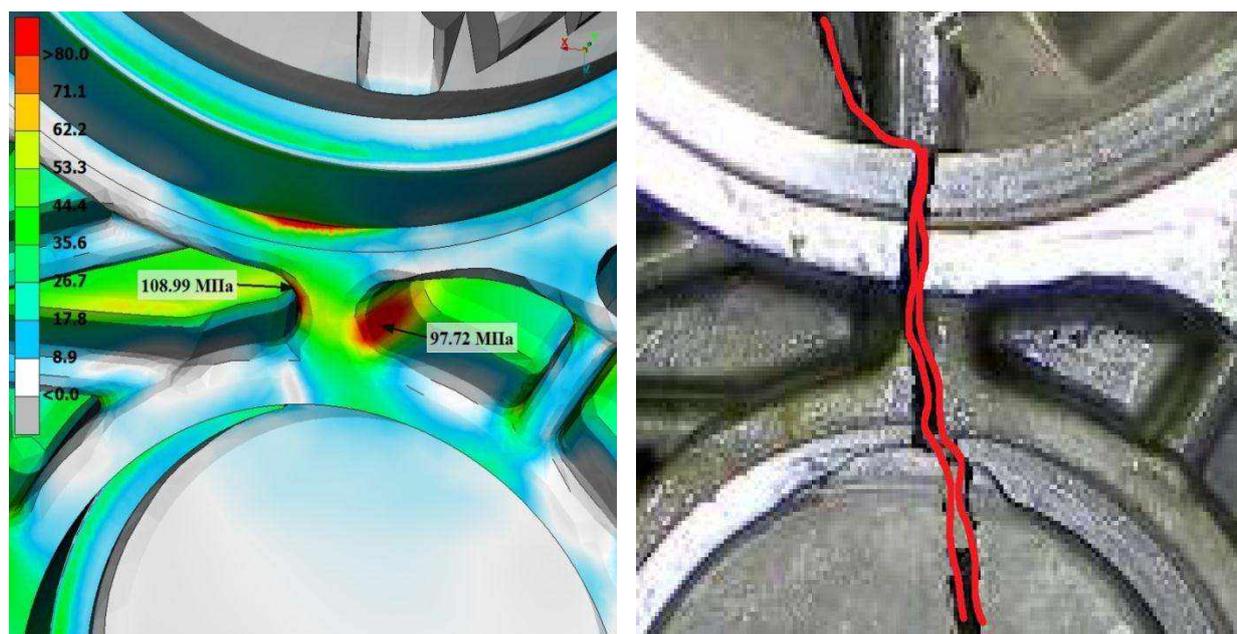


Рис. 6. Валидация результатов



Рис. 7. Изменение конструкции картера

Результаты исследований одобрены департаментом транспорта г. Н.Новгорода и МП «НИЖЕГОРОДПАССАЖИРАВТОТРАНС», внедрены в практику работы НПАП-7 Н.Новгорода.

Результаты анализа напряженно-деформированного состояния исследований одобрены и приняты к внедрению на предприятиях «Группы ГАЗ»: ОАО «Завод коробок скоростей ОАО ГАЗ» и ОАО «Павловский автобус».

#### Библиографический список

1. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
3. Кузьмин, Н.А. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Отраслевой ежемесячный научно-производственный журнал «Автотранспортное предприятие». 2013. № 8. С. 39–42.
4. Кузьмин, Н.А. Особенности работы механических коробок передач городских автобусов при эксплуатации на маршрутах с подъемами / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков, В.В. Ясенов // Отраслевой ежемесячный научно-производственный журнал «Автотранспортное предприятие». 2014. № 4. С. 37–39.
5. Кустиков, А.Д. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / А.Д. Кустиков, Н.А. Кузьмин, М.Г. Корчажкин // Труды НГТУ. 2013. №4. С. 18–26.
6. Ролдугин, В.И. Физикохимия поверхности: учебник-монография / В.И. Ролдугин. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. – 568 с.
7. Турсунов, А.А. Экспериментальная оценка приспособленности АТС к горным условиям эксплуатации // Актуальные проблемы современной науки. 2002. №2. С. 322–324.
8. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
9. Зеленцов В.В. Эксплуатационные свойства и тепловые режимы поршневых автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / В.В. Зеленцов, В.В. Крупа; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2002. – 72 с.

Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014

A.D. Kustikov<sup>1</sup>, N.A. Kuzmin<sup>2</sup>, M.G. Korchazhkin<sup>2</sup>

#### THE IMPACT OF THE PRESENCE OF LIFTINGS URBAN ROUTES ON THE OPERATIONAL RELIABILITY OF THE BUSES MECHANICAL GEAR BOXES

LLC «Auto Bavaria»<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** research of opportunities of increase gear boxes resource of buses which operating on routes with rises on the example of PAZ - 32054 and PAZ - 4234.

**Design/methodology/approach:** To evaluate the physical and chemistry characteristics of transmission units of city buses used by instruction.

**Findings:** Periodicity of technical impacts and their list of the buses will have to be made available on the route climbs and increased workload.

**Research limitations/implication:** for urban public buses should be the introduction of the above pre-emptive technical services available on a route of at least one lift and if such rises was not less than five per working shift.

**Originality/value:** The results of the research are relevant for passenger transport enterprises of many cities in Russia, for example, almost all located on the steep banks of large rivers and coastal shores.

*Key words:* failure, transmission, the route with rise, gear oil, mechanical impurities, mass fraction of water, frequency of service, reliability.

УДК 621.113

М.Г. Корчажкин, А.Н. Архипов

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ УСИЛИЙ ИНЕРЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ЛЕГКОВЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В настоящее время все большее распространение получают прицепы к легковым автомобилям, оборудованные инерционной тормозной системой. Проблема оценки технического состояния таких тормозных систем на стендах является актуальной. Решением может быть нагрузочатель инерционного тормоза для использования в составе тормозного стенда. В работе представлены результаты создания модели нагрузочателя инерционной тормозной системы. Описана принципиальная схема и конструкция разработанного нагрузочателя. Рассмотрены особенности выбора давления в приводе нагрузочателя. Также приведены результаты испытаний нагрузочателя при оценке состояния инерционной тормозной системы прицепа на тормозном стенде.

*Ключевые слова:* тормозная система, техническое состояние, оценка, автопоезд, прицеп, инерционный тормоз, тормозные усилия, нагрузочатель.

Обеспечение безопасности дорожного движения – одна из наиболее сложных проблем настоящего времени. От её правильного решения зависит не только состояние и функционирование транспорта, но и жизнь, и здоровье людей, сохранность грузов. Решение данной проблемы регламентирует Федеральный закон РФ «О безопасности дорожного движения», а также многие другие нормативные акты [2].

Использование легковых прицепов полной массой свыше 750 кг получает все большее распространение в России. Это и применение таких транспортных средств в малом бизнесе, и использование частными владельцами. Вопрос оценки состояния тормозных систем легковых прицепов при проведении инструментального контроля получил большую актуальность с принятием технического регламента «О безопасности колесных транспортных средств», вступившего в силу с сентября 2010 г. [9].

В 90-х годах в связи с появлением множества предпосылок, ведущих к снижению уровня безопасности, таких как разукрупнение предприятий автомобильного транспорта и появлением мелких перевозчиков, ухудшение контроля за состоянием транспортных средств, снижение качества запасных частей и комплектующих возникает необходимость каким-либо образом контролировать состояние транспорта. В то же время в связи с коммерциализацией перевозок возникает использование «новинки» для того времени: автопоезда на базе легковых автомобилей и одноосных прицепов, для которых почти не было базы для проверок их технического состояния как автопоездов (рис. 1).

В настоящее время в связи с резко возросшей интенсивностью движения автомобильного транспорта и увеличением его количества на дорогах возникла необходимость оборудовать прицепы рабочими тормозами, не зависящими от тормозной системы тягача. Во-первых, это позволит значительно сократить тормозной путь и в большинстве случаев, предотвращает возможную аварию. Во-вторых, тормозная система на легковом прицепе является своеобразной защитой от складывания «автопоезда», что также – весомый довод в пользу ее использования. Максимально допустимая масса буксируемого прицепа указывается в руководстве по эксплуатации автомобиля, причем эта масса зависит от того, оборудован легковой прицеп тормозами или нет. Наиболее перспективны для этих целей тормоза наката, использующие силу инерции прицепа, возникающую при торможении автомобиля-тягача, для приведения в действие рабочих тормозов прицепа. Такие приводы тормозов могут быть либо механическими (сила наката разжимает тормозные колодки при помощи системы рычагов),

либо гидравлическими (сила наката преобразуется в давление тормозной жидкости). Последние распространены наиболее широко, так как имеют меньшую металлоемкость и позволяют реализовать все требования, предъявляемые к тормозам наката нормативными документами (Приложение 12 к Правилам № 13 ЕЭК. ООН, ГОСТ 22895-81) [8].



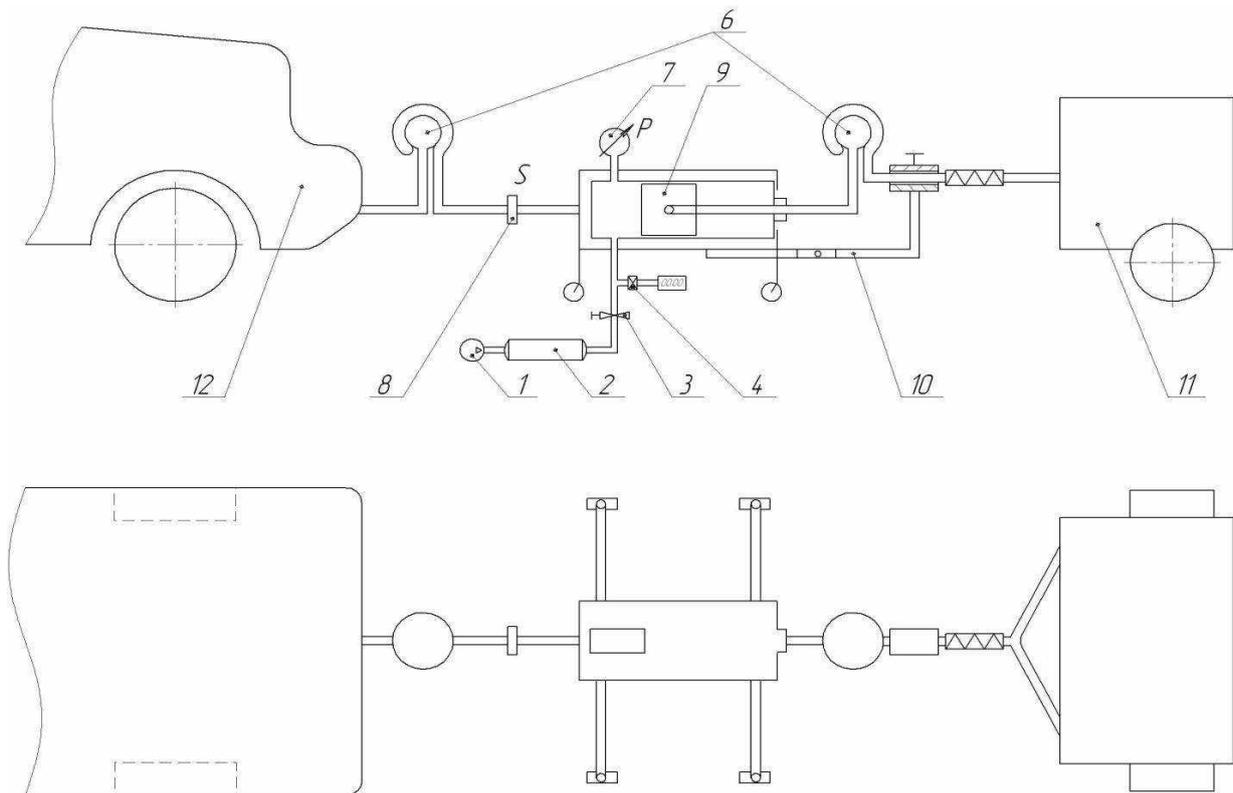
**Рис. 1. Легковой автопоезд с прицепом, оборудованным инерционной тормозной системой**

Согласно этим требованиям, инерционные приводы тормозов должны быть оборудованы «пороговым устройством» (т.е. срабатывать только при превышении определенной силы в сцепном устройстве), защищать от перегрузок рабочие тормоза прицепа, не создавать при торможении осевой нагрузки на тягач больше разрешенной, обеспечивать плавное торможение и растормаживание прицепа с необходимыми эффективностью и быстродействием.

В тоже время, поняв проблему, государство повсеместно создаёт станции технического контроля для разрешения возникших казусов качества контроля за техническим состоянием. Но существующие на то время средства контроля позволяли произвести проверку почти любых транспортных средств в условиях линии инструментального контроля, кроме прицепов, оснащённых инерционной тормозной системой (ИТС). В настоящее время появились устройства, позволяющие проверить ИТС в стационарных условиях, не прибегая к дорожным испытаниям [3].

Оценка технического состояния ИТС прицепов производится по требованиям ГОСТ Р 51709-2001 и техническому регламенту «О безопасности колесных транспортных средств», вступившим в силу с сентября 2010 г.[7,9]. В соответствии с требованиями данных документов проверка должна производиться при помощи устройства с контролем соответствующих характеристик ИТС прицепа. Необходимое устройство, позволяющее имитировать нагрузку на рабочем органе прицепа, создаваемую при торможении прицепа в дорожных условиях, называется нагрузателем (имитатором нагрузки) [1]. Кроме того, нагрузатель введен в перечень оборудования, необходимого для линий инструментального контроля (приказ Министерства промышленности РФ (Минпромторг России) от 6 декабря 2011 г. N 1677), в котором указаны некоторые его характеристики (усилие вталкивания сцепного устройства 50-3700 Н). Операции по инструментальному контролю инерционных тормозных систем стали обязательными для пунктов инструментального контроля в 2012 г.

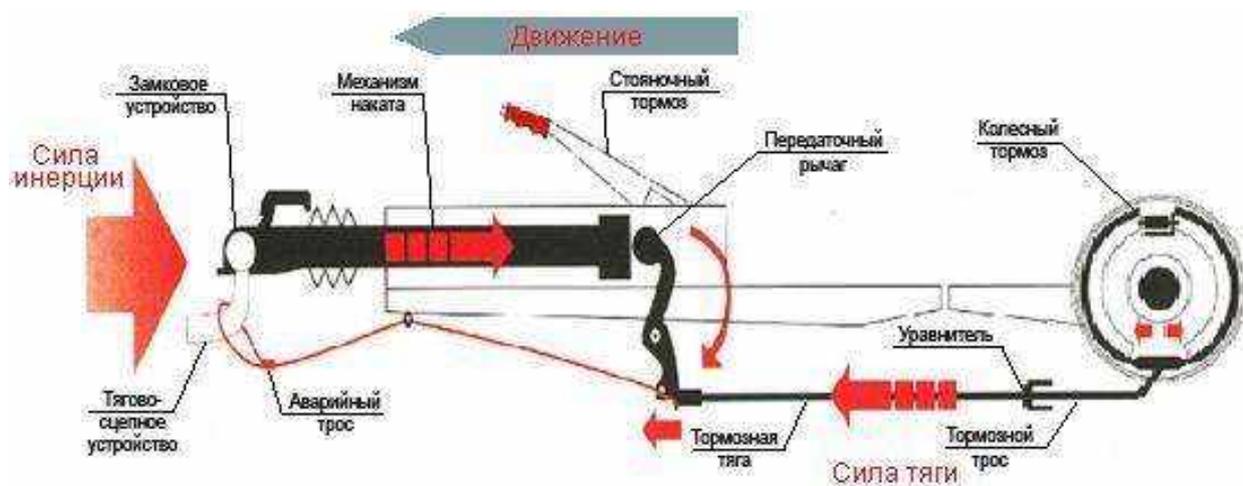
В настоящее время в НГТУ им. Р.Е. Алексеева, на кафедре Автомобильного транспорта ведется разработка стационарного стенда для проверки ИТС в условиях станции инструментального контроля. Устройство основано на измерении тормозного усилия, создаваемого пневмоцилиндром при помощи тензометрического датчика (рис. 2). Данное устройство позволяет произвести проверку тормозной системы прицепа в условиях линии инструментального контроля и не прибегать к дорожным испытаниям [4].



**Рис. 2. Принципиальная схема стенда:**

1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – кран; 4 – электронный манометр; 6 – шаровая головка ТСУ; 7 – манометр пневмоцилиндра; 8 – тензометрический датчик; 9 – пневмоцилиндр; 10 – сцепка; 11 – прицеп; 12 – автомобиль

Принцип работы заключается в следующем (рис. 3): для начала автопоезд закрепляется на месте проверки тормозной системы - тягач на противооткатные упоры и ручной тормоз, а прицеп - синтетическими стропами (для этого в конструкции нагружателя предусмотрены специальные отверстия для фиксации расстояния между прицепом и нагружателем).



**Рис. 3. Принцип работы стенда**

Затем из ресивера, имеющегося на станции, подаётся сжатый воздух, поступающий в пневмоцилиндр, расположенный на устройстве, который и создаёт необходимое усилие, совместимое с усилием набегающего прицепа на тягово-сцепное устройство тягача. Затем создаётся имитация торможения. Колёса прицепа, которые должны находиться на барабанах

тормозного стенда, начинаю тормозить, так как система инерционного тормоза разведёт колёдки в тормозных механизмах. Усилие на замедление на колёсах измеряется стандартным стендом проверки тормозов на станции ГТО [5].

Данная разработка призвана упростить процедуру проверки ИТС и сделать её более приближенной к реальности. Стенд дает возможность контроля технического состояния инерционных тормозных систем автомобильных прицепов как при проведении государственного технического осмотра транспортных средств, так и для выявления неисправностей и отказов в процессе эксплуатации. Одной из проблем использования нагрузителя в составе линии инструментального контроля является согласование систем управления тормозным стендом и нагрузителем [6]. Необходимо построить такую систему управления нагрузителем, которая бы требовала минимального изменения программного обеспечения завода-изготовителя. Решение этой проблемы может быть достигнуто двумя путями:

- построением автономной системы управления нагрузителем;
- интегрированием системы управления нагрузителем в систему завода-изготовителя стенда без изменения программного обеспечения.

Первый вариант реализации требует измерения тормозных сил на колесах (осях) прицепа, что является экономически нецелесообразным; второй вариант — интегрирование в систему управления завода-изготовителя требует дальнейших исследований. Работа нагрузителя в автономном режиме должна осуществляться под управлением программы, заложенной в память микроконтроллера. Программное обеспечение включает в себя подпрограмму тестирования, подпрограмму настройки и рабочую программу. При запуске подпрограммы тестирования вычислитель проверяет исправность оперативного запоминающего устройства, постоянного запоминающего устройства, коммутатора и модулей индикации, однокристалльного микроконтроллера. Кроме того, после подачи напряжения питания и в процессе работы ведется контроль состояния линий связи датчиков (на обрыв и замыкание). При прохождении теста включается соответствующая индикация. Работа системы управления в автономном режиме заключается в следующем. После запуска программы управления нагрузителем происходит рост давления в полости пневмоцилиндра до достижения заданного уровня (зависит от полной массы проверяемого прицепа), затем срабатывает электропневмоклапан (ЭПК-1) и рост давления прекращается. При этом должны фиксироваться тормозные силы на левом и правом колесах (при двухосном прицепе по бортам). Измерение тормозных сил на колесах прицепа связано с подключением к датчикам измерения тормозных сил, что недопустимо по требованиям завода изготовителя. Второй путь - интегрирование в систему управления завода-изготовителя стенда может быть реализовано при условии использования стандартного стенда, а именно:

- измерения скорости торможения, имитируемое на тормозном стенде;
- измерения тормозных сил на колесах прицепа;
- измерения силы, создаваемой на органе управления инерционной, тормозной системы;
- измерения массы на каждом колесе;
- измерения давления воздуха в пневмоприводе цилиндра.

В этом варианте необходимо использовать штатный датчик измерения силы (стандартный) на органе управления инерционной тормозной системы, который должен быть установлен на нагрузитель. При использовании полученной схемы управления на рабочем образце нагрузителя возможно получение результатов измерения тормозных свойств автомобильных прицепов для последующего сравнения с результатами моделирования.

Определение тормозных сил на колесах прицепа необходимо для расчета удельной тормозной силы и относительной разности тормозных сил левого и правого колес прицепа. Полученные данные являются оценочными при определении технического состояния инерционной тормозной системы по ГОСТ Р 51709-2001.

Для проведения испытаний использовался универсальный тормозной стенд СТС-10У-СП-1Ш производства завода ГАРО (Великий Новгород).

Технические характеристики стенда представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики тормозного стенда СТС-10У-СП-11П

Параметр	Значение
Начальная скорость движения, имитируемая на стенде, км/ч	2,2; 4,4
Изменение тормозных сил, Н	6000
Изменение усилий на органе управления, Н	1000
Пределы допустимой относительной погрешности измеряемых параметров	±3%

Методика определения тормозных сил на колесах прицепа и усилия вталкивания на сцепной головке нагружателя:

- запустить программу проверки прицепов из ПО тормозного стенда;
- установить прицеп на ролики тормозного стенда;
- произвести взвешивание прицепа по каждому колесу  $G_{л}$  и  $G_{пр}$ ;
- установить нагружатель на устройство управления;
- заблокировать прицеп от перемещения с роликов тормозного стенда при помощи увязки прицепа и нагружателя;
- настроить давление в камере пневмоцилиндра, усилие на штоке которого не должно превышать нормативного значения усилия вталкивания для данного прицепа, исходя из выражения

$$p = \frac{bgM_{п}^{\max} + p_0F_{ЭКВ}}{F_{ЭКВ}},$$

где  $M_{п}^{\max}$  — максимальная масса прицепа;  $b= 0,1$  для одноосных и  $b= 0,067$  для остальных прицепов;

- запустить электродвигатели вращения роликов стенда;
- открыть кран подачи сжатого воздуха в пневмоцилиндр (при блокировании хотя бы одного колеса прицепа произойдет автоматический останов роликов стенда);
- если электродвигатели продолжают вращать ролики, то необходимо принудительно их отключить;
- измерить тормозную силу на колесах и усилие вталкивания на сцепной головке прицепа;
- рассчитать оценочные параметры:
  - удельную тормозную силу  $\gamma = \frac{\sum R_x}{G_{п} + G_{л}}$ ;
  - коэффициент относительной разности  $F = \left| \frac{R_x^л}{R_{\max}} \right| \cdot 100\%$ ,
- распечатать диагностическую карту.

Для эксперимента был использован прицеп марки BORO модели BR2. Прицеп предназначен для перевозки автомобилей. Масса прицепа 500 кг. Максимальная разрешенная масса 2700 кг. Прицеп испытывается с погруженным на него автомобилем массой 1300 кг (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид прицепа с автомобилем

Согласно приведенной методике выполнено диагностирование:

1. Определение веса прицепа происходит на стенде автоматически;
2. Определение сил сопротивления свободному вращению происходит автоматически и вычитается из финального результата:

3. Определение порогового усилия устройства управления:

для исследуемого прицепа полной массой 1800 кг пороговое усилие должно находиться в пределах от 352 до 700 Н. В процессе эксперимента срабатывание произошло на 380 Н, что удовлетворяет заданным условиям.

4. Определение тормозных сил на колесах прицепа и усилия вталкивания на сцепной головке нагрузателя (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид нагрузателя с прицепом

Было произведено пять замеров, все полученные данные занесены в табл. 2. Согласно требованиям, наибольшее сжимающее усилие на данном прицепе не должно превысить 1764 Н.

**Таблица 2**  
**Значения давлений в пневмоцилиндре и соответствующих им усилий на сцепной головке нагрузителя**

Давление, МПа	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
Усилие, Н Эксперимент №1	0	220	660	1150	1550
Усилие, Н Эксперимент №2	0	220	650	1170	1540
Усилие, Н Эксперимент №3	0	220	650	1170	1550
Усилие, Н Эксперимент №4	0	220	650	1160	1560
Усилие, Н Эксперимент №5	0	220	660	1180	1540
Среднее значение, Н	0	220	654	1166	1548

Проведенные расчетные и экспериментальные исследования характеристик разработанного нагрузителя показали, что расхождения расчетных и экспериментальных значений тормозных усилий на колесах прицепа, оборудованного ИТС, незначительны (менее 5 %). Это подтверждает адекватность полученных моделей торможения, а также работоспособность разработанной конструкции нагрузителя.

#### Библиографический список

1. **Архипов, А.В.** Использование математического моделирования при оценке эффективности торможения автомобиля // Проблемы проектирования, испытания, эксплуатации автотракторной техники: материалы междунар. научно-технич. конф. – Н. Новгород, 2000. С. 152–155.
2. Требования к техническому состоянию транспортных средств / А.М. Грошев [и др.] // Государственный технический осмотр в нормативных правовых актах. – М. – Н. Новгород. 2005. Вып. 3.
3. **Спиридонов, Д.С.** Разработка методик и средств оценки технического состояния инерционной тормозной системы при инструментальном контроле: дисс. ... канд. техн. наук. – Владимир, 2010. – 153 с.
4. **Корчажкин, М.Г.** Разработка средств проверки состояния инерционных тормозных систем автомобилей // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: материалы 79-й междунар. научно-технич. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2012. С. 177–181.
5. **Маслов, С.И.** Проверка состояний инерционных тормозных систем / Будущее технической науки: сб. материалов XI Междунар. молодежной научно-технич. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2012. С. 137–138 с.
6. **Парфенов, П.Н.** Разработка алгоритма управления нагрузителем в составе линии инструментального контроля / Будущее технической науки: сб. материалов XII Междунар. молодежной научно-технич. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2013. С. 188–189.
7. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. Методы проверки. – М.: ГОСТОТАНДАРТ РОССИИ, 2001. – 27 с.
8. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении торможения. Правила 13 ЕЭК ООН, Е/ЕСЕ/324, Е/ЕСЕ/TRANS 505.

Приложение 12. Условия контроля транспортных средств, оборудованных инерционными тормозами.

9. Технический регламент «О безопасности колесных транспортных средств», утвержденный постановлением Правительства РФ №720 от 10 сентября 2009 г.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**M.G. Korchazhkin, A. N. Arkhipov**

## **DEFINITION OF BRAKE EFFORTS OF INERTIAL BRAKE SYSTEMS OF AUTOMOBILE ROAD TRAINS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Definition of brake efforts of inertial brake systems at instrumentally control.

**Design/methodology/approach:** Researches are lead with use of methods of the mathematical modeling and pilot studies.

**Findings:** The design of loading creator of inertial brake systems is offered and the working capacity assessment is carried out.

**Research limitations/implications:** The constructive solution of the problem of definition of technical condition of inertial brake systems is offered.

**Originality/value:** The loading creator of inertial brake systems as a part of the brake stand is developed.

*Key words:* Brake system, technical condition, assessment, road train, trailer, inertial brake, brake efforts, loading creator.

УДК 621.113

Р.О. Голиков, Н.Т. Лозовский

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОМОТОРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетно-экспериментального исследования экономической эффективности перевода автомобилей с бензинового топлива на газ. Представлены результаты математических расчетов экономической эффективности, а также ответы на основные вопросы о целесообразности установки ГБО.

*Ключевые слова:* газовое оборудование, математические расчеты, экономический эффект, транспортные средства, затраты.

Вопрос экономичности топлива весьма актуален. Переход с бензинового на газовое топливо позволяет не только снизить финансовые затраты, но и улучшить экологическое состояние окружающей среды.

На современном этапе рыночных отношений возникает потребность ускоренного развития производственной инфраструктуры, в том числе транспорта, обеспечивающей надежное обращение материальных ресурсов. При этом повышаются требования потребителей к качеству используемой ими продукции. Это относится и к транспортным услугам, так как повышение их качества позволяет увеличить эффективность производства и доходы предприятий, пользующихся услугами транспорта.

Для грузовых перевозок, в зависимости от специфики грузов и требований клиентуры, показателями качества являются: сохранность грузов в процессе транспортирования; регулярность поступления партий груза к получателям; максимальное сокращение времени доставки грузов; строгое соблюдение расписания отправления партий груза и гарантированное их прибытие к получателю в точно назначенные сроки. При грузовых перевозках автомобильный транспорт участвует практически во всех взаимосвязях производителей и потребителей продукции.

Автомобильный транспорт по сравнению с другими видами транспорта имеет ряд преимуществ при перевозке грузов: доставка грузов «от двери до двери»; сохранность грузов; сокращение потребности в дорогостоящей и громоздкой упаковке; экономия упаковочного материала; более высокая скорость доставки грузов автомобилями; возможность участия в смешанных перевозках; перевозки небольших партий груза, позволяющее предприятию ускорить отправку продукции и сократить сроки хранения груза на складах.

Как можно повлиять на показатели качества автомобильного транспорта? Как увеличить прибыль предприятия? Как сократить расходы? Ответ на эти вопросы очень прост. Применение газомоторных автомобилей позволяет улучшить показатели транспортных перевозок. Эти автомобили более чисты экологически, газ дешевле жидкого топлива, имеет лучшие смесеобразующие свойства.

Кроме того, эксплуатационные качества газомоторных автомобилей можно повысить:

- изменением конструкции газомоторного оборудования;
- движением автомобиля преимущественно на газу;
- созданием двигателя, работающего исключительно на газовом топливе.

Второй способ является менее затратным и более простым в освоении.

Применяемый в настоящее время газомоторный двигатель это гибрид. Пуск автомобиля происходит на бензине, а так же часть движения автомобиля, когда газообразного топлива не достаточно, автомобиль движется на жидком топливе.

Стоимость перевозок на жидком топливе и на газу различные.

**Затраты на топливо можем определить по формулам:**

$$C_T = Q_n \cdot \Pi_{\text{ЛЛП}}, \quad (1)$$

где  $Q_n$  – базовая норма расхода топлива, л.

$$Q_n = 0.01(H_{\text{САП}}S + H_w W)(1 + 0.01D), \quad (2)$$

где  $H_{\text{САП}}$  – норма расхода топлива на пробег автопоезда, л/100 км;

$$H_{\text{САП}} = H_S + H_D + G_{\text{ГР}}, \quad (3)$$

где  $H_D$  – норма расхода топлива на дополнительную массу прицепа или полуприцепа (л/100 км, м<sup>3</sup>/100км);  $H_w$  – норма расхода топлива на транспортную работу;  $W$  – объем транспортной работы, т

$$W = G_{\text{ГР}} S_{\text{ГР}}, \quad (4)$$

где  $G_{\text{ГР}}$  – масса груза, т;  $S_{\text{ГР}}$  – пробег с грузом, км;  $G_{\text{ПР}}$  – масса прицепа или полуприцепа, т;  $D$  – суммарный поправочный коэффициент;  $\Pi_{\text{ЛЛП}}$  – цена 1 л топлива, руб.

В качестве примера рассмотрим вариант перевозок на автомобиле ГАЗ-33021 (УМЗ-42150-4L-2, 89-89-5М) (рис. 1).



**Рис. 1. Автомобиль ГАЗ-33021**

Маршрут перевозок по Нижнему Новгороду, длина пути 300 км:

$$D = 20 + 10 + 10 + 10 + 10 = 60\%$$

где 20% - город с числом жителей от 1 до 3 млн; 10% - работа транспорта, требующего частых технических остановок; 10% - дорога III категории; 10% - новый автомобиль; 10% - простой под погрузкой и разгрузкой.

Для бензинового двигателя:

$$Q_n = 0.01(16,6 \cdot 300 + 2 \cdot 5 \cdot 300)(1 + 0.01 \cdot 60) = 127,68 \text{ л};$$

$$C_m = 127,68 \cdot 31,80 = 4060,224 \text{ руб.}$$

Для газового двигателя:

$$Q_n = 0.01(19 \cdot 300 + 2 \cdot 5 \cdot 300)(1 + 0.01 \cdot 60) = 139,2 \text{ л};$$

$$C_m = 139,2 \cdot 15 = 2088 \text{ руб.}$$

Как видно из расчетов, стоимость перевозки одного и того же груза на одном автомобиле и в одном городе на газу значительно дешевле. Кроме того, автомобиль, работающий на газовом топливе значительно меньше загрязняет окружающую среду. Следовательно, применение газомоторных автомобилей целесообразно и актуально.

По принципу работы применяемые в настоящее время газовые системы можно разделить на 5 поколений:

- ГБО 1-го поколения – механические системы с вакуумным управлением, которые устанавливают на бензиновые карбюраторные автомобили;

- ГБО 2-го поколения – механические системы, дополненные электронным дозирующим устройством, работающим по принципу обратной связи с датчиком содержания кислорода (лямбда-зонд). Они устанавливаются на автомобили, оснащенные инжекторным двигателем и каталитическим нейтрализатором отработавших газов;
- ГБО 3-го поколения – системы, обеспечивающие распределенный синхронный впрыск газа с дозатором-распределителем, который управляется электронным блоком. Газ подается во впускной коллектор с помощью механических форсунок, открывающихся за счет избыточного давления в магистрали подачи газа;
- ГБО 4-го поколения – системы распределенного последовательного впрыска газа с электромагнитными форсунками, управляемых более совершенным электронным блоком. Как и в системе предыдущего поколения, газовые форсунки устанавливаются на коллекторе непосредственно у впускного клапана каждого цилиндра;
- ГБО 5-го поколения (рис. 2) – система, в которой газ впрыскивается не в газообразном, а в сжиженном виде непосредственно в цилиндр автомобиля. Функционирование такой системы возможно только при наличии насоса высокого давления, установленного внутри баллона. Эксплуатация системы 5-го поколения в условиях российской действительности может вызывать определенные трудности: насос высокого давления нередко выходит из строя из-за низкого качества отечественного газового топлива.

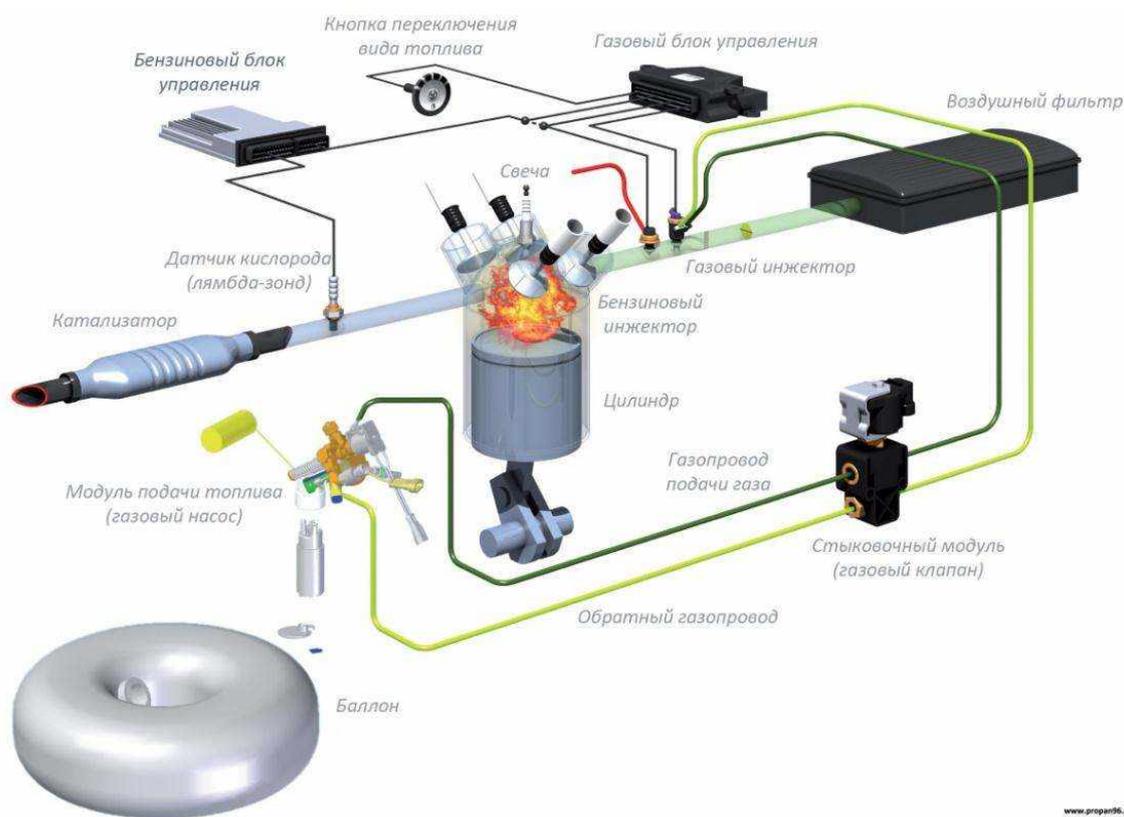


Рис. 2. ГБО 5-го поколения

www.propan96.ru  
Газовый сервис

Системы первого и второго поколений имеют ряд недостатков и не отвечают действующим в настоящее время стандартам ЕЭК ООН. Токсичность отработавших газов (ОГ) автомобилей, оснащенных такими системами, как правило, находится на уровне норм ЕВРО-1, действовавших в Европе до 1996 г., и лишь в отдельных случаях приближаются к нормам ЕВРО-2. В связи с этим производители газового оборудования разработали системы третьего, четвертого и пятого поколений, которые находят все большее распространение.

Рассмотрим некоторые вопросы, касающиеся ГБО и его использования.

Заменит ли ГБО обычную систему питания или ее придется снимать?

ГБО позволяет ехать только на газе, не используя бензин. Но обычно штатная система питания не демонтируется. Обе системы (бензиновая и газовая) существуют параллельно (гибридный двигатель). Может работать то одна, то другая. Такой принцип целесообразен при недостаточно распространенной сети газозаправочных станций

На автомобилях получили распространение два вида горючего газа: сжатый природный и сжиженный нефтяной. Природный газ нашел применение в качестве топлива на крупных автомобилях – грузовиках и автобусах, поскольку он требует больших заправочных емкостей и более сложной системы питания.

Легковые автомобили используют сжиженный нефтяной газ, для которого не нужны большие баллоны и сложная топливная аппаратура. Этот газ – смесь пропана и бутана, получаемая на нефтеперерабатывающих заводах в виде побочного продукта производства. На заправочные станции газ поставляется в смеси «летняя» (состоит на 45-55% из пропана) и «зимняя» (содержит 85-95% пропана).

Основными частями системы ГБО являются баллон, редуктор-испаритель и смеситель «газ-воздух». Из баллона по магистрали газ поступает в редуктор-испаритель, который понижает давление с 16 до 1-2 ат, переводя газ в парообразное состояние. После этого летучий газ идет по магистрали в смеситель, где перемешивается с воздухом: готовая горючая смесь всасывается в цилиндры двигателя.

Переключение с бензина на газ и наоборот производится кнопкой из салона и электромагнитными клапанами, один из которых стоит в газовой, а другой – в бензиновой магистралях. Для заправки баллона существует вентиль со стандартным разъемом под штуцер «пистолета» ГЗС.

Преимущества при переходе на газ следующие:

1. При работе двигателя на газовом топливе происходит полное сгорание газовой смеси, так как газ легко смешивается с воздухом и равномерно наполняет камеры сгорания однородной гомогенной смесью, благодаря чему улучшаются условия смазки трущей пары (цилиндр, поршневые кольца).

2. Газ попадает в камеру сгорания двигателя уже в парообразном виде, и поэтому, в отличие от бензина, не смывает масло со стенок и не растворяет его. Вследствие уменьшения углеродистых осадков не накапливаются смолистые отложения в камере сгорания, поэтому снижается нагарообразование на головке блока и на поршнях.

3. Газ не содержит тяжелых примесей, которые на микроуровне способны разрушать каталитический нейтрализатор и лямбда зонд, причем отпадает необходимость в нейтрализаторе.

4. Масло при работе двигателя на газе можно менять реже, так как оно не разжижается, в меньшей степени подвергается загрязнению и дольше сохраняет свои свойства.

5. Межремонтный пробег газового двигателя более продолжительный по сравнению с бензиновым.

6. На газовом двигателе увеличивается срок службы свечей зажигания.

7. Газ горит медленнее бензина, поэтому «газовые» двигатели работают тише бензиновых, и при любых режимах езды практически отсутствует детонация, так как октановое число сжиженных нефтяных газов 100-110, что на порядок выше любого (даже высококачественного) бензина.

8. Суммарное содержание вредных веществ в отработавших газах снижается на 60-70%, что является немаловажным фактором для здоровья людей и окружающей среды.

9. Перевод автомобиля на газовое топливо не требует конструктивной переделки двигателя. Достаточно установить газовую аппаратуру.

10. Работа двигателя только на газовом топливе позволяет увеличить его мощность.

Недостатки использования газа могут быть следующие:

При использовании газа в качестве топлива на «гибридном» двигателе мощность снижается на 10-15%. При этом расход газа оказывается на 15-30% больше, чем бензина.

Этот недостаток можно исключить установив двигатель, работающий только на газу Газо-баллонное оборудование увеличивает массу автомобиля на 45-70 кг. Баллон занимает место в багажнике или грузовом отделении. Газ более взрыво- и пожароопасен, чем бензин. И, наконец, установка ГБО требует финансовых затрат.

Теоретически на газ можно перевести любой двигатель, в том числе турбированный и дизельный. Правда, для дизельных двигателей, газ не так актуален, как для бензиновых. Нет особых проблем и с типом кузова. Владельцам седанов проще всего – стандартный цилиндрический баллон без особого ущерба свободному пространству ставится в глубину багажника, за спинку задних сидений. Для хэтчбеков и универсалов используют тороидальные баллоны, которые ставятся в нишу «запаски». Есть варианты и с двумя небольшими «боковыми» баллонами, размещаемыми по разным сторонам багажного отделения.

На заправку баллона газом уходит от 4 до 7 мин. В зависимости от объема двигателя, режима езды, емкости баллона хватает на пробег от 200 до 400 км.

Необходимо увеличить их количество газозаправочных станций до нормальных показателей.

Сейчас на рынке ГБО лидируют итальянские производители: Bedini, Landi Renzo, Lovato, Marini, Tartarini, Zavoli и др. Есть на рынке и продукция турецких (Voltran), венгерских (Kargas, Longas) и польских (Elpigas) фирм. Активно работают российские производители, такие как «Компрессор», НЗГА, «Полиавто» и «САГА». Цены на ГБО начинаются от 6000 руб. за простые системы для карбюраторных машин. Сложная, электронная система с распределенным впрыском газа, с большим количеством дополнительных блоков и датчиков, имеет стоимость в районе 30 000-40 000 руб. и выше. Как правило, система для трех-семилетней инжекторной иномарки стоит 12 000-20 000 руб. плюс от 3 000 до 7 000 руб. за установку ГБО.

Можно ли демонтировать ГБО без ущерба для автомобиля?

Можно, но демонтаж, особенно электронных систем, требует квалификации. Поэтому, если есть желание отказаться от газа, то разумнее снять только баллон, что несложно сделать самому. Аппаратура же под капотом и магистрали не помешают, их можно не снимать.

Современное электронное ГБО имеет датчики утечки газа и возгорания, системы сброса давления при аварии и пожаротушения. В конструкции баллонов применяются специальные слоистые материалы и ячеистые наполнители, снижающие взрывоопасность. По утверждению производителей, сейчас машины с ГБО не опаснее бензиновых. Тем не менее, у автомобиля с газобаллонным оборудованием, особенно при аварии, больше риск возгорания и взрыва.

Чем качественнее уплотнения в клапанах, вентиле, магистралях, редукторе-испарителе и смесителе – тем меньше выхлоп. Современные исправные системы почти не распространяют запаха. Но все-таки в багажнике, где стоит баллон, или под капотом (больше или меньше) пахнет всегда.

Основные узлы системы – баллон, редуктор, электроника – сами по себе служат столько же, как, например, головка блока цилиндров, однако различные прокладки и уплотнения клапанов, соединений в магистралях приходится менять не реже одного раза в 2-3 года, а возможно, и чаще.

Газовое оборудование требует специального ТО. У автомобилей с ГБО раз в полгода на станции, имеющий сертификат на такие работы, делается осмотр системы на предмет утечек. Если система электронная, то проводится и диагностика блока. Обязательно проверяются баллоны: первая проверка делается через 10 месяцев со дня продажи, а затем – каждый год-два (согласно обозначенной в талоне дате).

Для прохождения техосмотра для автомобиля с ГБО нужно иметь дополнительные документы. Это свидетельство о проверке баллона; документ об установке, выданный станцией; копия лицензии станции-установщика. Если ГБО куплено самостоятельно, то нужна

будет и копия сертификата на оборудование. Все эти документы рекомендуется всегда возить с собой.

Изложенное позволяет сделать вывод, что ГБО имеет больше плюсов, чем минусов, кроме того, автомобили, на которых установлено ГБО, экономят значительную сумму денег его владельцу. А так же в соответствии с Постановлением Правительства Нижегородской области от 29 апреля 2008 г. № 168 владельцам транспортных средств (юридические лица и ИП), оборудованных ГБО для работы на сжиженном нефтяном газе, предоставляется снижение ставки на транспортный налог 50%.

#### Библиографический список

1. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей. Нормативы, показатели, управление.
2. Интернет ресурс ГБО разных поколений [ [http://auto.ironhorse.ru/gbo\\_27.html](http://auto.ironhorse.ru/gbo_27.html) ]

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**R.O. Golikov, N.T. Lozovsky**

#### ABOUT WHETHER THE USE OF NGVS

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Study on economic efficiency natural gas equipment on the example of the GAZ-33021.

**Desigen/methodology/approach:** Verification of mathematical calculations the economic effect of gas-powered car in the city.

**Findings:** The mathematical model showed that the gas equipment effectively, we have also analyzed the advantages and disadvantages of such vehicles.

**Research limitations/implication:** On vehicles which are engaged in freight and passenger transport installation of gas equipment will significantly reduce costs and thereby increase the income.

**Originality/value:** The novelty of this study lies in the fact that mathematical calculations to obtain a clear economic benefit, no one worked.

*Key words:* gas equipment, mathematical calculations, economic effect, vehicles, economic benefit, costs.

УДК 656.13

В.В. Ясенов, М.Е. Елисеев, А. В. Липенков

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В РАБОТЕ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА Г. НИЖНЕГО НОВГОРОДА

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Анализируются результаты проведенного в Нижнем Новгороде обследования транспортных и пассажирских потоков в рамках разработки комплексной транспортной схемы на период до 2030 года. Выявлены недостатки в работе системы городского общественного пассажирского транспорта и пути их устранения.

*Ключевые слова:* городской пассажирский транспорт, обследование пассажиропотоков, транспортная доступность, качество обслуживания пассажиров, транспортный спрос, маршруты перемещения.

В течение апреля 2014 г. силами студентов и преподавателей ИТС НГТУ проводилось обследование транспортных и пассажирских потоков Нижнего Новгорода для выработки рекомендаций по развитию транспортной сети города на период до 2030 года. В процессе работы были проведены следующие мероприятия:

1. Проведено обследование транспортных потоков на 208 перекрестках;
2. Проведено обследование пассажиропотоков: в маршрутных автобусах по 20 маршрутам, в маршрутных такси по 20 маршрутам, в троллейбусах по 10 маршрутам, в трамваях по 10 маршрутам, а также на станциях метро в будний и выходной день.
3. Проведено обследование регулярности движения пассажирского транспорта на десяти стационарных постах и остановочных пунктах.
4. Проведена оценка параметров транспортного спроса (интенсивность транспортных потоков, пассажиропотоки) со стороны участников в период пиковых нагрузок.

Транспортная сеть Нижнего Новгорода широко разветвлена, обеспечивает хороший доступ к услугам транспорта общего пользования, за исключением некоторых нарушений, допущенных при планировании городской застройки, к примеру, улицы Усилова, жители которой вынуждены проходить расстояния до остановок общественного транспорта, значительно превышающие значения пешеходной доступности для городов, установленные СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*». Избыток предложения на рынке пассажирских транспортных услуг (анализ приводится далее) позволяет в автобусном сообщении обеспечивать качество обслуживания по загрузке транспортных средств не ниже уровня D по HCM-2000 (Highway Capacity Manual 2000) [1], а на городском электрическом транспорте в большинстве случаев не ниже уровня C (табл. 1).

В то же время разветвленная сеть порождает множество маршрутов, имеющих значительную общую часть и расходящихся ближе к конечным остановкам. Такое различие приводит к увеличению интервала между автобусами и для маршрутных такси он составляет 5-7 мин, что квалифицируется, как приемлемый уровень по ГОСТ Р 3112178-0343-95, а для муниципальных автобусов порядка 10 мин и более, что по классификации является малоудобным или неудобным. Интервальность движения городского электротранспорта (ГЭТ) находится исключительно в диапазоне «неудобный», более 10 мин, что является одной из причин малого спроса на данные услуги и великолепного результата по наполняемости салона с точки зрения удобства пассажиров (от уровня C до уровня A). Активному использованию троллейбусов населением мешает, на наш взгляд, их применение в качестве дублёров автобусных маршрутов при большем интервале движения и меньшей скорости движения. Кроме того, использование троллейбусов на корреспонденциях без значительного устойчивого притяжения, например Щербинки-2 (загруженный остановочный пункт) - пл. Минина

(остановочный пункт без устойчивого пассажиропотока) нецелесообразно. Спасти нижегородский троллейбус может значительное расширение схемы троллейбусного сообщения и увеличение подвижного состава. Впрочем, с комплектацией парков автобусами, отвечающими требованиям Евро 5, пропадает главное преимущество троллейбусов – экологичность, и дальнейшая целесообразность применения троллейбусов в условиях дефицита электроэнергии сомнительна.

Таблица 1

## Уровни обслуживания пассажиров автобусным транспортом в соответствии с НСМ-2000

Уровень обслуживания	Удельная площадь салона на одного пассажира, м <sup>2</sup>	Число пассажиров на одно сиденье	Примечание
A	Более 1,2	Не более 0,5	Большой выбор мест для сидения, пассажиры могут не садиться рядом друг с другом
B	0,8... 1,19	0,51-0,75	Выбор мест для сидения
C	0,6...0,79	0,76 - 1	Все пассажиры могут сидеть
D	0,5...0,59	1,1-1,25	Номинальный уровень загрузки автобуса
E	0,4... 0,49	1,26-1,5	Максимальный уровень загрузки автобуса
F	Менее 0,4	Более 1,5	Переполнение автобуса

Характерной особенностью наземной транспортной сети города является повсеместное невыполнение графиков и регулярности движения. Из табл. 2 видна разница по времени в выполнении рейса одного и того же маршрута при различных отправлениях. Этот вывод подтверждается наблюдениями на остановочных пунктах. Например: на посту обследования 62.1 (площадь Лядова) за отдельные 30 мин в период времени от 6:30 до 9:30 проходило от одного до 5 автобусов маршрута №68, а на том же посту, к примеру, интервал движения автобусов маршрута №60 составлял последовательно 3, 10, 6, 6, 26, 2, 7, 14 и 14 минут соответственно. На автобусном маршруте №56 на стационарном посту 31.1 (проспект Ильича) в период от 6:33 до 9:05 интервал составлял 12, 14, 9, 16, 18, 1, 24, 7, 9, 18, 5, 10, 9, 17, 9, и 5 мин соответственно. Можно сделать вывод, что центрально-диспетчерская служба (ЦДС) «Нижегородпассажиравтобус» и ЦДС департамента транспорта не более чем «дорогие игрушки», обслуживающий персонал которых занят исключительно приведением не отвечающей реальному положению дел отчетности в надлежащий вид. Уход от выполнения регулярности движения и дублирование маршрутов муниципального транспорта маршрутными такси способствует криминализации пассажирских перевозок, к примеру, договорённостям об опережающем отправление маршрутного такси перед муниципальным автобусом.

Нарушение регулярности движения трамваев вызвано исключительно перекрытием рельсовых путей наземным транспортом не только при ДТП, но и при выполнении манёвров, чаще всего, поворотов налево и разворотах.

Нижегородское метро не загружено во всех направлениях в любое время суток. Причина, прежде всего, в отсутствии связи линий метро со спальными районами: Верхние Печёры, Кузнечиха и Кузнечиха-2, Щербинки, Центр Сормова. Даже станция метро «Парк культуры», расположенная в Автозаводском районе, значительно удалена от микрорайонов компактного проживания.

Проблем с доступом к пригородным и междугородным перевозкам нет. Проблема с нерегулируемой конкуренцией в сфере автомобильных перевозчиков со стороны нелегалов. Нелегальные перевозчики перехватывают пассажиров на подступах к автовокзалам, особен-

но на центральном автовокзале и автостанции «Канавинская». Расположение автовокзала и автостанций в центральных районах города оказывает значительное влияние на загруженность прилегающих участков городских магистральных улиц.

В табл. 2 представлены результаты обследования некоторых из маршрутов городского пассажирского транспорта. Представлены рассчитанные коэффициенты сменяемости пассажиров. Данный коэффициент характеризует уровень коммерческого использования вместимости подвижного состава. Он показывает количество пассажиров, которое условно перевозится транспортным средством на одном пассажирском месте за рейс и высчитывается по формуле

$$\eta_{см} = \frac{Q_p}{q}, \quad (1)$$

где  $Q_p$  – количество перевезенных пассажиров в транспортном средстве за рейс, пасс;  $q$  – номинальная вместимость транспортного средства, пасс.

Таблица 2

Показатели качества обслуживания

№	Время выполнения рейса, ч		Количество пассажиров (прямое направление)		Количество пассажиров (обратное направление)		Коэффициент сменяемости (прямое направление)	Коэффициент сменяемости (обратное направление)
	прямой	обратный	вышло	вошло	вошло	вышло		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Маршрут 85. Автобусы ЛиАЗ 5256								
1	1,17	1,65	98	105	125	129	1,31	1,6
2	1,48	1,27	143	143	77	71	1,8	0,96
3	1,18	1,3	129	123	127	127	1,53	1,59
4	1,3	1,17	182	190	110	106	2,3	1,4
5	1,0	1,58	74	72	180	191	0,92	2,26
6	1,27	1,37	130	132	79	80	1,65	1,0
Маршрут 16. Автобусы ЛиАЗ 5256								
1	0,51	0,5	55	55	38	39	0,54	0,5
2	0,5	0,55	57	58	71	71	0,7	0,9
3	0,55	0,51	48	48	76	78	0,6	1,0
4	0,55	0,63	73	64	73	76	0,9	0,95
5	0,41	0,5	22	22	99	97	0,275	1,25
6	0,5	0,6	66	66	52	53	0,825	0,7
Маршрутные такси								
Маршрут 69. ПАЗ 3205 (3204), общая вместимость 45 чел.								
1	1,3	0,9	50	50	34	36	1,1	0,8
2	0,8	1,45	34	34	25	26	0,84	0,58
3	0,85	1,5	21	19	58	58	1,18	1,18
4	1,15	0,95	57	55	35	35	0,7	0,7
5	1,0	1,5	43	43	51	56	1,0	1,3
6	1,4	1,05	53	53	22	22	1,18	0,5

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	1,3	1,1	41	41	13	13	0,91	0,29
8	1,2	1,35	38	38	41	41	0,84	0,91
Маршрут 25. ПАЗ 3205 (3204), общая вместимость 45 чел.								
1	0,45	0,8	29	29	36	36	0,64	0,8
2	0,7	0,6	34	34	26	26	0,8	0,65
3	0,57	0,65	43	43	40	40	1,0	0,9
4	0,6	0,5	40	40	17	17	0,9	0,38
5	0,45	0,7	33	33	32	32	0,73	0,73
6	0,5	0,85	33	33	39	39	0,73	0,87
7	0,5	0,52	14	14	48	48	0,31	1,05
8	0,6	0,6	37	37	36	36	0,82	0,82
9	0,73	0,55	36	39	32	32	0,87	0,73
10	0,6	0,8	26	26	43	41	0,65	0,98
11	0,5	0,7	27	27	40	40	0,65	0,9
12	0,5	0,8	20	20	58	52	0,44	1,3
13	0,6	0,65	18	18	16	16	0,38	0,38
14	0,7	0,6	38	35	44	44	0,87	0,98
Троллейбус. Маршрут 6								
1	0,8	1,0	42	42	108	106	0,5	1,3
2	1,0	1,1	84	84	97	97	1,05	1,2
Троллейбус. Маршрут 12								
1	0,51	0,5	41	41	32	32	0,5	0,4
2	0,8	0,43	48	48	6	6	0,51	0,075
3	0,6	0,65	44	44	24	24	0,55	0,3
4	0,7	0,5	15	15	21	21	0,2	0,28
Трамвай. Маршрут 8								
1	0,65	0,67	52	53	65	60	0,53	0,6
2	0,7	0,6	25	23	37	36	0,23	0,37
3	0,7	0,6	48	53	56	56	0,6	0,56
4	0,7	0,7	70	75	53	64	0,75	0,64
5	0,7	0,7	27	26	107	107	0,27	1,07
6	0,7	0,7	47	47	69	69	0,47	0,69

Негативную роль в снижении скорости сообщения на пассажирском транспорте играет отсутствие единой современной системы управления движением с соблюдением принципа предоставления преимущества транспортным средствам общего пользования. Отсутствие выделенных полос для общественного транспорта вместе с использованием автобусов малого класса, не предназначенных для перевозок на магистральных улицах, перегружают последние, увеличивая время поездки.

Принципы и предложения по улучшению работы пассажирского транспорта в Нижнем Новгороде:

- вернуться к регулярности движения как к основному показателю качества обслуживания пассажиров;
- убрать с магистральных улиц транспортные средства, предназначенные для районных и сельских перевозок (ПАЗ, Hyundai Kuzbass County и т.п.);
- принять программу предоставления преимущества движения пассажирскому транспорту;
- принять программу развития электротранспорта, в том числе возможного отказа от троллейбусов (с учётом закупки автобусов, отвечающим нормам Евро-5).

Выполнение данных принципов должно обеспечиваться принятием многовекторной «Программы развития пассажирского транспорта в Нижнем Новгороде», ряд возможных направлений которой пытаются реализовать городские власти, а именно: электронный проездной билет, позволяющий пользоваться несколькими транспортными средствами в течение ограниченного срока перемещений. Эта мера способна возродить популярность электро-транспорта.

Существует программа обновления муниципальных автобусов к 2018 г., их замены на автобусы, работающие на газовом топливе. Замена автобусного парка не решает основной проблемы отношений операторов различной формы собственности - конкуренции. Вопрос требует принципиального решения: сделать упор на муниципальный автобусный парк или пойти по пути дотационного финансирования частного перевозчика, обеспечивающего социальные гарантии (льготные проездные билеты). Так же требует принципиального решения использование автобусов малого класса на магистральных улицах, особенно в преддверии чемпионата мира по футболу 2018 года.

Не находит развития организация движения с предоставлением преимущества транспортным средствам общего пользования. Помимо выделения полос, возможно применение ограждений трамвайных линий, усиление контроля соблюдения правил стоянки транспортных средств в зонах пролегания трамвайных путей, возможность применения «умных» светофоров.

Требуется отказ от подхода «безысходности» при составлении расписаний движения маршрутных транспортных средств, связанного с затруднениями движения. Предлагается внедрение «гибких» графиков движения, учитывающих загруженность улиц в различное время суток и дней недели. При этом необходим переход от абстрактного интервала движения к строгому графику отправлений от конечных и узловых промежуточных остановок. Такой переход проводился на многих предприятиях и в городах при внедрении спутниковой системы навигации. В сложившейся ситуации смысла в её применении в Нижнем Новгороде нет, несмотря на внедрение двух ЦДС. Предлагается передать систему контроля движения муниципального транспорта (ЦДС Нижегородпассажиравтотранс) от исполнителя (Нижегородпассажиравтотранс) заказчику (Департамент транспорта).

Также авторам видится необходимым использование современных технологий компьютерного имитационного моделирования при принятии решений по изменению и корректировке маршрутной сети. Активная работа в данном направлении ведется коллективом кафедры «Автомобильный транспорт» НГТУ [3, 4] в плотном содействии с департаментом транспорта и связи г. Нижнего Новгорода. В настоящий момент разработана компьютерная модель маршрутной сети, которая наполняется данными, полученными из проведенного обследования. Результаты имитационных экспериментов будут рассмотрены в следующих публикациях авторов.

#### Библиографический список

1. Highway Capacity Manual 2000. - Transportation Research Board, National Research Council. - Washington, D.C., (USA), 2000. – 1134 p.

2. **Ясенов, В.В.** Проблемы развития муниципального городского пассажирского автотранспорта // Автотранспортное предприятие. 2009. № 5. С. 17–18.
3. **Елисеев, М.Е.** О проведении обследований городских автобусных маршрутов с целью их последующего моделирования / М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, О.А. Маслова // Автотранспортное предприятие. 2012. №1. С. 42–44.
4. **Елисеев, М.Е.** О модели городского пассажирского транспорта: моделирование логики пассажира / М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, Е. М. Елисеев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011. №3. С. 347–352.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.V. Yasenov, M.E. Eliseev, A. V. Lipenkov**

**THE ANALYSIS OF PROBLEMS IN OPERATION OF NIZHNY NOVGOROD  
URBAN PASSENGER TRANSPORT**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The purpose of this paper is to analyze the problems of the urban passenger transport system on the basis of the data held in the April 2014 by means of passenger traffic research.

**Design/methodology/approach:** In this paper the full-scale research data are used by means of the table method and visual inspection of passenger traffic.

**Findings:** It is necessary to develop and adopt a program of city public transport, to develop a simulation model of the city transport system, to introduce a single ticket, to use the priority of bus lanes, to return to the passenger transport regular movement through the development of "flexible" schedules.

**Research limitations/implications:** The authors' conclusions are based on the results of the full-scale study carried out by staff of the NNSTU "Automobile transport" department. The part of the bus routes during the test was equipped with transport detectors which data are not available to authors of this paper.

**Originality/value:** The value of the paper is in identification of the causes of inefficient functioning of the urban passenger transport system. Solving of these problems could significantly improve the situation in the city. Improving of the route network is particularly important before the FIFA World Cup Championship that is going to be in Nizhny Novgorod in 2018.

*Key words:* urban passenger transport, passenger survey, accessibility, quality of service for passengers, transport demand, traffic routes.

УДК 656.051

Е.Н. Кочкуров, М.Г. Корчажкин

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Оптимизация режимов работы перекрестков является актуальной задачей. Пробки возникают в основном в пиковые периоды на пересечениях дорог с высокой загруженностью. Для максимального увеличения пропускной способности мест затруднения применяется адаптивное регулирование, обеспечивающее изменение времени цикла светофора и фаз в зависимости от количества транспортных средств. Для адекватной работы системы адаптивного управления транспортными потоками необходим критерий, по которому работает алгоритм управления. С целью определения возможного критерия в работе проведено моделирование работы перекрестка, получены значения фаз для различных уровней интенсивности движения на участке дороги.

*Ключевые слова:* транспортный поток, перекресток, затор, светофор, цикл светофора, фаза светофора, интенсивность транспортного потока, адаптивное регулирование.

Применяемое на сегодня управление режимами светофора является постоянным в утренние и вечерние часы пик, хотя наблюдается тенденция того, что утром более нагружено одно направление дороги, а вечером другое. Существует необходимость применения такого режима работы светофора, который позволял бы увеличивать фазу работы зеленого сигнала светофора на наиболее загруженном подходе к перекрестку, и уменьшать те фазы, которые «не востребованы».

На данной стадии исследования проводится выбор критерия, по которому будет производиться автоматическое регулирование. Для этого в программе PTV Vision vissim создана модель перекрестка (пересечение пр. Ленина и улиц Комарова с одной стороны и ул. Дружбы – с другой), приведенных на рис. 1.

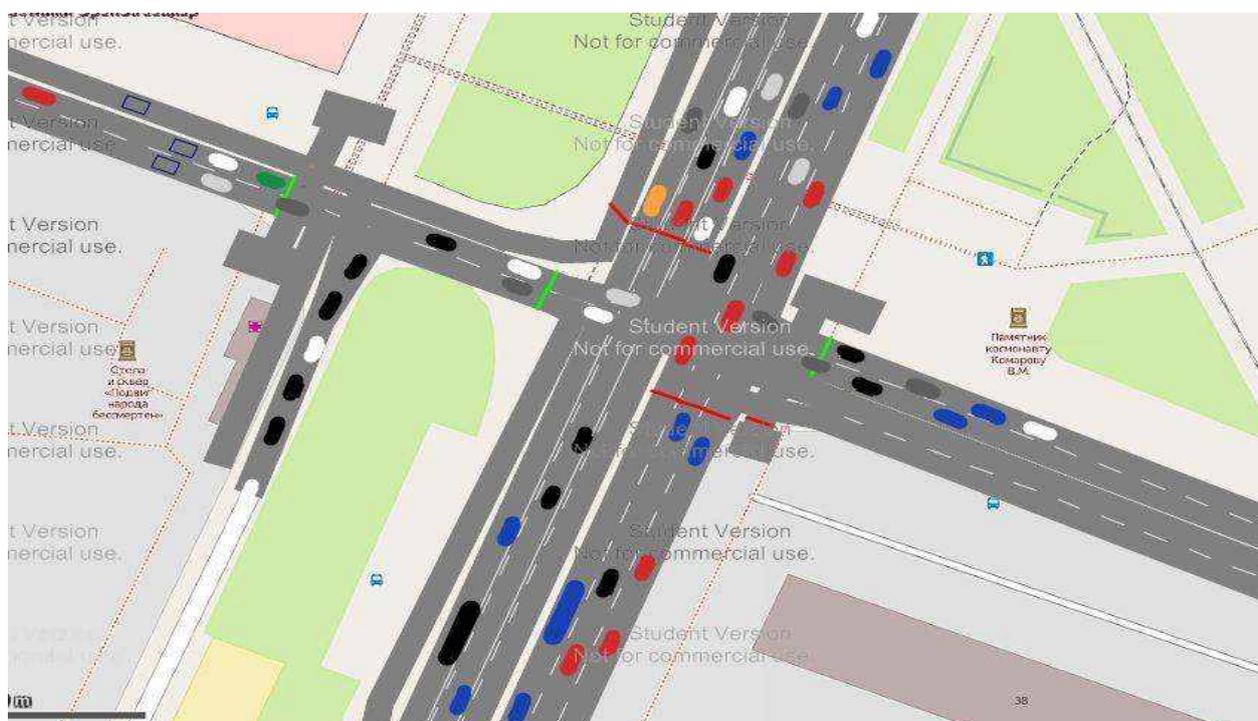


Рис. 1. Визуальное представление рассматриваемого перекрестка

В утренний и вечерний «час пик» наблюдается разная загруженность в каждом направлении, утром плотный поток автомобилей движется со стороны станции метро Пролетарская, в вечернее время в обратном направлении. Для обеспечения более свободного проезда данного участка в модели изменяется время цикла светофоров и фазы светофора с интервалом времени  $\Delta t=1$  с (рис. 2). Уменьшение времени цикла приведет к увеличению остановок и разгонов, что не целесообразно. Увеличение же времени цикла тоже имеет свой предел, так как слишком долгая фаза зеленого сигнала с одной стороны уменьшает обоснованную востребованность, а красный сигнал приведет к задержке и чрезмерному «переполнению», т.е. образованию длинных очередей.

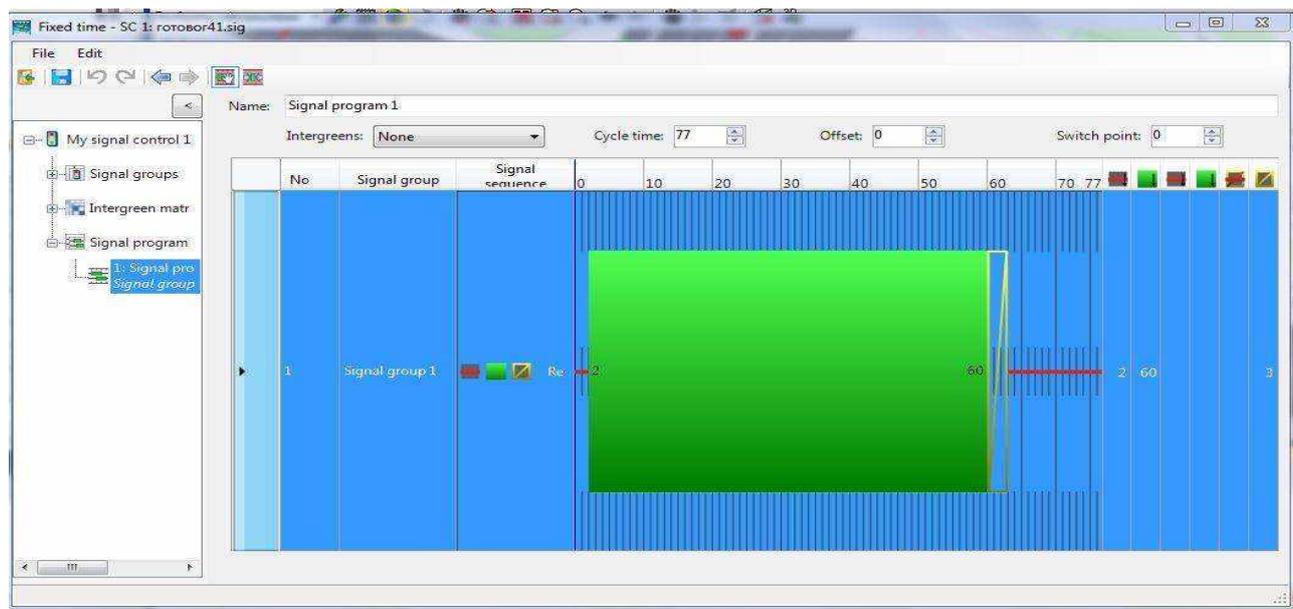


Рис. 2. Фазы работы светофора (интерфейс программы)

На первом этапе исследований в качестве критерия введения адаптивного управления перекрестком выбрано время прохождения автомобилей участка перекрестка, также будут рассматриваться очереди и количество остановок. Это в дальнейшем позволит наиболее полно оценить ситуацию, возникающую после изменений. При выполнении моделирования работы светофорного объекта на перекрестке были получены данные об интенсивности транспортного потока в зависимости от времени цикла светофора на перекрестке (табл. 1).

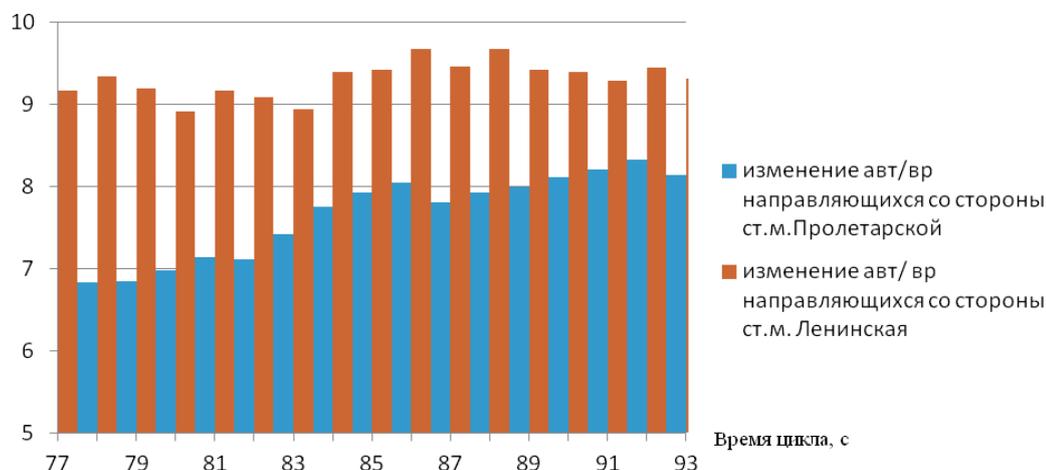


Рис. 3. Интенсивности транспортных потоков в зависимости от времени цикла

По результатам измерения построена гистограмма зависимости интенсивности транспортного потока от изменения времени цикла (рис. 3).

Увеличение цикла на 1 с и увеличение фазы зеленого света светофора со стороны ст. м. Пролетаркой, не изменяя время фаз других направлений, приводит к уменьшению времени прохождения участка дороги на пр. Ленина, что влияет на интенсивность (при востребовании перекрестка).

Анализ диаграммы позволил выбрать величины циклов, где высоки значения интенсивности на участке дороги в обоих направлениях. Приоритет отдавался потоку со стороны ст. м. «Пролетарская». При величине цикла 85-86 с и 90-92 с наблюдается комплексное повышение интенсивностей потока, которые и принимались к дальнейшему рассмотрению.

Таблица 1

Интенсивности транспортного потока

Поток со стороны ст.м. «Пролетарская» №	Время цикла, с	ТС в сети	Время на все ТС в сети	Интенсивность, авт./вр.	Поток со стороны ст.м. «Ленинская» №	Время цикла, с	ТС в сети	Время на все ТС в сети	Интенсивность, авт./вр.
1	77	326	47,66	6,84	1	77	263	28,67	9,17
2	78	326	47,74	6,83	2	78	260	27,83	9,34
3	79	324	47,32	6,85	3	79	261	28,38	9,20
4	80	325	46,53	6,98	4	80	265	29,72	8,92
5	81	326	45,67	7,14	5	81	266	29,01	9,17
6	82	328	46,08	7,12	6	82	261	28,71	9,09
7	83	337	45,44	7,42	7	83	256	28,65	8,94
8	84	346	44,64	7,75	8	84	267	28,42	9,40
9	85	353	44,52	7,93	9	85	266	28,23	9,42
10	86	357	44,36	8,05	10	86	262	27,10	9,67
11	87	353	45,19	7,81	11	87	265	28,02	9,46
12	88	355	44,82	7,92	12	88	271	28,02	9,67
13	89	357	44,70	7,99	13	89	265	28,14	9,42
14	90	358	44,10	8,12	14	90	270	28,77	9,39
15	91	358	43,60	8,21	15	91	263	28,31	9,29
16	92	361	43,39	8,32	16	92	264	27,93	9,45
17	93	351	43,13	8,14	17	93	265	28,45	9,31

Выполнен также анализ значений длин заторов и остановок в очередях, чтобы сделать более полные выводы об изменениях в циклах светофоров (рис. 4, 5).

Выбирая за приоритетное направление поток со стороны ст.м. «Пролетарская», было получено, что оптимальными длинами цикла являются 86 и 92 с.

Расчетные длины циклов находятся по методу Полукарова.

Длительность светофорного цикла рассчитывается по формуле [1]

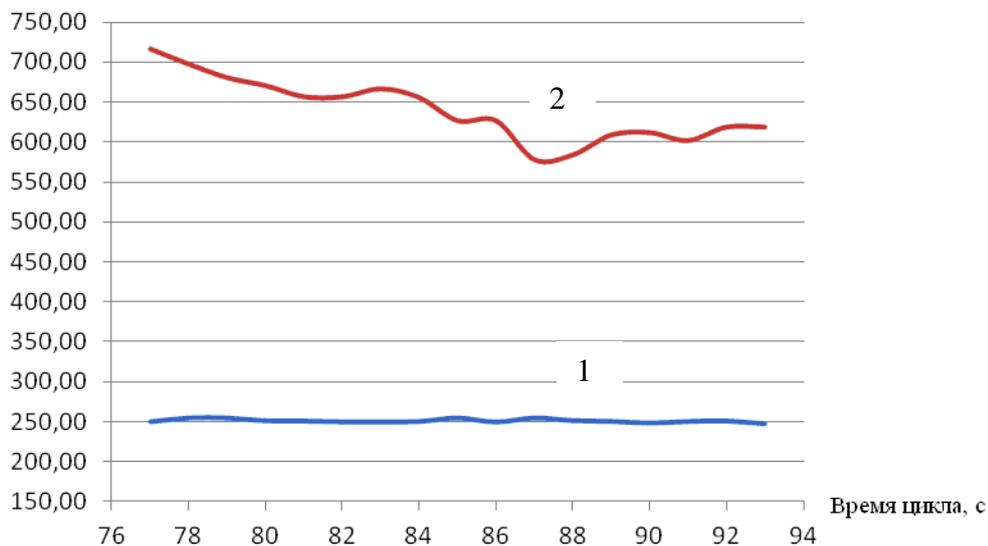
$$T_{\text{ц}} = \frac{5,5n + 5}{1 - 0,75P}, \quad (1)$$

где  $n$  - число фаз;  $P$  - суммарный фазовый коэффициент,  $P = p_1 + p_2 + \dots$

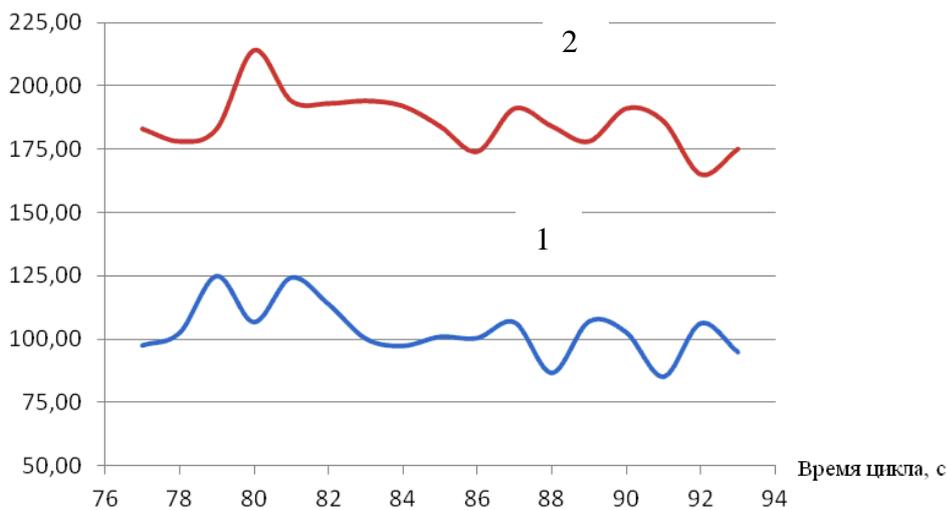
Для каждой фазы определяются фазовые коэффициенты по формуле [2]

$$p_i = \frac{N_{\text{фи}}}{470b_iK_H}, \quad (2)$$

где  $N_{\phi i}$  - интенсивность более загруженного направления в  $i$ -и фазе;  $b_i$  – ширина (м) проезжей части, используемой потоком  $N_i$ ;  $K_H$  - коэффициент, учитывающий направления движения потоков  $N_{\phi i}$ .



**Рис. 4. Характеристика потока со ст. м. «Пролетарская»**  
 1 – максимальные длины заторов; 2 – остановки в заторах



**Рис. 5. Характеристика потока со ст. м. «Ленинская»**  
 1 – максимальные длины заторов; 2 – остановки в заторах

$$K_H = \frac{N_i}{N_{пр} + 1,25 \cdot N_{право} + 1,75 \cdot N_{лево}}, \tag{3}$$

где  $N_i$  - суммарная часовая интенсивность движения с подхода, авт./ч;  $N_{пр}$ ,  $N_{право}$ ,  $N_{лево}$  – часовые интенсивности движения транспортных потоков, движущихся в данной фазе прямо, направо и налево, авт./ч.

Длительность разрешающего такта в  $i$ -й фазе определяется из соотношения [2]

$$\frac{t_i}{T_{ц}} = \frac{P_i}{P}, \tag{4}$$

где  $t_i$  – длительность  $i$ -й фазы, равная сумме разрешающего такта, с.

При расчетах фазовых коэффициентов по формуле (2) выбираются наиболее загруженные направления: со стороны ст.м. «Пролетарская» в основной фазе, и с ул. Дружбы во второстепенной.

По формуле (3) находится коэффициент, учитывающий направления потоков,

$$K_{H2} = \frac{N_i}{N_{пр} + 1,25N_{право} + 1,75N_{лево}} = \frac{1854}{1798 + 1,25 \cdot 56} = 0,99,$$

$N_{лево} = 0$ , так как порот налево запрещен.

$$K_{H4} = \frac{N_i}{N_{пр} + 1,25N_{право} + 1,75N_{лево}} = \frac{451}{149 + 1,25 \cdot 23 + 1,75 \cdot 279} = 0,67$$

Определяются фазовые коэффициенты:

$$P_2 = \frac{N_{\phi i}}{470b_i K_H} = \frac{2283}{470 \cdot 10,5 \cdot 0,99} = 0,36.$$

$$P_4 = \frac{N_{\phi i}}{470b_i K_H} = \frac{451}{470 \cdot 10,5 \cdot 0,67} = 0,15.$$

Суммарный фазовый коэффициент  $P = 0,36 + 0,15 = 0,51$ .

Определение длины цикла по формуле (1)  $T_{ц} = \frac{5,5 \cdot n + 5}{1 - 0,75 \cdot P} = \frac{5,5 \cdot 2 + 5}{1 - 0,75 \cdot 0,51} = 26(c)$ .

Из соотношения находим длительность разрешающего такта в  $i$ -й фазе:

- для основной фазы  $\frac{t_i}{T_{ц}} = \frac{P_i}{P}$ ,  $\frac{t_i}{26} = \frac{0,36}{0,51}$ ,  $t = 18$  с.

- для второстепенной фазы  $t = T - t = 26 - 18 = 8$ .

Транспортный поток со стороны ст.м. «Ленинская» включает в себя транспортные средства, которые поворачивают по стрелке на ул. Комарова. Таким образом, в то время, когда «стрелка горит зеленым» временем  $t_{ст}$ , основная фаза зеленого света со стороны ст. м. «Пролетарская» уменьшена на это время (табл. 2).

Таблица 2

Схема циклов работы светофора

Поток, который «пропускает» светофор	Фазы светофора, с				
Прямой поток со стороны ст. м. «Ленинская»	18	3	8	3	
Поворот налево (стрелка) на ул. Комарова	5	27			
Прямой поток со стороны ст. м. «Пролетарская»	5	13	3	8	3
ул. Комарова и ул. Дружбы	18		3	8	3

Таким образом, в ходе проведенных исследований получено, что при изменении цикла работы светофорного объекта на пересечении можно определить минимальное время прохождения транспортом рассматриваемого перекрестка. Это дает возможность рассчитать оптимальный цикл работы светофора по критерию времени прохождения. Выводы подтверждаются результатами моделирования. Так как адаптивное управление транспортными потоками необходимо лишь в часы пик, дальнейшей задачей проводимых исследований является поиск критерия начала введения адаптивного управления в зависимости от интенсивности движения.

**Библиографический список**

1. **Кременец, Ю. А.** Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
2. **Самойлов, Д. С.** Организация и безопасность движения: учебник для вузов / Д. С. Самойлов, В. А. Юдин, П. В. Рушевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. 1981. – 256 с.
3. **Дрю, Д.** Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. . – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
4. **Хейт, Ф.** Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – М.: Москва, 1986. – 287 с.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**E.N. Kochkurov, M.G. Korchazhkin**

**DETERMINATION OF PARAMETERS OF REGULATION  
BY TRANSPORT STREAMS ON THE BASIS OF MODELLING**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Creation of adaptive model of management of the transport intersection.

**Design/methodology/approach:** Researches are lead with use of methods of the mathematical modeling and pilot studies.

**Findings:** The mathematical model of the intersection is constructed, the operating mode of the traffic light is defined.

**Research limitations/implications:** The optimal cycle of operation of the traffic light by criterion of time passing of the intersection by vehicles is received.

**Originality/value:** Results of modeling allow to carry out search criterion of the beginning introduction of adaptive management at the intersection.

*Key words:* traffic flow, intersection, traffic jam, traffic lights, cycle traffic light phase of the traffic light, the intensity of traffic, the adaptive regulation.

УДК 665.6

А.С. Негодяев, Л.А. Бердников, М.Е. Федосова

## ПЕРСПЕКТИВЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

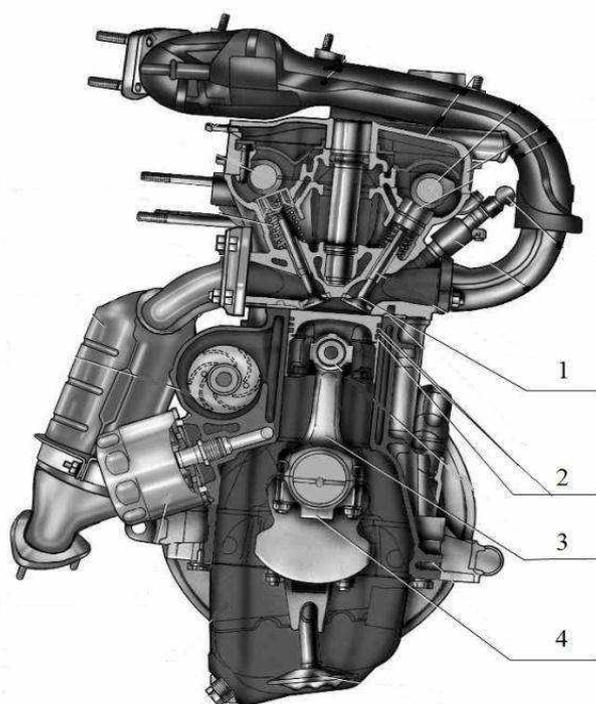
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Статья посвящена комплексу проблем осадкообразования в двигателях внутреннего сгорания. Определен химический состав нагара и составлено многопараметрическое уравнение скорости образования нагара с учетом теплового режима работы агрегата. Решение рассматриваемой задачи возможно при использовании современных методов аналитической химии, что будет способствовать разработке рецептов новых эффективных антинагарных и моющих присадок.

*Ключевые слова:* осадкообразование, нагар, тепловой режим, современные методы аналитической химии, присадки, качество топлива.

При эксплуатации двигателей внутреннего сгорания происходит накопление отложений – нагара и лака, что в дальнейшем приводит к существенному снижению экономичности и сокращению ресурса двигателя, вызываемого, прежде всего, ухудшением работы деталей и механизмов вследствие их локальных перегревов. Поэтому на данный момент изучение причин и механизмов образования отложений в ДВС представляет большой интерес.

Исследования показывают, что особенно интенсивно отложения образуются на деталях цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма и во впускном коллекторе. Основной причиной появления отложений в двигателе являются термические превращения компонентов топлива и масла в зонах высоких температур, чаще всего, на стенках камеры сгорания, днище поршней и седлах впускных клапанов [1]. Основные точки локализации осадкообразования изображены на рис. 1.



**Рис. 1. Локализация основных точек осадкообразования:**

1 – каналы впускного коллектора и седла клапанов; 2 – детали цилиндропоршневой группы;  
3, 4 – детали кривошипно-шатунного механизма

Исходя из необходимости увеличения межремонтных пробегов, снижения количества отказов в работе и сокращения объема техобслуживания, в настоящее время постоянно повышаются требования к надежности и долговечности двигателей внутреннего сгорания.

Одним из способов повышения надежности и долговечности ДВС является снижение образования нагара и других видов отложений на поверхностях их деталей.

Установлено что нагар, ухудшая теплоотвод, повышает максимальную температуру горения, тем самым приводя к повышению на 10-12 пунктов требований двигателя к октановому числу бензина. Кроме того, нагар способствует увеличению выбросов CO и NO<sub>x</sub>, следовательно, с точки зрения требований экологичности к автомобильным ДВС подавление нагарообразования является не менее заманчивым.

На данный момент результаты, полученные при изучении процесса осадкообразования, позволили установить механизм образования (рис. 2) [2].



**Рис. 2. Фазы процесса нагарообразования в двигателе:**

1 – начало образования; 1-2 – фаза роста; 2-3 – фаза равновесного состояния нагара; 3-4 – заключительная фаза роста нагара; 4 – прекращение эксплуатации двигателя

Начальной стадией нагарообразования является жидкофазное окисление высококипящих углеводородов, попадающих в камеру сгорания в виде отдельных мелких капель. Последующая конденсация, полимеризация и уплотнение продуктов окисления образуют материал для формирования нагара в определенных зонах его существования, зависящих, в свою очередь, от температурных и газодинамических условий в камере сгорания. Вне этих зон нагар выгорает.

Для изучения механизма нагарообразования предполагается применение комплексного подхода, в том числе современных методов аналитической химии – ИК-спектроскопии для определения основных функциональных групп вещества нагара.

Метод инфракрасной спектроскопии дает возможность получить сведения об относительных положениях молекул в течение очень коротких промежутков времени, а также оценить характер связи между ними, что является принципиально важным при изучении структурно-информационных свойств различных веществ. Кроме того, логичным этапом исследования механизма нагарообразования представляется определение основных эксплуатационных характеристик горюче-смазочных материалов.

Типичный спектр нагара, полученный на приборе IRAffinity-1 (рис. 3) в таблетках KBr (апертура 8 мм) в интервале частот 400-4000 см<sup>-1</sup>, приведен на рис. 4.

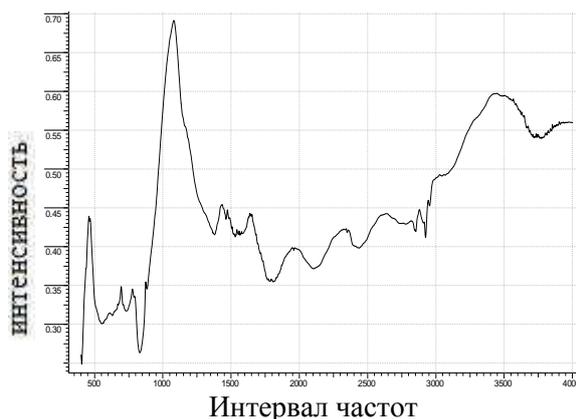
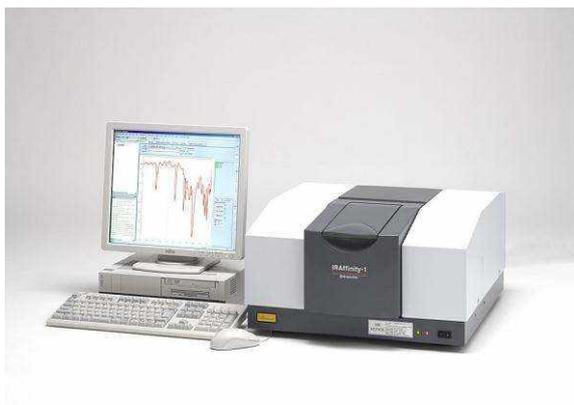


Рис. 3. ИК-Фурье спектрометр IRAffinity-1

Рис. 4. Спектр нагара с впускного клапана ДВС

Расшифровка спектров проводится двумя способами: с помощью обобщенных таблиц характеристических пиков, приведенных в литературе [3], либо методом сравнения полученного спектра с имеющимися в базе данных программного обеспечения прибора. Метод ИК-спектроскопии позволяет с достаточно высокой точностью идентифицировать химический состав нагара.

Несмотря на весь массив исследований проблемы осадкообразования, относительно небольшое внимание уделялось эксплуатационным факторам, влияющим на возникновение рассматриваемого процесса (рис. 5).

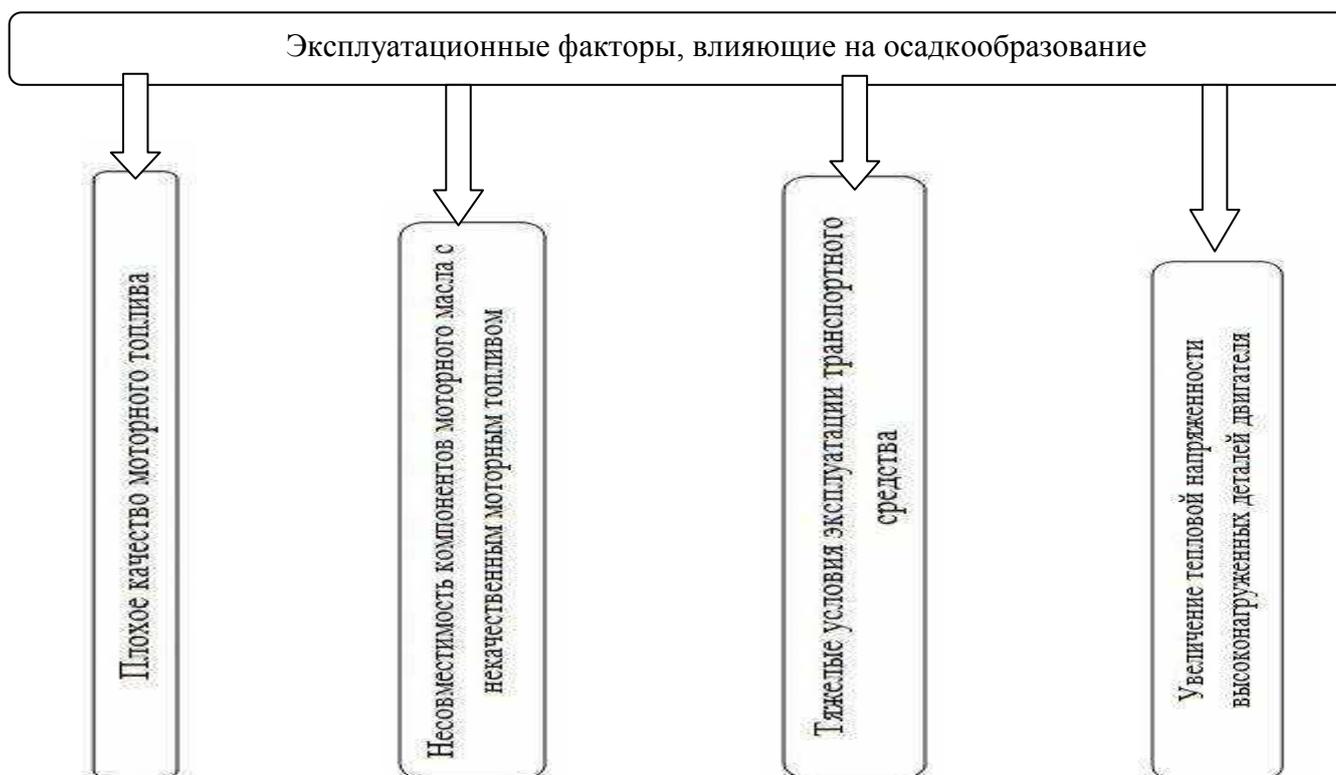


Рис. 5. Схема эксплуатационных факторов, влияющих на осадкообразование

Определяющее влияние на процессы образования отложений и эффективность работы ДВС оказывает качество моторного топлива и тепловой режим теплонагруженных деталей. Оптимальный тепловой режим деталей двигателя можно достигнуть только конструктивными изменениями тех или иных узлов агрегата.

В связи с этим перспективные эксплуатационные способы решения проблемы осадкообразования представляют собой два основных направлений:

1) применение современных методов аналитической химии для разработки новых антинагарных и моющих присадок для ГСМ с учетом изучения механизма нагарообразования, увеличивающих качество и эффективность топлива и моторного масла;

2) создание комплекса методик совершенствования условий эксплуатации транспортных средств для начинающих водителей.

Исследование новых рецептур антинагарных и моющих присадок, а также изучение их поведения в эксплуатации влекут за собой детальное изучение состава и качества производства современного моторного топлива.

По данным испытательной лаборатории МАДИ-ХИМ в последнее время наблюдается устойчивая тенденция ухудшения качества автомобильного бензина. Так, в 2011 г. 40% образцов автомобильного бензина, поступивших на испытания в лабораторию, не соответствовали нормативно-технической документации [4]. Причины этого процесса связаны с отсутствием системного контроля за качеством автомобильного бензина при его хранении и реализации.

Технический регламент по контролю качества моторного топлива отражает табл. 1. Контроль за качеством топлива в стране на данный момент, существенно снижен – контролируется всего четыре параметра из 11 проверяемых ранее [5].

Таблица 1

## Технический регламент по контролю качества моторного топлива

№	Параметр топлива	ГОСТ 2084 (1979 г.)	ГОСТ Р 51105 (1999 г.)	ТР (2014 г.)
1	Октановое число по исследовательскому и моторному методам	нормируется	нормируется	не нормируется
2	Фракционный состав	нормируется	нормируется	не нормируется
3	Давление насыщенных паров	нормируется	нормируется	нормируется
4	Содержание фактических смол	нормируется	не нормируется	не нормируется
5	Индукционный период бензина	нормируется	нормируется	не нормируется
6	Испытание на медной пластине	нормируется	нормируется	не нормируется
7	Кислотность	нормируется	не нормируется	не нормируется
8	Механические примеси и вода	нормируется	не нормируется	не нормируется
9	Плотность	не нормируется	нормируется	не нормируется
10	Содержание свинца	нормируется	нормируется	запрещено
11	Содержание марганца	в используемых ранее бензинах отсутствовал	нормируется для низкооктановых бензинов	запрещено
12	Содержание бензола	нормируется	нормируется	нормируется
13	Содержание серы	нормируется	нормируется	нормируется
14	Массовая доля кислорода	не нормируется	не нормируется	нормируется

В настоящий момент активно исследуются присадки к топливу на основе никеля, которые в ходе лабораторных и полевых испытаний показали высокие результаты в борьбе с нагаром. Так, исследования влияния  $Ni(OOCR)_2$  на нагарообразование в бензиновых ДВС показали, что при концентрации  $9,25 \cdot 10^{-4} \%$  (1 мг Ni на кг бензина) нагарообразование уменьшается на 90-95 % (на свечах нагарообразование устраняется полностью), снижаются выбросы газообразных токсичных веществ ( $CO$ ,  $C_xH_y$  и  $NO_2$ ). Еще одним достоинством присадок на основе никеля является снижение удельного расхода топлива на 4-10 %, что подтверждено дорожными испытаниями на автомобилях разных марок. Были проведены исследования влияния никелевой присадки на нагарообразование в дизельных ДВС. При стендо-

вых испытаниях за 9 ч работы двигателя нагар устранился на 70-90 %. Введение в дизельное топливо 27,75 мг/кг присадки снижает коксуемость 10 % остатка, токсичность выбросов при всех режимах работы ДВС и удельный расход топлива [6].

На сегодняшний день применение присадок на основе никеля является одним из наиболее перспективных направлений в улучшении качества моторного топлива. В дальнейшем это позволит приблизить качество обычного топлива с внедренными присадками к качеству топлива с экологическим стандартом не ниже ЕВРО-5.

Инновационное взаимодействие таких дисциплин, как аналитическая химия, компьютерное программирование и техническая эксплуатация автомобилей позволило продвинуться в исследовании механизма образования нагара в ДВС. На данном этапе исследований проведен анализ химического состава нагара, изучены химические составы и основные характеристики ГСМ, условия эксплуатации и температурные режимы работы агрегатов. На основании полученных закономерностей сформирована многопараметрическая модель уравнения скорости образования нагара.

На базе данных, полученных в ходе экспериментов по варьированию указанных параметров, формируется диагностическая программа. Принцип работы ПО таков: вводятся исходные характеристики – свойства ГСМ, предполагаемые условия эксплуатации, температурные условия. Программа на основании встроенных уравнений выдает пробег транспортного средства, при котором не поздно принять меры, – т.е. ввести в систему необходимые антинагарные или моющие присадки. Предварительный вид диагностической программы изображен в табл. 2.

Таблица 2

**Вид диагностической программы для предупреждения автовладельца  
о начале нагарообразования в двигателе**

Автомобили	Комбинация ГСМ а/м № 1	Комбинация ГСМ а/м № 2	Комбинация ГСМ а/м № 3	Комбинация ГСМ а/м № 4
Параметры ГСМ				
Щелочное число, мг КОН/г	8,4	7,5	5,1	3,2
Содержание фактических смол, мг на 100 мл топлива	70	80	90	100
Дымность (коэффициент ослабления света), %	11	14	19	25
Количество нагара, мг	22	28	35	42
Пробег, принятия мер для устранения нагара, км	X	X	X	X

Разработанная программа будет предложена для внесения в регламент технического обслуживания на станциях технического обслуживания, а также в крупных грузовых и пассажирских автотранспортных компаниях.

Работа с подобным программным обеспечением позволит специалистам по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей предотвращать образование отложений в двигателе, тем самым сохраняя его ресурс, заложенный заводом-изготовителем, а в некоторых случаях достичь его увеличения.

**Библиографический список**

1. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
2. **Зеленцов, В.В.** Осадкообразование в автомобильных ДВС / В.В. Зеленцов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 1978. – 40 с.
3. **Смит, А.Л.** Прикладная ИК-спектроскопия: [пер. с англ.] / А.Л. Смит. – М.: Мир, 1982. – 328 с.
4. Информационная сводка о техническом регламенте по контролю качества моторного топлива в Российской Федерации за II квартал 2011 года [Электронный ресурс]. <http://madi-chim.narod.ru/index/0-13>. (Дата обращения 22.09.14).
5. **Магарил, Е.Р.** Подавление нагарообразования с помощью присадки к топливу / Е.Р. Магарил, Н.В. Корзун // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: тез. докл. VI Всерос. научно-технич. конф. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. С. 151–153.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**A.S. Negodyaev, L.A. Berdnikov, M.E. Fedosova**

**PERSPECTIVES ON ISSUES OF SEDIMENTATION IN INTERNAL  
COMBUSTION ENGINES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** compilation of multi-parameter mathematical equation the rate of formation of varnish deposits in internal combustion engines for verifying mileage at which it is necessary to take measures to prevent engine damage.

**Design / methodology / approach:** mathematical equation is constructed by carrying out numerous studies to determine the dependence of the chemical composition of the varnish deposits, the amount of a deposit depending on the mileage, the rate of formation of soot from the quality of fuel and motor oil, vehicle operating conditions and other factors.

**Findings:** the rate of varnish deposits formation is largely dependent on the quality and compatibility of the source of fuel and motor oil, the engine operating conditions and thermal stress of engine parts.

**Results and their field of application:** software package that allows to determine the mileage at which it is necessary to take measures to prevent damage to the engine, in particular, the use of complex detergent additives will be obtained on the basis of the research .

**Originality / value:** this work differs from similar by increased number of variables and equations, using modern analytical methods.

*Key words:* varnish deposits, detergent additives, operating conditions, multi-parameter equation.

УДК 665.6

М.Е. Федосова<sup>1</sup>, А.Е. Федосов<sup>1</sup>, Л.А. Бердников<sup>2</sup>, С.В. Ильинов<sup>2</sup>,  
К.А. Горбунов<sup>2</sup>, А.И. Шишкин<sup>3</sup>

## МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ПОТЕРИ МОТОРНЫМ МАСЛОМ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Дзержинский политехнический институт (филиал) Нижегородского государственного  
технического университета им. Р. Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>2</sup>,  
ОАО «Авиабор», г. Дзержинск<sup>3</sup>

Рассматривается проблема выявления причин отказов двигателей внутреннего сгорания вследствие ухудшения основных физико-химических характеристик моторного масла. С помощью метода ИК-спектроскопии определены химические составы горюче-смазочных материалов до и после эксплуатации, выявлены основные механизмы химического взаимодействия компонентов масла и присадки, определены физико-химические свойства моторного масла, являющиеся приоритетными для нормальной работы двигателей внутреннего сгорания.

*Ключевые слова:* моторное масло, присадки к моторному маслу, вязкостные свойства масла, химическая реакция, образование высокомолекулярных эфиров.

Моторные масла – это группа масел, которые используются для смазывания двигателей внутреннего сгорания. Моторные масла являются продуктами переработки нефти [1]. Состоят они из основы – базового масла – и присадок. Свойства масла определяются, прежде всего, химическим составом основы, присадки же предназначены для корректировки и улучшения этих характеристик. С помощью присадок можно значительно повысить эксплуатационные свойства моторных масел, даже изготовленных из не самых лучших базовых масел. При длительной эксплуатации, особенно при высоких нагрузках, присадки разрушаются, и конечное качество моторного масла, проработавшего в двигателе более половины положенного срока, определяется качеством базового масла [3].

Технология получения товарных масел довольно сложная и трудоемкая. Базовое масло получают смешиванием дистиллятного (полученного из мазута) и остаточного (полученного из гудрона), прошедших соответствующие виды очисток от нежелательных компонентов (смола, сернистых соединений, высокозастывающих компонентов и др.). Затем к базовому маслу, отвечающему требованиям стандарта по ряду физико-химических показателей качества, добавляют комплекс присадок. При добавлении присадок учитывают их совместимость, т.е. присадки должны выполнять только функции, для которых они предназначены, не ухудшая других качеств масла и не влияя на действие других присадок. Кроме того, присадки не должны выпадать в осадок и разлагаться при хранении масел. Учитываются и эксплуатационные факторы работы масел: температура, давление, наличие цветных металлов и сплавов, вид топлива и др. Поэтому состав присадок (соответственно и масел) для двигателей (бензиновых и дизельных, малофорсированных и высокофорсированных, турбонаддувных и без турбонаддува) различен.

К современным моторным маслам предъявляются определенные требования, главными из которых являются следующие:

1) высокие моющая, диспергирующе-стабилизирующая, пептизирующая и солибилизирующая способности по отношению к различным нерастворимым загрязнениям, обеспечивающие чистоту деталей двигателя;

2) высокая термическая и термоокислительная стабильность, позволяющая использо-

вать масла для охлаждения поршней, а также повышать предельный нагрев масла в картере и увеличивать срок между заменами;

3) хорошие противоизносные свойства: эти свойства обеспечиваются прочностью масляной пленки, необходимой вязкостью при высокой температуре и высоком градиенте скорости сдвига, а также способностью химически модифицировать поверхность металла при граничном трении и нейтрализовать кислоты, образуемые при окислении масла [2], и др.

Один из показателей качества масла – его вязкость (сила внутреннего трения). От ее значения зависят техническое состояние двигателя, расход топлива и масла. По вязкостным показателям подбирается масло для определенного двигателя в зависимости от конструкции, технического состояния, условий эксплуатации, сезонности и других факторов. Значение вязкости масла входит в его маркировку в виде цифрового индекса, например, М-8В-1, М-10Г2, где цифры 8 и 10 обозначают значение кинематической вязкости ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ), при 100 °С. Использование маловязких масел (тем более загущенных — всесезонных) позволяет экономить топливо. Но, с другой стороны, использование маловязкого масла может стать причиной повышенного износа деталей, в том числе абразивного, увеличения расхода масла на угар. Например, расход масла М-5з/12Г1 на угар больше по сравнению с расходом на угар масла М-12Г1. Но применение масел с повышенной вязкостью связано с увеличением механических потерь, ухудшением пуска двигателя, увеличением пусковых износов. Масла подбирают такой вязкости, которая обеспечивала бы надежную смазку, небольшой расход на угар, легкий пуск двигателя, отвод теплоты и др. Оптимальное значение вязкости масла в каждом конкретном случае обеспечивает минимальный износ деталей двигателя, достаточную скорость подачи масла к цилиндрам, максимальный отвод теплоты (масло отводит 1,5–4,5 % теплоты, выделяемой при сгорании топлива), уплотнение зазоров (обеспечивает минимальный прорыв отработавших газов в масляный картер и расход масла на угар). Масла в зависимости от вязкостных свойств используются при зимней и летней эксплуатации. Использование зимой летних сортов масел ведет к дополнительному расходу топлива до 8 %; использование зимних масел летом – к повышенному износу двигателя, увеличению расхода масла на угар.

От значения вязкости зависит прокачиваемость по масляной системе, отвод тепла от трущихся поверхностей, их чистота. Это обеспечивает масло с меньшей вязкостью. Для уплотнения зазоров в изношенных двигателях при работе с повышенными давлениями требуются масла с более высокой вязкостью.

Вязкость не является величиной постоянной, она изменяется с изменением температуры. Качественными маслами являются те, которые имеют небольшую вязкость при отрицательных температурах и обеспечивают хорошую текучесть, минимальные пусковые износы, а при рабочих температурах имеют высокую вязкость (независимо от температуры вязкость остается стабильной) и хорошие смазочные свойства. Для характеристики вязкостно-температурных свойств масел существует ряд показателей: значение вязкости при температурах 100, 50, 0, -18 °С, соотношение вязкостей при различных температурах, вязкостно-температурные коэффициенты, индексы вязкости. Международным показателем вязкостно-температурных свойств масел является индекс вязкости.

Индекс вязкости - безразмерная условная величина, характеризующая степень изменения вязкости с изменением температуры, наклон вязкостно-температурной кривой. Чем меньше изменяется вязкость с изменением температуры, тем выше индекс вязкости. Качественными маслами по вязкостно-температурным свойствам являются масла с индексом вязкости выше 100. В первую очередь это всесезонные с индексом вязкости выше 125. Сезонные масла – зимние и летние – могут иметь индекс вязкости менее 100.

Работа современных двигателей внутреннего сгорания невозможна без надежного функционирования системы смазки. Однако свойства масел могут изменяться в достаточно широких пределах под влиянием различных факторов. Наиболее распространенными факторами, влияющими на основные свойства масла, являются не только исходное качество базово-

вого масла, условия его эксплуатации, но и другие причины, например, добавление владельцем автомобиля неподходящих для данного масла присадок. Такие воздействия на смазочную систему автомобиля часто приводят к серьезным поломкам двигателя.

Установление механизма выхода двигателя из строя в таком случае является трудной задачей, решить которую невозможно без применения высокоточных методов химического анализа.

Для определения механизма поломки двигателя, связанного с сильным загустением масла и, как следствие, невозможностью выполнения им прямых функций, авторами применен способ ИК-спектроскопии [4]. Для описания наиболее вероятного механизма химического взаимодействия компонентов добавленной присадки с компонентами моторного масла в данном случае требуется проведение анализа нескольких проб смолообразных отложений из различных частей системы смазки и двигателя автомобиля. Для решения поставленной задачи были получены образцы из поддона двигателя внутреннего сгорания (№ 1); масла непосредственно из двигателя внутреннего сгорания (№ 2); масла из масляного фильтра (№ 3) и непосредственно с его поверхности (№ 4); исходной присадки, залитой в систему смазки двигателя, (№ 5); неиспользованного «свежего» моторного масла той же марки (№ 6).

Все исследования по определению преобразования масла после добавления несовместимой присадки в двигателе внутреннего сгорания проводили с использованием ИК-спектроскопии на приборе Spectrum BX II (производитель Perkin Elmer) с использованием кювет из хлорида натрия.

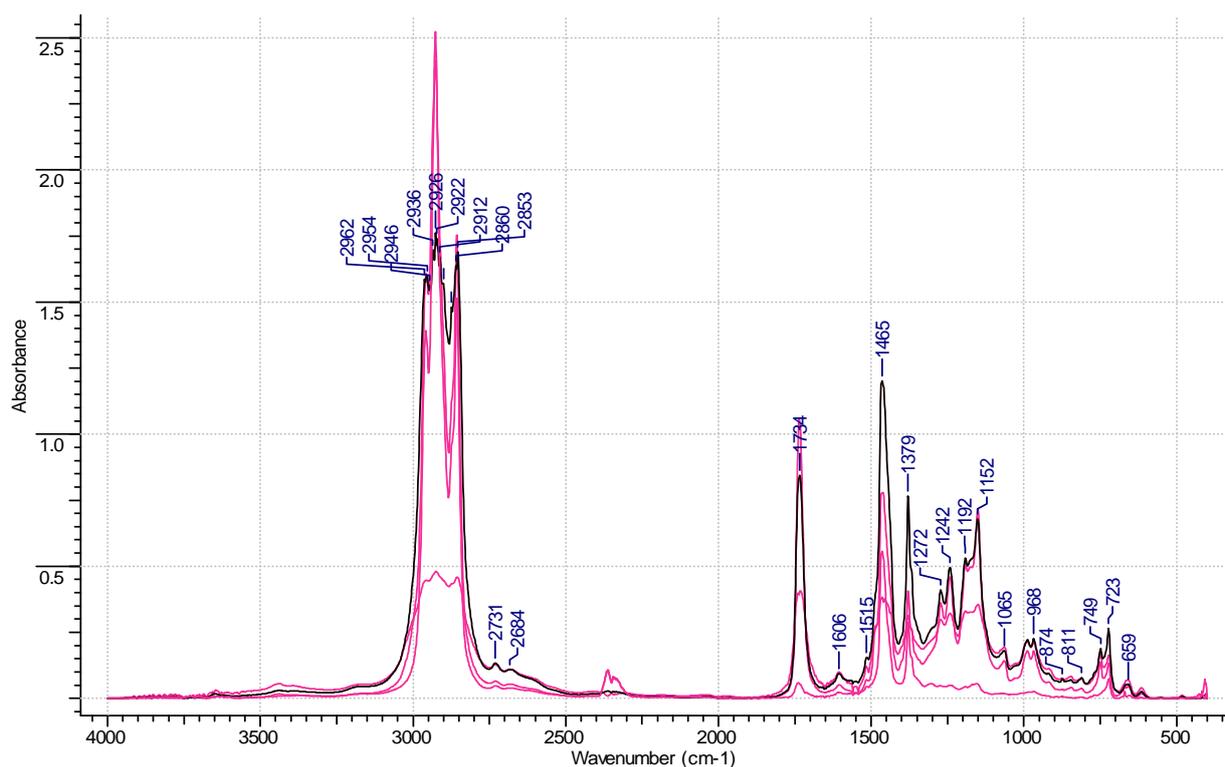


Рис. 1. ИК-спектры образцов № 1-4

Проба отработанного масла представляет собой сложную смесь большого числа соединений, включая само исходное масло, добавки, продукты химической деградации и примеси. ИК-спектр такой пробы является суперпозицией спектров отдельных компонентов и состоит из большого числа перекрывающихся пиков.

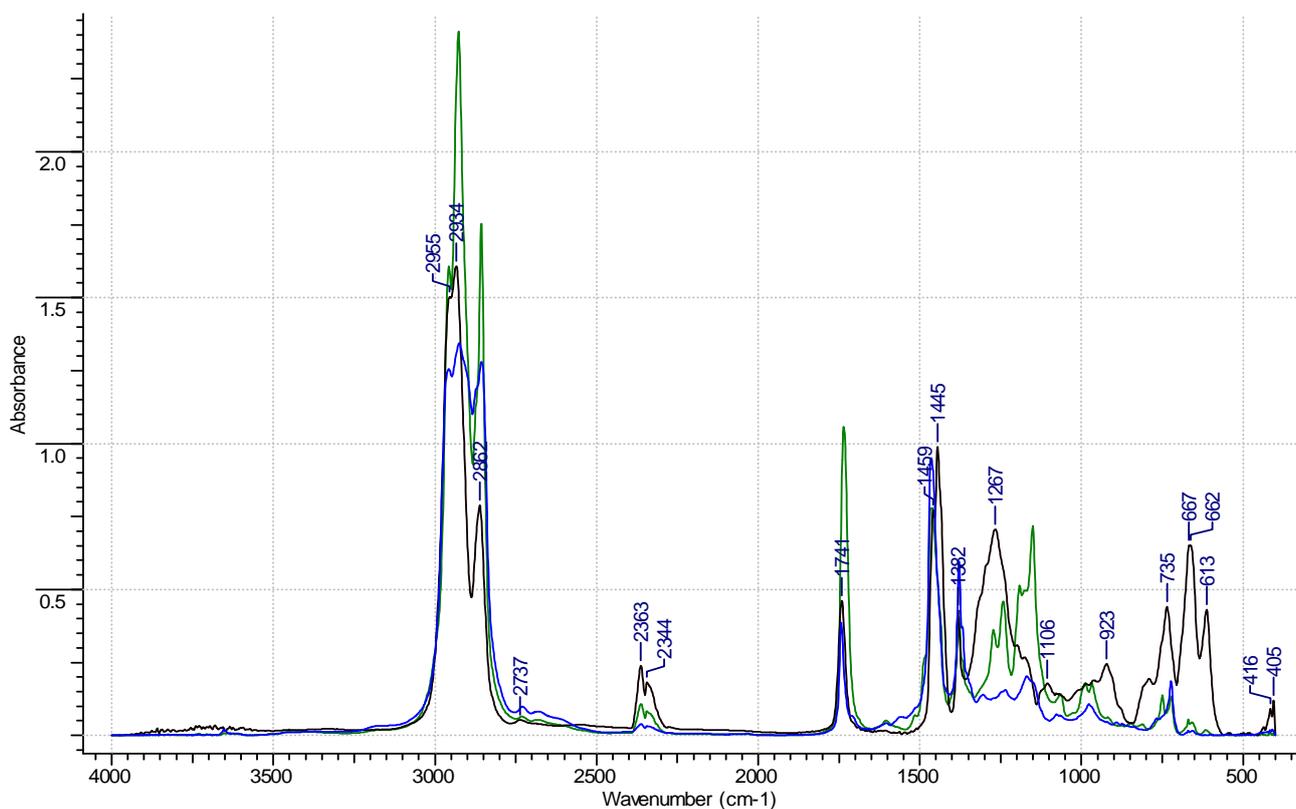
При анализе отработанного масла особое внимание уделяется изменениям, происшедшим с момента заливки «свежего» масла. По этой причине необходимо было иметь ИК-спектр «свежего», неиспользованного масла, который применяется в дальнейшем в качестве

спектра сравнения. Сравнение ИК-спектров «свежего» масла и масла из двигателя внутреннего сгорания позволяет определить возможные превращения, происходящие в масляной системе двигателя внутреннего сгорания.

При исследовании представленных образцов все из них были разделены на две группы: первая группа – масло из двигателя внутреннего сгорания (образец № 2 и образцы № 1, 3, 4), вторая группа - образец нового масла (образец № 6) и присадка (образец № 5). На рис. 1 представлены ИК-спектры образцов из первой рассматриваемой группы (образцы № 1-4).

Анализируя область спектра от 500 до 2000  $\text{см}^{-1}$  и от 2500 до 3500  $\text{см}^{-1}$ , можно заметить, что образцы имеют одинаковые полосы поглощения, что свидетельствует об их одинаковом химическом строении. Различия между образцами № 1-4 наблюдается только в интенсивностях пиков в области от 500 до 2000  $\text{см}^{-1}$  и от 2500 до 3500  $\text{см}^{-1}$ , что объясняется различным содержанием смолообразных продуктов. Учитывая, что химический состав образцов № 1-4 идентичен, для уменьшения массива обрабатываемых визуальных данных в дальнейших сравнениях ИК-спектров за представительный примем спектр образца № 2.

На рис. 2 представлены ИК-спектры образцов нового масла (образец № 6), присадки (образец № 5) и представительной пробы № 2.



**Рис. 2. ИК-спектры образцов № 2, № 5, № 6:**

образец № 2 – отработанное масло из двигателя внутреннего сгорания;

образец № 5 – присадка, залитая в двигатель внутреннего сгорания;

образец № 6 – «свежее» масло

Следует особенно отметить, что в представленных на исследование образцах № 5 и № 6 отсутствует вода. ИК-спектр воды имеет интенсивный легкораспознаваемый пик в области частот от 3000 до 3600  $\text{см}^{-1}$ , соответствующий валентным колебаниям ОН-групп, участвующих в водородной связи. На рис. 2 подобной картины не наблюдается, что позволяет однозначно судить об отсутствии воды в образцах № 5 и № 6. Однако следует отметить, что на рис. 1 в указанной области спектра имеются пики малой интенсивности. Это объясняется наличием небольшого количества воды в отработанном масле, что

свидетельствует о некотором времени его использования, так как вода – один из продуктов окисления углеводов, являющихся основным компонентом масел и топлив.

Анализируя ИК-спектры образцов № 2–№ 6, можно видеть в образце № 2 не наблюдается интенсивных пиков поглощения, характерных для присадки (образец № 5), но есть новые пики в области от 1000 до 1500 см<sup>-1</sup>, подобных пиков поглощения нет и в образце № 6. Это свидетельствует о возможности протекания химической реакции между компонентами присадки (образец № 5) и масла из двигателя автомобиля. Полосы поглощения новых химических соединений (область от 1000 до 1500 см<sup>-1</sup>, образец № 2) и соединений, подвергшихся превращению из образца № 5, сведены в табл. 1.

Таблица 1

Полосы поглощения новых химических соединений

Полосы поглощения веществ, подвергшихся превращению из образца № 5		Полосы поглощения веществ, образовавшиеся в образце № 2	
Длина волны, см <sup>-1</sup>	Группы и типы колебаний	Длина волны, см <sup>-1</sup>	Группы и типы колебаний
1267	RCH <sub>2</sub> Cl	1242	-COO- (эфирная группа)
923	-	1192	-COO- (эфирная группа)
735	-C-Cl	1151	-COO- (эфирная группа)
667	-C-Cl	1064	-COO- (эфирная группа)
613	-C-Cl	988	-COC-
		750	δ-(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -
		722	δ-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -

Из табл. 1 видно, что в условиях эксплуатации масла и присадки (образец № 5) произошла реакция свободных кислот, образующихся при окислении масла с хлорорганическими соединениями углеводов, которые являются основой присадки, в результате чего образовались высокомолекулярные сложные эфиры. В общем виде схему превращения присадки (образец № 5) и образования новых продуктов (образец № 2) можно представить так:



Моторное масло характеризуется сложным химическим составом, определяющим основные свойства масла: вязкость, индекс вязкости, плотность, общее кислотное число, температуру вспышки и др. Соответствие этих основных свойств необходимым параметрам, отраженных в технической документации завода-изготовителя масла, в инструкции по применению масла, должно обеспечивать корректную работу смазочной системы и нормальную работу двигателя. В случае, когда химический состав масла меняется (с течением времени – процесс естественного старения масла – или по причине протекания химической реакции между компонентами масла и компонентами присадки), основные свойства масла могут значительно изменяться, что приводит к некорректной работе смазочной системы двигателя и к отказу двигателя.

Применяя указанный факт к данному случаю, можно сделать вывод: в моторное масло, обладающее определенным химическим составом (рис. 2), была добавлена присадка, в результате чего химический состав масла изменился вследствие расходования исходных компонентов масла и образования сложных высокомолекулярных эфиров. Изменение химического состава масла повлекло изменение его свойств, особенно вязкостных,

поскольку такие вещества, как сложные высокомолекулярные эфиры легко склонны к агломерации, укрупнению, и вместе с тем практически не растворимы ни в одном растворителе, что в совокупности приводит к значительному увеличению вязкости. Таким образом, основной параметр масла – вязкость – был изменен в результате протекания химической реакции, масло не могло больше выполнять своих функций, в результате чего произошел отказ в работе двигателя.

#### Библиографический список

1. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости / В.В. Остриков [и др.]. – Тамбов: ТГТУ, 2008.
2. Динцес, А.И. Синтетические смазочные масла / А.И. Динцес, А.В. Дружинина. – М: Химия, 1958.
3. Андреев, Г.П. Современные автомобильные моторные масла: учеб. пособие / Г.П. Андреев. – Орел: ОрёлГТУ, 2005.
4. Применение методов молекулярной и атомарной спектроскопии к исследованию продуктов нефтепереработки, нефтехимии и катализаторов // Труды ВНИИ НП. 1976. Вып. 19. – 106 с.

Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014

M.E. Fedosova<sup>1</sup>, A.E. Fedosov<sup>1</sup>, S.V. Pyanov<sup>2</sup>, L.A. Berdnikov<sup>2</sup>,  
K.A. Gorbunov<sup>2</sup>, A.I. Shishkin<sup>3</sup>

#### METHODS OF IDENTIFY POSSIBLE CAUSES LOSS ENGINE OIL'S PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Dzerzhinsk polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state technical  
university n. a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>,  
OJSC AVIABOR<sup>3</sup>

**Objective:** To define the mechanism of chemical interaction between incompatible motor oils and additives.

**Design / methodology / approach:** Mechanism revealed by IR spectroscopy; chemical composition studies of the engine oil and the additive before and after operation were conducted; chemical composition of the precipitate was determined; mechanism of chemical interaction of working fluids was determined on the basis of the data obtained.

**Conclusion:** As a result of incompatible motor oils and additives viscosity motor oil has increased significantly since high molecular weight esters formed; in the end, all this has led to engine failure.

**Results and their field of application:** The identification of mechanisms allows us to understand what components are additive adversely affect the properties of engine oil and adjust retseptury additives for motor oil.

**Originality / value:** This work differs from the similar use of modern analytical techniques.

*Key words:* motor oil, additives for motor oil, viscosity properties of chemical reaction, the formation of high molecular weight esters.

## Секция 4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 629.113

С.Н. Коркин, Р.Х. Курмаев

### ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ АТПОПЕЗДОВ В ТЯЖЕЛЫХ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

НАМИ

Представлены результаты анализа движения атопоездов по деформируемому грунту. Изучены возможности использования шин со сверхнизким давлением и активный привод колес атопоезда для повышения экологической безопасности.

*Ключевые слова:* атопоезд с активным прицепным звеном, бесступенчатая трансмиссия, система управления, экологическая безопасность, колея, срез грунта, движитель.

В последнее время идет активное освоение районов Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока, полуострова Ямал. В таких районах с заснеженной или болотистой местностью остро стоит проблема доставки и перевозки крупногабаритных и сверхтяжелых грузов (дорожно-строительная техника, трубы большого диаметра, строительные конструкции и специальное оборудование) без нанесения экологического ущерба окружающей среде.

В большинстве случаев перевозки в таких районах возможны лишь специализированным автомобильным транспортом (мощные полноприводные тягачи, атопоезда) из-за отсутствия железных дорог, дорог с твердым покрытием, морских путей и т.д.

В нашей стране специализированный транспорт производят такие заводы и компании, как ОАО «Челябинский машиностроительный завод автомобильных прицепов «Уралавтоприцеп», ООО «Компания «СПЕЦПРИЦЕП» и т.д. За рубежом наиболее известные производители - это Goldhofer (Германия), Cometto (Италия), Nicolas (Франция) и др. В большинстве своем такой транспорт используется на дорогах с подготовленным покрытием. Для осуществления транспортной работы в условиях бездорожья по грунтам, характерной особенностью которых является низкая несущая способность, необходимы современные многоосные большегрузные автомобили и атопоезда, предназначенные для работы в тяжелых условиях бездорожья и обеспечивающие сохранность экологической среды.

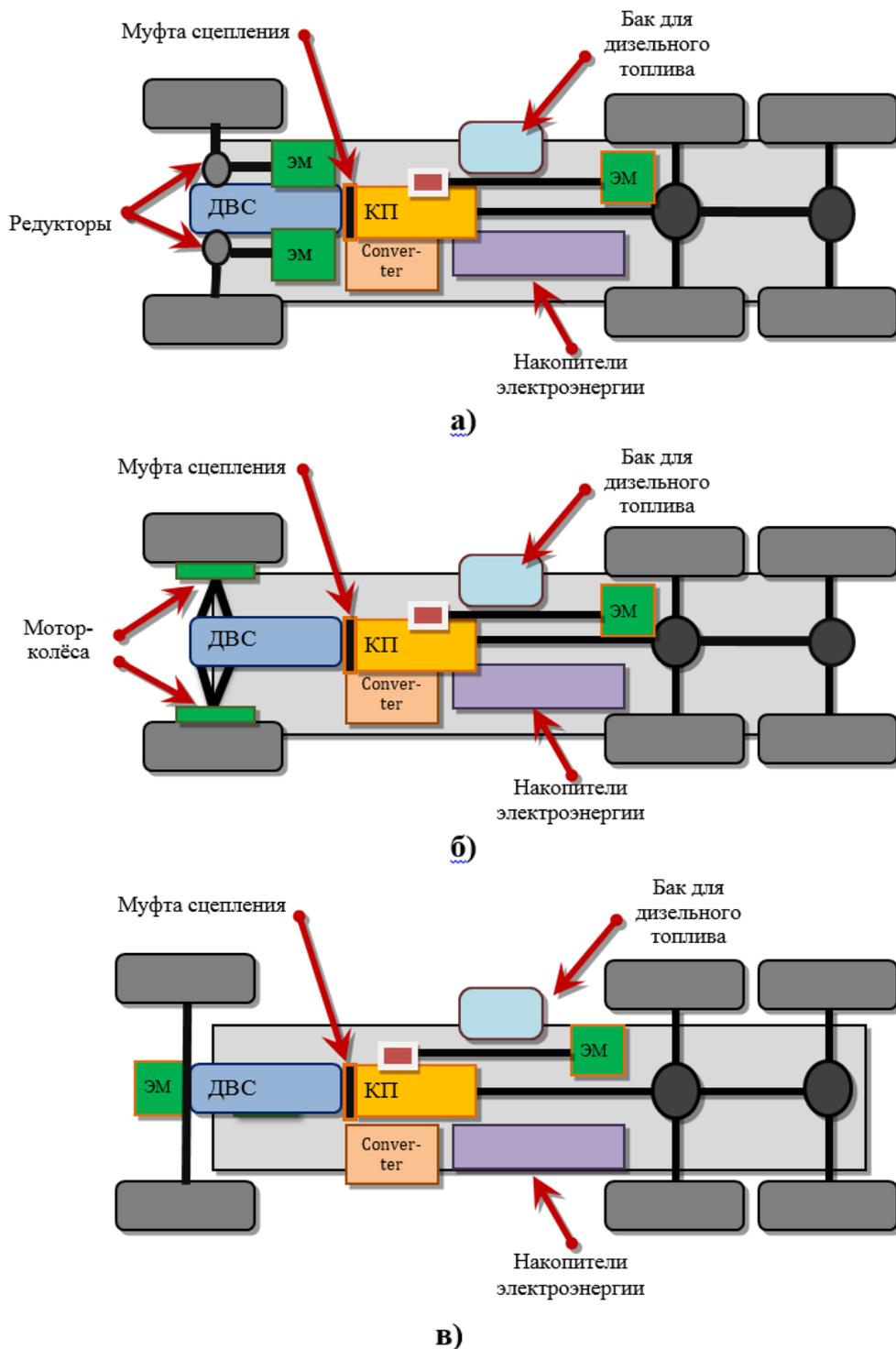
Наиболее распространенные конструктивные решения по обеспечению проходимости многоосных большегрузных автомобилей и атопоездов сводятся к организации полного привода с распределением мощности по ведущим осям и применением специальных альтернативных типов движителей.

На современном этапе развития технологии машиностроения для привода ведущих колес прицепных звеньев атопоездов, а также реализации полного привода колес тягачей наиболее целесообразно использовать бесступенчатые регулируемые трансмиссии (гидрообъемные, электрические приводы), обладающие рядом преимуществ по сравнению с механическими [1].

Многие производители все чаще применяют комбинированные энергетические установки (КЭУ) для реализации полного привода, позволяющие активизировать полный привод только в тяжелых дорожных условиях и отключать его для экономии топлива. Например,

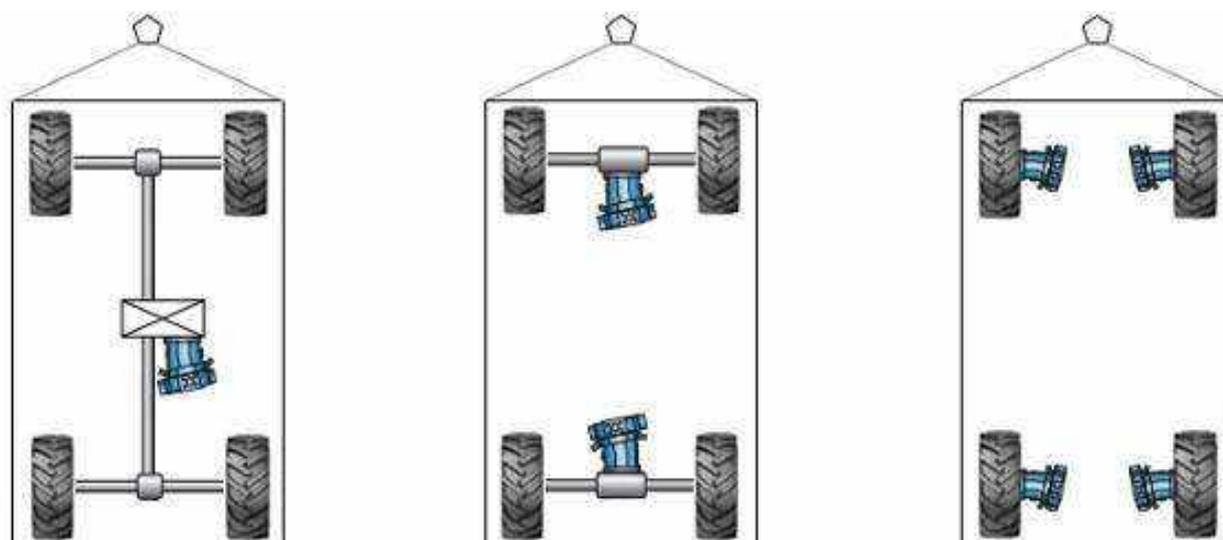
применением на серийных тягачах с колесной формулой 6x4 или 4x2 комбинированной энергетической установки для привода колес передней оси достигается существенная экономия топлива с возможностью рекуперации и накопления энергии, повышение проходимости и экологических характеристик. Многообразие компоновочных схем КЭУ привода передней оси позволяет адаптировать её практически к любым транспортным средствам.

На рис. 1 представлены возможные варианты привода колес передних осей тягачей с колесной формулой 6x6.



**Рис. 1. Компоновочные схемы привода передней оси тягача с КЭУ:**  
*а* – индивидуальный привод передних колес с размещением электромашин на раме автомобиля с приводом через угловые редукторы; *б* – индивидуальный привод передних колес с мотор-колесами; *в* – мостовая схема привода передних колес

На рис. 2 приведены возможные варианты привода колес прицепных звеньев. В данных примерах крутящий момент на колеса передается через регулируемый гидромотор.



**Рис. 2. Схемы расположения гидромоторов на активном прицепном звене:**  
*а* – дифференциальный привод ведущих мостов; *б* – блокированный привод ведущих мостов;  
*в* – индивидуальный привод ведущих колес

Основные достоинства применения автопоездов с активным бесступенчатым приводом колёс следующие:

- повышение проходимости и средних скоростей движения более 30%;
- повышение грузоподъёмности тягача и автопоезда;
- гибкость применения исходя из транспортных задач;
- возможность объединения прицепных звеньев для транспортировки длинномерных и крупногабаритных тяжёлых грузов;
- бесступенчатое, без разрывов потока мощности, изменение подводимого к колесам крутящего момента, позволяющее снизить срыв грунта грунтозацепами движителя;
- возможность обеспечения индивидуального регулируемого привода каждого колеса (моста), независимо от его расстояния до питающей установки;
- возможность обеспечения работы двигателя в оптимальном (экономичном) режиме и, как следствие, экономия топлива до 20%;
- снижение разрушающего воздействия на почву до 40%.

Как отмечалось, одним из способов повышения проходимости является применение активных автопоездов со специализированными шинами. Наличие ведущих колес прицепного звена совместно с полноприводным тягачом способствует общему уменьшению разрушающего воздействия движителя на грунт, а также повышению проходимости и снижению сопротивления движению за счет: снижения давления на грунт, уменьшения глубины следа, уменьшения степени буксования движителя автопоезда, снижения срыва грунта грунтозацепами колес.

Применение специальных шин сверхнизкого давления со значительной шириной профиля (пневмокатков), сочетающих способность воспринимать высокие нагрузки с низким давлением на грунт, позволяет реализовать высокие показатели проходимости и низкое разрушающее воздействие на грунт.

За рубежом такие шины выпускаются серийно, в качестве примера можно привести продукцию компании Rolligon Corporation. Также можно отметить предприятие ОАО «Днепрошина», выпускающее широкопрофильные шины сверхнизкого давления SB-1 и Ф-82.

В качестве примера рассмотрим движение автопоезда в составе тягача КАМАЗ-44108

(6х6) полной массой 19,2 т и двухосного полуприцепа полной массой 20 т по деформируемому грунту. Глубина колеи после прохода автопоезда на шинах размерностью ИД - П284 по весенней пашне ( $c=0,27$ ,  $\mu=0,75$ ) составляет более 0,4 м. При этом выполнение транспортной работы может быть осложнено тем, что при неоднородности грунта может возникнуть ситуация с частичным сдвигом грунта картерами мостов. При движении такого автопоезда на более мягком грунте, например, на размокшей луговине ( $c=0,14$ ,  $\mu=0,61$ ) движение на шинах размерностью ИД - П284 автопоезда невозможно. Колеса полуприцепа полностью погружены в грунт. При этом об экологическом воздействии автопоезда речь идти не может.

Оценим влияние альтернативных типов шин и наличия активного привода колес автопоезда на величину образуемой колеи и проведем сравнение со стандартной компоновкой автопоезда. Для этого возьмем следующие шины: стандартные шины ИД-П284, шины сверхнизкого давления Ф-82 и шины сверхнизкого давления Rolligon. Основные характеристики шин приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Основные характеристики шин

Модель шины	Наружный диаметр, мм	Ширина профиля, мм	Давление, МПа	Максимальная нагрузка, кН
ИД-П284	1185	475	0,3	33,5
Ф-82	1765	1170	0,18	50
Rolligon 54x68-18 V2	1435	1790	0,17	72,64

В качестве основных допущений при расчете примем:

- движение равномерное прямолинейное по ровному горизонтальному участку грунта со скоростью около 1 м/с;
- грунт однороден, имеет одинаковые физико-механические свойства;
- боковые поверхности колеса ограничим плоскостями по максимальной ширине шины;
- давление воздуха в шинах тягача и полуприцепа одинаковое.

На рис. 3 представлены результаты расчетов глубины колеи после прохода колес автопоезда для различных типов шин и привода полуприцепа. Наименьшая глубина колеи образуется при движении на шинах со сверхнизким давлением воздуха. По сравнению с шинами ИД-П284 глубина колеи при движении автопоезда на шинах сверхнизкого давления меньше в 3,5-4 раза. За счет активного привода колес полуприцепа глубина колеи также снижается на 7-10%.

На сегодняшний день существуют достаточно много вариантов конструктивных решений, позволяющих повышать проходимость как автомобилей, так и автопоездов. Чтобы оценить величину экологического воздействия транспортных средств при изменении конструкции для повышения проходимости, воспользуемся методом количественной оценки конструкции автомобилей по величине разрушающего воздействия на почву, разработанного специалистами ОАО «Инновационная Фирма «НАМИ-Сервис» [2]. В основе метода лежит комплексный критерий оценки воздействия на почву  $K_{пчв}$  (1), учитывающий два основных разрушающих фактора: уплотнение и сдвиг грунта вплоть до полного среза. Поэтому критерий  $K_{пчв}$  является функцией глубины колеи автомобиля и буксования его движителей:

$$K_{пчв} = f(K_h; K_S), \quad (1)$$

где  $K_h$  – составляющая коэффициента разрушающего воздействия, зависящая от глубины прокладываемой колесным движителем колеи;  $K_S$  – составляющая коэффициента, характеризующая разрушающее воздействие от буксования движителей колесной машины.

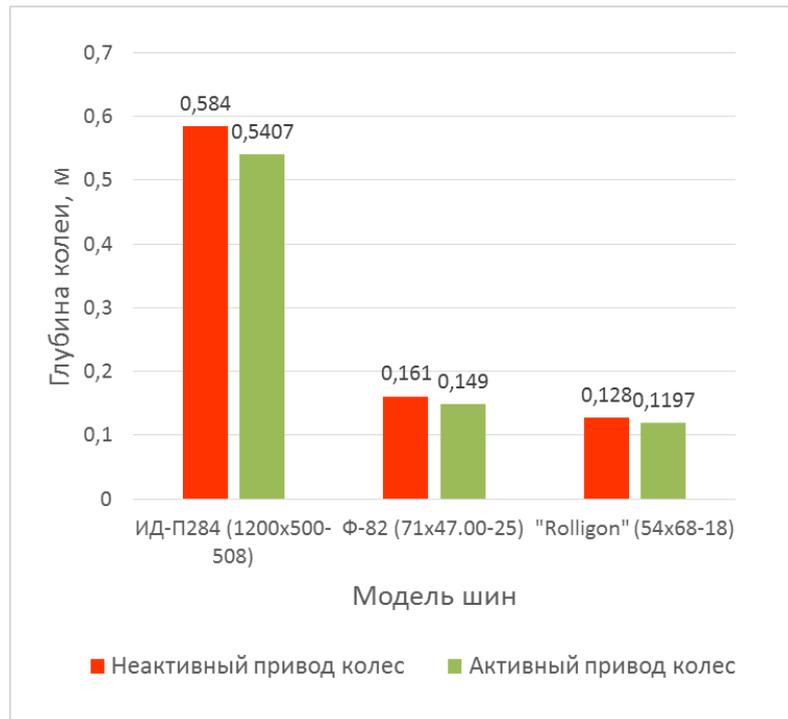


Рис. 3. Глубина колеи после прохода колес автопоезда для различных типов шин и привода полуприцепа

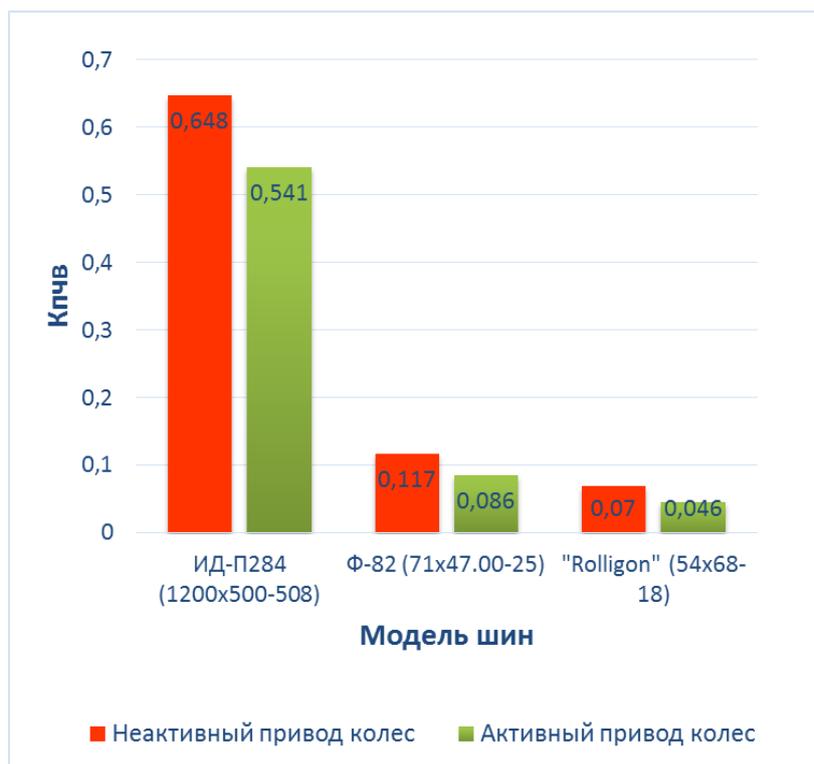
Полное выражение для показателя воздействия колесных движителей на почву имеет вид

$$K_{пчв} = \sum_{i=1}^N \left( 1 - \left[ \left( 1 - A_{h1} (c \cdot h_i^\mu)^\beta \right) \cdot \left( 1 - \frac{s_i^2 - s_i s_o}{s_m (s_m - s_o)} \right) \right] \right) \frac{b_i}{2B}, \quad (2)$$

где  $h_i$  - значение глубины доли суммарного следа от недеформированного уровня почвы;  $c$  и  $\mu$  - коэффициенты, характеризующие деформационные свойства грунта;  $A_{h1}$  и  $\beta$  - корреляционный коэффициент и показатель степени соответственно;  $A_{h2}$  - величина, численно равная глубине прокладываемой колесной машиной колеи;  $s_i$  - максимальное буксование среди колес, участвовавших в формировании доли суммарного следа;  $b_i$  - доля ширины суммарного следа за автомобилем с постоянными значениями  $h_i$  и  $s_i$ ;  $B$  - ширина колеса.

Показатель  $K_{пчв}$  учитывает не только влияние нормальной нагрузки, но и буксование движителя как при прямолинейном, так и криволинейном движении автомобиля, принимается во внимание боковое уширение следа и сдвига грунта. Если есть фактор буксования, даже незначительный, то есть возможность учитывать тип силового привода колес, а следовательно, и режим качения колеса. Поэтому, наряду с расчетной оценкой параметров проходимости, можно получить экологическую оценку конструкции автомобилей.

Оценим влияние применения разных типов шин и наличия активного привода колес полуприцепа при прямолинейном движении тягача КАМАЗ-44108 (6x6) полной массой 19,2 т и двухосного полуприцепа полной массой 20 т по деформируемому грунту на величину разрушающего воздействия на грунт по показателю  $K_{пчв}$  (рис. 4). Не трудно заметить, что применение в конструкции автопоезда, предназначенного для передвижения по грунтам шин сверхнизкого давления позволяет существенно снизить разрушающее воздействие автопоезда на грунт. Благодаря активизации колес полуприцепа снижается не только глубина колеи, но и буксование движителя, т.е. основные разрушающие факторы.



**Рис. 4. Разрушающее воздействие на грунт при прямолинейном движении автопоезда в зависимости от типа применяемых шин и активного/неактивного типа привода осей полуприцепа**

Применение регулируемого индивидуального силового привода ведущих с бесступенчатым изменением крутящего момента способно не только улучшить тяговые свойства автопоезда, но и существенно снизить степень вредного воздействия на почву. Автопоезд с активным полуприцепом или прицепным звеном позволяет реализовывать больший момент при сохранении экологической безопасности опорной поверхности.

Это касается и движения автопоезда в повороте, когда рациональное распределение мощности позволяет повысить устойчивость, управляемость и одновременно снизить разрушающий почву бульдозерный эффект, который также представляет собой срез грунта в поперечном направлении [3].

Таким образом, применяя комплексное решение активного привода колес автопоездов и специальные шины сверхнизкого давления при движении по грунтам с низкой несущей способностью, можно гарантированно осуществлять транспортную работу, сохраняя при этом экологию. При помощи критерия  $K_{пчв}$  можно с экологической точки зрения выйти на оптимальную конструкцию трансмиссии и самого движителя, развесовки автопоезда и др., т.е. в результате можем получить комплексную оценку с отражением ущерба, нанесенного почве.

#### Библиографический список

1. **Бахмутов, С.В.** Силовой привод колес многоосных машин: перспективы научного поиска оптимальных решений / С.В. Бахмутов, А.В. Лепешкин, С.Б. Шухман // Автомобильная промышленность. 2005. № 3. С. 11–15.
2. **Шухман, С.Б.** Метод оценки и расчета разрушающего воздействия полноприводных автомобилей на почвогрунты: учеб. пособие / С.Б. Шухман, А.С. Переладов, С.Н. Коркин. – М.: Агробизнесцентр, 2010. – 60 с.

3. **Русанов В.А.** Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути её решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 98 с.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**S. Korkin, R. Kurmaev**

**INCREASE OF ECOLOGICAL SAFETY OF MOVEMENT  
OF TRAINS IN HEAVY TRAFFIC CONDITIONS**

NAMI

Results of the analysis of movement of road trains on a deformable soil are presented in article. Possibilities of use of tires with ultralow pressure and an active drive gear of wheels of the road train for increase of ecological safety are studied.

*Key words:* combination with active trailing link, continuously variable transmission, system control, environmental safety, track, slice of soil mover.

УДК 629.331

Р.Л. Петров

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТА КАК ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА ГЛОБАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ

Исследовательский центр ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти

Дан обзор энергетических и экологических проблем, связанных с развитием мирового автотранспортного сектора, анализируются современные и перспективные методы и решения по снижению расхода топлива и эмиссии CO<sub>2</sub> с применением методик оценки полного жизненного цикла. Сравняются и оцениваются перспективы применения альтернативных видов топлива в транспортном секторе.

*Ключевые слова:* потребление энергии, транспортный сектор, расход топлива, эмиссия CO<sub>2</sub>, жизненный цикл.

Наиболее универсальным показателем для оценки глобального воздействия человечества на природу, необратимых изменений, которые происходят с окружающей средой, климатом планеты, ее биофлорой и биофауной, – можно считать количество произведенной и потребленной энергии. Мировое потребление первичной энергии – общее количество энергии, потребляемое человеческой цивилизацией; оно включает в себя всю энергию, извлекаемую из всех энергоресурсов и потребляемую человечеством во всех промышленных и потребительских секторах экономики в каждой стране. По данным компании BP [1], мировое потребление первичной энергии за последние десять лет продолжало линейно расти, увеличиваясь в год примерно на 2,5% (рис. 1), и эта тенденция еще сохранится на ближайшие годы в основном за счет роста экономик развивающихся стран.

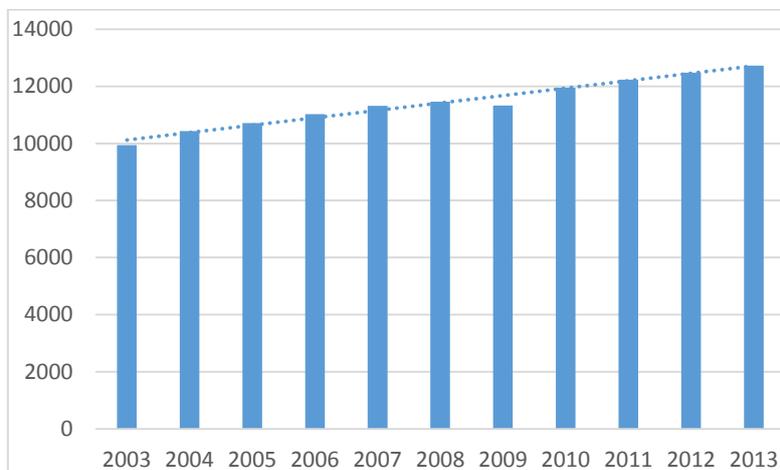


Рис. 1. Динамика мирового потребления первичной энергии в млн toe

Для целей сравнения различных видов топлива было введено понятие условного топлива. Условное топливо – это принятая единица учета любого топлива (нефти, ее производных, каменного угля, сланца, газа, торфа и др.), которая используется при расчетах полезного действия различных видов топлива на основе показателя – удельной теплоты сгорания топлива. Международное энергетическое агентство (IEA) приняло за единицу условного топлива – тонну нефтяного эквивалента, обычно обозначаемую аббревиатурой toe (англ. tonne of oil equivalent). Одна тонна нефтяного эквивалента равняется 41,87 ГДж или 11,63 МВт·ч. Цены на энергоносители продолжают расти, и данная тенденция, скорее всего, сохранится и в

будущем, учитывая, что запасы ископаемых ресурсов ограничены, а темпы их потребления очень значительны и в основном продолжают увеличиваться. Огромное потребление энергии, произведенной из разных источников, приводит к значительным экологическим воздействиям на планету, в том числе, загрязнения окружающей среды, изменения климата, нарушение баланса экосистем, необратимые изменения биоценоза и его способности к восстановлению при антропогенном воздействии. Постараться изменить существующую ситуацию, сократить глобальную техногенную эмиссию парниковых газов (ПГ) и других токсичных веществ без существенного ограничения для уровня жизни и норм потребления – насущная задача сегодняшнего дня и ближайших десятилетий.

В аналитических исследованиях часто используется сравнение потенциала установленного мирового запаса невозобновляемого ресурса с данными ежегодных объемов его добычи для определения периода – на сколько лет хватит того или иного ресурса. Согласно применяемой в мире методике линейной оценки исчерпания ресурсов, предполагается, что имеющийся на сегодня уровень добычи ресурсов сохранится и в последующие годы, а период времени (в годах) полного исчерпания ресурса рассчитывается как запасы/добыча. По данным компании BP [1], шесть крупнейших производителей нефти – Саудовская Аравия, РФ, США, Китай, Канада и Иран – производят более половины ежегодной мировой добычи нефти, а оценочные запасы нефти во всем мире на начало 2014 г. составили 1687 млрд баррелей; и при мировой добыче в 86,8 млн баррелей в день (около 31,5 млрд баррелей в год) полное исчерпание ресурса произойдет за 53 года (табл. 1).

Таблица 1

Годовая добыча нефти в крупнейших странах производителях нефти в 2013 г. и имеющиеся у них доказанные запасы (время исчерпания ресурса – запасы/добыча)

Страны	Производство в 2013 г.		Запасы в 2013 г.	
	тыс. баррелей в день	%	в млрд баррелей	лет
Саудовская Аравия	11525	13,1	265	63
РФ	10788	12,9	93	23
США	10003	10,8	44	12
Китай	4180	5,0	18	11
Канада	3948	4,7	174	>100
Иран	3558	4,0	157	95
Итого 6 стран:	44002	50,5	751	
<b>Всего в мире:</b>	<b>86808</b>	<b>100</b>	<b>1687</b>	<b>53</b>

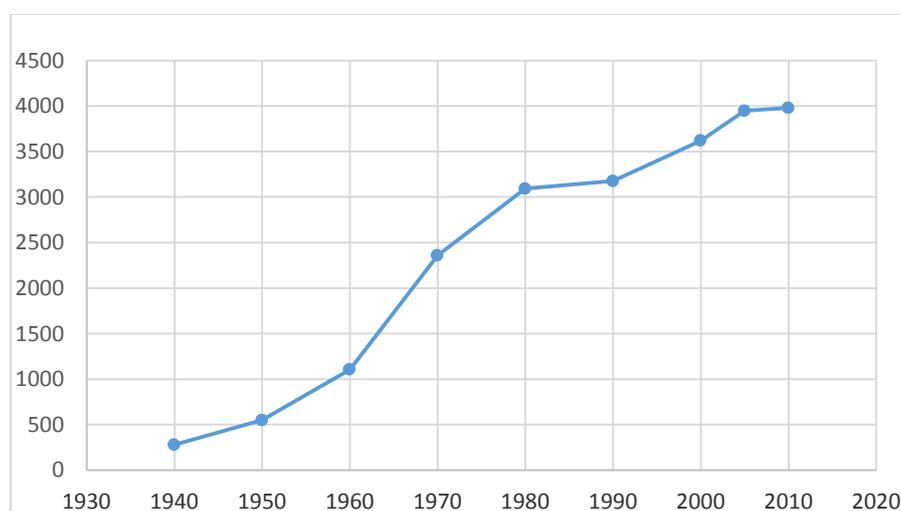


Рис. 2. Мировая добыча нефти, млн т в год

Также можно совершенно уверенно отметить, что темпы роста объемов добычи нефти после 2006 г. существенно сократились, и в будущем достигнутый мировой уровень добычи нефти или останется примерно на текущем уровне или начнет постепенно сокращаться. Динамика мировой добычи нефти за последние 70 лет, по данным компании BP, [1] показана на рис. 2.

Количество транспортных средств во всем мире стремительно растет, т.е. растет их воздействие на окружающую среду и потребление ими ресурсов и энергии, несмотря на то, что с каждым годом новые транспортные средства становятся экологически безопаснее и энергетически эффективнее. В то время как многие другие сектора промышленности оказались в состоянии стабилизировать или сократить эмиссию CO<sub>2</sub>, применяя новые технологии, методы и процессы, выбросы углекислого газа, связанные с транспортными перевозками, увеличились как в относительном (доля в суммарных антропогенных выбросах), так и абсолютном выражении. Транспортный сектор (автомобильный, железнодорожный, морской, авиация) является крупнейшим потребителем нефтепродуктов – 63% от всего мирового потребления нефти в 2011 г. [2]. И хотя доля дорожного транспорта в транспортном секторе в каждой стране различна, доминирующую нагрузку на природу за счет эмиссий и потребления топлива оказывает именно автомобильный транспорт.

В то время как общее конечное потребление энергии в 2011 г. в мировом промышленном секторе, по данным IEA [2], составило 2 556 млн toe, а в транспортном секторе – 2 445 млн toe (их доли почти равны), только 12% потребления энергии в промышленном секторе осуществляется из нефтепродуктов, тогда как транспортный сектор практически полностью зависит от топлив, полученных из сырой нефти, и сталкивается со многими проблемами, в том числе энергетического и экологического характера. И хотя использование альтернативных видов топлив (например, природного газа и биотоплива) значительно возросло за последние два десятилетия, нефтепродукты составляли 93% всех видов транспортного топлива в 2011 г., в то время как доля природного газа составила 3,8%, биотоплива – 2,4%, электричества – около 1%. Глобальное потребление нефти в мировом транспортном секторе составило [2]:

- в 1990 г. - 1485 млн toe;
- в 2000 г. - 1868 млн toe;
- в 2010 г. - 2265 млн toe.

Во всем мире на дорогах эксплуатируется уже более 1 млрд автотранспортных средств (АТС), большая часть из которых легковые автомобили (л/а). Вместе с десятками миллионов грузовых автомобилей и автобусов автомобильный парк мира выделяет в атмосферу гигантское количество диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) – парникового газа, общепризнанно влияющего на глобальное изменение климата на планете. И хотя точное значение годовой эмиссии CO<sub>2</sub>, выделяемой всем автомобильным парком мира, рассчитать не представляется возможным, приблизительную оценку объемов сделать можно. Принимая в расчетах среднюю эмиссию CO<sub>2</sub> на одно АТС в 200 г/км, средний годовой пробег в 15 тыс. км и парк АТС в 1 млрд единиц, – получим 3 т CO<sub>2</sub> в год на каждое АТС и 3 млрд т (Гт) в год для всего парка. Многие страны уже имеют стратегические цели и устанавливают нормативные требования по ограничению эмиссии CO<sub>2</sub> для новых автомобилей, и это дает свои плоды. В первую очередь следует отметить целеустремленные действия, принятые в Европейском союзе, где на сегодняшний день уже 20 стран-членов ЕС применяют способы налогообложения автомобилей, учитывающие эмиссию CO<sub>2</sub> (таких стран в 2010 г. в ЕС было только 17).

На примере Германии можно рассмотреть основные тенденции, сложившиеся в Европе и мире в автомобильном секторе за последние годы. На транспортный сектор в стране приходится значительная часть всех антропогенных выбросов парниковых газов. По данным VDA (Немецкая ассоциация производителей автомобилей), в 2009 г. в Германии на транспортный сектор пришлось 153 млн т парниковых газов (в CO<sub>2</sub>-эквиваленте) – это 17% от общей техногенной эмиссии CO<sub>2</sub> в Германии – в 920 млн т Из них 146 млн т CO<sub>2</sub>, или

95% от всех выбросов в транспортном секторе, – относятся к сектору автомобильных перевозок [3]. Поэтому автомобильный сектор является ключевым для направления усилий по сокращению выбросов парниковых газов. Динамика сокращения средней эмиссии CO<sub>2</sub> для парка новых л/а, произведенных автомобильной промышленностью Германии за последние годы, приведена на рис. 3. Очевидным фактом является то, что достижение снижения расхода топлива и эмиссии CO<sub>2</sub> становится все менее динамичным за последние годы, так как прогресс технологий и усовершенствований не может быть просто экстраполирован по прямой линии на достаточно большой период времени. Все более сложные технологии и дорогостоящие мероприятия требуются для достижения дальнейших целей снижения эмиссии CO<sub>2</sub> для л/а. Эта тенденция отчетливо прослеживается в 2012 г., когда производители не смогли повторить заметное сокращение средней эмиссии CO<sub>2</sub> в 3,8% в 2011 г., а в 2013 г. годовое сокращение было всего 0,77%.

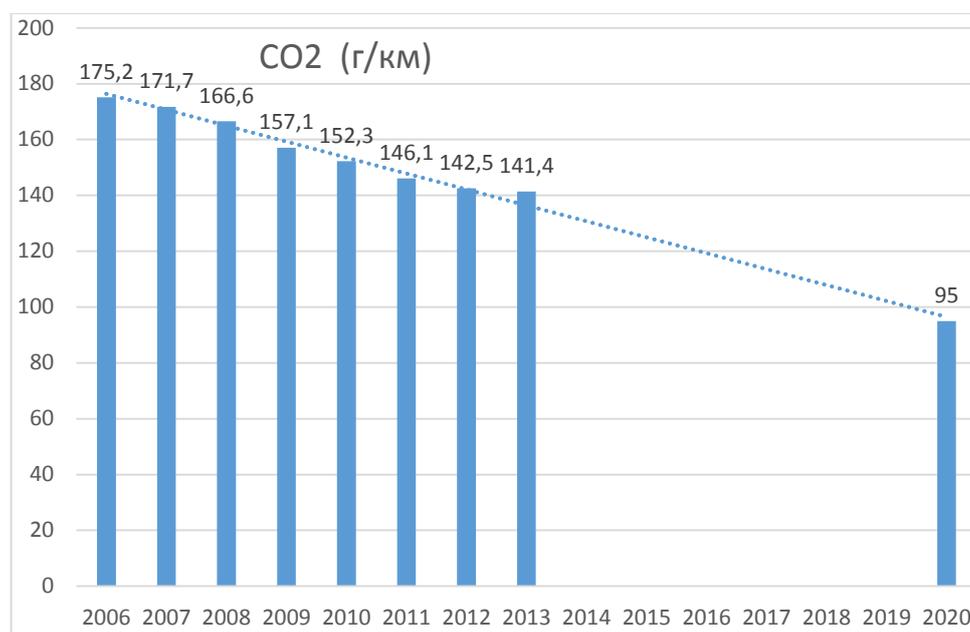


Рис. 3. Средняя эмиссия CO<sub>2</sub> (г/км) для новых л/а, произведенных промышленностью Германии (пунктир – достижение планируемой в ЕС цели в 95 г/км для 2020 г.)

Учитывая глобальные объемы расхода энергии человечеством, значительную долю, которую занимает автотранспортный сектор в мировом потреблении энергии и ресурсов, современная ситуация требует комплексного подхода к решению связанных с этим проблем. Одним из актуальных и перспективных направлений является значительно большая диверсификация применяемых в транспорте видов топлива. И хотя нефть останется на ближайшие годы доминирующим источником энергии в транспортном секторе, однако очень важным является анализ развития ситуации в будущем с учетом увеличения применения альтернативных видов топлив, имеющих хорошие экологические и экономические перспективы.

При планировании стратегических решений в отношении применения транспорта в ближайшей перспективе странам очень важно эффективно использовать методологии сравнительного анализа по оценке полного жизненного цикла – Life-cycle assessment (LCA), с учетом проведения всего экобаланса составляющих процессов. В первую очередь различные виды топлива сопоставляются между собой по их удельной теплоте сгорания, показывающей, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании топлива массой 1 кг (рис. 4). Чем больше удельная теплота сгорания топлива, тем меньше удельный расход топлива при той же величине коэффициента полезного действия (КПД) двигателя и прочих равных условиях.

При сопоставлении автомобилей, работающих на разных видах топлива, оценка делается не только для энергетической эффективности двигателя (КПД) и привода крутящего момента на колеса автомобиля, но также анализируется полный жизненный цикл и для топлива.

Так называемый WTW-анализ (англ. well-to-wheel) подразумевает полную оценку экобаланса, произведенную по всем основным и сопутствующим процессам, трансформирующим энергию от скважины (места природного нахождения первичного энергоресурса) до колес автомобиля, создающих его движение, включая этапы производства, переработки и доставки топлива. То есть такой анализ включает в себя оценку общей эмиссии ПГ в атмосферу, рассчитанной в граммах (в CO<sub>2</sub>-эквиваленте) на 1 МДж конечной энергии, которая образуется в результате потребления топлива в двигателе конкретного транспортного средства определенного вида с учетом всей цепи движения топлива («от скважины до колеса»). Обычно такой анализ состоит из двух частей, когда сначала делают расчеты суммы всех выбросов, которые являются результатом транспортирования конкретного объема первичного энергоресурса от места его добычи до наливной горловины топливного бака автомобиля (англ. well-to-tank (WTT) – «от скважины до бака»). Затем анализируются все выбросы, образующиеся при потреблении топлива для движения автомобиля (англ. tank-to-wheel (TTW) – «от бака до колеса»). В то время как выбросы TTW зависят исключительно от соответствующих характеристик двигателя и трансмиссии транспортного средства, выбросы WTT отличаются в зависимости от типа топлива, процессов его добычи и переработки, параметров и расстояния транспортировки от первичного источника энергии. Общий баланс WTW эмиссии складывается из WTT и TTW эмиссий.

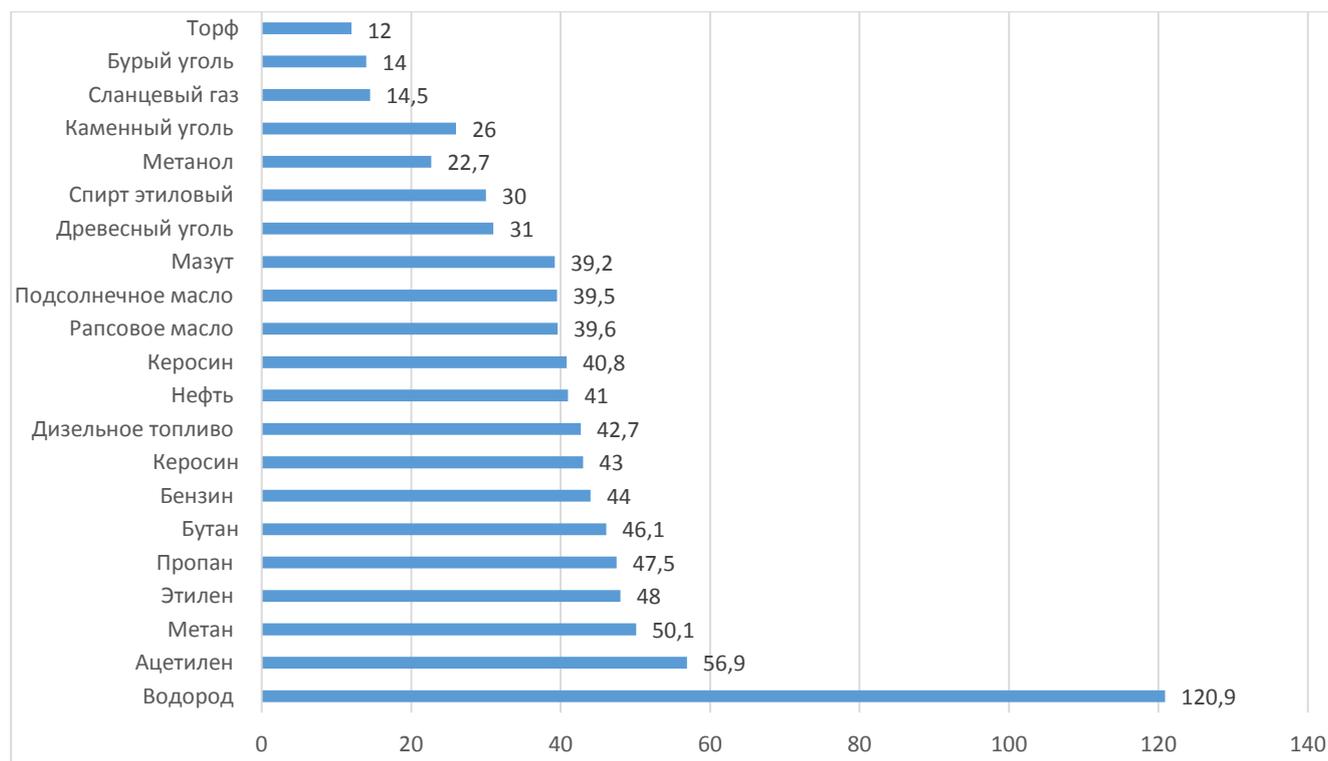


Рис. 4. Удельная теплота сгорания веществ в воздухе, МДж/кг

Проведение сравнительных анализов для полного количества выбросов вредных веществ на протяжении всего цикла производства и потребления топлив (WTW-анализ) как для традиционных топлив и ДВС, так и для альтернативных видов топлива и технологий силовых передач является важным информационным аргументом в случае внедрения нового типа силового агрегата, использующего новый вид топлива. Это должно стать нормой при про-

ведении обоснованного сопоставления альтернативных видов топлив, включая электроэнергию, водород, биотоплива, с традиционными топливами ископаемого происхождения.

В настоящее время экспертами в области развития автомобилестроения признано, что в обозримом будущем двигатель внутреннего сгорания останется доминирующим в транспортном секторе, а другие альтернативные варианты будут постепенно развиваться в автомобильной промышленности. Европейские показатели новых регистраций электромобилей показывают неплохую динамику в течение последних нескольких лет, однако абсолютные цифры далеко не впечатляют. Чисто электрических транспортных средств (электромобилей) было зарегистрировано в ЕС в 2010 г. – 1 064, в 2011 г. – 9 132, в 2012 г. – 27 400 единиц [4]. Достаточно хорошо известные и широко обсуждаемые достоинства и недостатки электрических транспортных средств многократно сравниваются под разными углами зрения и дискутируются. Недостатками электромобилей являются: высокая цена, небольшой пробег без подзарядки, необходимость часто заряжать аккумуляторы, небольшой срок службы аккумуляторов и проблемы с их утилизацией, а достоинством – малозумные и не загрязняют воздух в городах (хотя для выработки и транспортировки электроэнергии приходится загрязнять атмосферу).

С точки зрения ТТW-анализа электрические транспортные средства значительно более эффективные средства для обеспечения движения. Тем не менее, сокращение выбросов CO<sub>2</sub> и других ПГ будет эффективно только при условии, если будет обеспечен низкий уровень эмиссий и экологического воздействия на всех этапах топливно-энергетической цепи WTW. Поэтому источник электроэнергии, которая будет применяться для зарядки электрических транспортных средств, имеет решающее значение. Значительные выбросы CO<sub>2</sub> могут быть созданы в процессах производства энергии. И проведенные расчеты могут различаться в зависимости от реальных поставщиков энергетической энергии и транспортной логистики. На практике это означает, что один и тот же автомобиль будет иметь разные выбросы ПГ при WTW-анализе в зависимости от страны, региона, локальных тарифов, других факторов окружающей среды и энергетического баланса. Например, в Европе для данных расчетов часто используют усредненные данные для Евросоюза, в том числе по эффективности и экологичности производства электроэнергии (EU-mix). Более 70% угольных электростанций Европейского Союза имеют возраст более 20 лет и работают с эффективностью 30-40%. Новые технологические разработки позволили повысить эффективность до уровня 40-45% в новых угольных ТЭЦ, а новое поколение газовых ТЭЦ достигает значительно более высокой эффективности в 50-55%. Однако самым распространенным топливом для ТЭЦ в Европе все еще остается уголь, а энергоэффективность (КПД) существующих в ЕС электростанций составляет в среднем менее 40%.

Поскольку технологии электромобилей все еще развиваются, они по-прежнему стоят очень дорого. В настоящее время электрический автомобиль стоит в 2-3 раза дороже сопоставимого обычного автомобиля с ДВС. Хороший диапазон движения для электромобиля в 130-150 км пробега до подзарядки требует потребления электроэнергии около 20kWh для автомобиля компактного класса. В настоящее время стоимость тяговой системы на основе литий-ионных батарей составляет около 600–800 € за один kWh запасенной энергии. Отсюда следует, что только расходы на батареи для электромобилей в зависимости от их размера добавляют 12 000–16 000 € к стоимости автомобиля [2, 3, 4]. Кроме того, у электромобилей есть еще дополнительные компоненты, требующие расходов по сравнению с традиционными автомобилями с ДВС. К ним относятся новые компоненты силовой электроники, проводов и охлаждения, которые не являются необходимыми для обычных л/а. Все эти дополнительные компоненты имеют значительное влияние на общий объем, вес и стоимость электромобилей. Также, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в увеличении объема содержания энергии по отношению к объему и весу современной аккумуляторной батареи, удельная плотность энергии остается примерно в 100 раз ниже, чем у топлива для ДВС.

Стоимость эксплуатации электромобилей, рассчитанная на основе €/км пути, как правило, значительно дешевле в сравнении с обычным л/а с ДВС. Этот показатель рассчитывается сравнением текущих цен на электроэнергию и бензин или дизельное топливо. Однако следует подчеркнуть, что во многих странах ЕС цена на бензин и дизельное топливо во многом зависит от налогообложения, которое в настоящее время не применяется к электроэнергии. Например, можно подсчитать для России, что при цене в 32,5 руб. за литр бензина, имеющего удельную энергию 44 МДж/кг и плотность 0,71 кг/л, потребитель автомобиля с ДВС получает энергию в 0,96 МДж на каждый потраченный рубль. А потребитель электромобиля, оплачивая 1,07 руб. за 1 кВт·час по ночному тарифу имеет 3,36 МДж/руб., то есть платит за единицу энергии в 3,5 раза меньше. Поэтому в оценке общей стоимости владения л/а есть очень много различных нюансов и тарифных и политических составляющих, и эти многочисленные факторы могут легко меняться в будущем.

Электромобили с трудом нашли бы свое место на коммерческих рынках мира, если бы не специально принятые в некоторых странах меры, стимулирующие развитие л/а с низкой или нулевой эмиссией ПГ. Например, около десятка национальных правительств стран-членов ЕС ввели специальные стимулы для покупки электромобилей. Такие меры в основном состоят из снижения налогов и применения льгот, а также премиальных выплат для покупателей электромобилей. Хотя фискальные меры являются важным инструментом в формировании потребительского спроса в сторону экономичных автомобилей, однако, экологические результаты от таких налоговых стимулов могут отрицательно влиять на развитие промышленности и технологий, создавая несправедливую конкуренцию. Например, многочисленные индустриальные союзы ЕС настоятельно призывают правительства стран ЕС применять гармонизированный подход для схем налогообложения автомобилей, который бы являлся нейтральным в отношении применяемых технологий, например, на основе схемы CO<sub>2</sub>, учитывающей выделения ПГ в полном процессе well-to-wheel [3, 4].

В табл. 2 приведены результаты WTW-анализа, полученные Европейским объединенным исследовательским центром с ориентацией на усредненные значения для ЕС [5]. Из данной таблицы видно, что применение электроэнергии или водорода в качестве энергетического ресурса, обеспечивающего движение автомобилей, не только не имеет преимуществ перед газовым топливом, но также и перед традиционными – дизелем и бензином. При более значительном увеличении доли гидроэнергетики или альтернативных видов электроэнергетики, использующих энергию солнца, ветра, волн, приливов и др., результаты WTW-анализа для электромобилей и л/а, работающих на водороде, могут в будущем улучшиться. Поэтому конечной целью для развития применения электромобилей должно стать использование для них электроэнергии, произведенной только из возобновляемых источников и ресурсов.

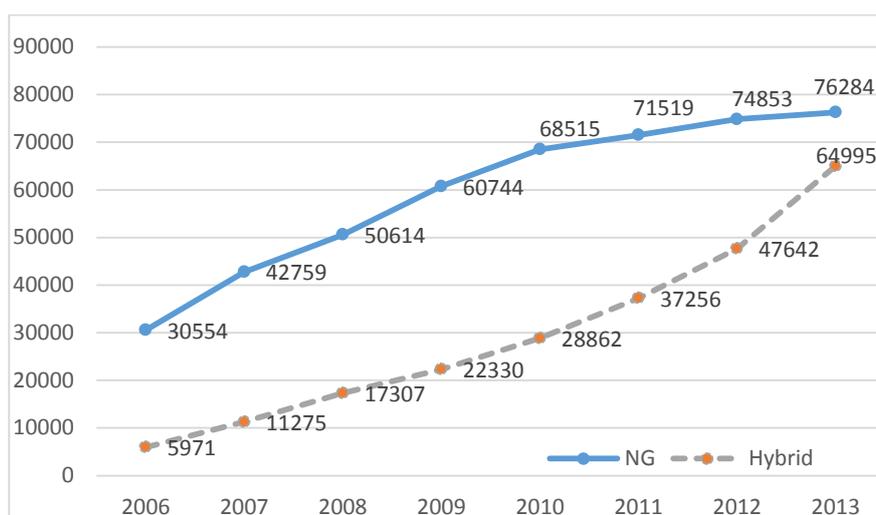
**Таблица 2**  
**Эмиссия ПГ (в граммах CO<sub>2</sub>-экв./МДж) по оценке WTW для автомобилей, применяющих различные виды топлив**

Топливо	Well-to-wheel
Бензин	84
Дизель	90
Природный газ	66
Сжиженный нефтяной газ	73
Водород	113
Биометан	17
Биодизель	34
Электрическая энергия	156

Близки к электромобилям и автомобили с водородным двигателем. Водород можно получать из воды электролизом, другим современным способом получения водорода являет-

ся преобразование из природного газа. Водород имеет очень высокую удельную теплоту сгорания, обеспечивая тем самым высокий КПД двигателя. Автомобили с водородными двигателями также, как и электромобили, при эксплуатации не загрязняют атмосферу. Недостатком водородных двигателей является необходимость огромного топливного бака, так как водород очень легкий газ. На сегодняшний день удовлетворить в полной мере потребности человечества водородная энергетика не в состоянии из-за дороговизны производства чистого водорода и технических проблем его транспортировки. Кроме того, как уже упоминалось, при производстве электроэнергии современными способами выделяется значительное количество ПГ и других вредных эмиссий. При отсутствии энергетически эффективного способа получения водорода его массовое применение для транспортных средств представляется пока совершенно неоправданным. Это в полной мере относится и к автомобилям на топливных элементах, использующих в качестве топлива водород.

Гибридными автомобилями (гибридами) называют транспортное средство с комбинированной энергетической установкой (КЭУ), то есть имеющее в своем составе два или более разных преобразователя энергии, а также системы их аккумуляирования. Как правило, это ДВС и тяговый электропривод. В последние годы производство и продажа гибридов переживают значительный рост (рис. 5) [2, 3]. Компания Toyota начала серийное производство гибридов еще в 1997 г. По итогам 2006 г. всем мире было продано более полумиллиона только модели Toyota Prius, а к 2009 г. общее число произведенных гибридов модели Prius уже превышало 2 млн единиц.



**Рис. 5. Динамика роста в Германии парка гибридных легковых автомобилей и на природном газе**

В очень многих технических источниках, каталогах и СМИ утверждается, что гибриды имеют значительные преимущества по эмиссии CO<sub>2</sub> и расходу топлива по сравнению с традиционными л/а. Приводятся цифры о 15-40% улучшении данных показателей. Считается, что это достигается благодаря оптимизации эксплуатационных режимов двигателя, применению ДВС меньшей мощности, рекуперативному торможению, дополнительному увеличению момента, своевременному отключению ДВС во время остановок в транспортном потоке. Однако при более детальном рассмотрении ситуации реальные факты выглядят несколько иначе.

Если на первой фазе развития гибридов были конкурентные попытки развивать как последовательную схему компоновки, когда автомобиль приводится в движение от электродвигателя, а ДВС соединен только с генератором, который в свою очередь питает электродвигатель и заряжает аккумуляторную батарею, так и параллельную схему, когда электродвигатель и ДВС могут приводить л/а в движение как самостоятельно, так и совместно, то в

последние годы ситуация сильно изменилась. Новое Приложение 8 к Правилам № 101 ЕЭК ООН (UNECE), где описывается методика испытаний гибридных транспортных средств и расчетов выбросов CO<sub>2</sub>, предоставила существенные преимущества параллельной схеме компоновки гибрида с возможностью подключения к электросети. Такой автомобиль называется на английском Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV). То есть машину можно использовать как электромобиль большую часть пути, а когда заряд падает ниже определенного уровня, включается небольшой бензиновый или дизельный двигатель, и тогда автомобиль едет дальше как последовательный гибрид. Подразумевается, что зарядка электроэнергии будет происходить в основном ночью, когда она стоит дешевле. Модифицированные Правила позволяют для оценки токсичности и эмиссии CO<sub>2</sub> в гибридах PHEV применить новую процедуру, состоящую из двух отдельных испытаний (так называемые условие А и условие В):

1) условие А – испытание по ездовым циклам NEDC (Евроцикл) проводят с полностью заряженной батареей. Функциональные характеристики автомобиля измеряются в данном режиме. Значение M1 соответствует массе выбросов CO<sub>2</sub> на километр при данном испытании.

2) условие В – испытание проводят с минимальной степенью заряда батареи (максимально разряженной). Функциональные характеристики автомобиля измеряются в данном режиме. Значение M2 соответствует массе выбросов CO<sub>2</sub> на километр при данном испытании.

По обычной методике замера километража замеряют пройденное расстояние, которое PHEV смог пройти только от питания максимально заряженной батареи, обозначают как *D<sub>ovc</sub>* - запас хода на электротяге подключаемого гибрида (км). Окончательное значение CO<sub>2</sub> (г/км) рассчитывают как среднее значение:

$$M = \frac{(M_1 D_{ovc} + M_2 D_{av})}{D_{ovc} + D_{av}}, \text{ где } D_{av} = 25 \text{ км (директивно установленное значение для}$$

предполагаемого расстояния между подзарядками).

То есть, согласно большинству мировых стандартов измерения, включая ЕС, измеряемые выбросы CO<sub>2</sub> не учитывают энергию, полученную от электросети, поэтому значительное снижение выбросов CO<sub>2</sub> получают за счет использования режима, в котором значительную часть ездового цикла гибрид просто двигается только за счет электромотора с выключенным ДВС. Это, конечно, противоречит методикам оценки полного жизненного цикла, тем не менее, признано законным. Поэтому можно считать, что основные показатели экологического улучшения, сокращения эмиссии парниковых газов и расхода топлива для гибридных автомобилей PHEV во многом объясняются применяемой методикой их оценки. Реальные же (правдивые) значения, которые могут быть фактически получены для PHEV, применяя в испытаниях только условие В, показывают, что никакого преимущества нет; значения на 20-40% больше, чем расчетные («бумажные») средние значения, а возможная экономия, получаемая рекуперативным торможением и «оптимизацией эксплуатационных режимов двигателя», полностью съедается увеличением массы автомобиля за счет большой батареи. Также следует отметить, что именно для увеличения *D<sub>ovc</sub>* - запаса хода на электротяге подключаемого гибрида – в PHEV применяют более значительную емкость (и массу) батареи, так как это позволяет улучшить расчетные показатели экобезопасности, используя режим электромотора по максимуму. Поэтому в последнее время на рынке практически невозможно найти моделей гибридов с последовательной схемой компоновки, зато максимально число PHEV.

Авторитетный немецкий журнал AutoBild провел недавно свои тесты более чем 100 различных моделей автомобилей [6]. Результаты шокируют: современные автомобили потребляют намного больше топлива, чем указано в рекламных проспектах производителей. Методика тестирования была следующей: каждый автомобиль проходил дистанцию в 160 км, которая состояла из городского и загородного участков, а также отрезка по автобану. Соблюдались следующие скоростные режимы: в городе – 50 км/ч, за городом – 100 км/ч, на автобане – около 120 км/ч. В задачу теста входило воспроизведение наиболее реальных условий каждодневной эксплуатации. До начала заезда и после его окончания топливный

бак автомобилей заполнялся полностью, таким образом определялось количество израсходованного топлива. Все гибриды, протестированные данным образом, показали очень существенное превышение от заявленных значений. Например, Toyota Prius - на 37%, Honda Civic Hybrid – на 44%, Lexus RX – на 48%, а Opel Ampera даже на 225%. Opel Ampera (выбран автомобилем 2012 г. в Европе) указывал официальный расход 1,6 л/100 км (по расчетам производителя машина должна проехать 60 км без ДВС, а на оставшиеся 40 км потратить всего 1,6 л бензина). Но протяженность испытательного трека Autobild была 160 км. Уже через 40 км аккумуляторы Ampera были истощены, и остальную часть пути л/а работал как последовательный гибрид с расходом топлива свыше 6 л на 100 км.

Многочисленные исследования и оценки по полному жизненному циклу, в том числе результаты WTW-анализов, проведенные многими научными организациями мира [2, 3, 4, 7], сводятся к заключению, что для достижения значительного сокращения выбросов ПГ и гибриды PHEVs, и электромобили должны иметь подзарядку от электрогенерации с большой долей возобновляемых (неископаемых) источников производства электроэнергии, иначе реальных экологических преимуществ от их использования практически нет.

Применение природного газа в качестве автомобильного топлива позволяет на 15-30% уменьшить выбросы ПГ на единицу произведенной энергии по сравнению с автомобилем на дизельном топливе или бензине. По данным IEA, во всем мире сейчас эксплуатируется около 17 млн АТС на природном газе (NGV). В 2009 г. их было в мире только 11 млн единиц (в девять раз больше, чем в 2000 г., когда их было около 1,2 млн). Из них 1,3 млн эксплуатировались в странах ЕС, в то время как только в Пакистане (имеет самый большой NGV парк в мире) их было 2,3 млн и более 3000 станций заправки природным газом [2]. Согласно прогнозам IEA, самые быстрые темпы роста использования природного газа будут в дорожном транспортном секторе, также очень существенные темпы роста прогнозируются для спроса на все виды биотоплива. Рост мирового парка газобаллонного автотранспорта составит к 2020 г. 50 млн единиц, а к 2030 г. – более 100 млн единиц [2]. Биометан может выступать в качестве дополнения или замены природного газа, таким образом, может представлять реальный стратегический ресурс для обеспечения «устойчивой мобильности» в ближайшие десятилетия. Уже имеющиеся в наличии мощности биометана в странах ЕС составляют около 700 МВт в энергетическом эквиваленте. Десятки заводов в Германии производят биометан в результате обработки биогаза и повышая концентрацию метана с 40-60% в сыром биогазе до более 90%.

Политика и законодательные инициативы многих стран будут способствовать развитию транспорта на альтернативном топливе. На сегодняшний день многие мировые автопроизводители осуществляют серийный выпуск автомобилей, использующих природный газ и биотоплива. Такое бурное развитие этого направления совершенно оправдано – в настоящее время из всех массово используемых моторных топлив и технологий природный газ обеспечивает наиболее эффективное снижение эмиссии CO<sub>2</sub> и сокращение опасных выбросов отработавших газов автотранспорта, позволяя снизить в несколько раз выбросы вредных веществ по сравнению с бензином и дизельным топливом.

Транспортный сектор в настоящее время является глобальным фактором истощения мировых невозобновляемых ресурсов и формирования источников загрязнения планеты и изменения ее климата. Это необходимо учитывать всем автомобилестроительным компаниям, оценивающим перспективы дальнейшего развития мирового рынка АТС и выбирающим свои стратегические направления среди альтернативных вариантов экологически безопасных и энергетически эффективных будущих транспортных средств. Можно сказать, что глобальный мировой автопром и его ведущие автомобилестроительные компании стоят сейчас на развилке дальнейшего пути развития дорожной мобильности, когда еще не до конца понят-

но, какое конкретное направление сумеет существенно вырваться вперед, опередив при этом все остальные. У всех из них пока имеются серьезные шансы на успех в будущей конкурентной борьбе. Однако немаловажную роль в разрешении этого потенциального спора, исход которого определит будущую судьбу многомиллиардных вложений мирового автопрома, будут играть правительства и их целеустремленные и далеко идущие программы стимулов, поддержки, систем налогообложения. Комплексно и системно анализировать различные аспекты новых направлений, технологических решений и их возможных последствий с использованием методов оценки полного жизненного цикла, – это настоятельное требование современного инновационного подхода в науке и промышленности.

#### Библиографический список

1. BP 2014 Statistical review of world energy. [Электронный ресурс] [www.bp.com/annualreport](http://www.bp.com/annualreport)
2. Advanced Motor Fuels Annual Report 2013. International Energy Agency (IEA). [Электронный ресурс] <http://www.iea.org>
3. VDA Annual Report 2012. [Электронный ресурс] [www.vda.de](http://www.vda.de)
4. ACEA 2013 Report. European automobile manufacturers association (ACEA). [Электронный ресурс] [www.acea.be](http://www.acea.be)
5. Energy Carriers for Powertrains 2014. ERTRAC: Energy and Environment. [Электронный ресурс] [www.ertrac.org](http://www.ertrac.org)
6. AutoBild. [Электронный ресурс] <http://www.autobild.de>
7. Argonne National Laboratory Report 2010. USA Department of Energy. [Электронный ресурс] [www.anl.gov](http://www.anl.gov)

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**R.L. Petrov**

#### **VEHICLES ENERGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY AS FACTORS HAVING IMPACT ON GLOBAL DEVELOPMENT**

AVTOVAZ Research Center, Togliatti

The article deals with energy and environmental concerns related to global transport sector development, providing the analysis of current and prospective technologies, methods and solutions aimed at fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions reduction using life cycle assessment methods. The author compares and evaluates prospects of various alternative fuels application in transport sector.

*Key words:* energy consumption, transport sector, fuel consumption, CO<sub>2</sub> emissions, life cycle assessment.

УДК 629.3.064.5

Н.А. Хрипач, Б.А. Папкин, В.С. Коротков

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)  
(Университет машиностроения)

Приведен анализ повышения эффективности отечественных теплоэнергетических установок в малой энергетике и на транспорте в связи с использованием прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Рассмотрены различные материалы как с точки зрения их термоэлектрических свойств, так и возможности применения в термоэлектрических генераторах. На основании технических характеристик существующих образцов термоэлектрических генераторов обоснована актуальность развития технологий прямого преобразования тепловой энергии в электрическую для увеличения конкурентоспособности российских разработок в области автомобилестроения и малой энергетики на мировой арене.

*Ключевые слова:* термоэлектрический генератор, рекуперация тепловой энергии, прямое преобразование тепловой энергии в электрическую.

Изменение климата является одной из наиболее значительных угроз общественному здоровью и глобальной окружающей среде. Одним из доминирующих факторов, оказывающих значительное влияние на окружающую среду, являются парниковые газы, попадающие в атмосферу, в том числе, в результате сгорания углеводородного топлива в двигателях автомобилей и стационарных энергоустановок. Парниковые газы имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Автономные энергетические системы, особенно применяемые на транспорте, выбрасывают более трети всех антропогенных парниковых газов, причем из четырех парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и галогенированные углеводороды) наиболее критичным является углекислый газ, на долю которого приходится почти 90% выбросов всех парниковых газов. Эти выбросы напрямую связаны со сгоранием топлива и пропорциональны его расходу.

Принятые в последние годы и планируемые международные стандарты требуют от транспортных средств почти двукратного сокращения к 2020–2025 гг. выбросов  $\text{CO}_2$  и потребления нефтяных топлив и почти пятикратного уменьшения выбросов  $\text{NO}_x$  и NMOG (органических газов, не содержащих метан) по сравнению с 2010 г.

Современная автомобилестроительная отрасль находится на грани крупного сдвига в парадигме, аналогичного концу XIX в., когда электропривод был скорее правилом, чем исключением. Продажи гибридных транспортных средств, сочетающих в себе электропривод и двигатель внутреннего сгорания, исчисляются миллионами.

При этом значительная часть исследовательских бюджетов автопроизводителей направляется на улучшение экологических и экономических показателей гибридных транспортных средств, повсеместно внедряется система рекуперации энергии при торможении. Другой возможный способ снижения потребления топлива и выбросов вредных веществ заключается в прямом преобразовании тепловой энергии отработавших газов двигателя внутреннего сгорания в электроэнергию, которая может быть направлена на силовой привод транспортного средства.

Тепловые двигатели, применяемые на транспорте, являются основным элементом силовой установки, поскольку позволяют не только генерировать электроэнергию, но и имеют высокий потенциал в обеспечении теплом, получаемым от охлаждающей жидкости, а также от отработавших газов. Энергоэффективность автотранспортного средства, которую в основном оценивают по топливной экономичности, в первую очередь, зависит от степени пре-

образования энергии сгорания топлива в механическую и/или электрическую (в случае гибридного автотранспортного средства) энергию. Современные технологии организации рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания, применяемые на автомобильном транспорте, приближаются к пределу своего развития, дальнейшее их совершенствование будет сопровождаться все большими техническими трудностями, а эффект от использования будет все менее заметен. Для дальнейшего увеличения энергоэффективности силовых установок на базе тепловых двигателей необходимо внедрение новых технологий преобразования энергии сгорания топлива, в том числе тепловой энергии отработавших газов, выбрасываемой в атмосферу.

Анализ внешнего теплового баланса двигателя внутреннего сгорания [1], в частности с искровым зажиганием, показывает, что до 40% энергии, выделившейся при сгорании топлива, уносится с отработавшими газами. Значительную часть этой энергии можно использовать для различных целей. Кроме того, часть энергии рассеивается системой охлаждения ДВС и расходуется на преодоление сил трения и инерции.

Для транспортных средств с гибридными силовыми установками из многочисленных вариантов рекуперации тепловой энергии отработавших газов наиболее целесообразными являются методы, позволяющие получить электрическую энергию, которая может быть сразу направлена на тяговый электродвигатель.

На рис. 1 показано изменение теплового баланса гибридного транспортного средства при внедрении термоэлектрического генератора. Главным условием сравнения двух тепловых балансов было равенство количества энергии, затрачиваемой на привод ведущих колес транспортного средства (30 кВт) [2]. Коэффициенты полезного действия всех систем привода гибридного транспортного средства при этом оставались без изменений. Из представленной схемы следует, что в случае внедрения термоэлектрического генератора с коэффициентом полезного действия 5%, преобразующего около 2% тепловой энергии отработавших газов в электрическую, расход топлива снижается примерно на 3%.

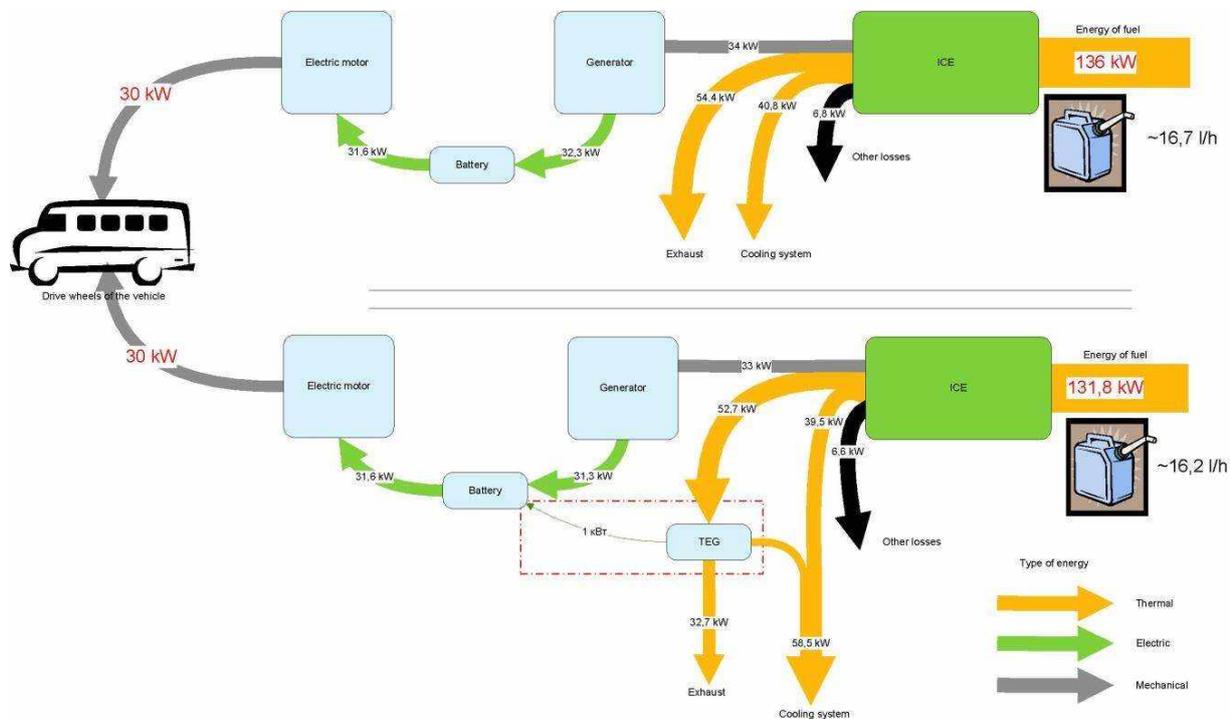


Рис. 1. Изменение теплового баланса транспортного средства с гибридной силовой установкой при внедрении термоэлектрического генератора

В этой связи разработка технических решений для повышения эффективности отечественных теплоэнергетических установок в малой энергетике и на транспорте использо-

ванием прямого преобразования тепловой энергии в электрическую является актуальной задачей.

Внедрение данной концепции с использованием современных термоэлектрических элементов позволит рекуперировать до 20% тепловой энергии, рассеиваемой двигателем внутреннего сгорания.

Предлагаемая тема является новой и не достаточно изученной. В последние годы ведущие мировые исследовательские центры принимают активное участие в создании энергоблоков на базе термоэлектрических элементов, интегрируемых в системы выпуска отработавших газов автомобильных двигателей [3-6]. Однако на данный момент результаты выполненных работ носят лишь теоретический и экспериментальный характер. Учитывая факт отставания российских исследователей в области создания термоэлектродгенераторов и отсутствие на территории РФ задела по данному научному направлению, очевидна актуальность выбранной тематики и возможность достижения научно-технических результатов, превосходящих мировой уровень.

Эффективность утилизации тепловой энергии отработавших газов двигателя внутреннего сгорания в составе транспортного средства напрямую зависит от свойств выбранного материала термоэлектрического генераторного модуля.

Впервые прямое преобразование тепловой энергии в электрическую было описано Томасом Йоганном Зеебеком в 1821 г. Однако он объяснял термоэлектрический эффект, названный его именем, поляризацией материалов под воздействием разницы температур, что было опровергнуто позднее. Эффект Зеебека заключается в возникновении электродвижущей силы при наличии разницы температур в контактах замкнутой электрической цепи, состоящей из разнородных проводников. Однако ЭДС, возникающая в цепи из двух разнородных проводников, не превышает нескольких милливольт, что достаточно для замеров температуры, но не для генерирования электроэнергии. С целью повышения эффективности как прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, так и обратного, были созданы термоэлектрические элементы, состоящие из полупроводников  $p$  и  $n$  типов, последовательно соединенных электрически и параллельно соединенных термически. Конструкция термоэлектрического генераторного модуля показана на рис. 2.

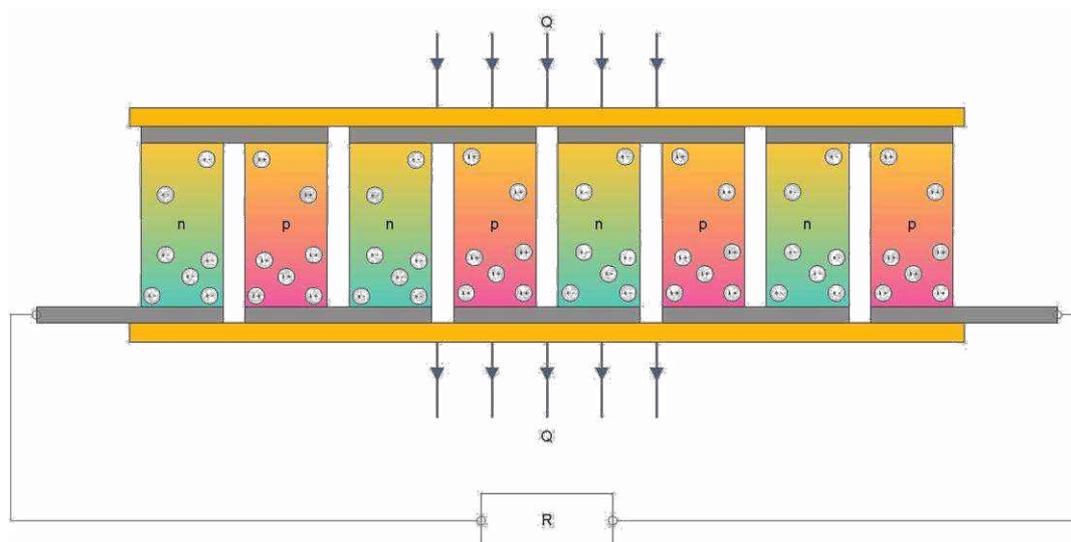


Рис. 2. Принцип работы и конструкция термоэлектрического генераторного модуля

Итоговая температура обеих сторон термоэлектрического модуля и напряжение в цепи при неизменном тепловом потоке и нагрузке складываются из величин трех основополагающих термоэлектрических эффектов: Зеебека, Пельтье и Томпсона.

Производительность термоэлектрического генератора можно оценить по величине ко-

эфициента полезного действия (2), который зависит не только от используемого материала, но и от перепада температур между холодным и горячим спаем. Для оценки эффективности термоэлектрического материала используется понятие добротности  $ZT$  (1). Добротность термоэлектрического материала и его КПД можно рассчитать следующим образом:

$$ZT = \frac{\sigma \alpha^2}{\lambda} \Delta T, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\sqrt{1+ZT}-1}{1+ZT+\frac{T_X}{T_H}} \frac{T_H-T_X}{T_H}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – удельная проводимость, См/м;  $\alpha$  – коэффициент термо-ЭДС;  $\lambda$  – удельная теплопроводность, Вт/(м·К);  $\Delta T$  – разность температур горячей ( $T_H$ ) и холодной ( $T_X$ ) сторон элемента, К.

Из определения добротности термоэлектрического материала следует, что наряду с высокой термо-ЭДС он должен обладать высокой электрической проводимостью и низкой удельной теплопроводностью, но в одном материале это недостижимо. Поэтому поиск эффективного термоэлектрического материала сводится к компромиссу для заданных условий эксплуатации.

На рис. 3 приведены некоторые термоэлектрические материалы как используемые в настоящий момент, так и перспективные разработки с середины XX в.

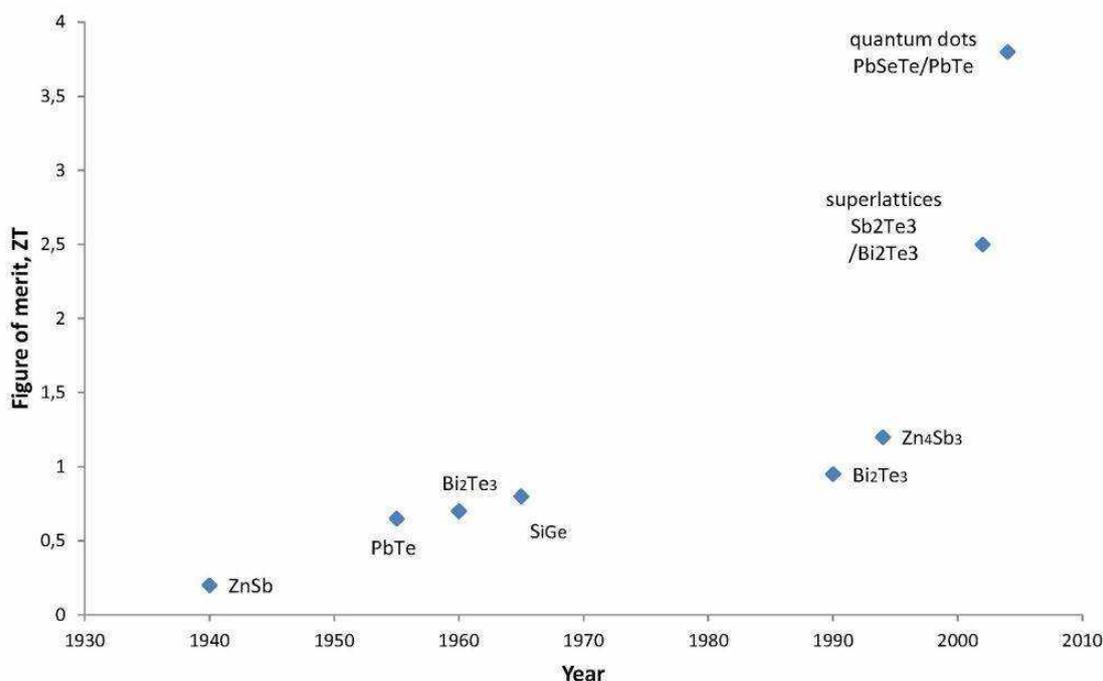


Рис. 3. Прогресс термоэлектрических материалов по добротности,  $ZT$

Антимонид цинка (ZnSb), использовавшийся Зеебеком в его опытах, имеет крайне низкую величину добротности 0,2. Ввиду низкого коэффициента полезного действия первый термоэлектрический генератор с использованием сплава цинк-сурьма с составом, близким к стехиометрическому, представленный в 1867 г., не нашел практического применения.

Начиная с 60-х годов XX в. наибольшее распространение нашли термоэлектрические элементы на основе теллуридов свинца и висмута. Основной причиной широкого распространения теллурида свинца (PbTe), несмотря на невысокую величину термоэлектрической добротности (0,6-0,7), была его низкая себестоимость. Позже он был полностью заменен на теллурид висмута (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>) с  $ZT$  примерно 1,0, что соответствует КПД 5-7% при температуре до 230<sup>0</sup>С, но значительно снижается при более высоких температурах. В последующие десятилетия эффективность термоэлементов на основе теллурида висмута неуклонно увеличива-

лась, но барьер  $ZT=1$  так и не был преодолен. Наряду с описанными теллуридами ограниченное распространение, вследствие высокой себестоимости получил силицид германия (SiGe).

Интерес к использованию антимонида цинка в генераторных модулях вновь возник после открытия термоэлектрических свойств, значительно превосходящих таковые теллуридов, у сплава с составом  $Zn_4Sb_3$ . Высокая (порядка 1,2 [7]) термоэлектрическая добротность данного материала в значительной степени обусловлена неоднородностями кристаллической решетки, снижающими его теплопроводность.

Дальнейшие работы по поиску высокоэффективных термоэлектрических материалов направлены на снижение теплопроводности при сохранении низкого электрического сопротивления путем создания в сплаве полупроводников различных наноструктур. В настоящее время ведутся работы по созданию материалов со сверхрешетками ( $ZT$  до 2,5) и квантовыми точками ( $ZT$  до 3,8) [8, 9].

В табл.1 приведены основные свойства термоэлектрических материалов, применяемых в современных серийно выпускаемых моделях генераторных модулей.

Таблица 1

Свойства термоэлектрических материалов

Название	Состав	Тип полупроводника	Оптимальная рабочая температура, °C	Добротность $ZT$	Технология изготовления
Силицид германия	$Si_{0,8}Ge_{0,2}$	n	730	1,00	Горячее прессование
	$Si_{0,8}Ge_{0,2}$	p	730	0,70	Горячее прессование
Теллурид свинца	$PbTe$	n	230-577	0,70	Горячее прессование
Антимонид цинка	$Zn_4(Sb_{0,97}Sn_{0,03})_3$	p	230-480	1,00	Плазменное спекание
	$Zn_4Sb_3$	p	230-480	1,22	Плазменное спекание
Теллурид/селенид висмута/сурьмы	$Bi_xTe_y/Sb_xSe_y$	p/n	180-250	0,3-1,01	Горячее прессование

В качестве примера современного серийно выпускаемого генераторного модуля На можно привести модель 2411G-7L31-15CX1 производства Custom Thermoelectric, технические характеристики которого показаны на рис. 4.

Таким образом, если современные термоэлектрические генераторные модули с использованием теллурида висмута (III) при  $ZT < 1$  позволяют преобразовать тепловую энергию, утилизируемую с отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания, с КПД 5–7%, тогда применение перспективных высокоэффективных термоэлектрических материалов позволит поднять этот показатель до 20–24%.

Однако на термоэлектрический материал, предназначенный для использования в транспортных средствах, накладываются дополнительные требования, такие как экологичность и доступность, т.е. низкая себестоимость. В настоящее время немногие термоэлектрические материалы, удовлетворяющие всем перечисленным требованиям, находятся в серийном производстве, в частности теллурид висмута (III)  $Bi_2Te_3$ .

Основным направлением промышленности, в котором в настоящее время активно используется технология прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, является аэрокосмическая отрасль. Термоэлектродгенераторы применяются в качестве бортовых источников электропитания космических аппаратов, предназначенных для исследования удаленных от Солнца регионов Солнечной системы.

Термоэлектрический генератор позволяет преобразовать тепловую энергию в электрическую, принцип его действия основывается на эффекте Пельтье.

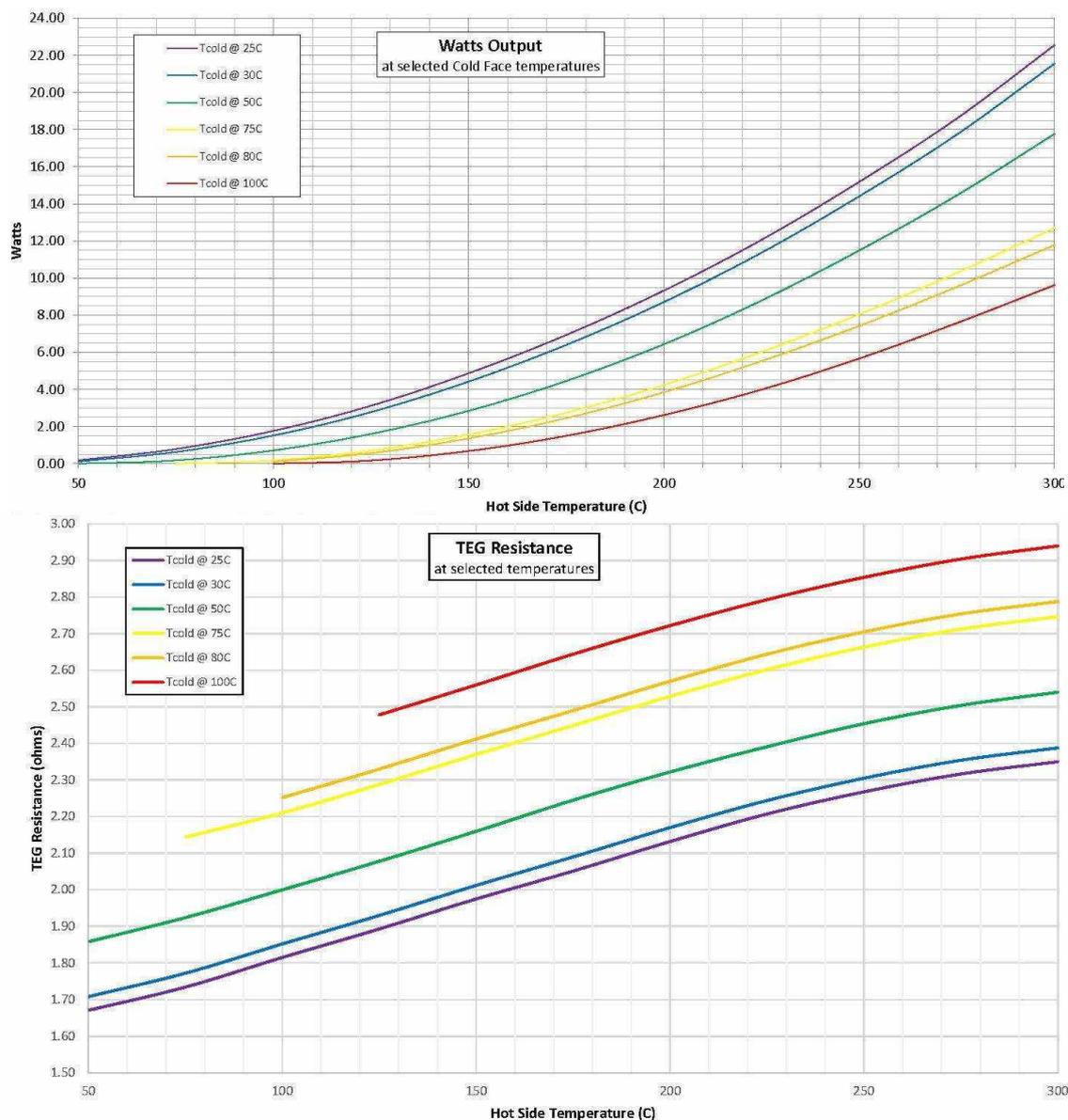


Рис. 4. Выходная мощность и внутреннее сопротивление термоэлектрического генераторного модуля при различных температурах [10]

Основными достоинствами элемента Пельтье, являются:

- небольшие размеры, что упрощает его интеграцию в системы автомобиля;
- отсутствие каких-либо движущихся частей, а также газов и жидкостей;
- отсутствие механических частей;
- отсутствие шума при работе.

К недостатку элементов Пельтье можно отнести высокую стоимость элемента, однако, учитывая постоянный интерес к разработкам в данной области и результаты исследований в области получения материалов для термоэлектрических материалов, можно предположить их существенное удешевление уже в ближайшие годы.

Наибольшую популярность предложенная тематика получила у зарубежных исследовательских центров и автопроизводителей. Так, компанией BMW в 2005 г. был предложен вариант применения рекуперации отработавших газов для питания бортовой сети автомоби-

ля. Для этого служит термоэлектродгенератор на основе теллурида висмута, устанавливаемый в отрезок системы выпуска автомобиля и контактирующий непосредственно с поверхностью выхлопной трубы. Данная установка позволит вырабатывать до 600 Вт мощности при высоких значениях температур отработавших газов, а также снижение расхода топлива на 5%.

Одна из крупнейших американских компаний по производству автомобильных компонентов Tenneco, Inc. в настоящее время сконцентрировала усилия на разработке термоэлектрического генератора, основанного на эффекте Зеебека, для автомобиля. Генератор вырабатывает электрическую энергию за счет электродвижущей силы в замкнутом кольце термоэлектрической батареи, возникающей из-за устойчивой разности температур полупроводниковых контактов. Наружная часть термоэлектрических элементов омывается горячими отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания, а внутренняя часть охлаждается циркулирующей охлаждающей жидкостью. Ожидаемый эффект от использования данной системы составляет не менее 5% улучшения топливной экономичности.

Данная тематика является весьма актуальной в сфере автомобилестроения. Это доказывает и тот факт, что крупнейшие зарубежные автопроизводители – BMW, Chevrolet, Volkswagen и General Motors – работают над созданием высокоэффективных жаростойких термоэлектрических генераторов, которые можно будет устанавливать внутри системы выпуска отработавших газов двигателя, где температура может достигать 1000°C, что способствует дополнительному 5% увеличению топливной экономичности. Также компания Rolls Royce уже инвестировала несколько миллионов фунтов стерлингов в зарегистрированный в Гибралтаре проект Power Chips. Термоэлектрические генераторы Power Chips предполагается использовать в аэрокосмической области, для создания новых типов электромобилей и пр., в том числе в упомянутом качестве – для отвода тепла от автомобильных двигателей.

К сожалению, в данной момент наблюдается значительное отставание России в области создания термоэлектрических генераторов, в основном все результаты научно-исследовательских работ ограничиваются теоретическими материалами без проведения должных экспериментальных исследований и внедрения разработок в производство. Это позволяет сделать вывод о необходимости развития технологий прямого преобразования тепловой энергии в электрическую для увеличения конкурентоспособности российских разработок в области автомобилестроения и малой энергетики на мировой арене.

Настоящая работа подготовлена в рамках соглашения № 14.577.21.0078 о предоставлении субсидии при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

#### Библиографический список

1. **Bourhis, G.P.** Energy and Exergy Balances for Modern Diesel and Gasoline Engines / G. Bourhis, P. Leduc // Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP. 2010. V. 65. № 1. P. 39–46.
2. **Khripach, N.** Thermoelectric generators of motor vehicle powertrains, problems and prospects / N. Khripach, B. Papkin, V. Korotkov // Life Science Journal. 2014. № 12. P. 503–507.
3. **Sacr, K.M.** Thermal design of automobile exhaust based on thermoelectric generators: Objectives and challenges / K.M. Sacr, M.K. Mansour, M.N. Mussa // Thermoelectricity. 2008. № 1. P. 64–73.
4. **Anatyshuk, L.I.** Theoretical and experimental studies of thermoelectric generator for vehicles / L.I. Anatyshuk, O.J. Luste, R.V. Kuz // Journal of Electronic Materials. 2011. V. 40. Issue 5.
5. **Anatyshuk, L.I.** Materials for vehicular thermoelectric generators / L.I. Anatyshuk, R.V. Kuz // Proc. of ICT-2011. – Michigan, USA, 2011.
6. **Anatyshuk, L.I.** Computer designing and test results of automotive thermoelectric generator / L.I. Anatyshuk, R.V. Kuz // Proc. of Thermoelectrics goes automotive. – Berlin, 2010.
7. **Toberer, E. S.** Composition and the thermoelectric performance of  $\beta$ -Zn<sub>4</sub>Sb<sub>3</sub> / E. S. Toberer [et al.] // Journal of Materials Chemistry. 2010. № 20. P. 9877–9885.
8. Properties of Nanostructured One-Dimensional and Composite Thermoelectric Materials / A.M. Rao [et al.] // MRS Bulletin. 2006. V. 31. № 3. P. 218–223.

9. Aspects of Thin Film Superlattice Thermoelectric Materials, Devices, and Applications / H. Böttner [et al.] // MRS Bulletin. 2006. V. 31. №. 3. P. 211–217.
10. TEG Specification Sheet [Электронный ресурс] [http://www.customthermoelectric.com/powergen/pdf/2411G-7L31-15CX1\\_20140508\\_spec\\_sht.pdf](http://www.customthermoelectric.com/powergen/pdf/2411G-7L31-15CX1_20140508_spec_sht.pdf)

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**N.A. Khripach, B.A. Papkin, V.S. Korotkov**

## **IMPROVING ENVIRONMENTAL SAFETY OF VEHICLES USING THERMOELECTRIC GENERATORS**

Moscow state university of mechanical engineering

This article analyzes improve the efficiency of domestic thermal power plants in decentralized energy and transport using the direct conversion of thermal energy into electrical energy. Considered various materials from the point of view of their thermoelectric properties and possibilities of application in thermoelectric generators. Based on performance of existing models of thermoelectric generators in the urgency of the development of technologies for direct conversion of thermal energy into electrical energy to increase the competitiveness of Russian developments in the automotive industry and decentralized energy on the world stage.

*Key words:* thermoelectric generator, recuperation of heat energy, direct conversion of heat into electricity.

УДК 629.113

А.С. Теренченко, К.Е. Карпухин

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.

ГНЦ «НАМИ»

Рассмотрены предпосылки создания экологически чистых и энергоэффективных транспортных средств в России и мире. Проанализирован зарубежный опыт стимулирования развития рынка автомобилей с гибридной силовой установкой и электромобилей. Показаны причины невысокой популярности автомобилей с гибридной силовой установкой в России и пути решения этой проблемы. Приведены работы ФГУП «НАМИ» в области создания энергоэффективного транспорта.

*Ключевые слова:* транспортное средство, автомобиль, гибридный автомобиль, электромобиль, топливная экономичность, экологичность, энергоэффективность, рынок.

Доступ к чистой и эффективной энергии является залогом благополучия, безопасности, здоровья и высокого уровня жизни для любой страны в мире. «Революция в сфере чистой энергетики», необходима для выполнения основных задач и инициатив по данному прикладному научному исследованию и при этом должна сопровождаться коренными изменениями, сопоставимыми с теми, которые наблюдались во время энергетической революции в период с 1850 по 1920 годы, в то время, когда на смену традиционным источникам энергии пришел уголь. Коренные изменения должны произойти в ближайшее время, а не за 70 лет, как раньше.

В настоящее время доля транспортного сектора в мировом конечном потреблении энергии составляет более 25%, и год от года эта цифра растет (Ежегодный доклад 2012/2013 Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций). В тоже время около 80 % потребляемой энергии в транспортном комплексе приходится на автомобильный транспорт, который практически полностью работает на базе нефтепродуктов, используемых в двигателях внутреннего сгорания. Повышение топливной экономичности и улучшение экологичности транспортных средств является тем самым инструментом, который позволит улучшить энергоэффективность и энергосбережение всей отрасли.

В России транспорт также является одним из самых крупных потребителей энергии при этом одним из основных загрязнителей окружающей среды. Транспорт загрязняет воздух, почву, воду, создает шум и вибрации, воздействует на здоровье населения и т.д. Доля транспорта в загрязнение атмосферы в среднем по России около 45%, а в крупных городах достигает 90%. В связи с чем в зоне недопустимо высокого риска для здоровья проживает не менее 15 млн горожан.

Современные транспортные средства обладают высокими показателями топливной экономичности, экологичности и, как следствие, энергоэффективности. Однако в полной мере эти качества действуют только при равномерном движении, пусть и в относительно широком диапазоне скоростей и нагрузок. При этом условия для длительного движения с постоянной скоростью имеются только на загородных трассах или на скоростных автомагистралях.

При движении в городе, которое характеризуется постоянным чередованием фаз разгона, непродолжительного равномерного движения, замедления и стоянки с работающим на холостом ходу двигателем (на светофоре, перед пешеходным переходом или в «пробке»), при движении с невысокими скоростями, топливно-экономические и экологические показатели стандартного транспортного средства существенно ухудшаются. Причин этому несколько – недостаточное использование потенциальной мощности двигателя при движении с ограниченной в условиях города скоростью, вследствие чего двигатель работает с повышен-

ными удельными расходами, постоянные затраты на накопление транспортным средством кинетической энергии, которая затем через короткий промежуток времени переводится в тепло и теряется в фазе служебного замедления транспортного средства, бесполезная затрата энергии в работе двигателя в режиме холостого хода.

Решение данных проблем – это создание автомобилей с комбинированными энергоустановками и электромобилей. Широкое производство данных транспортных средств налаживается в ведущих странах мира.

Энергоэффективность автомобилей с КЭУ обусловлена её системой управления, в первую очередь, алгоритмами управления. Актуальность разработки комбинированной энергоустановки транспортных средств с алгоритмами взаимодействия основных элементов, обеспечивающими повышение их общей энергоэффективности, определяется в достижении более высоких показателей энергосбережения и повышении экологической безопасности транспортных средств, что позволит значительно повысить энергоэффективность и энергосбережение соответствующих отраслей и секторов экономики.

Основным источником энергии в транспортном средстве с комбинированной энергоустановкой является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Как описано выше, наименее эффективно ДВС работает при малых нагрузках и в переходных режимах. В последнем случае энергетическая эффективность его падает с увеличением нагрузки в переходном процессе. В современных системах КЭУ алгоритмы управления практически исключают режим работы при малых нагрузках. Однако нагруженные переходные процессы увеличения частоты вращения практически не исключаются из режимов работы ДВС. Таким образом, повышение топливно-экономических и экологических характеристик транспортных средств с КЭУ должно быть связано с минимизацией динамических переходных процессов в ДВС при их работе в нагруженных режимах, когда эти динамические нагрузки берет на себя электропривод. На современном этапе развития систем КЭУ эта задача решается лишь частично, так как при формировании алгоритмов их функционирования использование наблюдаемости имеющихся информационных координат оказывается недостаточным для увеличения степени минимизации динамических нагрузок ДВС. Для решения поставленной задачи предлагается для формирования алгоритма управления КЭУ использовать информацию о позиции педали акселератора и о динамической ошибке частоты вращения ДВС.

В настоящее время Российский рынок транспортных средств динамично растет, а с учетом прогнозов развития к 2020 г. должен увеличиться в несколько раз. Ужесточение экологического законодательства и требований к топливной экономичности транспортных средств создают наиболее благоприятные условия для роста востребованности систем данного типа. Данное обстоятельство подтверждается изменениями, которые были внесены в стратегию развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2020 г. (ПРИКАЗ МИНПРОМТОРГ России № 2155 от 27.12.2013 г.). В частности, в данном документе отмечено развитие новых технологий в автомобилестроении в кратко- и среднесрочной перспективе, которое будет связано с решением основных проблем: экология, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в полном жизненном цикле автотранспортных средств (АТС). Каждая из этих проблем в свою очередь определяется приоритетными направлениями, основными из которых являются интересы государства и необходимость производства конкурентоспособной продукции, востребованной потребителями.

Международный опыт, основанный на тенденциях повышения безопасности, снижения токсичности и расхода топлива, а как следствие, повышения энергоэффективности АТС, свидетельствует о перспективах разработок АТС именно с комбинированными энергетическими установками и электромобилями. Опыт ведущих отечественных и зарубежных производителей электромобилей и автомобилей с комбинированными энергоустановками показывает, что данное направление исследований достаточно актуально. Ими занимаются компании: A123 SYSTEMS (US), INC DENSO CORPORATION (JP), Toshiba Corporation (JP), ДЖИ КЕМ ЛТД. (KR), Hitachi Vehicle Energy, Ltd.(JP), Sony Corporation (JP), Samsung SDI

Co., Ltd. (JP), Electro Energy Inc. (US), General Motors (US), Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha (JP), ОАО «НПП «КВАНТ» (RU), НИИКЭУ (RU), ООО «НПО ССК» (RU), ОАО «Авиационная электроника и коммуникационные системы» (ОАО «АВЭКС») (RU), ОАО «АВТОВАЗ» (RU), ОАО «КАМАЗ» (RU), «Группа ГАЗ» (RU), ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», МГТУ им. Н.Э. Баумана (RU), МГМУ «МАМИ» (RU), МАДИ (ГТУ) (RU) и многие другие.

Дополнительный стимул такому выбору придает интенсивное развитие технологий химических накопителей энергии (НЭ), применяемых в составе АТС с КЭУ и позволяющий рассчитывать в будущем на существенное снижение эксплуатационных затрат таких АТС относительно АТС с ДВС. Сфера применения подобных АТС с КЭУ – это городской транспорт для коммунальных служб мегаполисов, коммерческий транспорт для грузовых и пассажирских перевозок в крупных городах, характеризующихся движением в плотном дорожном потоке, автомобили, используемые в курортных зонах (Краснодарский Край, Крым и др.), а также маршрутный транспорт.

Необходимо понимать, что в настоящее время достойной альтернативой стандартному автомобилю может являться только автомобиль с комбинированной энергетической установкой либо электромобиль. Данный факт подтверждается растущими продажами гибридов и электромобилей во всем мире. Наиболее продаваемыми на мировом рынке легковыми гибридными автомобилями остаются автомобили корпорации «Тойота Мотор Корпорэйшн». На начало 2014 г. объем продаж гибридных моделей Toyota и Lexus превысил 6 млн экземпляров. В 2012 г. в мире было продано 1,27 млн полногибридных моделей Toyota и Lexus. Сегодня на долю гибридных автомобилей приходится около 15% объема продаж компании «Тойота Мотор Корпорэйшн» в мире, и эта цифра постоянно увеличивается. Аналогичную тенденцию можно наблюдать и у других мировых производителей гибридов и электромобилей (рис. 1).

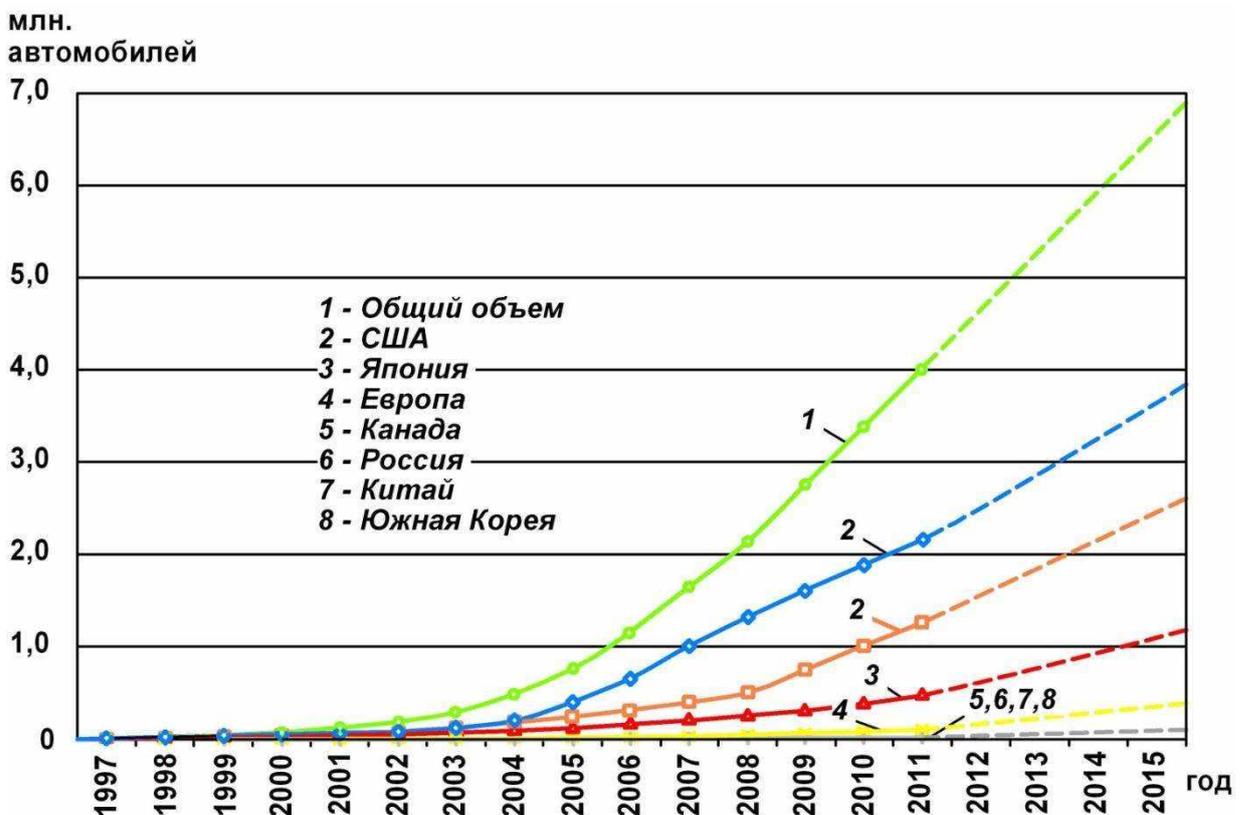


Рис. 1. Статистика продаж гибридных автомобилей по странам и всему миру с прогнозом развития до 2015 г.

По данным компании «Тойота Мотор Корпорэйшн» на начало 2014 г., гибридные автомобили компании позволили уменьшить выбросы углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) на 41 млн т по сравнению со стандартными автомобилями. Специалисты компании подсчитали, что эксплуатация гибридных автомобилей Toyota и Lexus привела к экономии 15 млрд л бензина по сравнению с автомобилями аналогичного класса с бензиновыми двигателями.

В России доля гибридов от общего числа легковых автомобилей, по различным оценкам, не превышает 1 %. В 2011 г. в России было продано около 3 тыс. гибридных автомобилей, при этом 2074 из них – гибридные автомобили Toyota Prius и Lexus. К настоящему времени общее число моделей официально продаваемых в России гибридных автомобилей составляет 11 шт. Среди них: Lexus RX 450h, GS 450h, LS 600h L, CT 200h; Mercedes S400, ML 450; BMW Active Hybrid 7, X6; Toyota Prius; Porsche Hybrid RS; Cadillac Escalade Hybrid.

Гибридные автомобили российской сборки пока не могут составить конкуренции зарубежным, поскольку реализованных производственных проектов таких автомобилей в России нет. Однако следует отметить разработки гибридных автобусов Павловского и Ликинского заводов «Группы ГАЗ», гибридный автобус КАМАЗ-5297Н Нефтекамского завода и автобус «Тролза 5250» «ЭКОбус». При этом в ГНЦ РФ «НАМИ» работы над созданием экологически чистых энергоэффективных автотранспортных средств ведутся с начала 2000-х годов. В частности, были созданы: автобусы с комбинированной энергетической установкой на базе ПАЗ-3237 и ЛИАЗ, гибридный городской автомобиль на базе ЗИЛ-5301 «БЫЧОК» с комбинированной энергетической установкой на основе ДВС, питаемой водородным топливом, генерируемым из метанола, и грузовой автомобиль с комбинированной энергоустановкой на водородных топливных элементах (рис. 2 и рис. 3).



Рис. 2. ЗИЛ 5301 с КЭУ



Рис. 3. Грузовой автомобиль с КУЭ



#### Основные технические характеристики

Экологический класс	Евро-6 (при его введении в тех. регламент)
Максимальная скорость, не менее, км/ч	180
Тип энергоустановки	комбинированная энергоустановка, включающая двигатель внутреннего сгорания, буферный накопитель энергии, роботизированную КП и электропривод
Вид топлива	бензин/газ
Полная масса автомобиля, кг	1645

Рис. 4. Легковой автомобиль класса «В» с КЭУ

В настоящее время во ФГУП «НАМИ» ведутся два важнейших инновационных проекта по созданию экологически чистых автотранспортных средств:

1. В сотрудничестве с ОАО «АВТОВАЗ» ведутся работы, направленные на «Создание легкового автомобиля класса «В» с комбинированной энергоустановкой». Ожидаемый результат – это бюджетный легковой автомобиль класса «В» с комбинированной энергетической установкой (КЭУ) и роботизированной механической трансмиссией (АМТ), соответствующий перспективным требованиям к выбросам вредных веществ (и уменьшенным эксплуатационным расходам топлива (рис. 4).

2. В сотрудничестве с ОАО «КАМАЗ» ведутся работы, направленные на «Создание полноприводного грузового автомобиля типа бх6 с комбинированной энергоустановкой, соответствующего перспективным международным требованиям по экологии, безопасности, энерго- и ресурсосбережению и утилизации» (рис. 5). Ожидаемый результат – это полноприводный тягач, обеспечивающий при неблагоприятных климатических и дорожных условиях уменьшение эксплуатационного расхода топлива не менее 15%, а также повышение устойчивости движения и проходимости по скользким дорогам.



#### Основные технические характеристики

Экологический класс	Евро-6 (при его введении в тех. регламент)
Максимальная скорость, не менее, км/ч	110
Тип энергоустановки	комбинированная энергоустановка, включающая двигатель внутреннего сгорания, буферный накопитель энергии и электроприводы
Вид топлива	Дизельное, альтернативное
Полная масса автопоезда, кг	46 000

Рис. 5. Грузовой автомобиль с КЭУ

В настоящее время во ФГУП «НАМИ» ведется проект по теме: «Разработка комбинированной энергоустановки транспортных средств с алгоритмами взаимодействия основных элементов, обеспечивающими повышение их общей энергоэффективности». Данный проект выполняется при поддержке государства в лице Минобрнауки России. (Период выполнения: 2014–2016 гг.)

Причин невысокой популярности автомобилей с комбинированной энергетической установкой в России достаточно много. Во-первых, в России гибридный автомобиль обходится покупателю существенно дороже, чем обычный, с ДВС, причём ценовая разница между ними выше, чем за рубежом. Самый популярный гибридный автомобиль Toyota Prius в США стоит 19–22 тыс. долл., в России – его стоимость составляет 1,2 млн руб., из них примерно 400 тыс. руб. – это таможенная пошлина. Самым доступным серийным гибридным автомобилем в мире является Honda Fit, его стоимость в Японии составляет 18,6 тыс. долл. Поэтому определённая популярность гибридных автомобилей на российском авторынке характерна пока лишь для премиального сегмента. Во-вторых, дефицит углеводородного топлива не тревожит россиян настолько сильно, как, например, западноевропейцев. Как следствие, в России есть некоторое количество покупателей гибридных автомобилей — очень небольшое по сравнению с покупателями традиционных автомобилей, но достаточное для того, чтобы зарубежные автопроизводители ввозили в страну на продажу новые модели гибридных автомобилей. И в-третьих, в России до начала 2014 г. никто не стимулировал развитие рынка экологически чистого транспорта. Российские потребители легко воспринимают

информацию о динамических и функциональных преимуществах, которые дает гибридный привод. Покупателям гибридных автомобилей все это нравится. Но идея экологической сознательности пока не является приоритетной для российских клиентов. В развитых странах владельцы экомобилей, наносящих меньший вред окружающей среде, пользуются поддержкой государства. Эта поддержка бывает самой разнообразной, в разных странах по-разному, но в целом потребитель получает очень хорошие преференции и условия эксплуатации такого автомобиля.

Например, чтобы въехать в центр Лондона, надо заплатить восемь фунтов. Владельцы экологичного транспорта, гибридов и электромобилей от этой платы освобождены. Автомобиль Lexus RX был очень популярен в Лондоне именно поэтому - до недавнего времени это был единственный внедорожник, на котором можно было въехать в центр города бесплатно.

С точки зрения популяризации гибридов важно учитывать несколько факторов. Во-первых, важно общественное мнение, которое зависит от деятельности различных общественных и природоохранных организаций. Они должны рассказывать о том, как влияет использование той или иной продукции на окружающую среду. Во-вторых, и автопроизводители, и потребители должны задумываться о том, позволят ли используемые сегодня технологии сохранять текущий уровень жизни через 10–20 лет, обеспечивают ли они дальнейшее устойчивое развитие. И в-третьих, это государственная поддержка. В Калифорнии, например, гибриды и электромобили безумно популярны. Власти этого штата делали особый акцент на продвижении экологичных технологий. Это находит соответствующий отклик у потребителей.

В нашей стране первые шаги начались 1 февраля 2014 г., когда Совет Евразийской Экономической Комиссии (ЕЭК) принял решение об обнулении таможенных пошлин на электромобили на территории таможенного союза. В результате этих мер ставка ввозной таможенной пошлины для электромобилей была снижена с 19 % от таможенной стоимости до нуля. Действовать эта льгота будет до конца 2015 г. Однако данная мера коснулась, только электромобилей, автомобили с КЭУ под данную меру не подпадают. При этом не стоит забывать, что в России владелец гибридного автомобиля платит суммарный транспортный налог, при расчете которого складывается мощность двигателя внутреннего сгорания с мощностью электродвигателя.

В результате хотелось бы отметить, что существующих и разрабатываемых мер государственной поддержки явно не достаточно. Можно смело говорить, что на данный момент серийного производства гибридных автомобилей в России нет. Безусловно, сложившаяся ситуация не благоприятна для российского автопрома и открывает дорогу более сильным и развитым иностранным автопроизводителям. Но, несмотря на это, возможность побороться за рынок продаж гибридных автомобилей есть и у отечественных производителей. Данному факту могут способствовать такие меры государственной поддержки, как:

- стимулирование производства автомобилей с энергоэффективными двигателями за счет установления акцизного налога по критериям, учитывающим не только максимальную мощность двигателя, но его тип и нормативный расход топлива;
- стимулирование приобретения новых гибридных автомобилей частичным субсидированием их покупки со стороны государства;
- стимулирование текущей эксплуатации автомобилей с энергоэффективным двигателем дифференцированием ставок транспортного налога, учитывающего экономичность автомобиля и общее количество расходуемого им топлива;
- обнуление таможенных пошлин;
- разрешение двигаться АТС данного типа по полосам для общественного транспорта;
- бесплатная парковка для АТС данного типа.

И данная проблема требует скорейшего законодательного решения.

**Библиографический список**

1. **Эйдинов, А.А.** Электромобили и автомобили с КЭУ / А.А. Эйдинов, В.Ф. Каменев, Л.Ю. Лежнев // Автомобильная промышленность. 2002. № 11.
2. **Рожнова, О.В.** Экономические предпосылки создания автомобилей с гибридной силовой установкой в России / О.В. Рожнова, К.Е. Карпухин, Е.С. Фролова // Изв. МГТУ (МАМИ). 2009. Т. 1. № 1. С. 228–230.
3. **Бахмутов, С.В.** «Чистые» автомобили: направления реализации и достигаемые результаты / С.В. Бахмутов, К.Е. Карпухин // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 6 (77).
4. **Карпухин, К.Е.** Топливная экономичность и экологичность – направление в современном автомобилестроении // Тезисы 71-й научно-методич. и научно-исследоват. конф. МАДИ (ГТУ). – М., 2012.
5. **Кузьмина, В.** Вопросы законодательного обеспечения стимулирования использования экологически чистого транспорта // Автомобильный транспорт. 2014. № 2.
6. **Козлов, А.В.** Современные требования к уровню энергетической эффективности транспортных средств / А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 1 (84).

*Дата поступления  
в редакцию 02.10.2014*

**A. Terenchenko, K.Karpukhin**

**ENERGY EFFICIENCY AS A WAY OF IMPROVING THE ENVIRONMENTAL  
SAFETY OF VEHICLES**

State scientific center NAMI

The paper considers the establishment of an environmentally clean and energy efficient vehicles in Russia and the world. Analyzed international experience to stimulate market development of vehicles with hybrid and electric vehicles. Shows the cause not the high popularity of vehicles with hybrid power plant in Russia and the ways of solving this problem. Shows the FSUE "NAMI" in the field of energy-efficient transport.

*Key words:* vehicle, car, hybrid vehicle, electric vehicle, fuel efficiency, environmental friendliness, energy efficiency, market.

УДК 658.567.1  
УДК 628.477.6

**А.В. Козлов, А.С. Теренченко, Е.А. Миренкова**

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗАТРАТ НА УТИЛИЗАЦИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ВЫШЕДШИХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

ГНЦ «НАМИ»

Представлена методика, предназначенная для комплексной оценки затрат, связанных со всеми этапами процесса утилизации транспортных средств, вышедших из эксплуатации.

*Ключевые слова:* автомобиль, вышедшие из эксплуатации транспортные средства, материалы, утилизация, рециклирование, повторное использование, жизненный цикл, эколого-экономическая оценка, загрязнение окружающей среды.

В настоящее время происходит интенсивное загрязнение окружающей среды опасными компонентами вышедших из эксплуатации транспортных средств (ВЭТС). Автотранспортные отходы загрязняют воздух, водные объекты, почву, отчуждают территории. Вред, наносимый окружающей среде ими в целом по РФ, оценивается в 82-85 млрд руб. ежегодно [1]. Значимость и острота этого вопроса растет с увеличением автомобилизации в стране. По данным Комитета по природным ресурсам, природопользованию и экологии Государственной Думы ФС РФ, в России ежегодно выбывает из эксплуатации, т.е. требуют утилизации, около 1,5 млн ед. транспортных средств. Вследствие этого безвозвратно теряются ценные материалы. К 2020 г. уровень выбытия автомобилей может составить 6% в год и численность ВЭТС, подлежащих утилизации, составит 3,0 млн ед. в год [2]. Численность выводимых из эксплуатации изношенных автомобильных шин в четыре раза больше численности изношенных шин, находящихся на образующихся ВЭТС, отработанных аккумуляторных батарей – в 6-7 раз больше, отработанных масел - в 32-34 раза больше [3]. Собирается и отправляется на переработку до 72% ВЭТС, из которых извлекают пригодные к использованию запчасти, черные и цветные металлы, 70% отработанных аккумуляторов, содержащих свинец; перерабатывается 40% электролита; собирается и перерабатывается только 8% (по массе) изношенных шин, 35% отработанных нефтепродуктов [3]. Автомобильные пластмассы, стекло, антифриз, другие материалы не собираются и не перерабатываются.

Необходимость определения затрат на утилизацию ВЭТС в РФ обусловлена отсутствием эффективной системы сбора и достаточной инфраструктуры по утилизации данных на территории РФ, недостаточностью заложенных в конструкцию автомобилей технических решений, позволяющих осуществлять их эффективную утилизацию после окончания срока эксплуатации.

В РФ отсутствует закон, касающийся авторециклинга, работает лишь ряд нормативно-правовых актов, касающихся проблемы переработки всех видов отходов, основным из которых является Федеральный Закон от 24.06.1998г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Этот базовый закон дополнен отдельными законами, регулирующими отношения в области обращения с радиоактивными, биологическими отходами, отходами лечебно-профилактических учреждений, выбросами вредных веществ в атмосферу и сбросами вредных веществ в водные объекты.

В реестр нормативно-правовых актов, относящихся к системе авторециклинга, можно также включить следующие документы:

- Общероссийский классификатор услуг населению (ОКУН);
- Федеральный Закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения»;

- Федеральный Закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ (ред. 10 января 2003 г.) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;
- Федеральный Закон от 04 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»;
- Постановление Правительства РФ от 11 мая 2001 №370 «Об утверждении правил обращения с ломом и отходами цветных металлов и их отчуждения»;
- Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30 мая 2001 г. № 16 «О введении в действие санитарных правил» (Санитарные правила 2. 1. 7. 1038-01. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов);
- Федеральный Закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»;
- Постановление Правительства РФ N 524 от 26 августа 2006 г. «Об утверждении положения о лицензировании деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, размещению отходов I – IV класса опасности».

Согласно принятым в июле 2012 г. поправкам в ФЗ «Об отходах производства и потребления» и другим нормативным актам о введении утилизационного сбора с некоторых категорий АТС, принято постановление Правительства РФ от 30 августа 2012 г. N 870 г. «Об утилизационном сборе в отношении колесных транспортных средств», т.е. начинался процесс практической реализации принципа ответственности производителя за утилизацию выпущенной продукции в автомобильной промышленности [4].

Находится на стадии межгосударственного согласования проект технического регламента Таможенного союза «О требованиях к колесным транспортным средствам по обеспечению их безопасной утилизации», который должен вступить в силу с 2015 г. [5].

Требования экологической безопасности [6] к связанным с требованиями к колесным транспортным средствам и их компонентам процессам утилизации, осуществляемым предприятиями по утилизации, заключаются в следующем. Во-первых, необходимо подготовить колесные транспортные средства к утилизации, а именно:

- демонтировать аккумуляторные батареи и емкости со сжиженным газом (при наличии);
- удалить или нейтрализовать взрывоопасные компоненты (в частности, подушки безопасности);
- предусмотреть отдельный слив и хранение жидкостей: топлива, моторного масла, трансмиссионных масел, рабочих жидкостей систем гидропривода, охлаждающих жидкостей, тормозных жидкостей, аккумуляторной кислоты, жидкостей из систем кондиционирования и прочих жидкостей, которые содержатся в выведенных из эксплуатации колесных транспортных средствах, если это не будет препятствовать последующему восстановлению деталей, узлов и агрегатов;
- демонтировать (с учетом технологических возможностей) все компоненты, содержащие ртуть;
- демонтировать все компоненты, содержащие экологически опасные материалы и имеющие соответствующую маркировку, либо указанные в руководстве по демонтажу как подлежащие демонтажу на стадии подготовки к утилизации.

Во-вторых, при подготовке материалов для рециклирования, разобрать выведенные из эксплуатации колесные транспортные средства, а именно:

- демонтировать каталитические нейтрализаторы и сажевые фильтры;
- демонтировать металлические детали, содержащие медь, алюминий и магний, если данные металлы не могут быть отделены на стадии дробления материалов;
- демонтировать крышки и большие узлы и детали из пластмассы (в том числе бамперы, комбинации приборов, емкостей для жидкостей), если данные материалы не мо-

гут быть отделены на стадии дробления, с обеспечением облегчения процедуры их дальнейшего рециклирования.

В-третьих, производственные и складские открытые площадки, осуществляющие прием и хранение (в том числе временное) выведенных из эксплуатации колесных транспортных средств, а также хранение всех компонентов и материалов, полученных в ходе осуществления утилизации, и любые другие процессы оборудуются бетонированным покрытием, системой отвода и сбора ливневых вод с отбортовкой по периметру с целью отведения ливневых вод в систему ливневой канализации, а также оснащаются средствами для предотвращения утечки жидкостей, отстойниками и очистными установками для обезжиривания стоков.

В-четвертых, складирование и хранение выведенных из эксплуатации колесных транспортных средств осуществляется таким образом, чтобы избежать повреждения их компонентов, в частности, стекол, а также пролива технических жидкостей. Выведенные из эксплуатации колесные транспортные средства не должны укладываться друг на друга, набок или на крышу.

В-пятых, хранить технические жидкости, слитые из колесных транспортных средств, необходимо в специальных подземных или надземных емкостях, расположенных на открытой площадке или в производственных помещениях. Все технические жидкости хранятся раздельно. Предусматриваются отдельные емкости для топлива, моторного масла, трансмиссионных масел, рабочих жидкостей систем гидравлического привода, охлаждающих жидкостей, тормозных жидкостей, аккумуляторной кислоты, жидкостей из систем кондиционирования и прочих жидкостей, которые содержатся в ВЭТС.

Хранение твердых отходов осуществляется в контейнерах на открытой площадке или в производственных помещениях. Складирование аккумуляторов и масляных фильтров осуществляется в отдельных специальных контейнерах. Перевозка и захоронение отходов утилизации (компонентов и эксплуатационных материалов) осуществляются отдельно от перевозки и захоронения бытового и промышленного мусора. Не допускается слив технических жидкостей и масел в систему канализации.

Основные шаги по переработке ВЭТС представлены на рис. 1 [7-10].

Утилизация – сложный процесс, при котором необходимо оценивать затраты как на создание самой системы утилизации, так и на ее функционирование. Методика расчета затрат на утилизацию транспортных средств, вышедших из эксплуатации предназначена для комплексной оценки затрат, связанных со всеми этапами процесса утилизации ВЭТС.

Затраты на утилизацию можно разделить на две категории:

- текущие затраты, связанные с обеспечением процесса утилизации;
- капитальные затраты на формирование инфраструктуры системы утилизации транспортных средств в стране.

В общем виде текущие затраты на утилизацию складываются из затрат на транспортировку, демонтаж, шредирование (измельчение) и сортировку материалов, переработку автокомпонентов, захоронение отходов. Из текущих затрат вычитаются доходы, получаемые от продажи вторичного сырья и компонентов, как показано в формуле

$$Z_{\text{ут}} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{дем}} + Z_{\text{сорт}} + Z_{\text{пер}} + Z_{\text{зо}} - D_{\text{вм}}, \quad (3.1)$$

где затраты:  $Z_{\text{тр}}$  - на транспортировку транспортного средства до места утилизации;  $Z_{\text{дем}}$  - на осушку и демонтаж транспортного средства;  $Z_{\text{сорт}}$  - на измельчение материалов (например в шредере) и их сортировку;  $Z_{\text{пер}}$  - на переработку автокомпонентов (аккумуляторов, технических жидкостей, резины, пластмасс, электронных компонентов, стекла и т.п.);  $Z_{\text{зо}}$  - на захоронение отходов на полигоне промышленных отходов;  $D_{\text{вм}}$  - доходы от реализации вторичных материалов и компонентов.

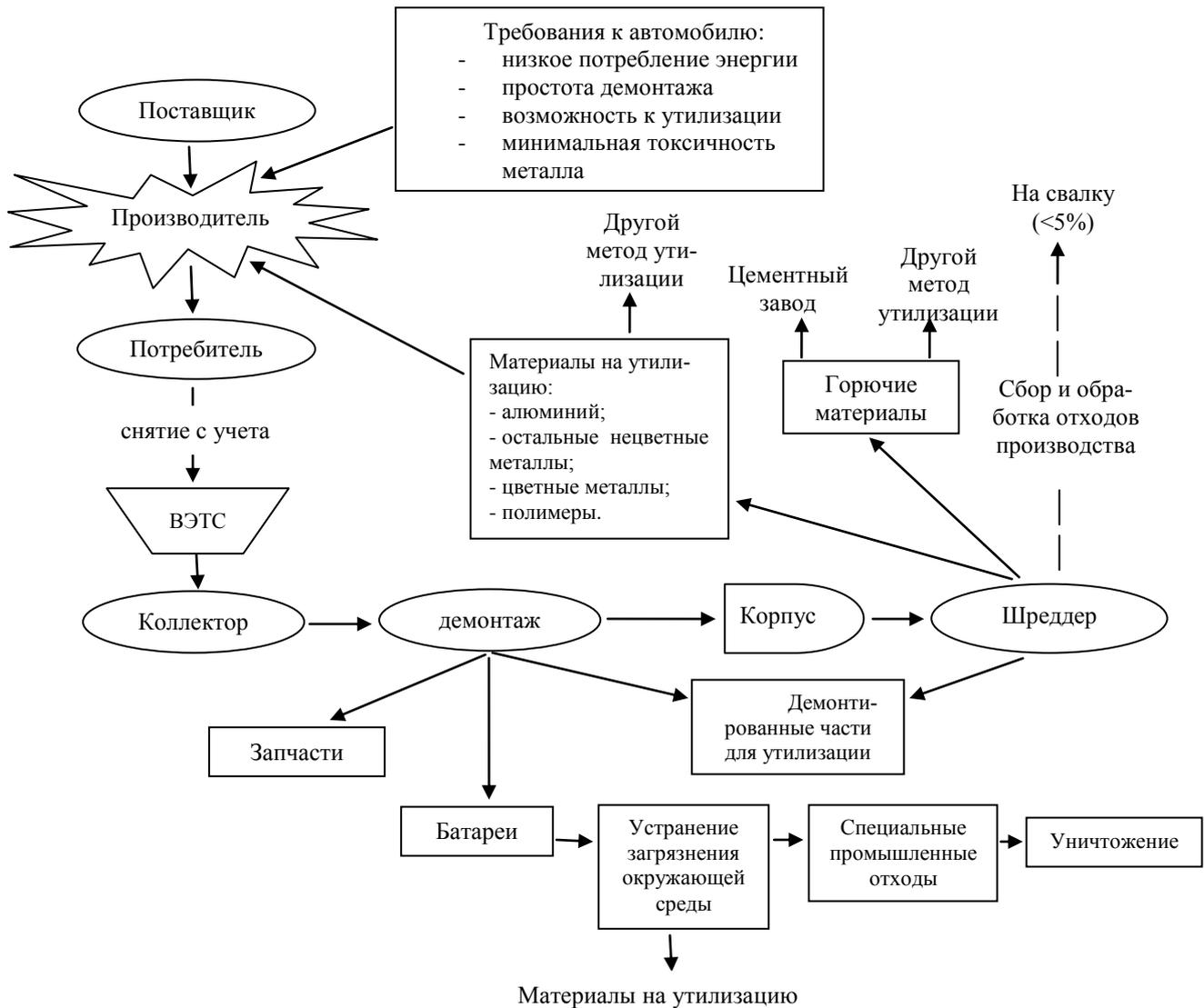


Рис. 1. Основные шаги по переработке ВЭТС

Представим зависимости для расчета всех составляющих затрат на утилизацию (руб.).

1. Затраты на транспортировку

$$Z_{\text{тр}} = c_{\text{ткм}} m_a L, \quad (3.2)$$

где  $c_{\text{ткм}}$  - стоимость перевозки 1 т крупногабаритных грузов на расстояние в 1 км, руб./ткм;  $m_a$  - масса транспортного средства, вышедшего из эксплуатации, т;  $L$  - расстояние транспортировки, км;

2. Затраты на осушку и демонтаж транспортного средства

$$Z_{\text{дем}} = c_{\text{депт}} N_{\text{дем}}, \quad (3.3)$$

где  $c_{\text{депт}}$  - удельные текущие затраты на демонтаж транспортного средства, руб./нормо-ч;  $N_{\text{дем}}$  - затраты рабочего времени на демонтаж и осушку транспортного средства, нормо-ч;

3. Затраты на шредерование (измельчение) материалов и их сортировку

$$Z_{\text{сорт}} = c_{\text{сорт}} m_{\text{да}}, \quad (3.4)$$

где  $c_{\text{сорт}}$  - удельные текущие затраты на измельчение и сортировку материалов массой 1 т, руб./т.;

4. Затраты на переработку автокомпонентов и автоматериалов

$$Z_{\text{пер}} = \sum c_{\text{пер}i} m_{\text{ак}i}, \quad (3.5)$$

где  $m_{\text{ак}i}$  - масса  $i$ -го автокомпонента (материала), подлежащего переработке, кг;  $c_{\text{пер}i}$  - удельные текущие затраты на переработку  $i$ -го автокомпонента (материала) массой 1 т, руб./кг. В

перечень автокомпонентов входят шины, ртутные лампы, электронные компоненты и пр., в перечень материалов - масла и технические жидкости.

5. Затраты на захоронение отходов вычисляют по формуле

$$Z_{30} = c_{30} m_o, \quad (3.6)$$

где  $c_{30}$  - плата за захоронение на полигоне 1 т отходов, руб./т;  $m_o$  - масса отходов, т.

6. Доходы от реализации вторичных материалов и компонентов

$$D_{вм} = c_{чм} m_{чм} + c_{цм} m_{цм} + \sum c_{aki} n_{aki}, \quad (3.7)$$

где  $c_{чм}$ ,  $c_{цм}$  - стоимость 1 т лома черных и цветных металлов соответственно, руб./т;  $m_{чм}$ ,  $m_{цм}$  - масса лома черных и цветных металлов, полученных после процесса измельчения и сортировки соответственно, т;  $c_{aki}$  - остаточная стоимость  $i$ -го автокомпонента, подлежащего реализации, руб.;  $n_{aki}$  - количество  $i$ -х автокомпонентов, установленных на транспортном средстве, шт.

В качестве автокомпонентов, при утилизации которых может быть получен доход, могут использоваться аккумуляторные батареи, каталитические нейтрализаторы и пр.

Капитальные затраты на формирование инфраструктуры системы утилизации транспортных средств включают: затраты на средства транспортировки (автоэвакуаторы, погрузчики, краны и т.п.), оборудование для демонтажа и осушки транспортных средств, контейнеры для раздельного хранения материалов и отходов, шредер и сортировщики (сепараторы) материалов, оборудование для переработки автокомпонентов:

$$Z_{ук} = Z_{трк} + Z_{демк} + Z_{кк} + Z_{сортк} + Z_{перк}, \quad (3.8)$$

где затраты на приобретение:  $Z_{трк}$  - средств транспортировки транспортного средства до места утилизации и перемещению транспортного средства, компонентов, материалов и отходов внутри предприятия по утилизации;  $Z_{демк}$  - оборудования для осушки и демонтажа транспортного средства;  $Z_{кк}$  - контейнеров для раздельного хранения отходов, материалов и автокомпонентов;  $Z_{сортк}$  - шредера и сортировщиков (сепараторов) материалов;  $Z_{перк}$  - оборудования для переработки автокомпонентов и автоматериалов (технических жидкостей, электронных компонентов, ламп, фильтров и т.п.).

Приведем зависимости для расчета всех составляющих капитальных затрат на утилизацию (руб.):

1. Затраты на приобретение средств транспортировки транспортного средства до места утилизации и перемещению транспортного средства, компонентов, материалов и отходов внутри предприятия по утилизации вычисляют по формуле

$$Z_{трк} = c_{трк} m_a, \quad (3.9)$$

где  $c_{трк}$  - удельные капитальные затраты на средства транспортировки в пересчете на транспортное средство массой 1 т, руб./т;

2. Затраты на приобретение оборудования для осушки и демонтажа транспортного средства

$$Z_{демк} = c_{демк} m_a, \quad (3.10)$$

где  $c_{демк}$  - удельные капитальные затраты на демонтаж транспортного средства массой 1 т, руб./т;

3. Затраты на приобретение контейнеров для раздельного хранения отходов, материалов и автокомпонентов

$$Z_{кк} = c_{кк} m_a, \quad (3.11)$$

где  $c_{кк}$  - удельные капитальные затраты на приобретение контейнеров для раздельного хранения отходов, материалов и автокомпонентов транспортного средства массой 1 т, руб./т.

4. Затраты на приобретение шредера и сортировщиков (сепараторов) материалов

$$Z_{сортк} = c_{сортк} m_{да}, \quad (3.12)$$

где  $m_{да}$  - масса транспортного средства, после процесса демонтажа и осушки, т;  $c_{сортк}$  - удель-

ные капитальные затраты на приобретение шредера и сортировщиков (сепараторов) материалов массой 1 т, руб./т.

5. Затраты на приобретение оборудования для переработки автокомпонентов и автомобильных материалов

$$Z_{\text{перк}} = c_{\text{перк}} m_{\text{ак}}, \quad (3.13)$$

где  $m_{\text{ак}}$  - масса автокомпонентов, подлежащих переработке, т;  $c_{\text{перк}}$  - удельные капитальные затраты на переработку автокомпонентов массой 1 т, руб./т.

В рамках данной методики принято, что затраты на переработку новых транспортных средств включают только текущие затраты на утилизацию  $Z_{\text{ут}}$ . Затраты на переработку транспортных средств, с даты выпуска которых прошло более 3 лет, включают как текущие  $Z_{\text{ут}}$ , так и капитальные затраты  $Z_{\text{ук}}$ .

На основании изложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо создать условия для развития и экономически устойчивого функционирования сети специализированных предприятий по сбору и утилизации ВЭТС и их компонентов на территории РФ. В результате будут полезно использованы значительные объемы вторичных материальных ресурсов, часть из которых возвратится в автомобильную промышленность и сферу эксплуатации АТС в виде рециклированных конструкционных и эксплуатационных материалов.

2. Разработанная методика учитывает тот факт, что затраты на утилизацию транспортных средств, вышедших из эксплуатации, складываются из текущих затрат, связанных с обеспечением процесса утилизации, т.е. затрат на транспортировку, демонтаж, шредерование (измельчение) и сортировку материалов, переработку автокомпонентов, захоронение отходов, и капитальных затрат на формирование инфраструктуры системы утилизации транспортных средств в стране, а именно, затрат на средства транспортировки (автоэвакуаторы, погрузчики, краны и т.п.), оборудование для демонтажа и осушки транспортных средств, контейнеры для раздельного хранения материалов и отходов, шредер и сортировщики (сепараторы) материалов, оборудование для переработки автокомпонентов.

### Библиографический список

1. **Трофименко, Ю.В.** Проблемы и перспективы создания в России системы утилизации вышедшей из эксплуатации техники / Ю.В. Трофименко // Автопром. Автокомпоненты: форум автомобильной индустрии. – М., 2013.
2. Решение Высшего экологического совета Комитета по природным ресурсам, природопользованию и экологии Государственной Думы ФС РФ от 13 сентября 2010 г. N 10.1.
3. **Трофименко, Ю.В.** Прогноз негативного воздействия автотранспортного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года / Ю.В. Трофименко, Т.Ю. Григорьева // Автотранспортное предприятие. 2009. № 3. С 31–35.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 августа 2012 г. N 870 г. «Об утилизационном сборе в отношении колесных транспортных средств».
5. Проект технического регламента «О требованиях к колесным транспортным средствам по обеспечению их безопасной утилизации». [Электронный ресурс] <http://www.gost.ru/wps/portal/pages.Notif.OrderAbout>  
<http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Documents/TR%20UtilAuto.pdf>
6. **Звонов, В.А.** Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле / В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф. Кутенев. – М.: НАМИ, 2001. – 248 с.
7. **Трофименко, Ю.В.** Утилизация автомобилей: монография / Ю.В. Трофименко, Ю.М. Воронцов, К.Ю. Трофименко. – М.: АКПРЕСС, 2011. – 336 с.
8. Утилизация автомобильной техники: концепция специального технического регламента / В.А. Звонов [и др.] // Стандарты и качество, 2004. № 8. С. 17–25.

9. **Кутенев, В.Ф.** Проблема утилизации автомобилей в РФ, состояние и пути решения / В.Ф. Кутенев, Т.С. Лаптева, А.С. Теренченко // Журнал автомобильных инженеров. 2006. №1. С. 20–27.
10. **Кутенев, В.Ф.** Состояние и перспективы создания системы утилизации / В.Ф. Кутенев, А.С. Теренченко // Автомобильная промышленность. 2008. №10. С. 7–15.

*Дата поступления  
в редакцию 09.10.2014*

**A.V. Kozlov, A.S. Terenchenko, E.A. Mirenkova**

## **TECHNIQUE OF CALCULATION OF END OF LIFE VEHICLES RECYCLING COST**

State centrer HAMI

**Purpose:** Development of cost-effective and environmentally sound end of life vehicles recycling system in Russian Federation.

**Design/methodology/approach:** Technique of calculation of end of life vehicles recycling cost for complex assessment of the cost associated with all stages of the recycling process of end of life vehicles.

**Findings:** Is necessary to create conditions for the development of sustainable and cost-effective network of specialized facilities for the collection and recycling of end of life vehicles and their components on the territory of Russian Federation.

**Research limitations/implications:** The result will be useful to use a significant amount of recyclable materials resources, some of which go back to the automotive industry and save natural resources.

**Originality/value:** Developed technique is original one.

*Key words:* car, end of life vehicles, materials, recycling, reusing, life cycle, environmental pollution.

## Секция 5. СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ. ПОДВИЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

УДК 621.646

Ю.И. Молев, И.А. Тютнев, В.Н. Худяков

### РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО КРИТЕРИЮ ОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО РЕМОНТУ И СОДЕРЖАНИЮ ТРУБОПРОВОДОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРОКИДЫВАНИЯ ТРУБОУКЛАДЧИКОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований, посвящённых реологическим свойствам опорных оснований, влияющих на безопасность ведения работ по ремонту и содержанию трубопроводов. Представлены результаты моделирования, погружения движителей трубоукладчиков во время выполнения ими технологических операций, а также проанализированы основные типы болот на территории Российской Федерации.

*Ключевые слова:* трубоукладчик, масса, грузоподъёмность, удельное давление, глубина погружения.

Широкое применение трубопроводного транспорта обусловлено: возможностью повсеместной укладки трубопровода; низкой себестоимостью транспортировки; сохранностью перемещения благодаря полной герметизации трубы; полной автоматизацией операций по наливу, перекачке, транспортировке и сливу; малочисленностью персонала; непрерывностью процесса перекачки; отсутствием отрицательного воздействия на окружающую среду.

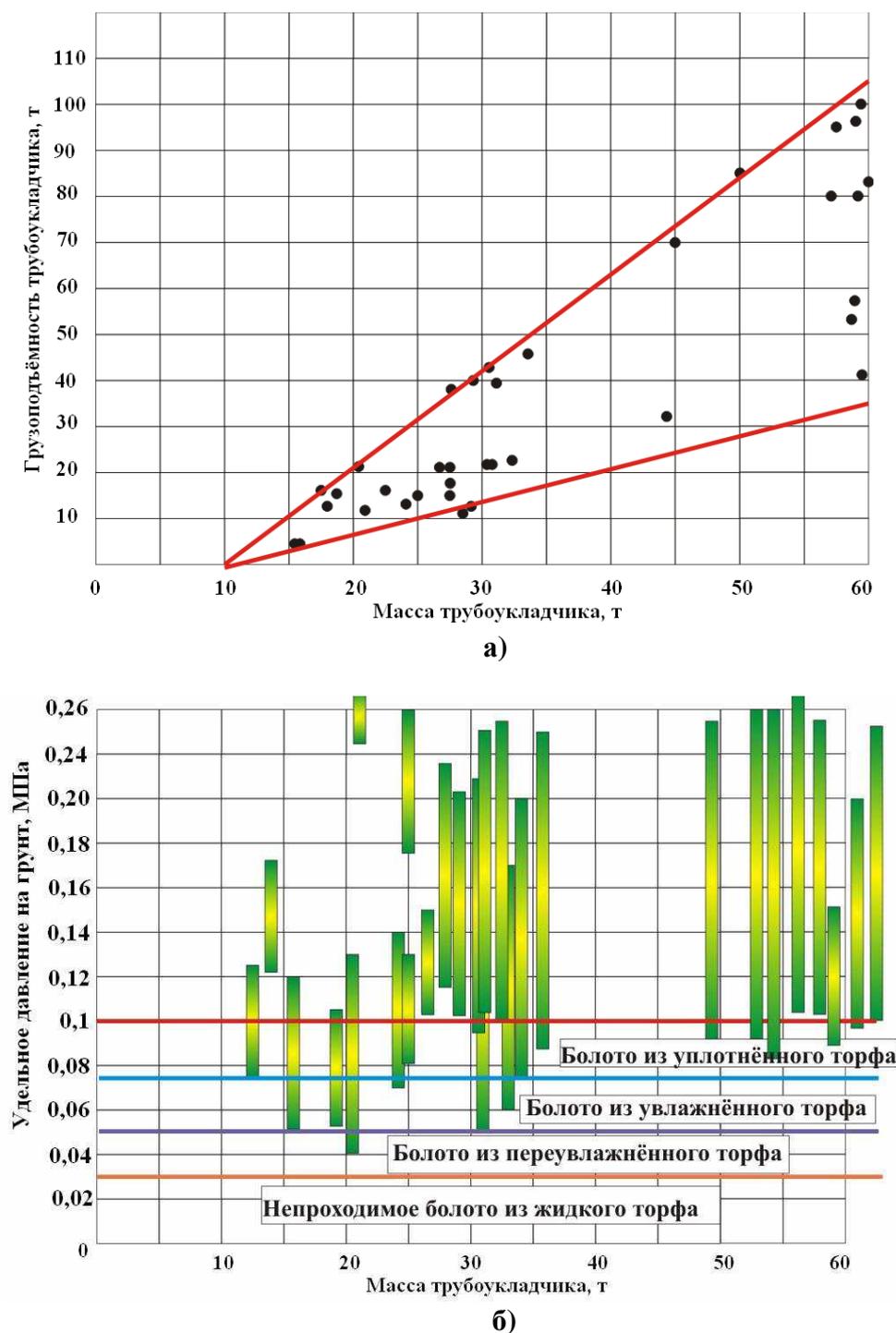
В связи с освоением нефтяных месторождений Сибири и Севера европейской части страны значительное количество нефтепроводов больших диаметров проходит по болотистой местности, отличительной особенностью которых является ползучесть опорного основания, приводящая к опрокидыванию работающей техники во время выполнения технологических операций. Совершенствование конструкций трубоукладчиков, обеспечивающих устойчивость машин при выполнении всего цикла работ по подъёму, удержанию и опусканию трубопровода на болотистой местности – актуальная научная задача.

Существующие нормативные документы по ведению аварийно-восстановительных работ на магистральных нефтепроводах в условиях болот не предусматривают предварительного определения несущей способности болот. Поэтому возникают дополнительные трудности при принятии решения о возможности использования болотоходной техники или выборе способа повышения несущей способности поверхности болота для доставки техники и ремонтной бригады к месту аварии. При проведении анализа конструкций трубоукладчиков на одной системе координат авторами были наложены собственные массы трубоукладчиков и их грузоподъёмность и удельное давление на опорную поверхность (рис. 1).

Аппроксимируем зависимость между данными параметрами трубоукладчиков

$$P_T = K1M \rightarrow M = \frac{P_T}{K1}, \quad (1)$$

где  $K1$  – параметр, равный 1,66, получим величину нагрузки на опорное основание от движителя трубоукладчика;  $M$  – масса трубоукладчика;  $P_T$  – его грузоподъёмность.

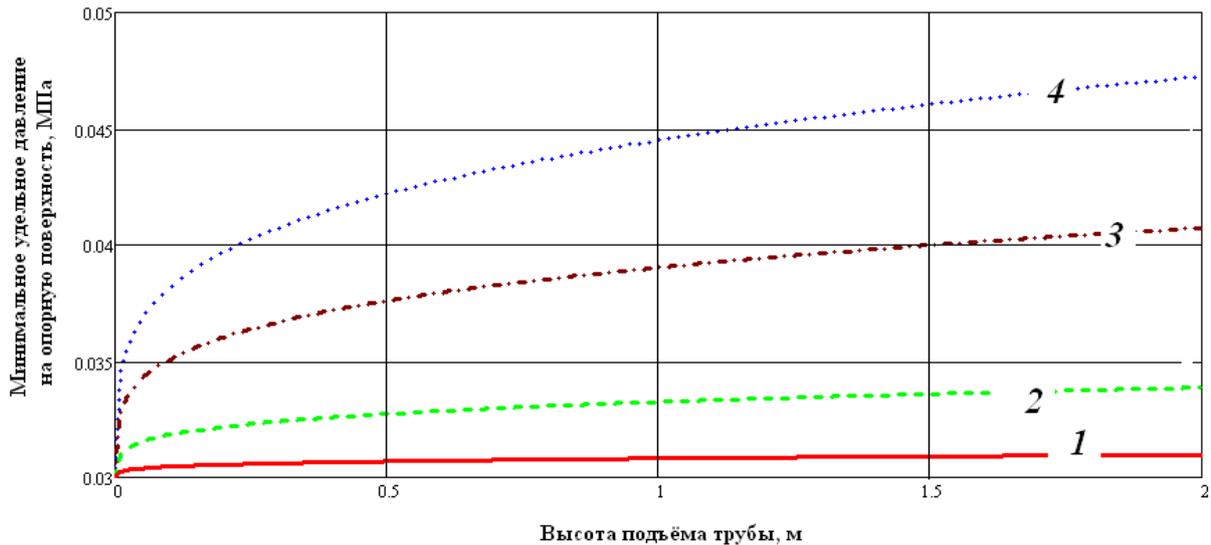


**Рис. 1. Технические параметры применяемых в настоящее время трубоукладчиков:**  
*a* - зависимость грузоподъёмности машины от её массы);  
*б* - зависимость удельного давления на грунт от массы машины

Аппроксимируя зависимость между минимальным удельным давлением на опорное основание от грузоподъёмности трубоукладчика (рис. 1, б), получим уравнение вида

$$Q_T = Q_0 + K_2 M, \quad (2)$$

где  $Q_0$  – базовая величина удельного давления для трубоукладчиков, равная 0,03 МПа;  $K_2$  – параметр взаимосвязи между ростом массы трубоукладчика и его удельным давлением на опорное основание, равный 0,0012 МПа/т.



**Рис. 2. Зависимость минимальной удельной нагрузки на опорное основание от необходимой высоты подъема трубопровода;**

1 – для диаметра 560 мм; 2 – для диаметра 720 мм; 3 – для диаметра 1200 мм;  
4 – для диаметра 1400 мм

Принимая за необходимую технологическую высоту подъема трубы величину 0,5–1,0 м, можно получить величину статического погружения движителя в опорное основание в зависимости от несущей способности болота. Решение данной зависимости приведено в табл. 1. Основные параметры расчёта погружения за счёт реологических свойств болотных залежей приведены в табл. 2.

**Таблица 1**

**Расчёт статического погружения трубоукладчиков при выполнении технологических операций**

Вид болота	Сопrotивление торфа при сжатии $A_0$ , МПа	Технологическая нагрузка $\tau$ , МПа	P/P0	Статическая глубина погружения $h$ , м
Травянисто-древесное	0,09	0,035-0,045	0,4-0,5	0,03-0,04
Сфанговое	0,07	0,035-0,045	0,5-0,65	0,035-0,05
Древесно-осоковое	0,055	0,035-0,045	0,65-0,82	0,05-0,085
Осоковое	0,012	0,035-0,045	2,9-3,75	-

**Таблица 2**

**Расчёт статического погружения трубоукладчиков при выполнении технологических операций**

Вид болота	Сопrotивление торфа при сжатии $A_0$ , МПа	Технологическая нагрузка $\tau$ , МПа	$\Delta\tau$ , МПа	Динамический фактор погружения $dh/dt$ , м/с
Травянисто-древесное	0,09	0,035-0,045	0,045-0,055	0,000045-0,000055
Сфанговое	0,07	0,035-0,045	0,025-0,035	0,000075-0,000100
Древесно-осоковое	0,055	0,035-0,045	0,010-0,020	0,00010-0,00020
Осоковое	0,012	0,035-0,045	-	-

Рассматривая циклограмму нагрузки на крюке трубоукладчика по видам работ, не трудно убедиться в том, что при максимальной продолжительности технологического процесса, характерного для ручной сварки трубопроводов, дополнительное погружение в грунт может достигнуть величины 0,1–0,2 м для древесно-осоковых болот, 0,08–0,12 м для сфагновых и 0,07–0,08 м для травянисто-древесных болот.

Полученные данные свидетельствуют о том, что погружение трубоукладчиков в опорное основание в виде болот состоит из статической и динамической составляющей. Причём для болот всех типов, за исключением осоковых, глубина динамического погружения при выполнении технологической операции, связанной с ручной сваркой трубопровода или проведением работ по его ремонту, более двух раз превышает статическое погружение. Таким образом, возникает реальная опасность опрокидывания трубоукладчиков практически на всех видах болот, за исключением осокового, на котором трубоукладчики могут работать только в условиях сооружения подъездных путей различного типа.

Таким образом, по степени опасности выполнения работ с точки зрения опрокидывания трубоукладчиков можно территорию РФ разделить на следующие районы.

В тундрах и лесотундрах Европейского севера РФ и Сибири болота практически отсутствуют, где они встречаются – это заболоченные поймы основных северных рек, впадающих в Северный ледовитый океан. Данные типы болот представляют собой опорные основания с низкой несущей способностью, поэтому, как было отмечено, после создания подъездных путей к трассе трубопровода вероятность опрокидывания трубоукладчика становится минимальной.

В северной торфяно-болотной области площадь болот составляет около 10% территории. Верховые грядово-мочажинные болота в Вологодской и Архангельской областях и республике Коми, составляющие 50% торфяного фонда, представляют наибольшую опасность для проведения работ. Среди низинных болот преобладают безлесные, покрывающие сплошь водоразделы больших рек, и опасности с точки зрения опрокидывания не представляют.

В Западной области преобладают верховые болота крупных размеров. Характерно наличие сапропеля. Часто в основании верховой залежи сформированы низинные торфы. Низинных болот немного. В средней полосе заболоченность сокращается до 15-10% и появляются разнотипные притеррасные торфяные болота средних размеров. Данная область наиболее опасна с точки зрения опрокидывания трубоукладчиков.

В средней болотной области имеет место широкое разнообразие типов болот. Так, осоковые болота с низкой несущей способностью составляют всего около 6%, а в Мещерской низменности их объём доходит до 65%. Данный район следует отнести к местам, в которых велика опасность опрокидывания трубоукладчиков.

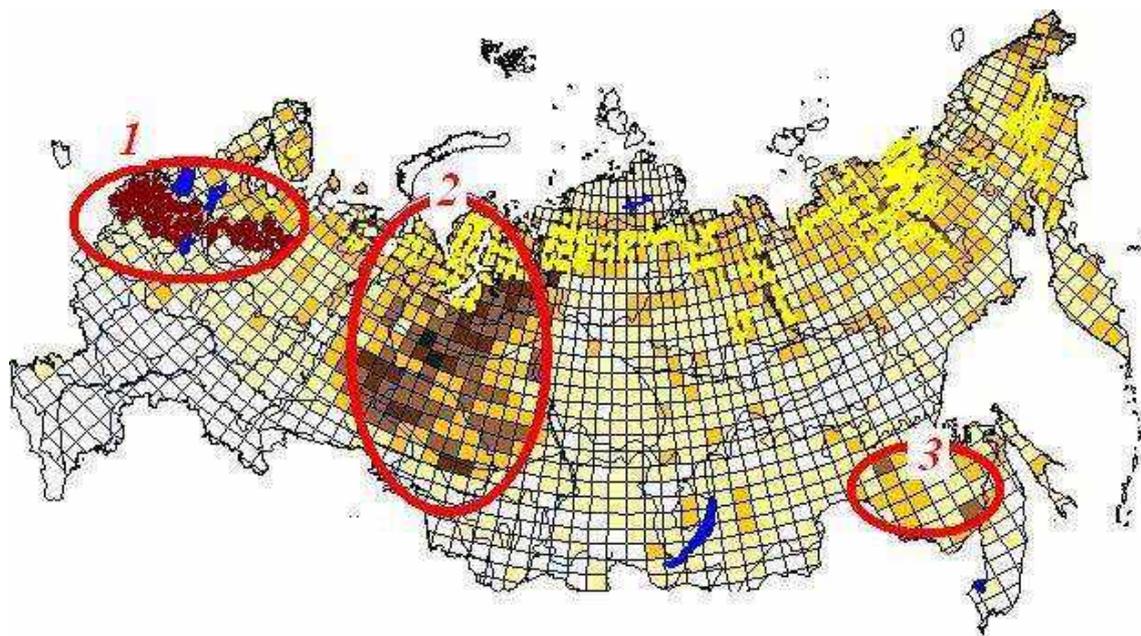
В южных и юго-восточных районах заболоченность снижается до 0,5%, преобладают низинные пойменные болота малых размеров вытянутой формы, часто с мощным верхним минеральным наносом. Условия для развития болот неблагоприятны. Небольшие низинные болота встречаются в долине р. Донца. Обширные болотистые пространства – плавни – характерны для нижнего течения Кубани, Волги и их дельт. В данной местности проблемой является обеспечение подвода техники к месту выполнения работ, а не безопасность их проведения.

Заболоченность Северного Урала исследована слабо. На Приполярном Урале болота заполняют депрессии среди ледниковых и флювиогляциальных отложений. Заторфованность западного склона Среднего Урала невелика. В южной части Среднего Урала, где Уральский хребет сильно сужается и граничит с лесостепью, преобладают небольшие низинные болота. На Южном Урале крупные низинные болота приурочены к понижениям между пологими горными склонами, питающими болота грунтовыми и поверхностными водами. Изложенное позволяет сделать вывод о том, что Уральский регион опасности для проведения работ по ремонту и содержанию трубопроводов не представляет.

Западно-Сибирская низменность – единая физико-географическая область, состоящая из двух плоских чашеобразных впадин, между которыми раскинулись вытянутые в широтном направлении возвышенности. Для неё характерна сильная заболоченность. В Западной Сибири площадь болот достигает 32 538 тыс. га, причем половина болот – верховые. В этом регионе широко распространены полигональные, плоско- и крупнобугристые и олиготрофные сфагновые болота. Они занимают преобладающую часть междуречных пространств и располагаются как в пониженных участках, так и на водоразделах. Объем воды в болотных торфяниках Западной Сибири составляет 994 км<sup>3</sup>. В несвязной с торфом форме он оценен в 218 км<sup>3</sup> (примерно 22% от общего объема). Данная зона является наиболее трудной для ремонта и содержания трубопроводов, в том числе и в связи с высокой вероятностью возможности опрокидывания машин. На севере Западно-Сибирской низменности, в зоне арктических тундр, заболочено почти 50% площади, но мощность торфяного слоя не превышает нескольких сантиметров, поэтому вероятность опрокидывания при работах в данной местности крайне низка.

Характерной особенностью болот Восточной Сибири является то, что это область вечной мерзлоты. Несмотря на то, что данная местность сильно заболочена, залежи торфа скованы мерзлотой и оттаивают на небольшую глубину. Площади болот незначительны. Опасности при проведении работ с точки зрения опрокидывания не представляют.

Приамурская болотная область охватывает верхнее и среднее течение р. Амура в пределах Амурской области. Здесь широко развита густая речная сеть – система притоков Амура. Слой мерзлоты препятствует просачиванию вглубь атмосферных осадков, способствует переувлажнению поверхностного слоя и заболачиванию территории таежной зоны. Верховые торфяные болота распространены в таежной и лесостепной зонах, занимая две трети площади, или около 100 тыс. км<sup>2</sup>. Самые крупные верховые массивы сосредоточены в Верхнезейской котловине и в бассейне Верхней Томи. Между ними сформированы переходные болота. Низинные болота распространены на 1/3 территории и приурочены к Зейско-Буреинской равнине, междуречью Бурей и Архары, предгорьям Малого Хингана, бассейну Средней Зеи и Верхнего Амура, к низким и высоким террасам рек. Общая заболоченность велика, в пойме Нижнего Амура болота встречаются в комплексе с плавнями.



**Рис. 2.9. Районирование территории Российской Федерации с точки зрения опасности проведения работ трубоукладчиками:**

1, 2 и 3 – зоны повышенной опасности при проведении работ

Общий анализ состояния опорных поверхностей с точки зрения безопасности выполнения работ трубоукладчиков показан на рис. 3. Полученные данные позволили чётко определить три зоны с ярковыраженной опасностью опрокидывания трубоукладчиков, при выполнении ими технологических операций. К ним относятся Северо-Западный район Европейской части РФ, Западно - Сибирская низменность и Приамурская область. Проведение работ по ремонту и содержанию трубопроводов в этих районах требует применения специальных мер, обеспечивающих устойчивость трубоукладчиков при проведении строительных и ремонтных работ.

#### Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Выбор рациональных параметров движителя машин для ремонта трубопроводов / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, И.А. Тютнев // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2011. №1. С. 64–66.
2. **Богачёв, Д.В.** Рекомендации по выбору типа движителя машин для ремонта и содержания трубопроводов./ Д.В. Богачёв, У.Ш. Вахидов, И.А. Тютнев // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2011. № 4. С. 64–66.
3. Особенности использования трубоукладчиков на заболоченных грунтах / А.В. Артюшкин [и др.] // Строительные и дорожные машины. 2012. № 7. С. 36–39.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**Y.I. Molev, P.A. Tutnev, V.N. Khudyakov**

#### **ZONING OF THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION ACCORDING TO THE CRITERION OF DANGER WORK ON THE REPAIR AND MAINTENANCE OF PIPING FROM THE POINT OF VIEW OF THE POSSIBILITY OF OVERTURNING PIPELAYERS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Safety improvement works associated with the repair and maintenance of pipelines.

**Design/methodology/approach:** statistical analysis of data on the rheological properties of different wetlands.

**Findings:** zoning mire types according to the degree of danger of falling pipelayers.

**Research limitations/implications:** improving the safety of operations by improving technology use pipelayers.

**Originality/value:** first proposed and implemented a method of evaluating the risk of marshland from the point of view of additional dive propulsion pipelayers during the execution of manufacturing operations, Assessed the unevenness of the dive and the possibility of creating additional overturning moment..

*Key words:* pipelayer, weight, capacity, specific pressure, depth.

УДК 629.1.03

Р.А. Дорофеев, М.С. Крашенинников, А.А. Кошурина, В.Е. Обрезкова

## КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНО–ВИНТОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ В КОНСТРУКЦИИ МЕЛИОРАТИВНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ РЕК

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Затронута проблематика загрязнения рек и водоемов Нижегородской области. Рассмотрены основные причины и последствия загрязнения водоемов. Проводится краткий сравнительный анализ различных способов по очистке водоемов, а также сравнительный анализ техники, традиционно применяемой при очистке и благоустройстве водоемов. Описывается концепция мелиоративной машины для очистки рек с роторно-винтовым двигателем. В заключение сделан вывод о преимуществах использования роторно-винтового двигателя в конструкции мелиоративной машины для очистки рек.

*Ключевые слова:* роторно-винтовой двигатель, мелиоративная машина, амфибийное транспортное средство, экология.

Пятнадцатый Всероссийский форум «Великие реки» показал, что плачевное состояние рек в Нижегородской области действительно является проблемой. Заместитель председателя законодательного собрания Табачников А.Ф. заявил о необходимости создания системы по очистке и восстановлению малых рек [1].

Если посмотреть на карту Нижегородской области, то увидим, что она буквально испещрена реками, ручьями, озерами и прудами. На территории нашей области насчитывается более 8 000 рек и ручьев общей протяженностью более 33 000 км и более 2 000 озер, водохранилищ и прудов общей площадью 10 000 км<sup>2</sup>. В тоже время в регионе развита машиностроительная, автомобильная, химическая промышленность и сельское хозяйство. Насчитывается более 600 крупных предприятий, 5 500 мелких предприятий, 800 с/х организаций и 3 000 фермерских и крестьянских хозяйств, а также Нижегородская ГЭС.

Анализ многолетних данных мониторинга качества поверхностных вод по контрольным заборам, расположенным ниже населенных пунктов, показывает, что во всех населенных пунктах качество воды по гидрохимическим показателям изменяется в диапазоне от 3-го класса - «загрязненная» до 5-го класса - «экстремально-грязная» [2].

Из-за продолжающейся нестабильной работы предприятий, включая очистные сооружения, практически не снижаются объемы и не улучшается качество загрязненных сточных вод промышленности и жилищно-коммунального хозяйства [2].

На долю Волжского бассейна приходится более трети общего сброса сточных вод в России. Несмотря на высокую обеспеченность региона очистными сооружениями, эффективность их работы крайне низка, в результате чего в водные объекты поступает большое количество загрязняющих веществ. На рис. 1 показаны степени загрязнения поверхностных вод в различных регионах, смежных с бассейном реки Оки [2].

Рисунок 1 позволяет сделать вывод, что качество воды в акватории реки Оки в Нижегородской области относится к 4-му классу – «грязная» вода.

Согласно исследованию ученых Калифорнийского университета в Санта-Барбаре (США), опубликованному в журнале Conservation Letters, устье Волги вошло в первую десятку списка самых загрязненных береговых зон [3]. В настоящее время в бассейне Волги сосредоточено около 45% промышленного и примерно 50% сельскохозяйственного производства России. Из 100 городов страны с наиболее загрязненной атмосферой 65 расположены в бассейне Волги. Объем загрязненных стоков, сбрасываемых в бассейны региона, составляет 38% от общероссийского (рис. 2) [4, 5].

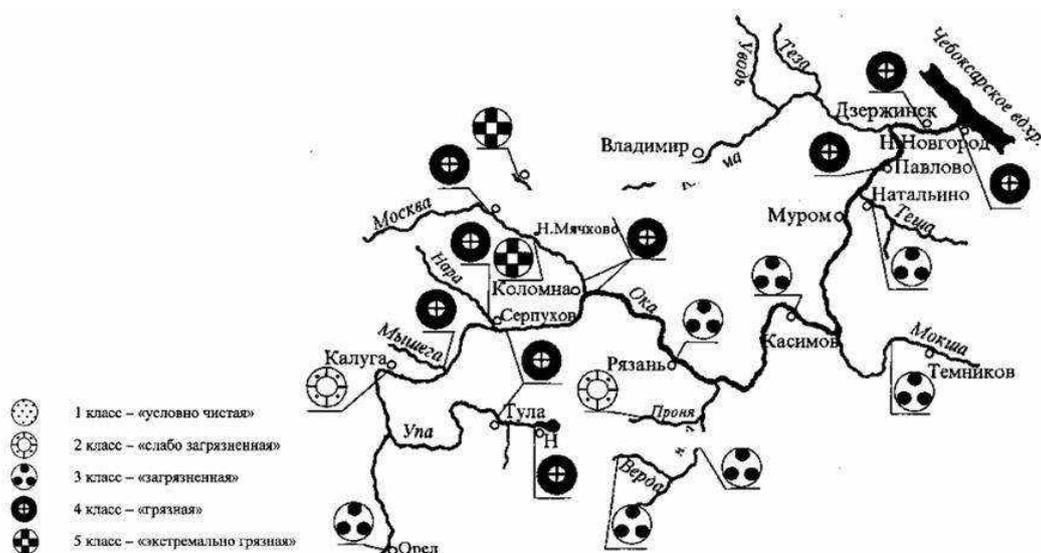


Рис. 1. Оценка качества поверхностных вод бассейна Оки по комплексным показателям

В наиболее критическом состоянии из-за сточных промышленных вод находятся малые реки Волжского бассейна. Только в самом Нижнем Новгороде их насчитывается 12. Самой грязной и токсичной из них признана река Ржавка. По мнению сотрудников экологического движения «Поможем реке», реки города уже «неживые», на их берегах – свалки мусора от гаражных массивов, в них попадают стоки от находящихся рядом предприятий [4].

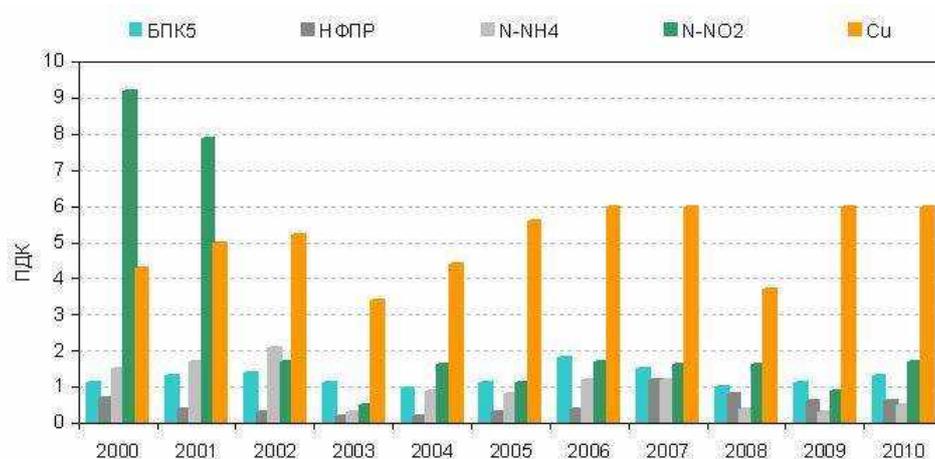


Рис. 2. Динамика загрязняющих веществ в воде Чебоксарского водохранилища

Экологическая ситуация осложняется еще и тем, что после строительства водохранилищ на Волге резко изменился естественный режим реки и экология водоемов. Восемь плотин волжского каскада гидроэлектростанций превратили Волгу в череду стоячих озер-водохранилищ, навсегда нарушив привычный ход реки. По оценкам экспертов, самоочищаемость Волги, вода которой еще в 50-е годы прошлого столетия считалась питьевой, снизилась в десятки раз, и она стала на большом протяжении антисанитарным водоемом [4].

Еще одна проблема – сине-зеленые водоросли, которые летом (обычно в июле) разрастаются вдоль берегов. Они покрывают до 20–30% водохранилищ и стали настоящим бедствием для реки Волги. Эти растения выделяют до 300 видов органических веществ, большая часть из которых ядовита. Отмершие водоросли, попадая на дно, увеличивают содержание фосфора и азота и создают идеальную среду для собственного самовоспроизведения. В результате происходит вторичное загрязнение [4].

Отдельно стоит обратить внимание на прогрессирующую активность роста вредной

растительности (камыш, тростники, осока и др). Химическое загрязнение водоемов ускоряет рост вредной растительности. Работа ГЭС и плотин неизбежно снижает скорость течения в реках, уменьшая их способность к самоочищению, особенно это явление заметно на малых реках. Низкое течение, позволяет воде прогреваться сильнее, чем обычно, что в свою очередь, служит акселератором для роста камыша и тростника. Густая растительность дополнительно замедляет течение в реках. Реки становятся не в состоянии очищаться естественным образом, на дне накапливаются различные отложения, реки заиливаются, мельчают, превращаясь в болота, а затем и вовсе пересыхают. Процесс жизнедеятельности густой растительности снижает концентрацию кислорода в воде и повышает концентрацию токсичных веществ. Такие пагубные процессы ведут к гибели водных обитателей. На рис. 3 показаны негативные последствия зарастания рек.



Рис. 3. Последствия зарастания рек

Известны четыре основных метода очистки водоемов. В табл. 1 приводятся преимущества и недостатки этих методов.

Таблица 1

Преимущества и недостатки методов очистки водоемов

Метод	Преимущества	Недостатки
Химическая очистка	Простота реализации Производительность Быстрота	Вред окружающей среде Трудно спрогнозировать последствия Узкий круг воздействия
Биологическая очистка	Автономность Долгосрочный результат	Возможный вред окружающей среде Сложность реализации Узкий круг воздействия
Механическая ручная очистка	Простота реализации Экологичность Широкий круг воздействия	Низкая производительность Зависимость от окружающей среды Необходимость повторения операций
Механическая механизированная очистка	Простота реализации Экологичность Широкий круг воздействия Высокая производительность Независимость от окружающей среды	Необходимость технического обслуживания Необходимость повторения операций

Проанализировав данные табл. 1 о недостатках и преимуществах каждого из методов, можно сделать вывод, что для очистки водоемов рационально использовать метод механической механизированной очистки.

В настоящее время для работ по очистке и восстановлению водоемов разработана и применяется различная специализированная техника. Достоинства и недостатки наиболее часто используемой техники отражены в табл. 2.

Таблица 2

## Достоинства и недостатки техники для очистки водоемов

Техника	Достоинства	Недостатки
<p>Экскаватор</p> 	<p>Способен передвигаться самостоятельно, без специальных средств транспортировки</p> <p>Способен выполнять операции на воде и суше</p> <p>Маневренный</p>	<p>Низкие вездеходные качества;</p> <p>Отсутствие амфибийных свойств</p> <p>Наносит вред экосистеме при движении</p>
<p>Земснаряд</p> 	<p>Не наносит вреда экосистеме</p> <p>Высокопроизводителен</p>	<p>Не может двигаться по суше</p> <p>Необходимо сплавлять на воду</p> <p>Низкая маневренность</p> <p>Не подходит для скашивания растительности</p> <p>Цена порядка 20-240 млн руб.</p>
<p>Гусеничная амфибия</p> 	<p>Способна передвигаться самостоятельно, без специальных средств транспортировки</p> <p>Является амфибией</p> <p>Высокопроизводителен</p> <p>Маневренен</p> <p>Способна выполнять различные операции</p>	<p>Гусеницы подвержены забиванию растительностью</p> <p>Гусеницы наносят вред экосистеме при движении</p> <p>Нет отечественных аналогов</p>
<p>Земснаряд самоходный</p> 	<p>Способен передвигаться самостоятельно, без специальных средств транспортировки</p> <p>Является амфибией</p> <p>Высокопроизводителен</p> <p>Маневренен</p> <p>Способен выполнять различные операции</p>	<p>Низкая скорость передвижения</p> <p>Нет отечественных аналогов</p> <p>Цена порядка 20 млн руб.</p>

Проанализировав достоинства и недостатки техники, применяемой для очистки водоемов, можно сделать вывод о том, что на данный момент не существует машины, которая одновременно обладала следующими качествами: амфибийность; самостоятельно спускается на воду и выходит на сушу; движение машины не должно наносить существенного урона окружающей среде; движитель машины не должен забиваться растительностью; способность двигаться на сильно заросших водоемах, болотах и топях.

Для обеспечения вездеходных и амфибийных качеств мелиоративной техники предлагается использовать роторно-винтовой движитель (РВД). Его отличительная особенность состоит в том, что, сочетая качества гидравлического и сухопутного движителей, он может с достаточной эффективностью работать на сильно переувлажненных грунтах, снегу, льду, воде и среде, являющейся комбинацией перечисленных сред. Используют РВД на машинах

различного назначения – дорожно-строительных, сельскохозяйственных, военных и т.д. Роторы оказывают низкое давление на грунт, а при движении не происходит сдвига грунта и повреждения корневой системы растений, при этом роторы самоочищаются в процессе движения. Машина на таком движителе будет обладать высокой маневренностью, сможет разворачиваться на месте и двигаться боком. Движитель содержит минимум конструктивных элементов (рис. 4).

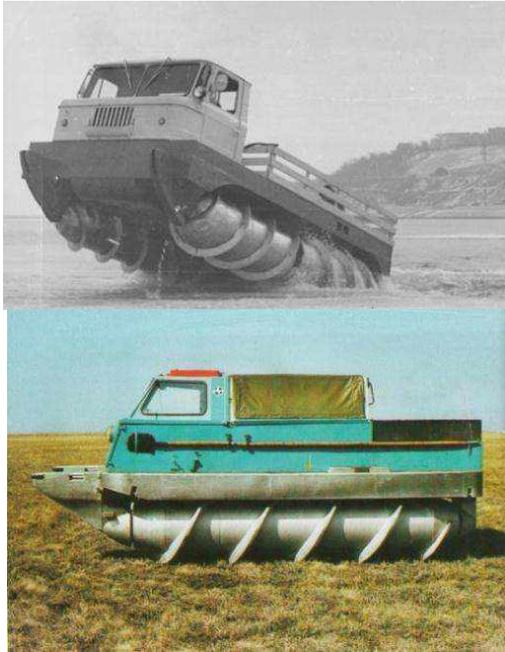


Рис. 4. Общий вид машины с роторно-винтовым движителем

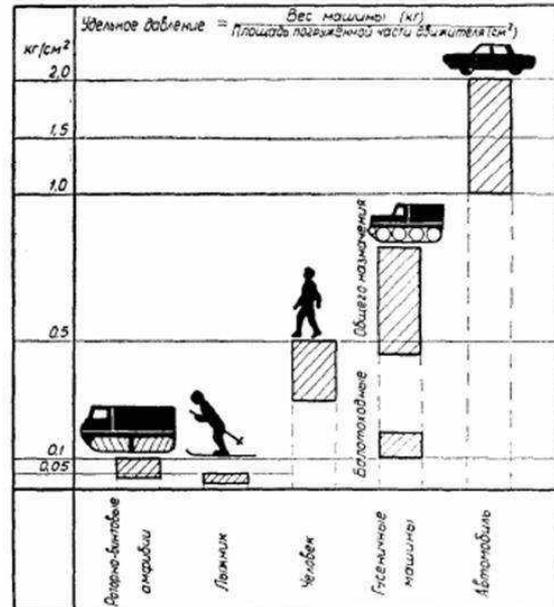


Рис. 5. Схема распределения давлений на опорное основание

По сравнению с другими типами наземных движителей РВД обладает целым рядом преимуществ:

- обеспечивает повышенную проходимость транспортного средства;
- создает очень малые давления на опорное основание (0,04-0,1 кг/см<sup>2</sup>) (рис. 5), на порядок меньшие по сравнению с гусеничными и колесными типами движителей [6];
- позволяет развить большую силу тяги (при прочих равных условиях) по сравнению с другими типами наземных движителей;
- позволяет выходить машине на необорудованный берег.

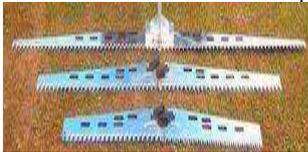
Применение роторно-винтового движителя дает следующие преимущества:

- движитель не забивается растительностью;
- меньший экологический урон от движения;
- меньше топливные затраты;
- большая надежность по сравнению с другими движителями;
- меньшие эксплуатационные затраты;
- меньшая необходимость в обслуживании.

Применение роторно-винтового движителя и разнообразного рабочего оборудования сделает базовую машину универсальной и многофункциональной (табл. 3). Машина сможет выполнять следующие операции: ликвидация растительности, очистка дна и углубление водоемов, укрепление береговой линии, благоустройство пляжей и другие инженерно-технические работы.

Таблица 3

**Рабочее оборудование, устанавливаемое на мелиоративную машину  
с роторно-винтовым движителем**

Наименование	Применение	Наименование	Применение
<p align="center">Грабли</p> 	Для сбора скошенной растительности, водорослей и мелкого мусора со дна или поверхности воды	<p align="center">Косилка</p> 	Для скашивания растительности, на прямом ходу машины
<p align="center">Грабли-подъемник</p> 	Для сбора и транспортировки скошенной растительности и мусора	<p align="center">Поворотная косилка</p> 	Для скашивания растительности в любом направлении движения машины, скашивания в труднодоступных местах
<p align="center">Грейфер</p> 	Для сбора и транспортировки крупногабаритного мусора (валежник, автомобильные покрышки и т.д.)	<p align="center">Косилка-ковш</p> 	Для скашивания растительности с последующей ее транспортировкой
<p align="center">Насос</p> 	Для очистительных и дноуглубительных работ	<p align="center">Экскаватор</p> 	Для очистительных, дноуглубительных и других инженерно-технических работ

Удаленный ил можно использовать в качестве удобрения, а скошенную растительность отправлять на корм животным.

К основным потребителям роторно-винтовых мелиоративных машин относятся:

- предприятия, проводящие очистные и мелиоративные работы на реках Нижегородской области;
- предприятия сельскохозяйственной отрасли.

Результатом использования РВД в качестве движителя мелиоративной машины для очистки водоемов будет являться подъем производительности труда благодаря применению освоенных новых технологий, экономия средств предприятиями при выполнении работ с помощью нового такого типа техники.

### Выводы

Во-первых, на сегодняшний момент существует динамически развивающаяся проблема, связанная с зарастанием и загрязнением малых рек Нижегородской области. Последствия бездействия в данной ситуации могут быть плачевными, итогом может стать экологическая катастрофа. Поэтому необходимо разрабатывать действующие программы и проводить мероприятия по очистке и реабилитации малых рек Нижегородской области.

Во-вторых, на данный момент в нашем регионе не ведется эффективных работ по очистке и восстановлению малых рек. Причин этому множество, одна из которых – отсутствие доступной, многофункциональной по своим характеристикам специализированной ме-

лиоративной техники. Поэтому необходимо предпринять действия, направленные на решение проблемы создания подобного вида техники. При этом, учитывая достоинства и недостатки техники, используемой в настоящее время, необходимо принять во внимание требования, предъявляемые к мелиоративной машине: машина должна обладать хорошей остойчивостью, амфибийностью, маневренностью, производительностью и высокими вездеходными показателями; должна самостоятельно спускаться на воду и выходить на необорудованный берег; при движении не должна наносить ощутимый вред экосистеме и др.

В-третьих, из всех существующих на данный момент типов движителей, именно РВД наиболее полно удовлетворяет требованиям, перечисленным выше. Применение РВД позволит работать мелиоративной машине с максимальной эффективностью, а его конструктивная простота даст возможность сэкономить на эксплуатационных затратах.

#### Библиографический список

1. XV Международный научно-промышленный форум «Великие реки». [Электронный ресурс] URL: <http://www.rg.ru/vreki2013/>
2. Израэль, Ю.А. Тенденции и динамика загрязнения природной среды Российской Федерации на рубеже XX-XXI веков. – М., 2007. – 65 с.
3. Устье Волги вошло в десятку самых загрязненных береговых зон. [Электронный ресурс] URL: <http://ria.ru/danger/20090710/176933219.html>
4. Экологические проблемы реки Волги. [Электронный ресурс] URL: <http://ria.ru/documents/20090714/177327889.html>
5. Тенденции и динамика загрязнения природной среды Российской Федерации. [Электронный ресурс] URL: <http://dynamic.igce.ru/water/chemi/2010/>
6. Роторно-винтовые машины. Основы теории движения / И.О. Донато [и др.]. – Нижний Новгород, 2000. – 451 с.

Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014

R.A. Dorofeev, M.S. Krashenninikov, A.A. Koshurina, V.E. Obrezkova

#### CONCEPT OF USING OF THE ROTARY-SCREW MOVER IN THE CONSTRUCTION OF THE RECLAMATION MACHINE FOR A CLEANING OF RIVERS.

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Development of the conception of a multifunction machine for an effective cleaning of rivers of a vegetation, sludge and a rigid household garbage.

**Findings:** Designing of the reclamation machine is necessary for solving of the problem of cleaning rivers in the Nizhny Novgorod Region. The vehicle with rotary-screw mover has lots of advantages in compared with other types of movers.

**Implications:** Present conception provides a starting-point for further research and works in the field of creation machines for cleaning of rivers, what can improve the ecological situation in the Nizhny Novgorod Region.

**Originality/value:** In the present time there are no analogs of such machine and there are no effective funds of cleaning of rivers.

*Key words:* rotary-screw mover, reclamation machine, amphibian vehicle, ecology.

## УДК 627.777.2

А. А. Кошурина, М. С. Крашенинников, Р. А. Дорофеев, В. Е. Обрезкова

## АНАЛИЗ И ПОДБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СПАСАТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Показана потребность в специальных материалах для спасательной техники, предназначенной для Арктической зоны. Проанализированы основные требования к материалам, обоснована возможность использования существующих материалов в конструкции спасательных средств. Предложена концепция устройства корпуса универсального спасательного средства в виде сэндвич панели. Сформулировано послойное устройство сэндвич панели. Выбран предварительный перечень материалов, применимых для каждого слоя сэндвич панели.

*Ключевые слова:* сэндвич панель, универсальное спасательное средство, современные материалы, требования, комбинирование.

В настоящее время идет активное освоение нефтегазовых месторождений арктического шельфа. Реализация проектов по добыче месторождений, предусмотренных стратегией развития арктического региона, приводит к увеличению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на добывающих платформах.

Спасение персонала нефтегазовых платформ на арктическом шельфе в случае аварии невозможно с помощью традиционных спасательных средств. Их применение ограничено наличием ледяного покрова, сложной ледово-навигационной обстановкой, суровыми природно-климатическими условиями, коротким сезоном открытой воды.

При проектировании универсального спасательного средства нового поколения должны быть использованы передовые достижения науки и техники. Его технические характеристики должны не только соответствовать действующим нормативным документам, но также и опережать их.

Основными нормативными документами для коллективных спасательных средств, эксплуатируемых на акватории, являются: Конвенция СОЛАС-74, Конвенция САР, Правила морского регистра судоходства РФ, ГОСТ 52638-2006 Средства спасения экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Общие технические требования. В соответствии с требованиями нормативных документов, материалы корпуса спасательного средства должны обеспечивать выполнение следующих требований:

- способность выдерживать пребывание в зоне непрерывно горящей нефти (1200°C) продолжительностью не менее 8 мин;
- при нахождении в пятне горящей нефти температура внутри спасательного средства на уровне головы сидящего человека не должна превышать 60°C. Желаемое значение температуры от +22 до +30°C;
- материалы должны быть стойкими к гниению и коррозии, не подвергаться химическому воздействию соленой морской воды, нефти и нефтепродуктов или грибков;
- корпус должен быть жестким, состоящим из негорючего или не поддерживающего горения материала, который при тепловом воздействии не выделяет вредных отравляющих веществ;
- материалы должны обладать хорошими теплоизоляционными свойствами для снижения тепловых потерь при обогреве салона спасательного средства. Температуру воздуха за бортом следует принять равной минус 60°C;
- наружный слой корпуса должен обладать водоотталкивающими свойствами, не накапливать в себе воду, чтобы при покидании пятна горящей нефти и охлаждении корпуса поверхностный слой не разрушился;

- материалы должны обладать повышенной стойкостью к ударам, вибрации, истиранию, а также быть устойчивыми к короблению (одновременный нагрев до 1200°C и охлаждение корпуса холодной забортной водой 0-4°C);
- материалы корпуса должны снижать шумовую нагрузку на человека;
- материалы корпуса должны выдерживать длительное хранение при температуре воздуха от -60 до +65°C, а также не терять своих качеств при воздействии солнечных лучей;
- цвет наружного покрытия должен быть ярким, хорошо различимым и способствовать обнаружению спасательного средства на расстоянии (цвет – от оранжевого до красного).

В настоящее время в строительстве коллективных спасательных средств используются такие современные материалы, как углепластики и стеклопластики. Это полимерные композиционные материалы, армированные стеклянными и углеродными волокнами. Они обладают достаточно высокой прочностью, низкой теплопроводностью и высокими электроизоляционными свойствами, но эти материалы не предназначены для эксплуатации в условиях Арктики. Для создания такого материала необходимы новые конструктивные решения.

Выполнение всех этих требований возможно за счет комбинирования известных материалов в виде сэндвич панели (рис. 1). Слои при этом выполняют определенные функции и расположены последовательно.

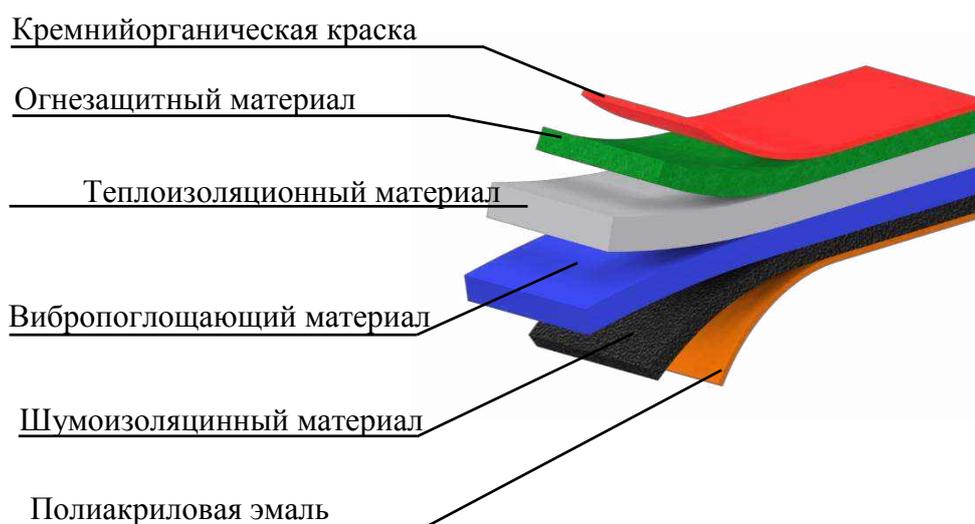


Рис. 1. Предлагаемая схема сэндвич панели

Наружный слой покрыт кремнийорганической краской. Кремнийорганическим материалам присущ ряд специальных свойств, которые позволяют применять их для защиты металлических, бетонных, железобетонных и других поверхностей, эксплуатируемых в условиях агрессивной среды и больших температурных перепадов. Поверхности, обработанные кремнийорганическими материалами, не подвержены коррозии, приобретают повышенную термо- и влагостойкость, морозо- и светостойкость.

Кремнийорганическая краска имеет ряд преимуществ перед другими органическими покрытиями:

- стойкость к воздействию атмосферных факторов;
- стойкость к ультра-фиолетовому излучению;
- воздухопроницаемость;
- отличные гидрофобные свойства;
- пониженная горючесть;

- покрытия, на которые нанесена кремнийорганическая краска, защищают конструкции от разрушающих воздействий при очень высоких температурах;
- внешний вид покрытий сохраняет свой первоначальный вид в течение многих лет;
- по атмосферостойкости кремнийорганическая краска превосходит все известные покрытия на органической основе.

Таким образом, краска выгодно отличается от аналогичных по классу материалов рядом важных параметров и низкой ценой. Стойкость кремнийорганики проверена многолетней эксплуатацией в экстремально тяжелых условиях.

Следующий слой это вермикулитовая плита – уникальный конструкционный негорючий материал, изготовленный методом горячего прессования из композиции на основе вспученного вермикулита, жидкого стекла и неорганических целевых добавок (рис. 2). Будучи экологически чистым огнезащитным материалом, в условиях пожара не выделяет токсичных и других вредных для здоровья человека и окружающей среды веществ.

Вермикулитовая плита выдерживает температурное воздействие ( $+1200^{\circ}\text{C}$ ), гидрофобна, пригодна для облицовки металлом, имеет низкую плотность.

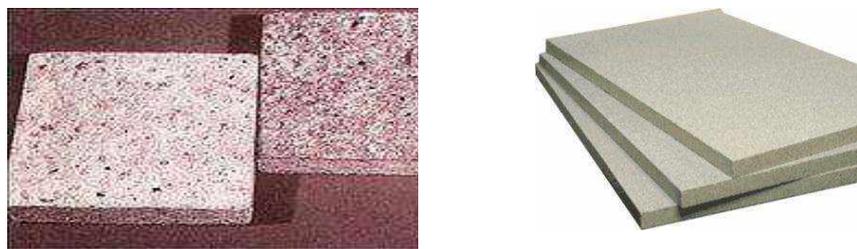


Рис. 2. Образцы вермикулитовых плит

Теплоизоляционный материал ТЗМК (рис. 3). В настоящее время для теплозащиты транспортных систем разрабатываются волокнистые теплоизоляционные материалы на основе оксидов кремния и алюминия. ТЗМК обладают: стойкостью к воздействию высоких температур в диапазоне от  $-150$  до  $+1250^{\circ}\text{C}$ ; стойкостью к тепловым ударам и температурным перепадам; низкой плотностью, соответствующими прочностными и упругими характеристиками.

Листовой вибропоглощающий материал ВТП-2В состоит из слоя листового материала, адгезионного слоя из модифицированного поливинилацетата и армирующего слоя алюминиевой фольги, усиленной стеклосеткой. Материал ВТП-2В предназначен для работы в интервале температур от  $-60$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  и рекомендуется для применения в качестве покрытий панелей фюзеляжа в местах повышенной виброакустической нагрузки [2].

Разработанный вибропоглощающий материал ВТП-2В имеет водопоглощение  $<2\%$ , является грибоустойким, не вызывает коррозии алюминиевых сплавов и приклеивается с помощью клеев холодного отверждения.

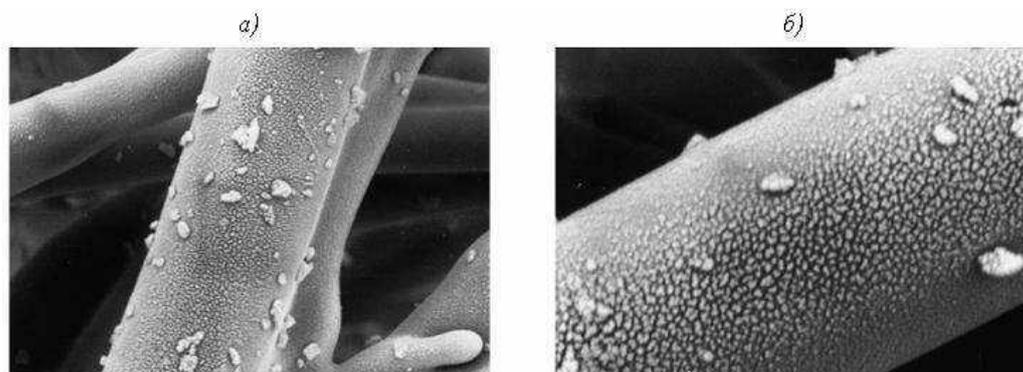


Рис. 3. Микроструктура поверхности волокон в пористом теплозащитном материале ТЗМК:

$a - \times 10000$ ;  $b - \times 20000$



Рис. 4. Образец вибропоглощающего материала ВТП-2В

Жидкая керамическая теплоизоляция RE-THERM – это теплоизоляция, внешне напоминающая краску (рис. 5). Благодаря тому, что материалы имеют жидкую консистенцию, их можно наносить на поверхности любых форм и составов. RE-THERM наносятся окрасочными инструментами – кистью, валиком, пульверизатором высокого давления. Жидкая теплоизоляция RE-THERM, имеющая в своём составе акрил и силикон, обладает, помимо теплоизоляционных, еще и гидроизоляционными свойствами.



Рис. 5. Структурное строение ЖКТ RE-THERM

Покрyтия RE-THERM на 80% состоят из керамических микросфер диаметром 10-30 мкм и на 20% из смеси силиконовых микросфер, акрилового связующего и различных целевых добавок. Находящиеся во взвешенном состоянии в акриловой композиции силиконовые полые микросферы (диаметром от 50-80 мкм) оказываются «облепленными» полыми керамическими микросферами с разряженным воздухом внутри (диаметром 10-30 мкм). В результате образуется структура, составными частями которой являются кластеры. Керамические микросферы имеют большую отражательную способность, а силиконовые микросферы создают тончайшую прослойку между ними. Основной областью применения является транспорт (рефрижераторы, пассажирский транспорт, железнодорожные вагоны, морские и речные суда, авиатранспорт и т.д.).

Полиакриловая водоразбавляемая эмаль ВЭ-67. Имеет температуру эксплуатации от -60 до +80°C. Рекомендyется для окраски интерьера пассажирских транспортных средств, имеет высокие адгезию к различным подложкам (бетон, металлические поверхности), эластичность.

Эмаль экологически безопасна, так как не содержит органических растворителей. Превосходит водоразбавляемые материалы по сроку хранения, который практически неограничен, в том числе при отрицательных температурах.

Представленная в настоящей работе концепция послойной структуры корпуса является не окончательной и активно разрабатывается в рамках проекта по созданию универсального спасательного средства нового поколения. При этом важно отметить, что стоимость многослойного корпуса будет сопоставима со стоимостью корпусов аналогичной по вместимости спасательной шлюпки или будет незначительно ее превышать. Однако, в отличие от традиционных решений, представленный вариант позволит обеспечить возможность эффек-

тивной эксплуатации спасательных средств в тяжелых природно-климатических условиях Арктики.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 52638-2006 Средства спасения экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2006.
2. Всероссийский институт авиационных материалов. [Электронный ресурс] [http://viam.ru/vibration\\_absorbing\\_materials](http://viam.ru/vibration_absorbing_materials) (свободный).

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**A.A. Kochurina, M.S. Krasheninnikov, R.A. Dorofeev, V.E. Obrezkova**

#### **ANALYSIS AND SELECTION OF MATERIALS FOR VERSATILE RESCUE TOOL BASED ON THE REQUIREMENTS AND OPERATING CONDITIONS**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The aim of this work is to create a brand new material which can be operated in conditions of the Far North.

**Findings:** In this work shows the need for special materials for rescue equipment designed for the Arctic zone. Analysis of the basic material requirements. The possibility of using existing materials in the design of the rescue funds.

**Research limitations/implications:** Formulated layered construction of the sandwich panel. Selected a preliminary list of materials, applicable for each layer of the sandwich panel.

**Originality/value:** The concept of the device housing versatile rescue tool in the form of a sandwich panel.

*Key words:* sandwich panel, universal salvage tool, advanced materials, requirements, combining.

УДК 629.113

А.В. Папунин, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков

## О ВЛИЯНИИ ЛАНДШАФТА МЕСТНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И НА ПРОХОДИМОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается подвижность транспортно-технологических машин по снегу. Даны математические зависимости для определения изменения глубины и плотности снежного покрова в течение зимы. Приведены значения эмпирических коэффициентов характерных для станции метеонаблюдения Нижегородской области «Семенов». Определены средние сроки лежания снега для этой станции, а также даны значения средних квадратичных отклонений. Определены основные факторы, влияющие на отклонение средних значений глубины снега и его плотности. Приведены средние значения и средние квадратичные отклонения коэффициентов учета ландшафта и растительности на примере поля, леса, поляны в лесу, ям и балок. Показано влияние преобладающих ветров на формирование снежного покрова. Исследования проведены при поддержке «грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.

*Ключевые слова:* снег, плотность, высота, подвижность, транспортное средство, ландшафт.

Подвижность – это интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее её способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины, то есть возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи [1, 2].

Одной из составляющих подвижности является *проходимость*. При оценке проходимости по снегу определяющими факторами являются глубина и плотность снега, а также, как эти параметры меняются с течением снежного периода. В работах [3-9] дается достаточно подробное описание статистики распределения глубины и плотности снега в течение зимнего периода. Не маловажным является влияние особенностей ландшафта, растительности, господствующих ветров и прочих параметров. Например, в работе [10] говорится о том, что все это связано с многообразием факторов, таких как:

- абсолютная высота местности, удаленность от водоразделов и их ориентация по отношению к господствующим зимним ветрам;
- микро- и мезорельеф горного склона;
- ориентация и угол наклона земной поверхности;
- характер растительного покрова;
- видовой состав, возраст и полнота хвойных лесонасаждений;
- ветровой режим;
- интенсивность прямой и суммарной солнечной радиации;
- сумма и распределение по сезону твердых осадков; преобладание осенней или весенней циклонической деятельности;
- температура и влажность воздуха, суточный и сезонный ход этих показателей;
- температура снежной поверхности и толщи снега, их суточный и сезонный ход.

Взаимодействие и взаимовлияние этих факторов снегонакопления порождает зимние геосистемы со сложной структурой, обладающей пространственно-временной изменчивостью. Рассмотрим это на примере данных по станции метеонаблюдения «Семенов» Нижегородской области.

Средние значения глубины снежного покрова можно определить по зависимости

$$H = \sum_{i=0}^4 a_i t_{\text{усл}}^i, \text{ см,}$$

где  $a_i$  – эмпирические коэффициенты;  $t_{\text{усл}}^i$  – текущая условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом в декадах ( $t_{\text{усл}}^i = (0,15)$ ). ( $a_0 \cdot 10^3 = 2784,15 \text{ см}$ ,  $a_1 \cdot 10^3 = 12054,21 \frac{\text{см}}{\text{дек}}$ ,  $a_2 \cdot 10^3 = -2010,93 \frac{\text{см}}{\text{дек}^2}$ ,  $a_3 \cdot 10^3 = 204,38 \frac{\text{см}}{\text{дек}^3}$ ,  $a_4 \cdot 10^3 = -7,76 \frac{\text{см}}{\text{дек}^4}$ ).

Зависимости для определения границ 5 и 95% вероятностей глубин снежного покрова определяется по формуле

$$H_{5(95)} = H \mp e^{0,5} \zeta \sigma_H,$$

где  $\zeta = T_{\text{усл}}^{-1}(e - 2)t_{\text{усл}} + 1$  – эмпирический коэффициент;  $\sigma_H$  – среднеквадратичное отклонение для наблюдаемой территории (для станции метеонаблюдения «Семенов»  $\sigma_H = 7,78 \text{ см}$ );  $T_{\text{усл}}$  – условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом ( $T_{\text{усл}} = 15$ ).

Средние значения плотности снежного покрова определяются по зависимости

$$\rho = \sum_{i=0}^4 b_i t_{\text{усл}}^i,$$

где  $b_i$  – эмпирические коэффициенты. ( $b_0 \cdot 10^3 = 13594,04 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3}$ ,  $b_1 \cdot 10^3 = 1960,2 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3 \text{дек}}$ ,  $b_2 \cdot 10^3 = -201,91 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3 \text{дек}^2}$ ,  $b_3 \cdot 10^3 = 9,89 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3 \text{дек}^3}$ ,  $b_4 \cdot 10^3 = 0$ ).

Зависимости для определения границ 5 и 95% вероятностей плотностей снежного покрова определяется по формуле

$$\rho_{5(95)} = \rho \mp e^{0,5} \sigma_\rho,$$

где  $\sigma_\rho$  – среднеквадратичное отклонение для рассматриваемой территории (для станции метеонаблюдения «Семенов»  $\sigma_\rho = 3,41 \frac{100\text{г}}{\text{см}^3}$ ).

Для связи реальных сроков залегания установившегося снежного покрова и условных предложена зависимость

$$t_{\text{усл}} = \frac{T_{\text{усл}}(t - 1)}{T - 1} + 1,$$

где  $t$  – текущая декада;  $T$  – число декад продолжительности залегания снежного покрова.

Также необходимо знать сроки начала установившегося снежного покрова. На основе анализа данных получаем, что датой начала  $T_H$  и окончания  $T_K$  установившегося снежного покрова для станции метеонаблюдения «Семенов» являются первая декада ноября и первая декада апреля со средними квадратичными отклонениями порядка  $\sigma_{T_H} = 0,37 \text{ дек}$  и  $\sigma_{T_K} = 0,22 \text{ дек}$ . В соответствии с этими данными можно сказать, что средние сроки установившегося снежного покрова составляют порядка 16 декад, а 90% всех продолжительностей составляет 15-17 декад.

Для адекватности модели необходимо добавить соответствующие коэффициенты, учитывающие районирование местности [9]:

$$H_{\text{действ}} = H k_H^{\text{местн}}, \quad \rho_{\text{действ}} = \rho k_\rho^{\text{местн}},$$

где  $H_{\text{действ}}$  и  $\rho_{\text{действ}}$  – глубина и плотность снега с учетом особенностей ландшафта;  $k_H^{\text{местн}}$ ,  $k_\rho^{\text{местн}}$  – коэффициенты, учитывающие влияние ландшафта на глубину и плотность снега, полученные на основании экспериментальных данных.

На основании исследований, проведенных авторами работы, можно выделить некоторые характерные участки, на которых формирование снега происходит с учетом предложенных зависимостей и поправочных коэффициентов.

Таблица 3

Коэффициенты, учитывающие влияние ландшафта на глубину и плотность снега

Сравниваемые участки	$K_H^{\text{местн}}$	СКО*	$K_p^{\text{местн}}$	СКО
поле/ поле	1	-	1	-
поляна в лесу/ поле	1,1	0,125	0,9	0,15
лес/ поле	1,4 (1,85)**	0,3 (0,2)**	0,85	0,13
Ямы (балки)/поле (лес)***	1,4	0,2	1	-

\* Среднее квадратичное отклонение.

\*\* Значение в скобках получено также для леса, но, очевидно, имелись другие весомые факторы (данные о ветрах), повлиявшие на результат.

\*\*\* Если ямы и балки в поле, то относительно поля. Если ямы и балки в лесу, то относительно леса. Плотность аналогична полю или лесу.

Приведенный в статье анализ и значения позволяют прогнозировать основные характеристики снежного покрова, необходимые для оценки подвижности [1, 2] и проходимости транспортно-технологических средств на местности.



Рис. 1. Характерный участок с разными типами ландшафта, с примерами изменения глубины и плотности на поле, поляне, в лесу и оврагах

Как показали исследования из работ [11], а также проведенные авторами работы, важным является влияние направления господствующих ветров и позиционирования склонов естественных неровностей. По этой же причине, по мнению авторов статьи, идет такая градация высот снега в работе [11], в которой приводятся данные о влиянии ландшафта на глубину залегания снежного покрова. Например, на открытой ледяной поверхности озер высота снега в два раза меньше, а на руслах рек и зарослях камыша может быть в три раза больше, чем на открытой поверхности поля.

При движении машин по снегу одними из сложных участков являются переходы от участков леса к полю, так как в них скапливаются большие массивы снега. Хотя, как правило, с противоположной стороны лесополосы наблюдается иная картина. Там можно легко проехать. Это вызвано именно движением ветра и переносом снежных масс. Схема формирования снежного покрова показана на рис. 2.

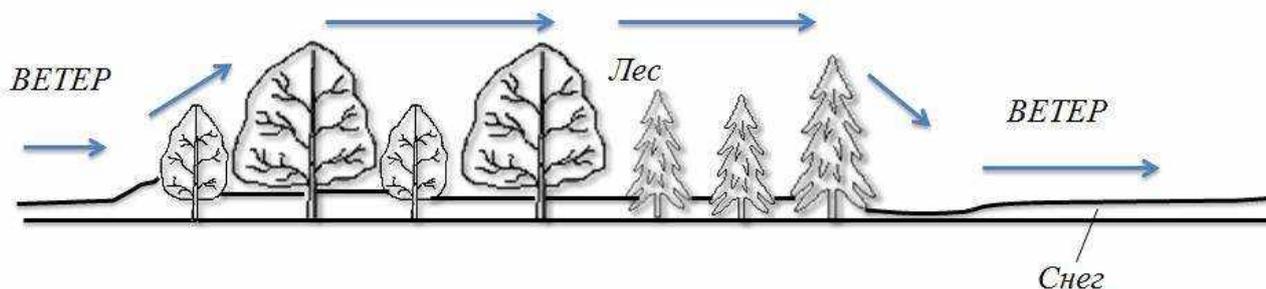


Рис. 2. Принципиальная схема формирования снежного покрова на характерных участках

В зимний период 2013–2014 гг. были проведены замеры глубин снега на характерных участках. Отметим что, для составления полноценной статистики и правильных выводов замеров, проведенных в течение одного сезона, не достаточно. Однако уже на этом этапе можно сделать выводы о правомерности предлагаемой теории.

Исследования показали значительный разброс полученных значений, а также то, что со стороны наноса снега его высота больше чем на открытых участках в 1-3 раза, а на противоположных участках высота снега до двух раз меньше, чем на открытых. Были получены данные, отличные от предлагаемой теории и дополняющие ее. Наблюдается некоторая тенденция зависимости разницы высот снега на характерных участках от средней высоты на открытых участках.

*Исследования проведены при поддержке «Грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.*

#### Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3. С. 145–174.
2. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №4. С. 72–77.
3. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289>.
4. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №1. С. 150–158.
5. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2013. №2. С. 155–160.
6. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности/ В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9696>.
7. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 270–276.
8. **Беляков, В.В.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин/ В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. №1. С. 136–141.

9. **Макаров, В.С.** Анализ влияния местности на параметры снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2014, №8. С. 21–25.
10. **Макаров, В.С.** Снег как полотно пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2014. №4. С. 21–24.
11. **Малюгин, Ю. Ф.** Факторы формирования снежного покрова в районах со сложной орографией (на примере Южного Сихотэ-Алиня): дисс.... канд. географических наук : 11.00.07. – М., 1985. – 168 с.
12. Снег: справочник: [пер. с англ. под ред. В.М. Котлякова] / под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мэйла. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
13. **Кузьмин, П.П.** Формирование снежного покрова и методы определения снеготпасов / П.П. Кузьмин. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 169 с.

*Дата поступления  
в редакцию 09.10.2014*

**A.V. Papunin, V.S. Makarov, D.V. Zezyulin, V.V. Belyakov**

## **ABOUT INFLUENCE OF TOPOGRAPHY ON CHARACTERISTICS OF SNOW COVER AND VEHICLES TRAFFICABILITY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article considers mobility of transport and technological machines in the snow. Mathematical dependences to determine the changes in the depth and density of the snow cover during the winter are given. The values of the empirical coefficients specific to meteorological station «Semenov» of Nizhny Novgorod region are given. The average time for snow occurrence and values of the mean square deviation are determined. The main factors affecting the deviation of the mean values of snow depth and density are determined. The average values and mean square deviations of the coefficients of accounting landscape and vegetation on the example of the fields, forests, meadows and woods in the pits and gullies are given. The average values and mean square deviations of the coefficients of accounting landscape and vegetation on the example of the fields, forests, meadows and woods in the pits and gullies are given. The influence of the prevailing winds on the formation of snow cover is shown. The Investigations were carried out with the support of «The grants of the President of the Russian Federation» № 14.124.13.1869-МК.

*Key words:* snow, density, height, mobility, vehicle, landscape.

## УДК 629.113

**Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, А.В. Федоренко, А.М. Беляев, В.В. Беляков****ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО «КОРСАК»  
ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

Рассматривается вопрос проектирования мобильных комплексов технического обеспечения с целью поддержания надежности и безопасности протяженных линейных объектов. Представлены промежуточные результаты работ, выполняемых коллективом исследователей НГТУ им. Р.Е. Алексеева и направленных на создание семейства высокоэффективных наземных транспортно-технологических средств для обслуживания трасс трубопроводов, линий электропередач и связи; технической диагностики труднодоступных объектов; проведения поисково-спасательных и эвакуационных работ в зонах катастрофических природных явлений. В качестве дальнейшего направления развития проекта выбрано теоретическое и методологическое обоснование принципов и путей создания (модернизации) разработки конструкций вездеходных транспортных средств малого класса, повышающих эффективность технического обеспечения протяженных линейных объектов.

*Ключевые слова:* вездеходные транспортные средства, протяженные линейные объекты, силовой способ поворота, колесные машины, проходимость, эффективность, подвижность.

В настоящее время условия работы трубопроводного транспорта, линий электропередач и связи характеризуются естественным их старением, повышением требований к их экологической безопасности и необходимостью поддержания линейной части магистралей в работоспособном состоянии. Отказы на магистральных трубопроводах, линиях электропередач и связи наносят не только большой экономический ущерб из-за потерь продукта и нарушения непрерывного процесса производства в смежных отраслях, но могут сопровождаться загрязнением окружающей среды, возникновением пожаров и даже человеческими жертвами.

Основным направлением совершенствования системы ликвидации подобных чрезвычайных ситуаций является применение технических средств и транспортных машин для ликвидации аварий и устранения дефектов линейных объектов. Завышенные массогабаритные характеристики используемых в настоящее время транспортных средств не позволяют эффективно и с минимальными затратами решать поставленные задачи. В качестве рациональных средств выполнения заявленных задач следует рассматривать класс шасси меньшей весовой категории и габаритных характеристик.

Вопросы создания высокоэффективных наземных транспортно-технологических средств (ТТС) малого класса представляют в настоящее время значительный интерес в плане научных исследований и практического применения. Области использования ТТС малого класса являются: обслуживание, инспектирование и ремонт линейных сооружений (трассы трубопроводов, линии электропередач и связи); техническая диагностика на любых объектах при массе приборного оснащения до 200 кг; проведение поисково-спасательных и эвакуационных работ в зонах катастрофических природных явлений. Применение легких вездеходов позволяет снизить расходы в эксплуатации и даёт возможность свободно перемещаться по труднопроходимым участкам даже там, где тяжёлые вездеходы не могут проехать.

В парке современных транспортных средств образовался довольно развитый сегмент транспортных средств малого класса (ARGO 6x6 650 HD (Канада); MAX IV-1050T (США); Тигр ХВН 6×6-1 (Китай)). Данные мобильные комплексы, успешно применяемые в настоящее время во многих странах мира, доказали свою уникальность и эксплуатационные качества, особенно ценные в условиях удаленных районов (рис. 1).

Однако в Российской Федерации наблюдается серьезный пробел в данной сфере, т.е.

на рынке практически отсутствуют отечественные мобильные системы, подходящие под решаемую задачу.



Рис. 1. Примеры эксплуатации канадских вездеходов ARGO [1]

Летом 2013 г. коллектив авторов НГТУ им. Р.Е. Алексеева принял участие в разработке транспортного средства «Корсак», предназначенного для обслуживания протяженных труднодоступных линейных объектов. В данной статье изложены некоторые результаты выполненных работ. Организация разработки экспериментального образца осуществлялась с использованием возможностей ООО «ИнТех», которое является малым инновационным предприятием НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Необходимо отметить взаимодействие исполнителей из разных структурных подразделений НГТУ, а именно, кафедры «Автомобили и тракторы», «Строительные и дорожные машины».

В ходе предварительного анализа информационных источников были рассмотрены зарубежные и отечественные аналоги разрабатываемого образца. Для наглядности представлена графическая иллюстрация части сравнительного анализа основных параметров (рис. 2). Как видно, разрабатываемое транспортное средство по своим характеристикам не уступает аналогам. На основе данного анализа были рассчитаны уровень конкурентоспособности и приемлемая цена будущего изделия.

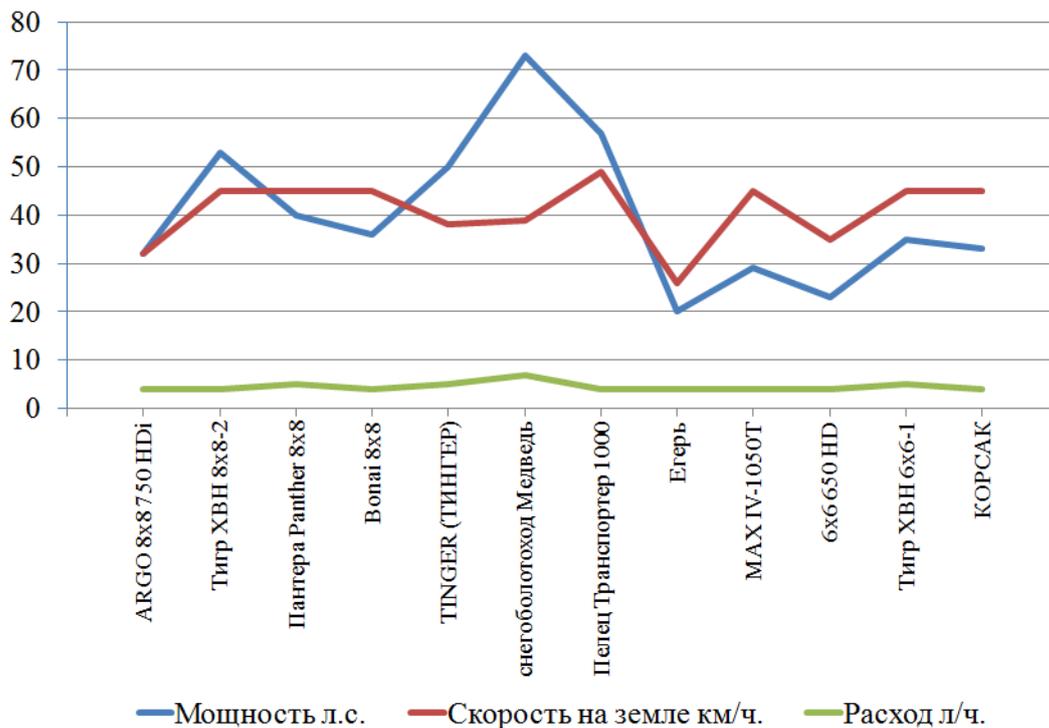


Рис.2. Сравнение основных характеристик аналогов ГТС «Корсак» [2]

В соответствии с принятой методикой проектирования, вначале были проведены ориентировочные расчеты следующих показателей: тягово-скоростных свойств, опорной проходимости, профильной проходимости, водоходных качеств, маневренности и характеристики поворота разрабатываемого транспортного средства малого класса [3-16]. Результаты расчетного прогнозирования эксплуатационных свойств с использованием существующих математических моделей помогли определиться с возможными параметрами машины (размер, вес, форма, конфигурация движителя) и перейти к выбору варианта конструкции. Кинематическая схема транспортного средства «Корсак» представлена на рис. 3.

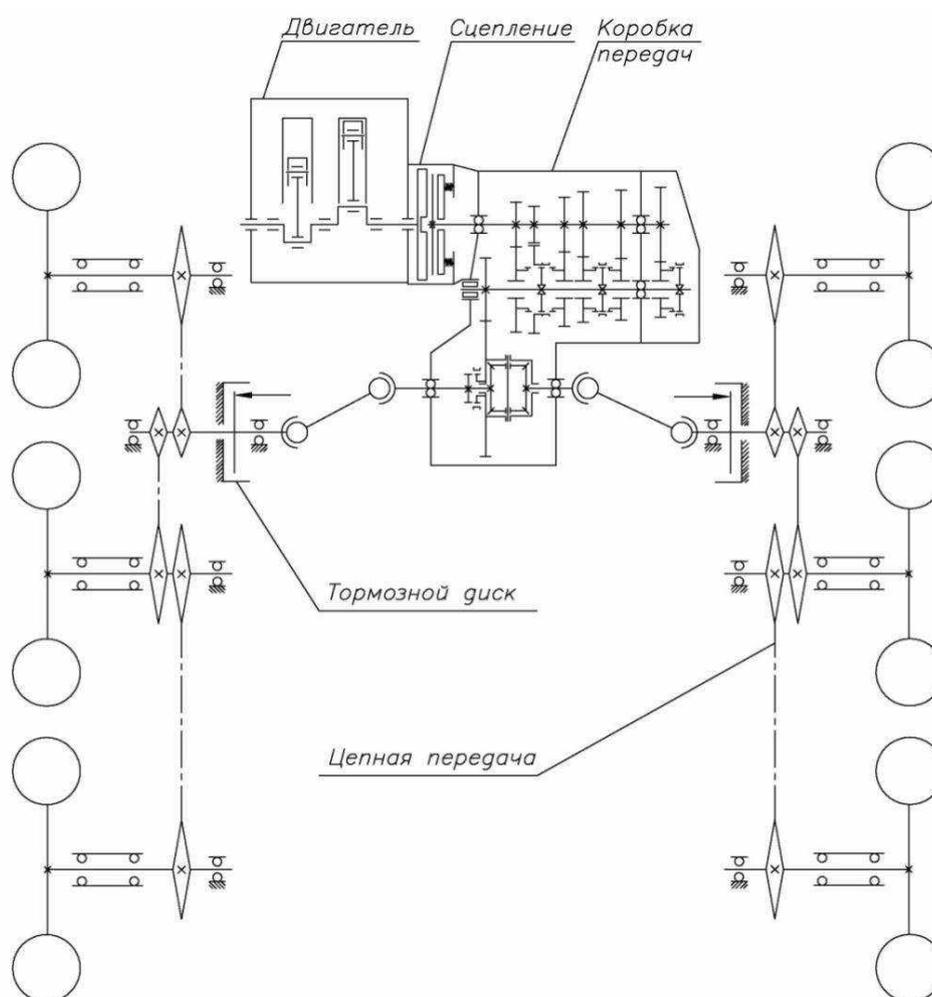


Рис. 3. Кинематическая схема транспортного средства «Корсак»

Транспортное средство «Корсак» имеет ряд преимуществ перед существующими образцами техники. В отличие от аналогов, шасси имеет меньшее давление на грунт и больший (на 40%) дорожный просвет, что значительно увеличивает его проходимость. Следует отметить, что движитель мобильной платформы имеет возможность дополнительной установки съемных гусеничных лент. При необходимости имеется возможность установки водометного движителя. Унифицированные комплектующие, использование проверенных конструкторских решений и технологической базы позволяет отметить значительное снижение стоимости базовой комплектации.

Кроме того, создаваемая техническая продукция характеризуется модульным принципом построения конструкции машины, которая позволит в зависимости от решаемой задачи адаптировать компоновку машины и изменять ее отдельные агрегаты в соответствии с требованиями конечного потребителя.

Общие виды разработанной конструкции шасси представлены на рис. 4.

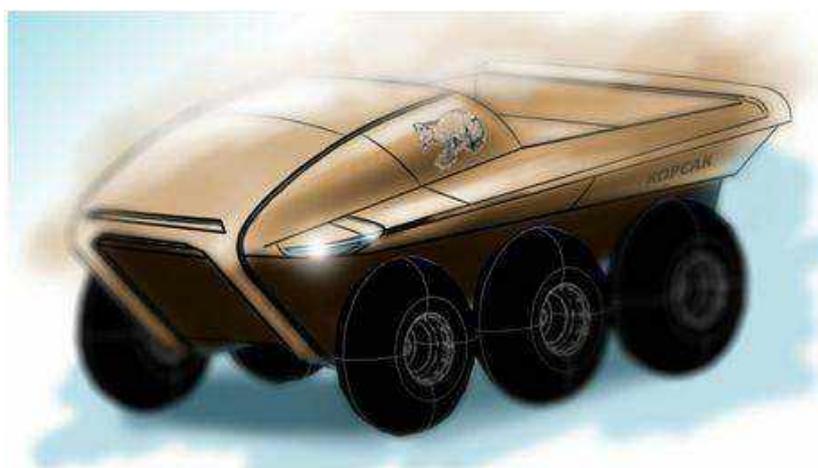
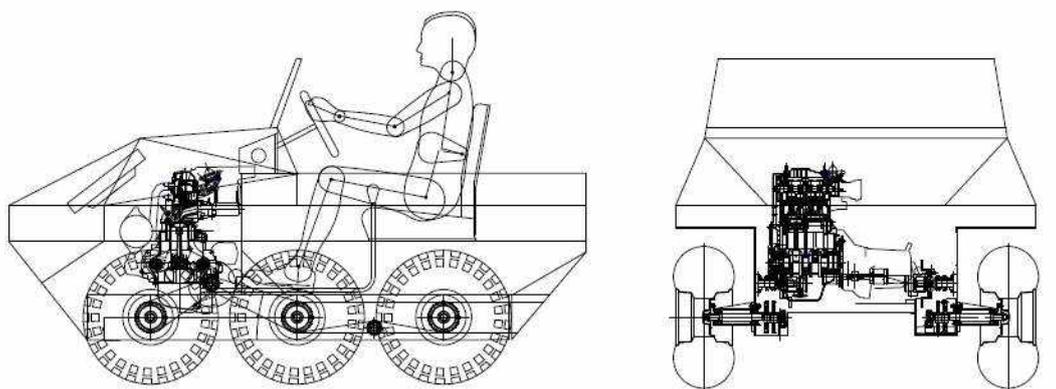


Рис. 4. Общие виды разработанной конструкции шасси транспортного средства «Корсак»

Основные положения работы и результаты исследований по разработке конструкции шасси «Корсак» были представлены:

- на образовательно-промышленном форуме «Инновационное образование - локомотив технологического прорыва России» XI ярмарка «Российским инновациям – россий-

- ский капитал» 10-12 сентября 2013 г., г. Нижний Новгород. В результате МИП ООО «ИнТех» удостоилось 3-го места и серебряной медали.;
- образовательно-промышленном форуме «Инновационное образование - локомотив технологического прорыва России» XII Ярмарка «Российским инновациям – российский капитал» 10-12 сентября 2014 г., г. Нижний Новгород;
  - национальной выставке «ВУЗПРОМЭКСПО – 2013» 17-18 декабря 2013 г., г. Москва, (в рамках представления проектов НГТУ им. Р.Е. Алексеева);
  - национальной выставке-форуме «ВУЗПРОМЭКСПО-2014 Отечественная наука – основа индустриализации» 29-30 сентября 2014 г., г. Москва (в рамках представления проектов НГТУ им. Р.Е. Алексеева);
  - специализированной выставке «Безопасность. Охрана. Спасение / SENTEX – 2014», 7-9 октября 2014 г., г. Н.Новгород (семинар «Разработка робототехнических комплексов для мониторинга протяженных замкнутых объектов коммуникации», НГТУ им. Р.Е. Алексеева).

В качестве основного направления дальнейшего развития проекта следует выделить разработку методики выбора рациональных параметров вездеходных транспортных средств малого класса на основе экспериментально-теоретических исследований. Полученные результаты могут быть использованы для проведения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, направленных на создание серийного производства многофункциональных вездеходных транспортных средств малого класса для организаций, осуществляющих транспортное обеспечение газо- и нефтепромыслов, строительство, ремонт и инспектирование линейных объектов (трассы трубопроводов, линии электропередач и связи); транспортирующих топогеодезические, геологические и буровые отряды по тундре с сохранением целостности почвенного покрова северных биогеоценозов.

Таким образом, по результатам представленного проекта может осуществляться разработка принципиально новых конструкций вездеходных транспортных средств малого класса, обладающей рядом положительных свойств: относительная простота предлагаемых технических решений; сравнительно небольшие финансовые затраты для создания работоспособной технологии; доступность комплектующих разрабатываемой системы; возможность быстрой адаптации системы под изменяющиеся требования.

#### Библиографический список

1. Официальный сайт разработчиков вездеходов ARGO. [Электронный ресурс] <http://www.argoatv.com/>
2. Официальный сайт компании ООО «Вездеходы Тигр». [Электронный ресурс] <http://www.tigeratv.ru/info/compare.php>
3. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментальные исследования поворота многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. №4 С. 175–181.
4. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения. Научно-техническое издание: монография /под общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАМ, 2004. – 961 с.
5. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов [и др.]. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. –191 с.
6. **Аникин, А.А.** Теория передвижения колесных машин по снегу / А.А. Аникин, В.В. Беляков, И.О. Донато. – М.: Изд -во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 240 с.
7. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №3. С. 162–170.
8. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс.. канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
9. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.

10. **Макаров, В.С.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. <http://www.science-education.ru/105-7111> (дата обращения: 05.10.2012).
11. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
12. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
13. **Галкин, А.А.** Математическая модель преодоления разрушаемого рва многоосной колесной машиной / Д.А. Галкин [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 6. С. 40-42.
14. **Макаров, В.С.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5; <http://www.science-education.ru/105-7111> (дата обращения: 05.10.2012).
15. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 1. С. 150-157.
16. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 2. С. 155–160.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**D.V. Zeziulin, V.S. Makarov, A.V. Fedorenko, A.M. Belyaev, V.V. Belyakov**

## **VEHICLE «KORSAK» FOR SERVICING OF LINEAR OBJECTS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article discusses designing of mobile systems of the technical support to maintain the reliability and safety of extended linear objects. The results of work aimed at creating a family of high-performance ground transportation and technology tools to service the routes of pipelines, power lines and communications, technical diagnostics remote objects, search and rescue and evacuation operations in catastrophic natural events areas are presented by the group of researchers from NNSTU n.a. R.E. Alexeev. As the future direction of the project is selected the theoretical and methodological substantiation of the principles and ways of building (modernization) of structures of all-terrain vehicles of small class, that improve the efficiency of the technical support of extended linear objects.

*Key words:* all-terrain vehicles, skid-steering, wheeled vehicles, trafficability, efficiency, mobility.

УДК 629.113

В.С. Макаров, В.Е. Колотилин, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЕСНЫХ МАШИН В ТЕЧЕНИЕ ЗИМЫ  
С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА**

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

Рассматривается эффективность транспортно-технологических машин при движении по снегу. Приведена методика, включающая следующие расчеты: статистических параметров снежного покрова; проходимости; скорости движения и эффективности. Приведены графики зависимостей силы тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги в течение снежного периода для автомобиля ГАЗ-66 при разных значениях вероятностей высот и плотностей снега. Даны графики тягово-скоростных свойств. Показаны зависимости изменения максимальных скоростей движения и транспортной эффективности машины в течение снежного периода.

Исследования проведены при поддержке «Грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.

*Ключевые слова:* подвижность, эффективность, снег, высота, плотность.

Районы Крайнего Севера в Российской Федерации и приравненные к ним местности занимают 11 млн кв. км или почти 2/3 территории страны. Эти районы играют исключительно важную роль в национальной экономике и обороноспособности, обеспечении геополитических и стратегических интересов России. Здесь сосредоточены основные запасы природных ресурсов, добыча и переработка которых является важнейшей составной частью экономики и основой экспортного потенциала государства. Большинство видов профильной продукции Севера безальтернативно с позиции их возможного производства в других районах страны и приобретения по импорту.

Болота, сильное обводнение грунтов затрудняют строительство автомагистралей с твердым покрытием. По этим причинам почти весь (значительный) объем перевозок выполняется в зимнее время по неподготовленной местности или по временным (односезонным) автомобильным дорогам – автозимникам.

Возрастающая потребность в увеличении интенсивности транспортного потока (в ряде регионов до 200 тыс. тонн-нетто в год) ведет к поискам путей снижения эксплуатационных затрат (уменьшению энергозатрат) на передвижение по автозимникам, характеризующимся частыми снежными заносами.

В научно-технической литературе, посвященной анализу передвижения транспортно-технологических машин по снегу, есть один существенный недостаток. Рассматривая возможность движения по снегу, исследователи ограничиваются максимальными преодолеваемыми глубинами снежного покрова. При этом делается вывод, что некая конкретная машина едет по снегу определенной плотности и определенной глубины. Но никто не говорит о том, а нужны ли такие показатели проходимости [1-4].

Зная статистические характеристики снега: плотность и глубину залегания в течение года, а также продолжительность и сроки начала сезона в разных районах рассматриваемой территории, по известным зависимостям [5-9] можно получить параметры, необходимые для оценки подвижности, проходимости и эффективности функционирования колесных машин [10-12].

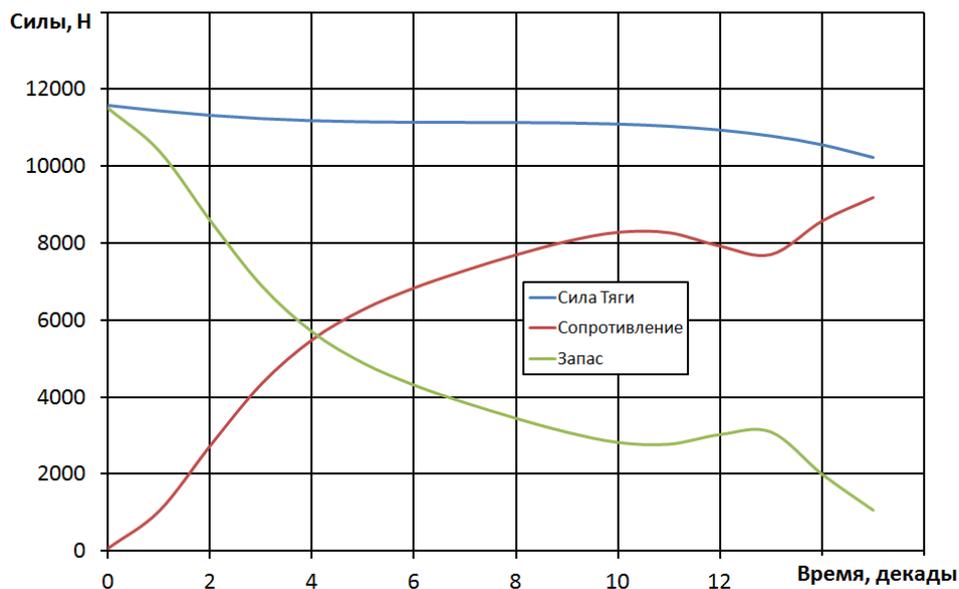
Под эффективностью следует понимать обобщающий показатель, характеризующий отношение результатов деятельности к затратам на их получение. Принимая во внимание, что создание энергоэффективной техники соответствует приоритету развития науки и техники Российской Федерации (Федеральный Закон от 28.09.2010 г. № 244), проводимое исследование является актуальным.

Рациональным критерием оценки эффективности колесных машин (КМ) при движе-

нии по снегу служит показатель, определяемый как отношение транспортной производительности к соответствующей входной мощности системы:

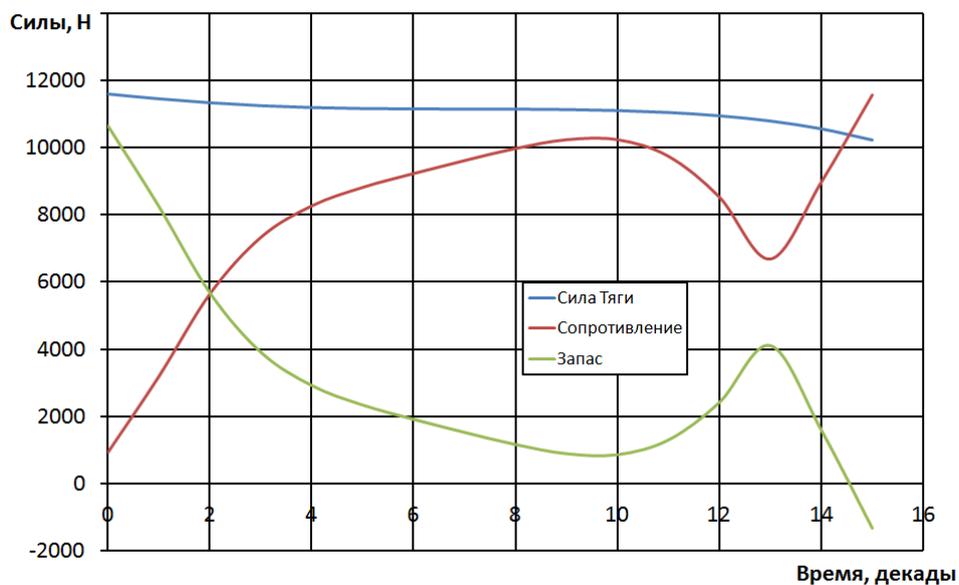
$$\eta_{\text{эфф}} = \frac{(m_{\Gamma}g)V}{P_e},$$

где  $m_{\Gamma}$  – масса перевозимого груза;  $V$  – скорость транспортного средства;  $P_e$  – потребляемая мощность двигателя машины. В предложенной зависимости есть параметр скорость. Для нахождения возможной скорости движения необходимо соотнести возможные значения тяговой силы и сопротивления движения. Рассмотрим как меняется силы тяги, сцепления и запаса силы тяги в течение снежного периода для конкретных примеров. Данные на рис. 1, 2, рис. 4, 5 приводятся для станции метеонаблюдения «Ветлуга» и автомобиля ГАЗ-66.



**Рис. 1. Графики изменения силы тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги (50%-ная вероятность изменения высоты снега и 50%-ная вероятность изменения плотности)**

Для примера приведем данные для 95%-ной вероятности высоты снега (рис. 2).



**Рис. 2. Графики изменения силы тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги (95%-ная вероятность изменения глубины снега и 50%-ная вероятность изменения плотности)**

Таким образом, видим, что происходит сначала интенсивный рост сопротивления, потом сопротивление равномерно растет, пока не начнется период таяния снега. При этом в начальный период наблюдается снижение сопротивления, вызванное увеличением плотности снега. При дальнейшем таянии снега происходит резкое увеличение сопротивления, что соответствует действительности. Как правило, последние две недели заснеженная местность становится непроходимой для большинства автомобилей.

Указанные графики на рис. 1 и рис. 2 показывают, как изменяется проходимость автомобиля. Рассмотрим, как в течение зимнего периода изменяется эффективность машины. Скорость движения определим, произведя тяговый расчет. Пример силового баланса автомобиля ГАЗ-66 показан на рис. 3.

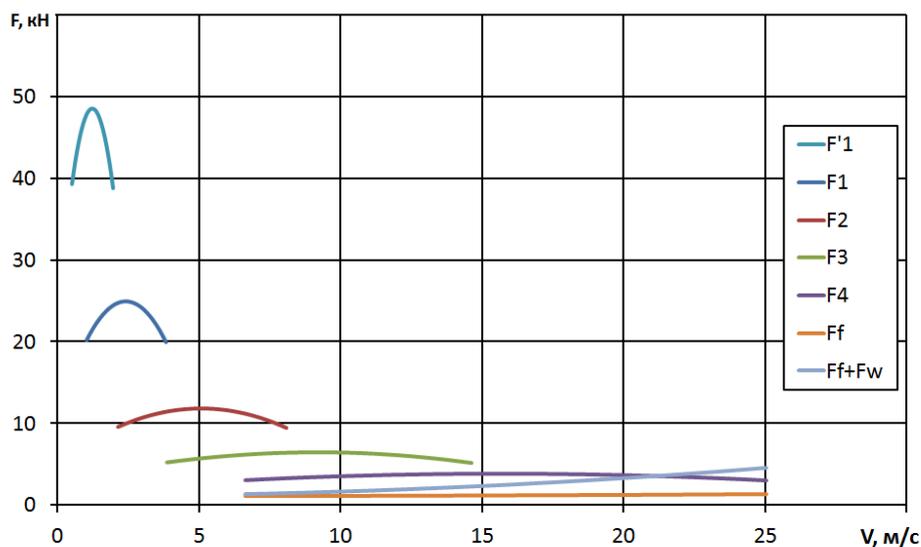


Рис. 3. Графики тягово-скоростных свойств (силового баланс) автомобиля ГАЗ-66

Таким образом, соотнося зависимости на графиках 1-2 с 3, можно получить возможные скорости движения. Сопоставим эти значения для отыскания зависимости изменения скорости движения и эффективности колесной машины в течение зимнего периода.

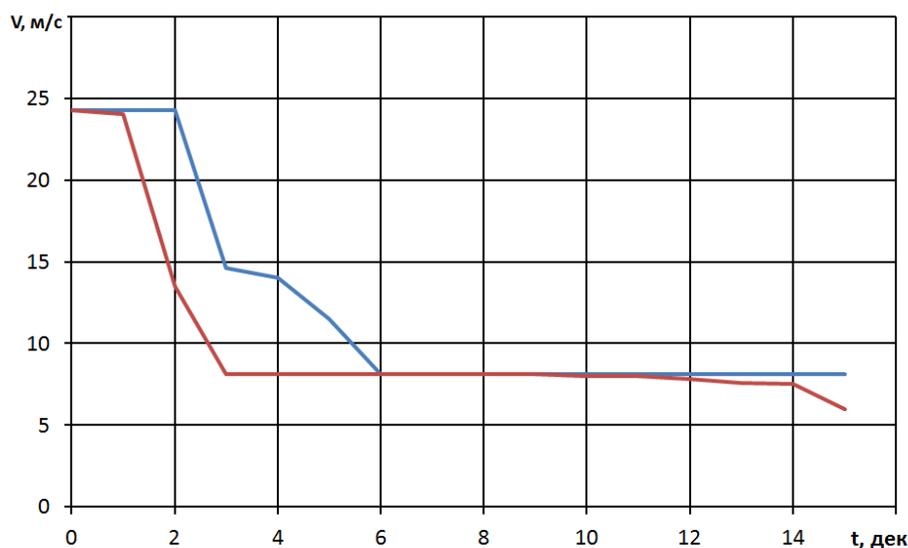


Рис. 4. Графики изменения скоростей движения при 50%-ной и 95%-ной вероятности изменения глубины снега и 50%-ной вероятности изменения плотности

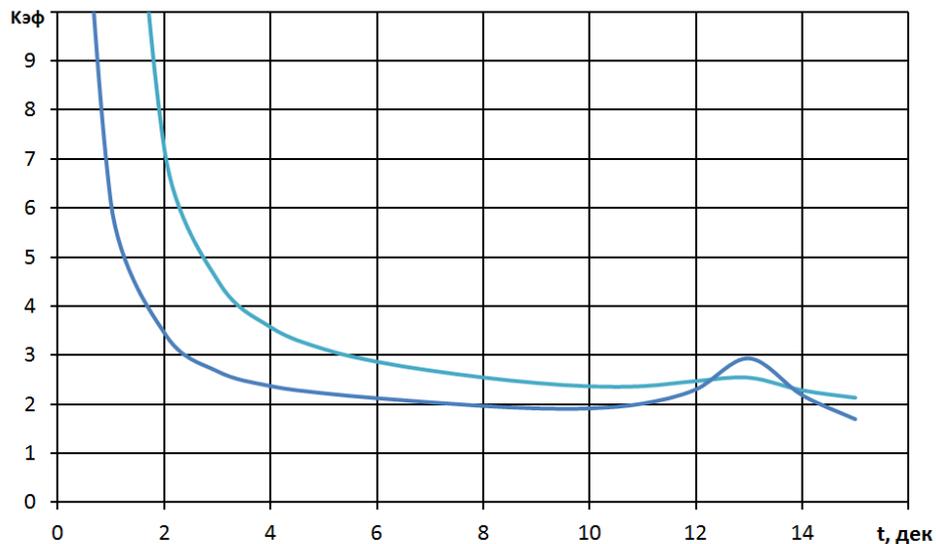


Рис. 5. Графики изменения транспортной эффективности при 50%-ной и 95%-ной вероятности изменения глубины снега и 50% вероятности изменения плотности

Рассмотрев, как меняется проходимость и эффективность КМ в течение зимнего периода, составим блок-схему методики.

Она включает в себя следующие подсистемы:

- 1) расчет статистических параметров снежного покрова – получение, обработку и анализ полученных данных;
- 2) расчет проходимости – определение тяги, сопротивления и запаса силы тяги;
- 3) расчет эффективности включает тяговый расчет.

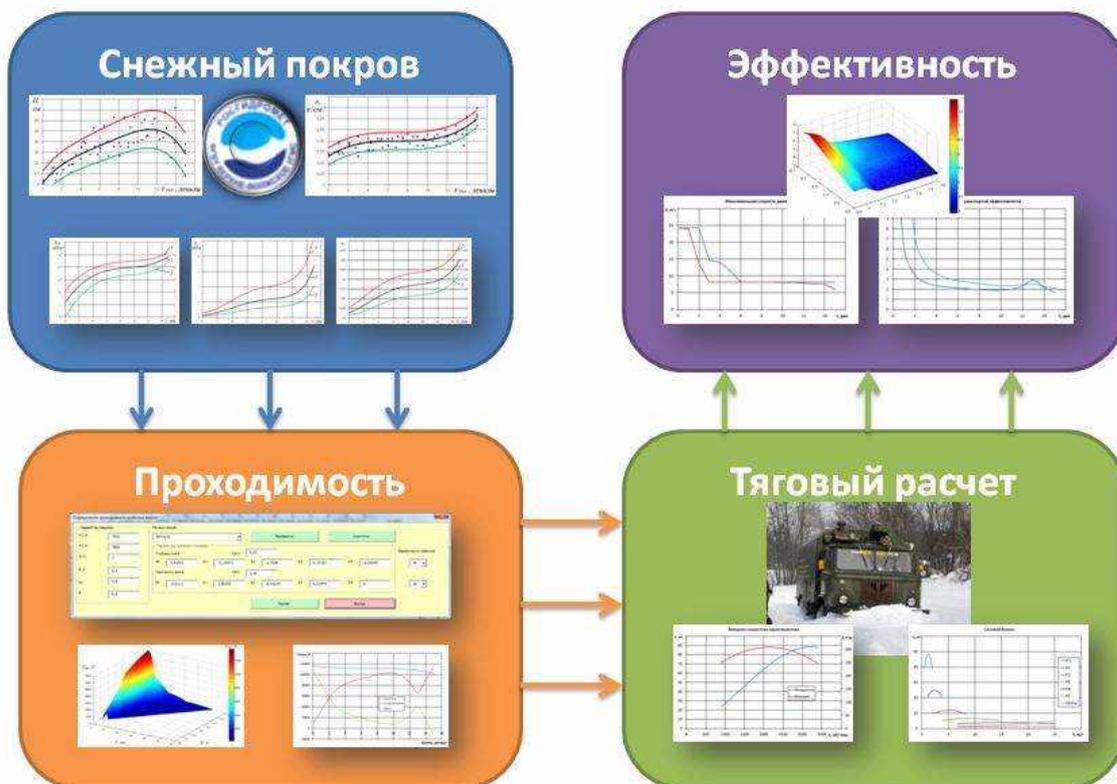


Рис. 6. Блок-схема методики определения эффективности колесных машин в течение зимнего (снежного) периода

*Исследования проведены при поддержке «Грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.*

#### Библиографический список

1. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
2. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5; URL: [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927) (дата обращения: 17.09.2012).
3. **Зезюлин, Д.В.** Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1–2. № 42–43. С. 41–42.
4. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. №1 С. 150–158.
5. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289>.
6. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2013. №2. С. 155–160.
7. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9696>.
8. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 270–276.
9. **Беляков, В.В.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. №1. С. 136–141.
10. **Макаров, В.С.** Анализ влияния местности на параметры снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2014. №8. С. 21–25.
11. **Макаров, В.С.** Снег как полотно пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2014. №4. С. 21–24.
12. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3. С. 145–174.
13. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №4. С. 72–77.
14. **Беляков, В.В.** Подвижность и конкурентоспособность транспортно-технологических машин // Изв. АИН РФ им. акад. А.М. Прохорова. Транспортно-технологические машины и комплексы. 2003. Т. 5. С. 3–25.
15. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения. Научно-техническое издание: монография / под общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛИАМ, 2004. – 961 с.
16. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... док. техн. наук: 05.05.03. – Нижний Новгород, 1999. – 485 с.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.S. Makarov, V.E. Kolotilin, V.V. Belyakov, D.V. Zeziulin**

**ESTIMATION OF EFFICIENCY OF WHEELED VEHICLES DURING THE WINTER,  
TAKING INTO ACCOUNT THE VARIABILITY OF SNOW CHARACTERISTICS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article considers the effectiveness of transport and technological machines when driving on snow. The methodology includes the calculation of statistical parameters of snow cover; calculation of trafficability; calculation of speed and efficiency. Graphs of traction, resistance forces and the stock of traction during snow season for the GAZ-66 at different values of the probability of heights and densities of snow are shown. Graphs traction and speed properties are also given. Dependences of change of maximum velocities and transport efficiency of the machine during the snow season are shown. The Investigations were carried out with the support of «The grants of the President of the Russian Federation» № 14.124.13.1869-МК.

*Key words:* mobility efficiency, snow, height and density.

УДК 629.113

А.В. Редкозубов, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

Рассматривается актуальность исследования лесных дорог России. Обеспечение подвижности транспортных средств по лесным дорогам связано с необходимостью контроля и устранения пожаров, поэтому для правильного выбора параметров машин необходимо знать и уметь моделировать поверхности движения лесных дорог.

Показаны моменты проведения экспериментов по замеру диаметров упавших веток, деревьев и корневищ на лесных дорогах, а также их взаимного расположения. Даны оригинальные математические модели. Приведены графики с экспериментальными и теоретическими значениями.

Приведена блок-схема методики моделирования распределения дискретных неровностей (упавшие деревья, ветки и корневища) и их взаимного расположения. Используя эти данные можно произвести прогнозирование и расчет преодолеваемости территории по условию профильной проходимости; расчету вибронагрузочных режимов при движении по дорогам рассматриваемого типа, а также нагруженности силовых передач в трансмиссии.

*Ключевые слова:* подвижность, закон распределения препятствий, лесные дороги.

На планете около 90 % общего запаса органического вещества сконцентрировано в лесах. Леса России, занимающие около 1/5 лесных земель мира, – это один из основополагающих факторов обеспечения устойчивого развития человечества. Можно сказать, что «планета дышит легкими России» [1]. Общая площадь России, покрытая лесами, занимает 45% обширной её территории. На многие и многие километры простираются непроходимые леса [2].

Лес - стабилизатор подавляющего большинства отрицательных эффектов воздействия человека на природу. Поэтому лесные ресурсы должны оцениваться не только и не столько как источники древесины, но и как фактор сохранения окружающей среды в таком состоянии, при котором эксплуатация ресурсов принесет наибольший эффект народному хозяйству нашего и будущих поколений людей. Столетия леса служили своего рода хозяйственной кладовой, которая представлялась неисчерпаемой. Лес как источник древесины топлива, дичи и других продуктов был и остается одним из важнейших поставщиков сырьевых материалов для человека.

Лесные пожары – основной фактор, определяющий состояние и динамику лесного фонда России, особенно районов Сибири и Дальнего Востока. В Европейской части страны доминирующее влияние на структуру и динамику лесного фонда оказывают рубки главного и промежуточного пользования, проводимые мероприятия по воспроизводству лесных ресурсов [1].

При проведении сплошных, частичных или противопожарных вырубок используется различная автотракторная и лесозаготовительная техника, которая передвигается по неподготовленной поверхности, представляющей собой грунтовое основание, насыщенное многочисленными ветками, упавшими деревьями и корневищами. На лесных дорогах число таких препятствий со временем увеличивается и, как следствие, они представляют полноценные препятствия. Для сплошных рубок и постоянно эксплуатирующихся дорог крупные упавшие деревья и ветки убираются, но для разовых проездов и при санитарной рубке не целесообразно очищение пути. Исключением будут только деревья, представляющие серьезные профильные препятствия.



Рис. 1. Примеры упавших веток, деревьев и корневища на лесных дорогах

Поэтому были проанализированы лесные дороги и проведены замеры размеров деревьев, веток и корневищ и их взаимного расположения. Исследования проводились в Нижегородской области, где леса занимают порядка 50% территории.

В рамках проведенного научного исследования при поддержке РФФИ 12-08-10004-к «Организация и проведение полевых работ по определению характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин», были выполнены работы по замеру и классификации микропрофиля дорожно-грунтового основания на примере Нижегородской области, в частности исследование лесных дорог. В дальнейшем они были дополнены [3-9].

В разное время были замерены участки дорог, характерные для разных лесов: хвойный (в основном сосна), лиственный (в основном осина) и смешанный (сосна, осина, береза). Протяженность каждого из участков не менее 1 км для каждого из типов леса. Экспериментальные данные были обработаны и получены характерные зависимости. Зависимость числа неровностей (веток, деревьев и корневищ) от их диаметра, а также размеров между ними выражается по формуле

$$N(x) = \begin{cases} A \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x}{\lambda}}, & \text{при } x \geq 0 \\ 0, & \text{при } x < 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $A = a \Delta x$ ,  $\lambda, A, a > 0$  – параметры данного распределения;  $\Delta x$  – шаг дискретизации диаметров или размеров между ними.

В представленной зависимости, если рассматривать распределение диаметров неровностей, то  $x = D$  – диаметр неровности,  $\Delta x = \Delta D$  – шаг дискретизации диаметров,  $N(x) = N(D)$  – число неровностей больше  $D$  при заданных  $D$  и  $\Delta D$ ,  $\lambda = \lambda_D$ ,  $A = A_D$ ,  $a = a_D$ .

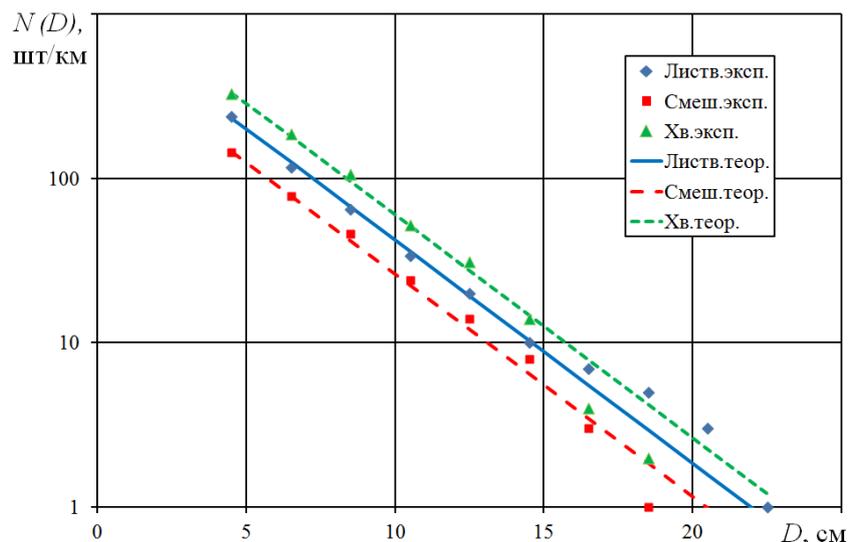
Если же рассматривать распределение размеров между неровностями, то  $x = L$  – расстояние между неровностями,  $\Delta x = \Delta L$  – шаг дискретизации,  $N(x) = N(L)$  – суммарное число расстояний между неровностями больше  $L$  при заданных  $L$  и  $\Delta L$ ,  $\lambda = \lambda_L$ ,  $A = A_L$ ,  $a = a_L$ .

Очевидно, что  $\max[N(D_{\min})] = \max[N(L_{\min})]$ . Поэтому

$$a_L \Delta L \frac{1}{\lambda_L} e^{-\frac{L_{\min}}{\lambda_L}} = a_D \Delta D \frac{1}{\lambda_D} e^{-\frac{D_{\min}}{\lambda_D}}, \quad (2)$$

где  $D_{\min}$ ,  $L_{\min}$  – минимальные принятые значения.

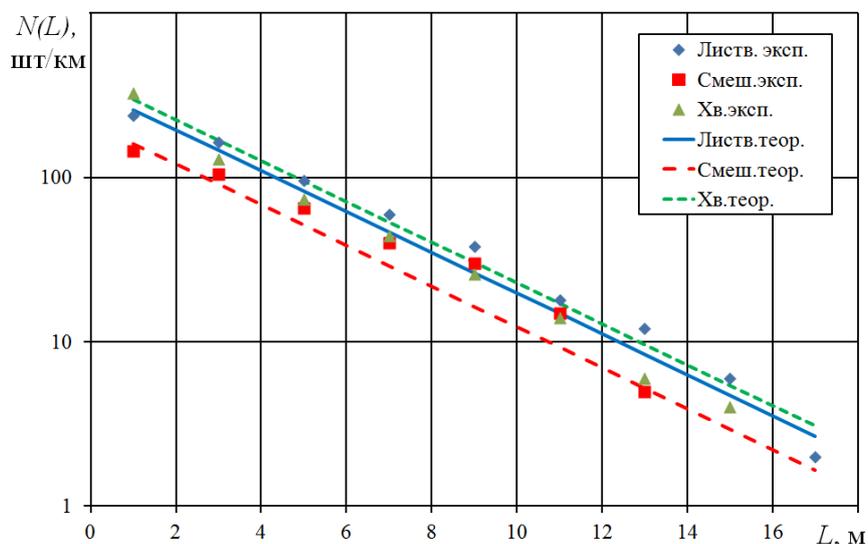
Таким образом, получена взаимосвязь параметров, учитывающих распределение размеров диаметров неровностей и размеров между ними.



**Рис. 2. Графики числа повреждений (упавших деревьев, веток и корневищ) больше  $D$  на 1 км пути в зависимости от их диаметров:**

◆ ■ ▲ – экспериментальные значения, линии – теоретические значения

На рис. 2 были получены следующие параметры, входящие в зависимости (1):  $\Delta D = 2$ ,  $\lambda_D = 3,2$ , для лиственного леса  $a_D = 1530$ , для хвойного  $a_D = 2185$ , для смешанного  $a_D = 955$ .



**Рис. 3. Графики суммарного числа расстояний между повреждениями (упавшими деревьями, ветками и корневищами) больше  $L$  на 1 км пути в зависимости от расстояний между ними:**

◆ ■ ▲ – экспериментальные значения; линии – теоретические

На рис. 3 были получены следующие параметры, входящие в зависимости (1):  $\Delta L = 2$ ,  $\lambda_L = 3,2$ , для лиственного леса –  $a_L = 600$ , для хвойного  $a_L = 690$ , для смешанного  $a_L = 375$ .

На рис. 2 и рис. 3 показаны данные, характерные для лесных дорог в разном состоянии запущенности. Дорога в смешанном лесу не эксплуатировалась порядка 1,5-2 лет, в хвойном и лиственном лесу порядка 4-5 лет. Поэтому можно сделать вывод, что число упавших деревьев и веток на лесных дорогах будет определяться временем запущенности (сколько времени их интенсивно не эксплуатировали).

Формулы (1) и (2) позволяют, не проводя сложные замеры на исследуемом участке лесных дорог, спрогнозировать характер распределения упавших деревьев, веток и корневищ деревьев, достаточно только знать их число на мерном участке пути. В соответствии с изложенным, можно предложить следующую блок-схему методики моделирования характеристик микропрофиля лесных дорог, учитывающую упавшие деревья, ветки и корневища деревьев (рис. 4).

Таким образом, зная всего один параметр  $N$  - число упавших деревьев, веток и корневищ на километр пути, можно получить распределение числа в зависимости от диаметра и взаимного расстояния.

Как показали исследования, то какой-либо четкой зависимости между диаметрами и взаимным расположением получить не удалось. Поэтому целесообразно задавать эти параметры случайным образом.

На рис. 5 приведена блок-схема формирования массива из зависимостей (1).



Рис. 4. Блок-схема методики моделирования дискретных неровностей (упавшие деревья, ветки и корневища) лесных дорог

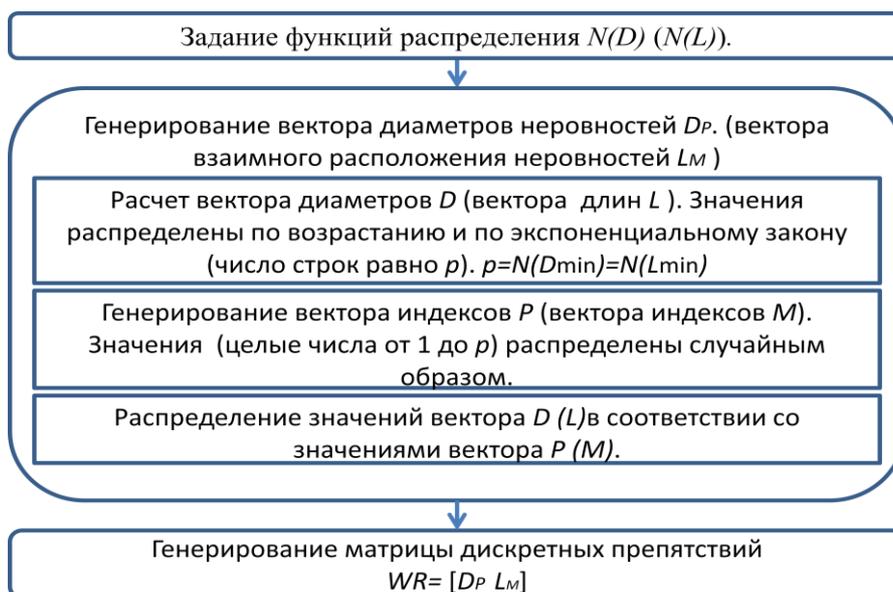


Рис. 5. Блок-схема методики формирования массива, состоящего из диаметров неровностей и их взаимного расположения

Таким образом, на выходе имеем матрицу значений  $WR = [D_P L_M]$  размерности  $2 \times N$ . В первом столбце размер неровности, во втором расстояние до следующей неровности.

Используя зависимости (1) и (2) и методики, приведенные на рис. 4 и 5 можно смоделировать профиль лесной дороги, насыщенной дискретными препятствиями. Эти данные необходимы: для прогнозирования и расчета преодолёваемости территории по условию профильной проходимости; расчета вибронгрузочных режимов при движении по дорогам рассматриваемого типа, а также нагруженности силовых передач в трансмиссии.

#### Библиографический список

1. **Воробьев, Ю.Л.** Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
2. Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. – М.: ПАИМС, 1996. –144 с.
3. **Беляков, В.В.** Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. №1. С. 143–151.
4. **Вахидов, У.Ш.** Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа/ У.Ш. Вахидов, В.В. Беляков, В.С. Макаров // Изв. вузов. Машиностроение. 2011. №7. С. 24–26.
5. **Вахидов, У.Ш.** Математическое описание дорог типа «stone-road» / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3; URL: [www.science-education.ru/103-6376](http://www.science-education.ru/103-6376) (дата обращения: 05.06.2012).
6. **Вахидов, У.Ш.** Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Интеллектуальные системы в производстве, 2011. №1. С. 82–87.
7. **Гончаров, К.О.** Проведение замеров микропрофиля поверхности движения типа ровное поле / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42–43. С. 29–30.
8. **Макаров, В.С.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин/ В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. <http://www.science-education.ru/105-7111> (дата обращения: 05.10.2012).

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**A.V. Redkozubov, V.S. Makarov, D.V. Zeziulin, V.V. Belyakov**

#### MATHEMATICAL MODEL OF SURFACE OF MOVEMENT OF FOREST ROADS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article discusses the relevance of the study of forest roads in Russia. It is shown that the Russian forests occupy about one fifth of forest lands of the world, and 45% of the country. Ensuring the mobility of vehicles on forest roads due to the need to control and eliminate the fire. Therefore, the correct choice of vehicle parameters needs to know and be able to simulate the movement of forest roads. Moments of the experiments on the measurement of the diameter of fallen branches, and roots of trees on forest roads and their relative position are shown. Original mathematical model was developed. The graphs of the experimental and theoretical values were also shown. Block diagrams of the modeling method of distribution of discrete roughness (fallen trees, branches and roots) and their relative positioning of forest roads are presented. Using this data the prediction and calculation of territory overcoming and vibration loading can be made.

*Key words:* mobility, law of obstacles distribution, forest roads.

УДК 629.113

В.В. Беляков, А.А. Куркин, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров

## ШАССИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается вопрос разработки комплекса научно-технических решений в области создания шасси автономных мобильных робототехнических комплексов (АМРК) для мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды с целью обеспечения надежности и безопасности гидротехнических сооружений в прибрежной зоне. Представлены ключевые технические решения, предназначенные для создания шасси АМРК с возможностью установки разных типов сменных движителей (колесного, гусеничного, роторно-винтового) в зависимости от условий эксплуатации. Выявлены основные подходы к конструированию и расчету шасси робототехнического комплекса. Дана информация о планируемой технологии «беспилотного» вождения.

*Ключевые слова:* вездеходные транспортные средства, подвижность, морские природные катастрофы, волны цунами, волны-убийцы, штормовые нагоны, мониторинг, прогнозирование.

Исследование волновых процессов в прибрежной зоне океана необходимо для решения важных геофизических задач прогноза морских природных катастроф (в частности, цунами и так называемых волн-убийц), оценки перестройки прибрежного и донного рельефа, объяснения структуры и изменчивости вдольбереговых течений, выбора оптимальных морских путей, расчета динамики загрязняющих веществ.

Важной задачей при прогнозе морских природных катастроф является определение оптимальных условий мониторинга прибрежных зон, особенно для пунктов, слабо обеспеченных данными наблюдений.

Стандартные подходы гидродинамического измерения связаны либо с трудоемким сбором данных, обычно с ограниченным охватом, или методами дистанционного зондирования, которые характеризуются низким разрешением и увеличением расходов.

Но на практике невозможно учесть все факторы, особенно если для исследуемых территорий отсутствуют статистические данные, поэтому для более точного прогнозирования необходим мониторинг этих прибрежных зон, который может быть осуществлен с использованием мобильных средств, оснащенных сканирующим оборудованием и комплексом датчиков. Такие системы идеально подходят для долгосрочного развертывания, так как дают возможность непрерывного получения данных, охватывая несколько сотен метров от береговой линии, позволяют изучать прибрежные территории в различных временных и пространственных масштабах.

Без точных данных об уровне приливов службы спасения не способны осуществлять планирование путей для эвакуации населения прибрежных районов в случае стихийных бедствий. Данная ситуация является примером жизнеспособности технологии непрерывного берегового мониторинга в районах чрезвычайной уязвимости не только для экологических проблем, но и для безопасности и благополучия людей.

Кроме того, предлагаемые к разработке мобильные системы мониторинга являются необходимым звеном при прогнозировании возможностей разработки ресурсов российского шельфа, значительная часть которых расположена в труднодоступной зоне Арктического шельфа.

Наиболее известным примером робототехнических комплексов для мониторинга обстановки в прибрежной зоне является автономный робот RTS-Hanna, общий вид которого представлен на рис.1 [1]. Но используемое колесное шасси не применимо для широких условий эксплуатации. Конструкция мобильных систем должна определяться исходя из конфигу-

рации полосы суши. При проектировании платформ данного класса следует учитывать рельеф побережья, расчлененность заливами, бухтами, виды грунтовых оснований (песчаные, песчано-каменистые, галечно-гравийные, илистые и скалистые), состояние мерзлости слагающих берега пород и их пылеватость, массивность ледяных включений, общие ледовые явления и динамику льдистых берегов (например, для передвижения в труднодоступной зоне Арктического шельфа), определяющих режимы движения мобильной платформы.



**Рис. 1. Общий вид автономного робототехнического комплекса RTS-Hanna [1]**

Другими словами, подход к созданию автономных мобильных систем мониторинга прибрежной зоны, базирующийся на дооснащении существующих транспортно-технологических комплексов и серийно выпускаемых наземных транспортных средств модульным навесным оборудованием, значительно уступает разработке специальных многоцелевых базовых шасси, на которых размещается тот или иной вариант системы управления, информационной системы и спецоснащения.

Очевидная мера для решения этого вопроса – разработка и создание мобильного робототехнического комплекса с улучшенными эксплуатационными свойствами. При этом наблюдается серьезный пробел в сфере транспортной робототехники, т.е. на рынке отсутствуют отечественные мобильные системы, подходящие под решаемую задачу. Это может быть обеспечено разработкой модульной конструкции шасси с возможностью переоснащения различными типами движителей (колесного, гусеничного, роторно-винтового). Модульный принцип построения конструкции позволит в зависимости от решаемой задачи адаптировать компоновку машины и изменять ее отдельные агрегаты в соответствии с требованиями конечного потребителя.

Также следует отметить, что предлагаемые к разработке мобильные платформы должны в полной мере удовлетворять требованиям, предъявляемым к наземным вездеходным машинам, и, кроме того, обладать такими качествами, как плавучесть, остойчивость,

непотопляемость, ходкость и способность к самостоятельному входу и выходу из воды на берег.

К настоящему моменту коллективом исследователей выполнена систематизация сведений по конструкции мобильных платформ с различными типами движителей (колесным, гусеничным, роторно-винтовым). Выявлены основные подходы к конструированию и расчету шасси робототехнического комплекса [3–7].

В результате анализа было установлено, что для машин малого класса с колесным движителем целесообразны колесные формулы 6x6 или 8x8 (выбор окончательной компоновки определяется габаритными размерами оборудования, грузоподъемностью, спецификой выполняемых технологических операций).

Зарубежные аналоги транспортных средств с колесным движителем используют в основном оригинальные агрегаты, что связано с их серийным выпуском. Отечественные аналоги в основном оснащены агрегатами серийных автомобилей (единичное производство).

Значительным недостатком конструкции отечественных вездеходных средств является использование звенчатых цепей для распределения мощности по бортам машины. В связи с этим наблюдается быстрый износ и частые поломки привода колесного движителя. Данное обстоятельство накладывает значительные ограничения по использованию цепных передач для привода движителей разрабатываемого АМРК. Поэтому было принято решение о применении привода колесного движителя, состоящего из редукторов и карданных передач (рис. 2).

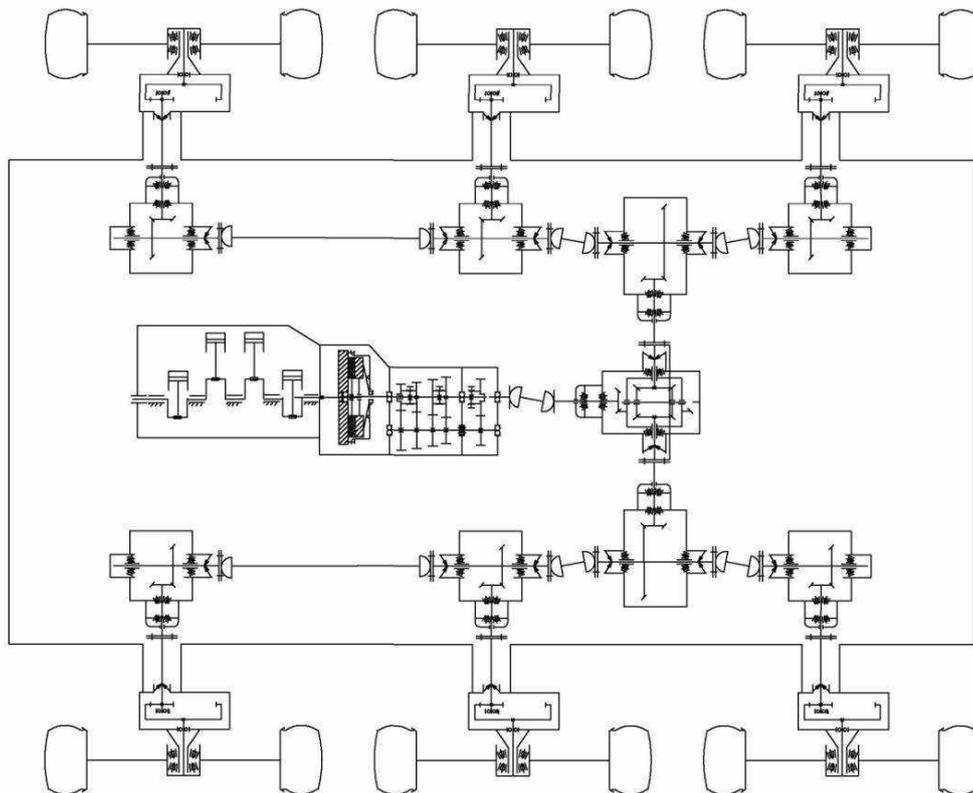


Рис. 2. Кинематическая схема шасси автономного робототехнического комплекса мониторинга прибрежной зоны

Данный подход обеспечивает повышенную надежность конструкции и возможность реализации больших передаточных чисел трансмиссии. Кроме того, это позволяет разработать модульную конструкцию шасси АМРК с возможностью переоснащения заявленными типами движителей в зависимости от условий движения. В качестве гусеничного движителя следует использовать съемные гусеничные модули. Поэтому окончательный выбор был сде-

лан в пользу компоновочной схемы с колесной формулой бхб, позволяющей осуществлять установку либо трех колес по борту АМРК, либо двух гусеничных модулей (на крайние мосты). На основании рассмотренных к настоящему моменту вариантов компоновки АМРК выбрана наиболее приемлемая схема с использованием узлов и агрегатов серийных автомобилей УАЗ, ГАЗ, ВАЗ.

Для управления движением шасси необходимо воздействовать на органы управления работой двигателя, трансмиссии, а также осуществлять подтормаживание двигателей отдельных бортов для обеспечения поворота. Для обеспечения «беспилотного» вождения АМРК коллектив исполнителей проекта планирует адаптировать технологию интеллектуальных самоуправляемых «беспилотных» грузопассажирских АТС гражданского назначения, разработанную ФГУП «НАМИ». Облик макетного образца «беспилотного» АТС на базе автомобиля «Лада-Калина» представлен на рис. 3 [2].



Рис. 3. Макетный образец беспилотного автомобиля на базе автомобиля «Лада-Калина» [2]

В данной статье отражены начальные результаты работы, выполняемой специалистами Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева по проекту «Автономный мобильный робототехнический комплекс мониторинга прибрежной зоны и прогнозирования морских природных катастроф» в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 -2020 годы».

#### Библиографический список

1. **Wübbold, F.** Application of an autonomous robot for the collection of nearshore topographic and hydrodynamic measurements / F. Wübbold [et al.] // Coastal Engineering Proceedings. 2012. № 1(33). management.53. doi:10.9753/icce.v33.management.53
2. **Нагайцев, М. В.** «Беспилотные» автомобили — этапы разработки и испытаний / М. В. Нагайцев, А. М. Сайкин, Д. В. Ендачев // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 5 (76). С. 15–23.
3. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-

- технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 270–276.
4. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... док. техн. наук: 05.05.03. – Нижний Новгород, 1999. – 485 с.
  5. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения: монография / под. общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛИАМ, 2004. – 961 с.
  6. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
  7. **Makarov, V.** Prediction of all-terrain vehicles mobility in snowscape scenes / V. Makarov, D. Zeziulin, V. Belyakov // The 18th International ISTVS Conference. – Seoul, Korea. 2014.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**V.V. Belyakov, A.A. Kurkin, D.V. Zeziulin, V.S. Makarov**

## **CHASSIS OF ROBOTIC SYSTEMS FOR COASTAL MONITORING**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article discusses the development of complex scientific and technical solutions in the field of chassis of the autonomous mobile robot systems for monitoring and predicting the state of the environment in order to ensure the reliability and safety of hydraulic structures in the coastal zone. The key technical solutions designed to create a chassis of the autonomous mobile robot systems with the possibility to have the different types of removable movers (wheeled, tracked, rotary-screw), depending on the operating conditions are considered in the paper. The basic approaches to the design and calculation of the robotic system chassis are identified. The information on the proposed technology of unmanned driving is given.

*Key words:* all-terrain vehicles, mobility, marine natural catastrophes, tsunami waves, freak waves, storm surges, monitoring, prediction.

## **Секция 6. ОРГАНИЗАЦИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ. КОНТРОЛЬ ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

---

---

УДК 656.065

**А.В. Черненко**

### **ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО КОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ С ТАХОГРАФАМИ С ЦЕЛЬЮ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ И ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

ООО «Объединенный инженерный центр», г. Нижний Новгород

Представлены обоснование эффективности использования тахографа на коммерческом автотранспорте, описаны возможные испытания устройства, указаны особенности установки тахографов на АЗ «ГАЗ», приведены основные затраты, которые несет потребитель при выполнении законодательных требований.

*Ключевые слова:* тахограф, коммерческие автомобили, безопасность дорожного движения, выполнение законодательных требований.

В современном мире одной из распространенных причин дорожно-транспортных происшествий, случившихся по вине водителя, работающего в сфере грузопассажирских перевозок, является несоблюдение режима труда и отдыха, а также скоростных ограничений на дороге при выполнении своих трудовых обязанностей. На сегодняшний момент устройством для контроля режима труда и отдыха водителя является тахограф.

Необходимость применения тахографа возникла в период активного развития транспортных перевозок в Европе, когда владельцам автопарков потребовалось отслеживать свои транспортные средства и наемных работников. Первое упоминание о тахографе появилось в 1911 г. в Великобритании, когда английская компания Markt & Co. London Ltd выпустила на рынок модель «Самописец Jones», который был способен регистрировать движение и пройденный путь за одни сутки. В конце 30 начале 40-х годов приборы, отслеживающие движения, были способны контролировать расход топлива во время движения транспортного средства. Сегодня во всем мире применяются более современные цифровые тахографы. Данный тип устройств создает невозможным любой процесс манипуляции с тахографов, исключает возможность механических вмешательств и ввод неверных данных [5].

Согласно статистическим данным, каждое пятое ДТП (при рассмотрении всех категорий транспортных средств) происходит по вине водителей, заснувших или испытывающих сонливость за рулем. Процент данных ДТП в разных странах находится примерно на одинаковом уровне (рис. 1) [1].

В Германии максимальное количество ДТП, происходящее по причине сонливости за рулем, было в 1970 г., тогда засыпание за рулем привело к гибели 21322 ч. Опрос водителей в Швеции показал, что основные причины засыпания водителей в данной стране: недостаточность или отсутствие сна; вождение в период между 2–6 ч ночи и 14–16 ч дня; нарушения сна. При этом наибольшая сонливость наблюдается у молодых автомобилистов.

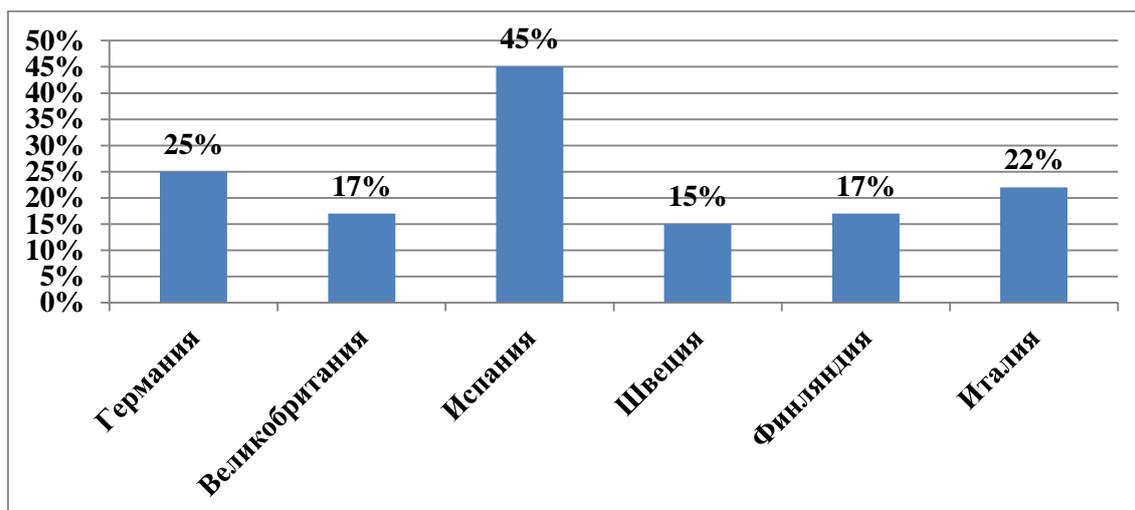


Рис. 1. Процент ДТП, совершенных по причине сонливости и снижения внимательности водителей

В Европе тахографы на коммерческий транспорт стали устанавливать еще в 60-х годах в Германии. Водители, зная, что их контролирует техника, переставали нарушать скоростной и рабочий режимы, что позволило снизить аварийность в среднем на 20-30% (рис. 2) [1].

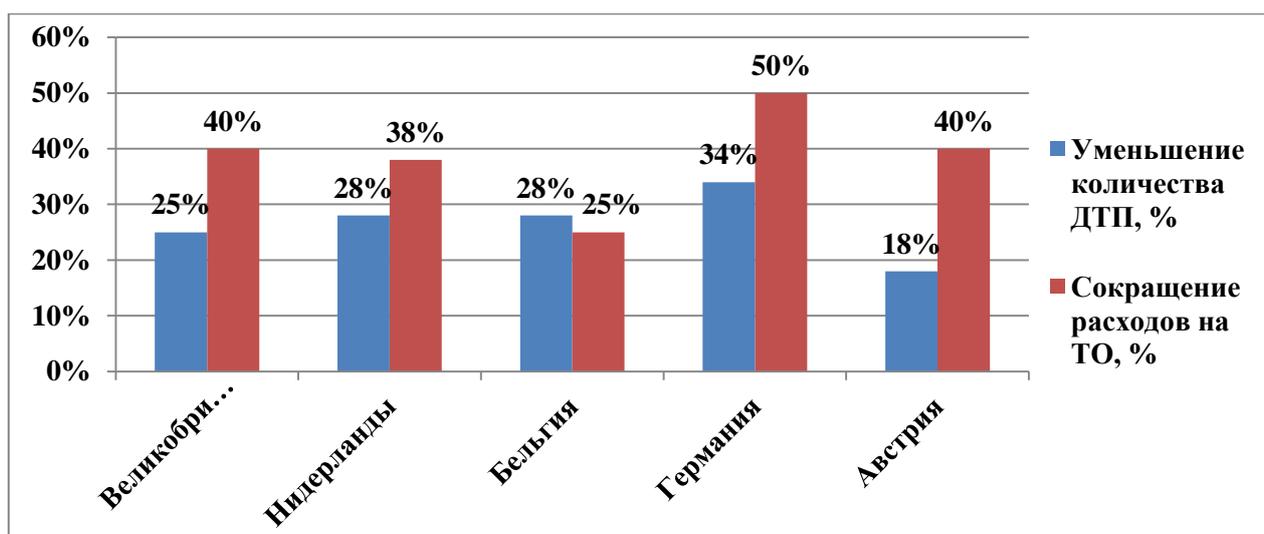


Рис. 2. Результаты эффективности использования тахографов в Европе

Согласно исследованиям ученых из Мичиганского университета, в 2013 г. в России в дорожно-транспортных происшествиях на 100 тыс. населения страны погибло 19 чел. Данный показатель занимает среднюю позицию в рейтинге из 193 стран, обогнав по смертности ведущие государства Европы, но уступив странам Африки. Ученые связывают тенденции данного рейтинга напрямую с экономическим развитием страны.

Таким образом, вопрос о повышении безопасности дорожного движения для России является актуальным. Ориентируясь на положительный опыт европейских стран в части установки тахографов, согласно Приказу Минтранса №36 от 13.02.2013 г. регламентированы следующие сроки обязательной установки тахографов на коммерческие автомобили (в том числе вновь вводимых в обращение) [2, 3]:

1. Транспортные средства, предназначенные для перевозки опасных грузов максимальной массой свыше 3,5 т – 1 апреля 2014 г.

2. Автобусы, имеющие помимо места водителя более восьми мест для сидения пассажиров (категория М2 и М3) осуществляющие междугородные перевозки – 1 июля 2014 г.

3. Грузовые автомобили максимальной массой более 15 тонн, предназначенные для междугородней перевозки грузов – 1 июля 2014 года.

4. Грузовые автомобили максимальной массой более 12 т – 1 сентября 2014 г.

5. Грузовые автомобили максимальной массой от 3,5 т, но не более 12 т – 1 апреля 2015 г.

Данным Приказом также обозначается тип тахографов обязательных к установке – это тахографы международного образца (ЕСТР) или цифровые тахографы с блоком средства криптографической защиты информации (СКЗИ).

Информация в цифровой тахограф поступает с датчика скорости, который установлен на коробке переключения передач. После поворота ключа зажигания, тахограф начинает работать и при начале движения транспортного средства фиксирует скорость, пробег автомобиля и время в пути. Для регистрации данных о режиме труда и отдыха водителя необходимо вставить в картоприемник карту водителя. Получение информации происходит путем распечатки отчетов с самого тахографа или выгрузки данных с карточки водителя.



Рис. 3. Принцип работы тахографа

Тахограф является сложным цифровым устройством, которое должно функционировать:

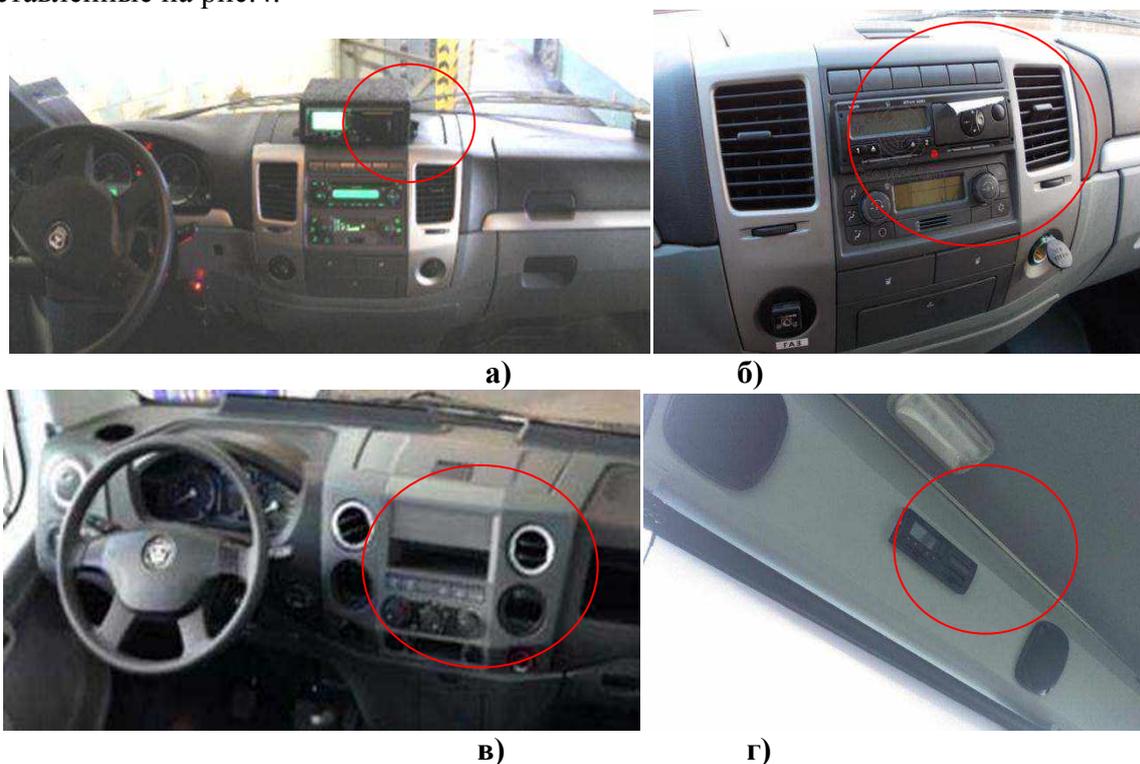
- в рабочем напряжении питания от 10,8 до 15В и от 21,6 до 30В;
- при воздействии повышенного напряжения питания 18 и 36В в течение 60 мин при температуре +50°C;
- при напряжении питания обратной полярности 12 и 24В в течение 10 мин;
- в интервале рабочих температур от -20 до +70°C с сохранением регистрирующих функций;
- при кондуктивных помехах в бортовой сети автомобиля.

Также уже установленный на автомобиль тахограф должен исправно работать при движении по городским, загородным дорогам, в лесной зоне, при включении/выключении и работе различных компонентов электрооборудования. При эксплуатации необходимо обратить внимание на разницу в показаниях тахографа и комбинации приборов в части спидометра и одометра.

В общей сложности требуется провести около 15 стендовых испытаний устройства и около 7 дорожных (с тахографом в составе автомобиля).

С 1 апреля 2014 г. «Группа ГАЗ» осуществляет выпуск шасси ГАЗ-3309 под бензовоз с установленным тахографом производства ОАО «КЗТА», а с 1 июля установка тахографов проводится на автобусы ГАЗель «Бизнес» и каркасный автобус Next (для междугородних перевозок).

При установки тахографа количество электроприборов в автомобиле увеличивается, поэтому возникает вопрос о возможности одновременного сохранения потребительских свойств (например, сохранение магнитолы при установки тахографа). При определении места установки тахографа на автомобилях производства АЗ «ГАЗ» рассматривались варианты, представленные на рис.4.



**Рис. 4. Места возможных размещений тахографов:**

*a* – над зоной ниши под документы ГАЗели «Бизнес»; *б* – месте установки магнитолы ГАЗели «Бизнес»;  
*в* – в месте установки магнитолы каркасного автобуса Next; *г* – в поперечном усилителе  
крыши каркасного автобуса Next

На сегодняшний момент утверждена установка тахографа в зоне размещения магнитолы как на автобусе ГАЗель «Бизнес», так и на каркасном автобусе Next. Стоит отметить, что в линейке новых автомобилей место под установку тахографа предусмотрено в потолочной консоли, сохраняя при этом возможность установки магнитолы.

Зарубежные аналоги в новых моделях 2014 г. выпуска предусматривают варианты расположения тахографа в поперечном усилителе крыши (рис. 5).



**Рис. 5. Место размещения тахографа Ford Transit**

Процесс установки и активации тахографов на автобусы проходит следующий поэтапный процесс:

1. В процессе сборки автомобиля устанавливается антенна под стекло и металлическую часть панели приборов. В последнюю очередь устанавливается тахограф в место под 1 Din.

2. Для включения и проверки исправности тахографа необходимо обеспечение считывания информации с датчика скорости автомобиля (скорость, пробег автомобиля). Для обеспечения работы датчика и проверки тахографа на исправность требуется провести обкатку автомобиля ориентировочно в 100-200 м (автомобиль должен покинуть сборочную линию).

3. После приобретения автомобиля с тахографом потребителю необходимо активировать и опломбировать устройство в специализированном сервисном центре (в РФ около 200).

Процесс активации тахографа является трудоемким и требует специальной подготовки мастеров. Основные этапы активации тахографа:

1. Визуальная проверка. Проверка наличия и целостности табличек с информацией: изготовителя устройства, типа устройства, его серийного номера даты производства. Также оценивается целостность заводских пломб на устройстве, которые препятствуют вскрытию тахографа, целостность корпуса датчика движения и контрольного устройства, соединительных кабелей и разъемов.

2. Функциональная проверка и активация. Определяется: правильность функционирования и переноса данных из памяти тахографа на контрольные устройства; погрешности измерения скорости, времени и пройденного пути; правильность переключения режимов труда и отдыха водителя; работоспособность кнопок управления, печатающего устройства, экрана; определяется и записывается в память тахографа измеренного характеристического коэффициента транспортного средства –  $w$  (рассчитывается по результатам замера длины окружности ведущих колес автомобиля), марки машины, ограничения скоростного режима движения, регистрационный и идентификационный номера транспортного средства [4].

Затраты предпринимателя по оснащению транспортного средства тахографом будет иметь следующую структуру:

- единовременные затраты:
  - приобретение средства контроля за соблюдением режимов движения, труда и отдыха (либо уже включены в стоимость автомобиля) – около 35 000 руб.;
  - установка и активация тахографа – около 10 000 – 15 000 руб.;
  - затраты, связанные с приобретением карт водителя (2 шт.) и предприятия, около 500-700 руб. за 1 шт. – 1 500 руб.;
- периодические расходы:
  - сервисное обслуживание тахографов 1 раз в 2 года - около 5 000 руб.

В результате чего расходы предпринимателя на установку тахографа на 1 автомобиль составят около 57 000 руб.

При этом административная ответственность: за отсутствие или неисправность тахографа на транспортном средстве составляет от 1000 до 3000 руб. на водителя или на должностные лица от 5000 до 10000 руб.; за нарушение водителем режима труда и отдыха в размере от 1000 до 3000 руб. на водителя.

Также одним из аргументов в пользу установки тахографов должно являться то, что страховые компании на основании ФЗ №78 РФ от 14 июня 2012 г. имеют право не делать никакие страховые выплаты по ущербу транспортному средству, если оно не оборудовано тахографом, то есть не соответствует требованиям Технического регламента.

Следует отметить, что, согласно Приказу Минздравсоцразвития РФ от 10.02.2012 года N 113н, предприятия, осуществляющие пассажирские и грузовые перевозки, могут компенсировать приобретение приборов контроля за режимом труда и отдыха водителей (тахографов) из страховых взносов, вносимых предпринимателем в течение всего предыдущего года.

### Библиографический список

1. Факты и статистика. [Электронный ресурс] URL: <http://www.sleepnet.ru/son-za-rulem/faktyi-i-statistika/> (дата обращения: 10.08.2014).
2. Использование тахографов позволит сократить аварийность с участием грузового и пассажирского транспорта. [Электронный ресурс] URL: <http://92.mvd.ru/news/item/2440063/> (дата обращения: 17.07.2014).
3. Штраф за отсутствие тахографа [электронный ресурс] URL: <http://postebor.ru/zakony-o-tahografax/shtraf-za-otsutstvie-tahografa/> (дата обращения: 17.07.2014).
4. Ликбез по тахографам [электронный ресурс] URL: <http://tahograf76.ru/index.php/tahography/likbez.html> (дата обращения: 16.07.2014).
5. Исторические факты развития тахографов. [Электронный ресурс] URL: <http://tachographs-rus.ru> (дата обращения: 16.07.2014).

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**A.V. Chernenko**

### **INTRODUCTION OF THE TACHOGRAPH IN THE PRODUCTION OF COMMERCIAL VEHICLES TO INCREASE ROAD SAFETY**

United engineering center

The article presents the rationale for the effectiveness of the use of the tachograph on commercial vehicles. The possible test tachograph. The features of the installation tachographs AZ «GAS». The main costs are borne by the consumer when the legal requirements.

*Key words:* tachograph, commercial vehicles, road safety, regulatory compliance.

УДК 629.039.58

А.Н. Пряхина, А.М. Чилеев, А.Д. Стрижак, Д.А. Месяченко, А.А. Липин, В.А. Шапкин

**СОСТОЯНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ  
НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается проблема изменения общего количества ДТП, и числа погибших и увеличение уровня безопасности движения на улично-дорожной сети.

*Ключевые слова:* безопасность движения, улично-дорожная сеть, ДТП.

Уровень аварийности – один из важных показателей качества условий движения. По данным Всемирной организации здравоохранения в мире ежегодно жертвами ДТП становятся 1,2 млн человек, а около 50 млн получают ранения или остаются инвалидами. По прогнозам специалистов, если не будут предприниматься эффективные согласованные действия, то смертность и инвалидность в результате ДТП к 20-м годам возрастут на 60%, а травматизм от ДТП как фактора, определяющего заболевания, с нынешнего 9-го места поднимется до 3-го [6].

Статистика ДТП учитывает их общее количество, а также число пострадавших и погибших. В странах Западной Европы и в Японии уровень аварийности устойчиво снижается. Так, в Германии, начиная с 1953 г., когда стали вестись исследования статистики ДТП, до 1970 г. число погибших в результате аварий увеличилось с 12 до 21 тыс. чел., а в последующем стало непрерывно снижаться, достигнув к 2006 г. самого низкого уровня – 5 тыс. чел. В основе положительной тенденции лежит много факторов, в числе которых и постоянное повышение надежности транспортных средств, и улучшение медицинской помощи, но основными являются принятые законодательные решения по ограничению разрешённой скорости движения транспорта и контроль за их выполнением [6].

Такая же тенденция наблюдается практически во всех странах Европейского союза (ЕС). В целом по странам ЕС с 1991 по 2005 гг. число погибших в результате ДТП снизилось со 162 до 79 чел. на 1 млн жителей, а общее число аварий со смертельным исходом с 2001 г. сократилось на 13%.

В 1970–1980 гг. в области безопасности дорожного движения в странах Западной Европы был сделан упор на системный подход. В его составе, наряду с законодательными мерами, стали широко применяться такие меры, как автоматизированный полицейский контроль, налоговые стимулы, более совершенные информационные системы и базы данных по ДТП, а также научное изучение ДТП. К концу 90-х годов этот системный подход нашел новое выражение в стратегиях «Перспектива – Ноль» и «Устойчивая безопасность», проводимых в Швеции и Нидерландах, а в последнее время – в Финляндии и Швейцарии. В этих стратегиях главное место занимает учёт скорости движения и пределы человеческих возможностей при проектировании и эксплуатации дорожного движения [6].

Уровень аварийности в США значительно выше, чем в странах ЕС и Японии. В 2005 г. в США погибло 146 чел. на 1 млн жителей и 17 чел. на 100 тыс. зарегистрированных транспортных средств. Принятый в 1974 г. федеральный закон о пределе максимальной скорости для различных категорий автодорог в 1995 г. под давлением правительств некоторых штатов был отменен, позволяя штатам установить их собственные пределы. К 2007 г. уже 31 штат поднял максимальную разрешенную скорость на дорогах.

По тяжести последствий США имеют больший показатель, чем страны ЕС и Япония. Так, на 100 пострадавших в ДТП в США приходится 1,6 погибших, а в Японии – 0,6, в Герма-

нии – 1,2, Великобритании – 1,2, Австрии – 1,4, России – 10,3 [3, 6].

Проблема аварийности – преимущественно городская. В нашей стране на протяжении ряда лет более 70% всех ДТП регистрируется в населенных пунктах, большинство в крупных городах. Причинами этого являются более плотные транспортные потоки, особенно в крупных городах, и интенсивное движение пешеходов, которые практически отсутствует на загородных автомобильных дорогах.

Кроме общего числа погибших и их соотношения с количеством зарегистрированных транспортных средств или с количеством жителей данного района, в статистической отчетности имеется такой параметр, как распределение числа аварий и погибших по времени суток. Кроме констатации известного факта, что с уменьшением количества участников движения количество аварий уменьшается, данная статистическая отчетность ни о чём не говорит [3].

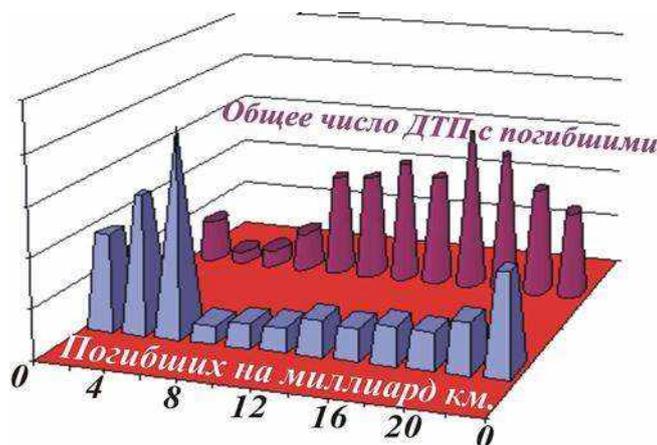


Рис. 1. Изменение общего количества ДТП и числа погибших на миллиард километров пробега транспортного средства для Нижнего Новгорода в течение суток [3]

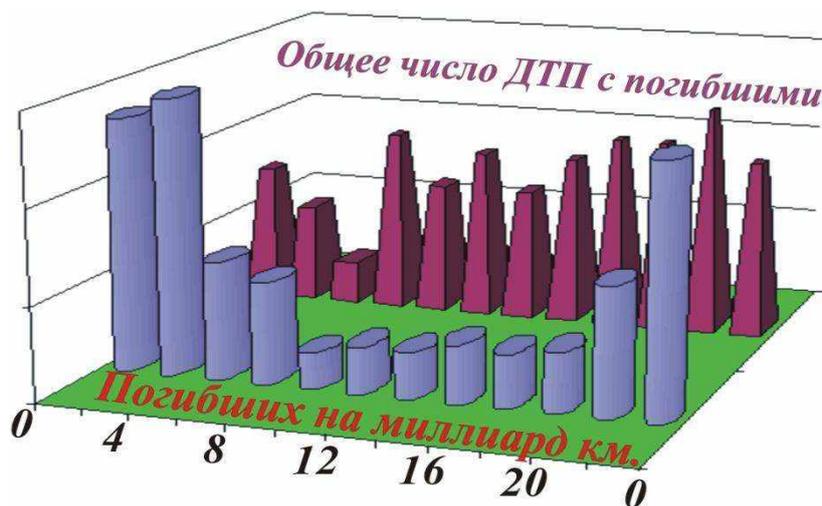


Рис. 2. Изменение общего количества ДТП и числа погибших на миллиард километров пробега транспортного средства для трассы Н. Новгород-Казань в течение суток

Выбрав для оценки уровня безопасности дорожного движения такой параметр, как число погибших на миллиард километров пробега, мы реально можем оценить, насколько изменится вероятность попадания в такую аварию при поездке из пункта А в пункт Б в различное время суток. На рис. 1 и рис. 2 показано изменение показателей аварийности по обоим описанным методам.

Из рис. 1 и рис. 2 видно, что для водителя и пешехода попасть в аварию со смертельным исходом с 0 до 2 ч утра в три раза в городе и в семь раз на трассе выше, чем с 6 до 8 ч утра. При этом суммарное количество ДТП в эти часы значительно меньше, чем в период с 16 до 18 ч [3].

Какой-либо зависимости количества ДТП по дням недели установить не удалось. Это обстоятельство связано с тем, что и суммарный среднегодовой пробег автомобилей практически не зависит от дня недели. При этом летом интенсивность движения в выходные дни резко возрастает, зато зимой в эти же дни оно также резко снижается. Такое обстоятельство связано с наличием в Нижегородской области и России в целом значительной группы автомобилистов, использующих свои транспортные средства исключительно для поездок в выходные дни и летом. Наличие данной категории автомобилистов приводит к уменьшению интенсивности движения в зимний период и возрастанию в летний.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. В целом на улицах населённых пунктов, несмотря на более высокую интенсивность движения (в Нижнем Новгороде интенсивность движения примерно в 10 раз выше, чем на трассе Н. Новгород-Казань), уровень безопасности дорожного движения примерно в два раза выше, чем на магистральных автодорогах, и в три раза выше, чем на прочих загородных дорогах [3]. Как об этом говорилось выше, данный факт может быть объяснён более низкими скоростями движения в населённых пунктах. Необходимо признать, что в мире не существует официальной статистики, учитывающей не только количество погибших в ДТП. Например, в Российской Федерации учётом ДТП с пострадавшими и только с материальными повреждениями занимаются разные отделы ГИБДД, в результате чего эти данные ни в одну единую сводную статистику не попадают. По оценке различных специалистов, до введения закона об обязательном страховании транспортных средств в ГИБДД регистрировалось не более 30% ДТП без пострадавших. В остальных случаях водители предпочитали решать возникшие проблемы без привлечения сотрудников дорожной инспекции [3].

Введённый с 1 января 2004 г. закон об обязательном страховании транспортных средств несколько улучшил ситуацию с процентом регистрации аварий, однако наличие коэффициента, повышающего уровень ежегодных выплат с водителя, в зависимости от количества совершённых им ДТП, стимулирует также не обращаться в официальные органы при незначительных повреждениях автомобилей.

В ряде стран ЕС такие аварии не попадают в сводки дорожной полиции, так как их регистрация и вынесение решения по выплатам возложено непосредственно на страховые компании [6].

С другой стороны, термин безопасность дорожного движения подразумевает безопасное движение по дорогам, а не только отсутствие количества погибших при совершении ДТП. При этом прямая зависимость между количеством аварий и числом погибших отсутствует. Особенно эта тенденция заметна для движения по мокрым и скользким дорогам. Инстинктивное снижение водителями скорости движения позволяет снизить тяжесть последствий ДТП, а неудовлетворительное качество дорожного покрытия способствует увеличению числа аварий.

Для Нижнего Новгорода, где собирался материал для данной работы, соотношения между погибшими, ранеными и ДТП только с материальным ущербом показаны на рис. 3. Из данного рисунка видно, что существует зависимость между числом пострадавших и погибших на дорогах. Анализ статистической отчётности показывает, что в среднем на 10 пострадавших приходится один погибший в Нижнем Новгороде и 1,6 в целом по области [3]. При этом такое соотношение (с относительными колебаниями, не превышающими 10%), соблюдается как по временам года, так и элементам дорог, на которых происходят аварии. Единственным исключением являются пешеходные переходы, где на 10 пострадавших в городе приходится 1,5 погибших в Нижнем Новгороде и 2,0 в целом по области. По России общий показатель тяжести ДТП составляет 1,3 погибших на 10 пострадавших.

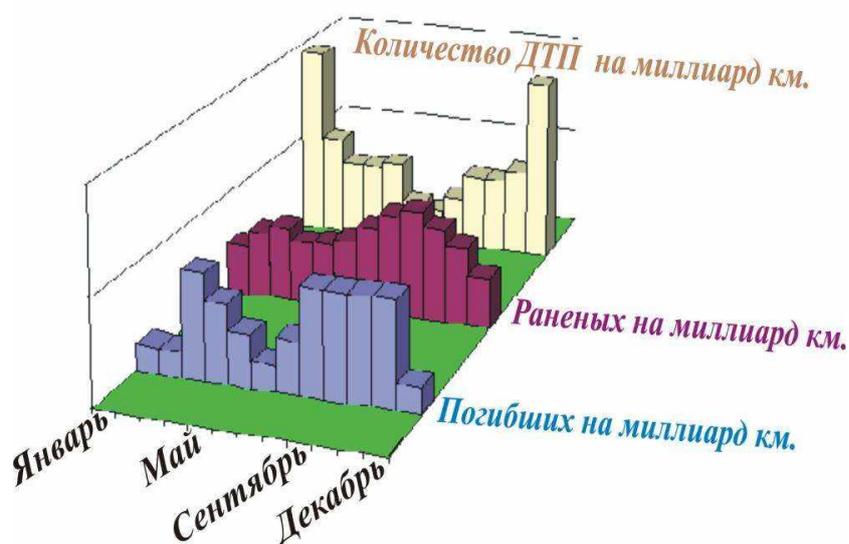


Рис. 3. Взаимосвязь между количеством погибших и раненых в ДТП к их общему количеству по Нижнему Новгороду [3]

Наиболее тяжелыми последствиями характеризовались происшествия в Республике Ингушетия (2,6 погибших из 10 пострадавших), Чеченской Республике (2,2), Республике Тыва (2,1) и Республике Дагестан (2,0). Количество погибших из 10 пострадавших не превысило 1 чел. в Республике Карелия, Республике Коми, Архангельской, Ивановской, Кировской, Магаданской, Мурманской, Омской, Сахалинской, Свердловской, Тюменской, Еврейской автономных областях, Ненецком, Ханты-Мансийском, Чукотском автономных округах и г. С.-Петербурге. Эти данные сильно контрастируют с показателями таких стран, как Норвегия, где на 10 пострадавших приходится 0,25 погибших, в Великобритании – 0,18, США – 0,16. Наиболее близкими по данному параметру являются Зимбабве – 0,78 погибших на 10 пострадавших, Танзания – 1,3, Кения – 1,1, Китай – 1,9 [3, 6].

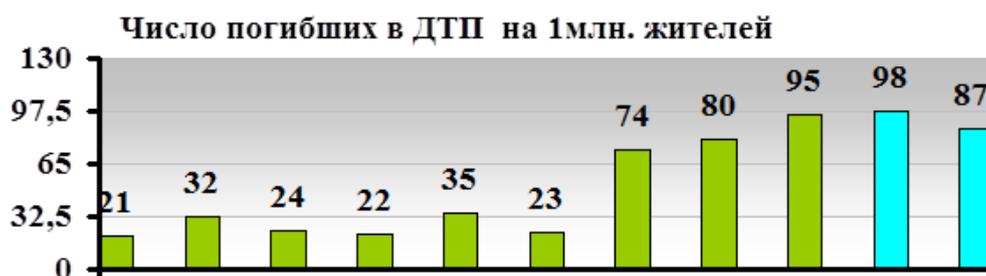


Рис. 4. Число погибших в ДТП на 1 млн жителей в крупных городах

Анализ полученных результатов позволил сделать следующий вывод: на тяжесть последствий ДТП определяющее влияние имеет структура участников. Чем больше пассажиров находится в транспортном средстве, и чем больше пешеходов участвует в дорожном движении, тем тяжелее последствия ДТП.

Общее количество ДТП с их тяжестью практически никак не связано. Можно лишь констатировать, что один погибший приходится в среднем на 100 ДТП в Нижнем Новгороде и на 75 ДТП в среднем по области. При этом такие соотношения могут меняться от 20 до 200 ДТП на одного погибшего в Нижнем Новгороде, до 50 – 150 по области. Таким образом, можно утверждать, что среднее транспортное средство в Нижегородской области попадает в аварию 1

раз за 95 тыс. км пробега (с учётом того, что в среднем ДТП участвуют 2,13 автомобиля). При этом, как утверждается в ряде источников, около 80% водителей не совершают ДТП, 15% водителей совершают 70% ДТП, а 5% водителей – 30% всех ДТП [3, 6].

Пользуясь таким показателем, как число аварий, приходящихся на 100 000 автомобиле-километров, можно оценить уровень аварийности не только в целом по городу, но и на отдельных участках дорог, а также изменение данного показателя под воздействием внешних факторов.

Следует отметить особенность учета ДТП в Российской Федерации. Положением о регистрации ДТП предусматривается учет только тех ДТП, в которых пострадали или погибли люди (так называемые «отчетные» ДТП – Постановление Правительства РФ от 29.06.95 №647 «Об утверждении правил учета дорожно-транспортных происшествий»). В тоже время в официальных статистических данных по ДТП отсутствуют данные по «неотчётным», мелким авариям (в результате которых произошли только механические повреждения автомобилей), что не позволяет получить полной и достоверной картины с аварийностью [3].

Найти информацию о количестве и месте возникновения «неотчетных» ДТП можно только по месту регистрации в отделениях ГИБДД. Однако для получения этой информации необходимо иметь массу согласований и разрешений от вышестоящих организаций, а для анализа данных требуется огромная работа по изучению первичных карточек учёта. Опыт показывает, что предоставляемая в редких случаях информация по «неотчётным» ДТП, как правило, не имеет точной адресной привязки, отсутствуют данные по причинам возникновения аварий и т. д. В то же время доля «отчётных» ДТП в городских условиях составляет не более 3-10% от общего количества ДТП, и статистика «неотчётных» ДТП не менее важна, чем «отчётных», так как в условиях плотного транспортного потока (при больших уровнях загрузки УДС) «отчетных» может не быть, а «неотчётные» исчисляются десятками. Масса мелких ДТП приводит к заторам движения, ухудшению дорожных условий, материальному ущербу [3].

В этой связи сравнение Российских городов с городами в других странах целесообразно рассматривать только по относительному показателю - числу погибших на миллион жителей. В Нижнем Новгороде в 2008 г. этот показатель составил 98 чел. И хотя в последние годы наметилась тенденция к его снижению (в предыдущее десятилетие он превышал 120 чел. на 1 млн жителей) и 2012 г. он составлял уже 87 чел. на 1 млн жителей - это выше, чем в крупнейших городах других стран.

Статистические данные всех стран мира свидетельствуют, что одной из основных причин ДТП является превышение скорости или движение со скоростью, не соответствующей дорожной обстановке. Этот фактор обуславливает 30-50% ДТП со смертельным исходом [3].

Учитывая тяжёлую транспортную ситуацию и высокий уровень аварийности, складывающиеся в крупных Российских городах, представляется целесообразным провести комплекс работ по нормированию уровня ограничения скоростей движения в городских условиях и, в первую очередь, на основных магистралях непрерывного движения.

### **Выводы**

1. Проблема обеспечения оптимальных условий движения транспорта по улично-дорожной сети является важнейшей задачей, от правильного решения которой зависят практически все области жизнедеятельности города. С ростом территории города, увеличением численности его населения и величины транспортного парка решение этой проблемы сталкивается со все большими трудностями. Основной задачей на современном этапе развития крупных российских городов является строительство улично-дорожной сети и формирование в структуре дорог города магистралей с непрерывным движением транспорта, «внеуличных» магистралей, «городских дорог», которые выполняют до 80% общегородской транспортной работы.

2. Строительство дорог в условиях плотной застройки городской территории влечёт за собой большие финансовые затраты, связанные со сносом строений, перебазированием предприятий, переселением жителей, изъятием территории, перекладкой инженерных ком-

муникаций, компенсацией зелёных насаждений. Снижение стоимости строительства может быть достигнуто за счёт снижения геометрических параметров дороги, таких как радиусы вертикальных и горизонтальных кривых и продольные уклоны, но в то же время снижение данных параметров не должно отразиться на уровне аварийности.

3. В основе геометрических параметров автодороги лежат расчётные скорости движения, которые были определены исходя из безопасного движения одиночных автомобилей. В то же время в городских условиях, особенно в условиях крупнейших городов, даже в ночное время не наблюдается движение одиночных автомобилей, параметры движения которого лежат в основе расчётной скорости движения. В связи с этим представляется целесообразным привести исследования по обоснованию значений расчётных скоростей движения для крупного города с высоким уровнем автомобилизации в первую очередь для обоснования значений расчётных скоростей движения на городских магистралях высших категорий, так как именно они выполняют основную транспортную нагрузку в городе, и именно строительство этих магистралей позволяет подойти к решению проблем, связанных с автомобилизацией.

4. Учитывая тяжёлую транспортную ситуацию и очень высокий уровень аварийности, складывающиеся в крупных российских городах, и то, что одной из основных причин ДТП является превышение скорости или движение со скоростью, не соответствующей дорожной обстановке, необходимо проводить работы по нормированию разрешённых скоростей движения в городских условиях.

#### Библиографический список

1. **Бабков, В.Ф.** Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1982. – 288 с.
2. **Буслаев, А.П.** Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения / А.П. Буслаев, А.В. Новиков, В.М. Приходько. – М.: Мир, 2003. – 369 с.
3. Безопасность дорожного движения: учеб. пособие / А. П. Куляшов [и др.]. – Нижний Новгород: Изд-во ВГИПА, 2005. – 528 с.
4. **Лобанов, Е.М.** Зарубежный опыт организации дорожного движения в крупных городах / Е.М. Лобанов. – М.: Изд-во Департамента транспорта и связи г. Москвы, 2004. – 14 с.
5. **Михайлов, А.Ю.** Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.
6. **Рунэ, Э.** Справочник по безопасности дорожного движения / Э. Рунэ, Б.М. Аннэ, В. Трулс; под ред. В.В. Сильянова. – М.: Изд-во МАДИ(ГТУ), 2001. – 754 с.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**A.N. Pryakhina, A.M. Chileev, A.D. Strizhak, D.A. Mesyachenko, A.A. Lipin, V.A. Shapkin**

#### MOVEMENT SECURITY STATUS ON THE STREET ROAD NETWORK OF THE LARGE CITIES

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Providing optimum traffic conditions of transport on a street road network, depreciation of a construction of roads, to conduct researches on justification of values of rated speeds of the movement for the large city with the high level of automobilization, to carry out works on rationing of the allowed movement speeds.

**Design/methodology/approach:** Probe of traffic safety, accident rate and cost of works is based on statistical data on Nizhny Novgorod and area. Existence of such data allows to define precisely the directions of development in the sphere of traffic safety.

**Originality/value:** This probe allows to develop new methods of increase in traffic safety and to achieve drop of death rate and accident rate on roads.

*Key words:* traffic safety, street road network, road accident.

УДК 629.113

О.Б. Тихомирова, А.Н. Тихомиров

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕРКИ ТОРМОЗНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ  
В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены особенности проверки тормозных свойств транспортных средств в соответствии с введением технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств», описаны методики, уже используемые при проверке технического состояния в Европейских странах, оговорены вопросы, которые потребуются решить при введении подобных методик в России.

*Ключевые слова:* технический регламент, тормозные свойства, роликовый тормозной стенд, имитатор нагрузки.

С целью упрощения процедуры технического осмотра транспортных средств, а также снижения временных затрат на выполнение проверки в 2012 г. в стране был введен в действие пакет нормативных правовых документов, регламентирующих действия организаций, осуществляющих контроль за техническим состоянием автотранспорта. При этом в нем не указаны собственно правила и методы проверки транспортных средств. Начиная с этого времени проверка автомобилей выполняется операторами технического осмотра интуитивно или согласно инструкциям по эксплуатации приборов и стендов.

С 2013 г. в странах евразийского союза начали внедряться требования технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011). Проведение работ по межгосударственной стандартизации возложено на созданный Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС), представляющий собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество независимых государств. Одной из задач организации, поставленной на ближайший период, является разработка методов исследований (испытаний) и измерений, необходимых для применения и исполнения требований технического регламента ТР ТС 018/2011 и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции, принятой Решением Коллегии Евразийской экономической комиссии от 16 апреля 2013 г. № 88.

Большинство позиций по методам проверки транспортных средств, находящихся в эксплуатации, предполагается заимствовать из ранее действующего ГОСТ Р 51709-2001 и других стандартов, на которые в нем даны ссылки. Но сегодня, когда детальная проработка методов проверки еще не завершена, следует акцентировать внимание на некоторых особенностях оценки технического состояния автомобилей, ранее не утвержденных и не применявшихся на пунктах технического осмотра в РФ, но внедренных в международную практику стандартом ISO 21069 [1,2].

ISO (Международная организация по стандартизации) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации. Работа по подготовке международных стандартов обычно осуществляется через технические комитеты ISO.

ISO 21069 состоит из нескольких частей под общим названием «Дорожные транспортные средства – Испытание тормозной системы на автомобилях с максимальной допустимой общей массой свыше 3,5 т с помощью роликового тормозного стенда». Часть первая ISO 21069-1 была подготовлена Техническим комитетом ISO/TC 22, автотранспортные средства, подкомитета SC 2, тормозные системы и оборудование и рассматривает методы проверки транспортных средств категорий M2, M3, N2, N3, O3, O4, оснащенных пневматической тормозной системой.

Данный стандарт ISO 21069 был разработан для оценки эффективности торможения транспортных средств, находящихся в эксплуатации, в частности требований раздела 5.1.4 Правил № 13 ЕЭК ООН (ГОСТ Р 41-13), поскольку в целом данные правила охватывают лишь некоторые аспекты периодического технического осмотра транспортных средств.

Первая часть ISO 21069-1 определяет процедуру проведения теста на роликовом тормозном стенде для определения эффективности торможения автотранспортных средств и подходит как для пневматической тормозной системы, так и электронной тормозной системы (EBS). Ее целью является обеспечение сопоставимости результатов измерений от различных стендов, ведущих к достоверной оценке эффективности тормозной системы.

Для сопоставления методов проверки по ГОСТ Р 51709 и ISO 21069-1 далее приведены термины и определения. В скобках указана терминология по ГОСТ Р.

*Тормозное усилие (тормозная сила)* - сила между шиной и вращающимся роликом, возникающая на окружности шины при торможении, которая действует против силы, создаваемой роликовым тормозным стендом для того, чтобы вызвать вращение колеса.

*Исходное тормозное усилие* - тормозное усилие оси, которое должно возникать на шине при измерении на роликовом тормозном стенде в зависимости от давления в тормозном приводе. Исходные тормозные силы указываются изготовителем тормозной системы транспортного средства для целей технического осмотра и оговариваются во время официального утверждения типа тормозной системы.

Данная информация предоставляется в табличном или графическом виде, начиная с давления в тормозном приводе 100 кПа (1 бар) и повышается с шагом не более 100 кПа до давления, создаваемого в соответствии с полностью груженым состоянием для каждой оси.

*Дисбаланс тормозных сил (относительная разность тормозных сил)* - разница в тормозных силах колес, расположенных на одной оси. Эта величина выражается в процентах от наибольшей тормозной силы на оси.

*Изменение тормозного усилия* - разница между максимальным и минимальным значениями тормозного усилия, измеренными в течение одного оборота колеса, с постоянным и одинаковым воздействием на органы управления тормозной системы. Оно выражается в процентах от среднего тормозного усилия.

*Роликовый тормозной стенд* - измерительная машина, состоящая из двух пар роликов, используемых для оценки эффективности торможения транспортного средства. Оценка производится измерением тормозной силы между шиной и роликом для каждого колеса/двойных колес либо одновременно, либо отдельно, в то время как колеса транспортного средства вращаются и поддерживаются роликами.

Понятно, что в целом подходы к проверке у разных систем совпадают. Основное и принципиальное отличие в проведении тестовых проверок по ISO и ГОСТ Р заключается в требованиях к состоянию автомобиля по массе в момент проведения проверки.

***ГОСТ регламентирует проверку снаряженного транспортного средства, по ISO автомобиль должен находиться либо в состоянии максимальной допустимой массы либо частично нагруженным.***

Измеренные тормозные силы используются для расчета коэффициента торможения (удельной тормозной силы) транспортного средства, принимая во внимание параметры транспортного средства и максимальную нагрузку, при которой ТС допускается к эксплуатации.

Согласно ISO, испытание на торможение может быть выполнено в полностью нагруженном состоянии или в слегка нагруженном состоянии при более низких значениях давления, вызывающих срабатывание стенда в предположении, что тормозное усилие увеличивается предсказуемо с ростом давления. Давление в тормозном приводе и тормозные силы на колесах должны быть определены одновременно и в реальном времени. Тормозное усилие или удельная тормозная сила (максимальное тормозное усилие, отнесенное к вертикальной нагрузке на колесо) должны определяться для каждого колеса в отдельности или для каждой оси в отдельности.

Наиболее надежным способом измерения тормозных сил является испытание транспортного средства в полностью загруженном состоянии. В этом случае экстраполяция полученных при измерении значений не требуется. Тормозной коэффициент (удельная тормозная сила) определяется непосредственно путем измерения тормозной силы для транспортного средства в полностью загруженном состоянии:

- для одиночного транспортного средства

$$\gamma_{M\ lad} = \frac{\sum F_i}{F_{M\ max}}$$

- для прицепа (полуприцепа)

$$\gamma_{R\ lad} = \frac{\sum F_i}{F_{R\ max}},$$

где  $F_i$  - тормозное усилие оси  $i$ , Н;  $F_{M\ max}$  - максимально допустимая нормальная статическая реакция дорожного покрытия на все колеса одиночного ТС, Н;  $\gamma_{M\ lad}$  - удельная тормозная сила полностью загруженного ТС;  $F_{R\ max}$  - максимально допустимая нормальная статическая реакция дорожного покрытия на все колеса прицепа (полуприцепа) автомобиля, Н;  $\gamma_{R\ lad}$  - удельная тормозная сила полностью загруженного прицепа (полуприцепа).

Однако на пунктах технического осмотра проверку транспортных средств с технически допустимой максимальной массой, как правило, реализовать невозможно (исключение – пожарные автомобили, которые всегда заправлены водой). Формально использование удельной тормозной силы позволяет проводить испытания транспортных средств с различной массой. При увеличении массы транспортного средства увеличивается и тормозная сила, а их соотношение изменяется в относительно небольших пределах. Однако для пневматической тормозной системы в реальных условиях ограничением по усилию, воздействующему на тормозные механизмы, является максимальное давление в ресивере тормозного привода. При испытаниях транспортного средства в снаряженном состоянии давление может оказаться недостаточным для создания тормозных сил, соответствующих нормативному показателю удельной тормозной силы, а при максимальной загрузке требуемые значения не будут достигнуты.

На рис. 1 показаны зависимости тормозных сил от давления в тормозном приводе для технически исправного (I) и неисправного (II) транспортного средства. В первом случае достижение нормативных тормозных сил в снаряженном состоянии происходит при давлении  $p_i$ , которое значительно ниже предельно возможного  $p_{lad}$  для данного транспортного средства, а следовательно, при загрузке этот автомобиль в состоянии обеспечить требуемые с точки зрения безопасности показатели эффективности. Второй автомобиль достигает требуемых значений тормозных сил  $F_i$  при давлении, близком к предельному, а это свидетельствует о том, что при его загрузке необходимые показатели торможения не будут достигнуты, и такое транспортное средство становится потенциально опасным участником дорожного движения.

Оценка запаса по давлению для автомобиля с технически допустимой максимальной массой и является основной задачей, реализуемой с помощью рассматриваемых методов проверки эффективности тормозных систем. В этом случае стандарт ISO использует метод прогнозирования эффективности торможения в полностью загруженном состоянии. Это может быть достигнуто использованием одного из методов экстраполяции, приведенных далее. В обоих случаях расчет базируется на линейной зависимости тормозного усилия от давления воздуха в приводе. Более точным и более сложным в реализации является метод двух точек.

Тормозное усилие и соответствующее ему давление в приводе замеряется дважды. Первый раз усилие должно быть создано при низком давлении в приводе, чуть выше пороговой точки, но так, чтобы можно было уже измерить тормозное усилие на колесе. Второй (основной) должна быть точка при самых высоких реализуемых тормозных силах с соответ-

ствующим давлением в тормозном приводе. По результатам замеров можно спрогнозировать величину тормозного усилия, которое может быть реализовано при максимальном давлении воздуха в приводе. По величине расчетных тормозных сил определяется удельная тормозная сила, которую следует ожидать при полной загрузке автомобиля.

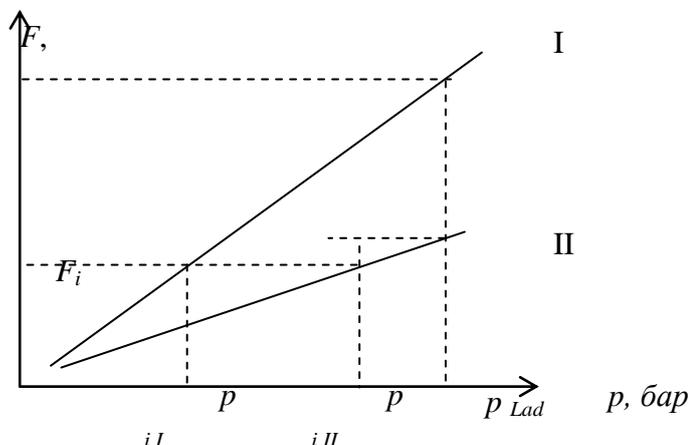


Рис.1. Изменение тормозных сил в зависимости от давления в приводе для технически исправного (I) и неисправного (II) транспортного средства

Для более точного расчета две точки, в которых производится замер, должны максимально отстоять друг от друга. Первую из точек реализуют при минимальном усилии в тормозных механизмах, что можно сделать и на снаряженном (пустом) транспортном средстве. Для повышения достоверности вторую точку можно «сместить» только путем повышения загрузки автомобиля. По требованиям ISO, по крайней мере, 30% от максимального давления в приводе тормозов должно быть достигнуто путем увеличения нормальной нагрузки на ось или имитации этой нагрузки. Имеется в виду нагружение автомобиля балластом или искусственное притягивание его к поверхности роликов стенда.

Удельная тормозная сила  $\gamma_{Mlad}$  или  $\gamma_{Rlad}$  определяется с помощью уравнений:

$$F_{Bi} = F_{Hi} + R_{Fi}(p_{Alad i} - p_{AHi}),$$

$$R_{Fi} = \frac{F_{Hi} - F_{Li}}{p_{AHi} - p_{ALi}},$$

где  $F_{Hi}$  - тормозное усилие на оси  $i$  при давлении в тормозном приводе  $p_{AHi}$ ;  $F_{Li}$  - тормозное усилие оси  $i$  при давлении в тормозном приводе  $p_{ALi}$ ;  $p_{Alad i}$  - максимальное обусловленное конструкцией давление в тормозном приводе груженого транспортного средства оси  $i$  (для целей экстраполяции);  $p_{AHi}$  - высокое давление в приводе тормозов оси  $i$ ;  $p_{ALi}$  - низкое давление в приводе тормозов оси  $i$ .

Для упрощения процедуры проверки может быть применен метод одной точки, когда измерения при минимальном давлении опускают. Отправной принимается стандартная точка с давлением воздуха в системе  $p = 40$  кПа как порог давления в тормозном приводе. Далее проводится одно измерение тормозного усилия на каждом колесе (оси). Испытание должно проводиться до достижения максимально реализуемой тормозной силы и соответствующего давления в тормозном приводе, то есть до блокировки колес. Это создает достаточно высокие тормозные силы без слишком высокого проскальзывания колес на роликах и без повреждения шин.

Как и в первом случае, во время испытания каждой оси, по крайней мере, 30% от максимального давления в приводе тормозов должно быть достигнуто увеличением нормальной нагрузки на ось или имитацией этой нагрузки. Это важно для точности при расчете тормозных усилий. В требованиях некоторых национальных стандартов могут быть записаны более высокие доли от максимального давления.

Использование метода одной точки разрешается со следующим дополнительным

условием: отправная точка, установленная на уровне 40 кПа, не должна отклоняться в сторону более высоких значений, потому что это может привести к ошибке. Эта отправная точка должна быть проверена до начала измерений.

Коэффициент торможения (удельная тормозная сила) транспортного средства будет определяться по следующей зависимости:

- для одиночного транспортного средства

$$\gamma_{Mlad} = \frac{\Sigma F_{Bi}}{F_{Mmax}}$$

- для прицепа (полуприцепа)

$$\gamma_{Rlad} = \frac{\Sigma F_{Bi}}{F_{Rmax}}$$

В этих уравнениях  $\Sigma F_{Bi}$  - суммарная тормозная сила, полученная экстраполяцией в зависимости от давления в тормозном приводе:  $F_{Bi} = F_i R_{pi}$ ,

где

$$R_{pi} = \frac{p_{A\ lad\ i}^{-40}}{p_{Ai}^{-40}},$$

$p_{A\ lad\ i}$  - максимальное, обусловленное конструкцией, давление в тормозном приводе грузового транспортного средства оси  $i$  (для целей экстраполяции);  $p_{Ai}$  - давление в тормозном приводе оси  $i$ .

Для реализации обоих рассмотренных методов необходимо устанавливать на пунктах технического осмотра дополнительные устройства, позволяющие осуществлять имитацию загрузки ТС. Некоторые производители давно предлагают свои приспособления – имитаторы нагрузки. Эти устройства представляют собой встроенный в обзорной яме гидравлический механизм, который притягивает ось автомобиля к стенду, имитируя загрузку транспортного средства.

Основная проблема с точки зрения использования таких имитаторов нагрузки заключается в том, что на многих линиях диагностирования ролики тормозного стенда и обзорная канава разнесены относительно друг друга, а следовательно, установка притягивающих устройств невозможна. Для решения этой задачи компанией ООО «Эксперт-академия» разработан имитатор нагрузки, который может устанавливаться в пространство между тормозными барабанами на уровне пола и позволяет осуществлять прижатие оси транспортного средства к роликам стенда. Суммарное усилие прижатия отображается на мониторе тормозного стенда.

Если для целей технического осмотра транспортных средств в России будут внедрены испытания по второй, упрощенной, методике, то, скорее всего, мы проиграем не только из-за меньшей точности самого метода. Сложная процедура выбора отправной точки, многочисленные ошибки при ее определении приведут к значительной погрешности определения удельной тормозной силы в расчетном «нагруженном» состоянии. Разброс будет тем больше, чем меньше (в долях от максимального тормозного усилия) тормозные силы будут реализованы при имитации загрузки.

Поскольку внедрения имитаторов нагрузки на пунктах технического осмотра не избежать, трудоемкость контроля вырастет. Но пренебрегать требованиями к оценке тормозной эффективности транспортных средств не следует. Безопасность на дороге и адекватность полученных при проверке тормозных систем заслуживают особого внимания и требуют введения более совершенных методов их оценки.

Вероятно, на первом этапе целесообразно ввести в обращение испытания тормозных свойств по первой методике. Трудоемкость здесь выше, но «прозрачность» технологии может не только повысить точность прогнозирования тормозных сил, но и исключить грубые

ошибки персонала и ложную отбраковку транспортных средств по показателю удельной тормозной силы.

#### Библиографический список

1. **International standard ISO 21069-1**. Road vehicles – Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3,5 t using a roller brake tester. Part 1: Pneumatic braking systems, 2004. – 20 p.
2. **International standard ISO 21069-2**, Road vehicles – Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3,5 t using a roller brake tester. Part 2: Air over hydraulic and purely hydraulic braking systems, 2008. – 24 p.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**O.B. Tikhomirova, A.N. Tikhomirov**

#### **FEATURES OF INSPECTION OF BRAKING BEHAVIOR OF THE VEHICLE ACCORDING TO INTERNATIONAL REQUIREMENTS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article describes the features of test braking properties of vehicles in accordance with the implementation of technical regulations of the Customs Union "On the safety of wheeled vehicles", describes the methodologies already used in the verification of the technical state of the European countries, Specific questions that need to be addressed with the introduction of such techniques in Russia.

*Key words:* Technical Regulations, braking performance, roller brake tester, load simulator.

## НАШИ АВТОРЫ

### РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

**Алимов Владимир Александрович** – научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), ведущ. науч. сотрудник, канд. техн. наук; hranilov.nntu.nnov.ru.

**Бабанов Николай Юрьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, проректор по научной работе, канд. техн. наук; babanov@nntu.nnov.ru

**Есипенко Валентин Иванович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, профессор, д-р физ.-мат. наук; hranilov.nntu.nnov.ru.

**Коробков Юрий Сергеевич** – научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), ведущ. инженер, канд. техн. наук; hranilov.nntu.nnov.ru

**Ларцов Сергей Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, профессор, ведущ. научн. сотрудник управления научно-исследовательских и инновационных работ; д-р техн. наук; svl@ggc.nnov.ru

**Морозов Виталий Иванович** – научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), ведущ. инженер; hranilov.nntu.nnov.ru

**Самарин Валерий Павлович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ведущ. инженер управления научно-исследовательских и инновационных работ, канд. техн. наук; hranilov.nntu.nnov.ru

### МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМ

**Куркин Андрей Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, глав. науч. сотрудник управления научных исследований и инновационных разработок, зав. кафедрой, науч. руководитель лаборатории «Моделирования природных и техногенных катастроф», д-р физ.-мат. наук, профессор; aakurkin@gmail.com

**Козелков Андрей Сергеевич** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, начальник лаборатории; A.S.Kozelkov@vniief.ru

**Дерюгин Юрий Николаевич** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, начальник отдела; deryugin@vniief.ru

**Циберева Юлия Александровна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, науч. сотрудник; Yu.A.Tsibereva@vniief.ru

**Корнев Александр Владимирович** – ОАО «ОКБ Сухого», начальник бригады НИО-1; avkorn@gmail.com

**Денисова Оксана Владимировна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, ст. науч. сотрудник; o\_denisova@itmf.vniief.ru

**Стрелец Дмитрий Юрьевич** – ОАО «ОКБ Сухого», зам. директора ПИИЦ; dimstrelets@rambler.ru

**Курулин Вадим Викторович** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, мл. науч. сотрудник; V.V.Kurulin@itmf.vniief.ru

**Шарипова Ирина Леонидовна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, мл. науч. сотрудник; I.L.Sharipova@itmf.vniief.ru

**Рубцова Дарья Павловна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, математик; D.P.Rubtsova@itmf.vniief.ru

**Легчанов Максим Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, зам. директора ИЯЭиТФ; legchanov@mail.ru

**Тятюшкина Елена Сергеевна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, математик; E.S.Tyatyushkina@itmf.vniief.ru

**Лашкин Сергей Викторович** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, начальник группы; S.V.Lashkin@itmf.vniief.ru

**Ялозо Андрей Владимирович** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, науч. сотрудник; A.V.Yalozo@itmf.vniief.ru

**Яцевич Сергей Владимирович** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, ст. науч. сотрудник; S.V.Yatsevich@vniief.ru

**Тарасова Наталья Владимировна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, ст. науч. сотрудник; tara@vniief.ru

**Гиниятуллин Роберт Равилевич** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, мл. науч. сотрудник; R.R.Giniyatullin@itmf.vniief.ru

**Сизова Мария Александровна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, мл. науч. сотрудник; M.A.Sizova@itmf.vniief.ru

**Крутякова Ольга Леонидовна** – РФЯЦ-ВНИИЭФ, мл. науч. сотрудник; O.L.Puchkova@itmf.vniief.ru

### ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**Пособилов Николай Егорович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева; доцент, канд. техн. наук; posne44@mail.ru.

**Борзая Екатерина Александровна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистрант; borzaya.ekaterina@gmail.com

## **МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ**

**Метелёв Борис Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент, канд. техн. наук; 436-23-70

## **ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

**Конурин Денис Владимирович** – ОАО «ОКБМ им. И.И. Африкантова», инженер-испытатель 2 кат.; d.v.konurin@okbm.nnov.ru  
konurin88@yandex.ru

**Сиротов Александр Иванович** – ОАО «ОКБМ им. И.И. Африкантова», зам. начальника отдела прочности и систем диагностики; 8(831)246-95-93

## **ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ**

**Андрианов Лев Васильевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент, канд. техн. наук; 8(831)436-80-13

**Мухина Милена Львовна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент, канд. техн. наук; milena.an@bk.ru

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

**Вуколов Владимир Юрьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент, канд. техн. наук; vvucolov@mail.ru

## **МАКРОМИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

**Волков Валерий Леонидович** – АПИ (филиал НГТУ), доцент, канд. техн. наук; vvl\_arzamas@mail.ru

**Жидкова Наталья Валерьевна** - АПИ (филиал НГТУ), доцент, канд. техн. наук; natazh80@yandex.ru

**Жидков Алексей Альбертович** - ООО Арзамасский электромеханический завод, помощник зам. гендиректора; zh.a@aemp.ru

## **ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ**

**Узбекова Александра Сергеевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент, канд. экон. наук; 8(831) 436-98-74

**Малышева Инна Сергеевна** - ООО "КРЦ "ЭФКО-Каскад" Региональный координатор отдела УПБП ОП "Поволжье-НН";

## **СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ**

**Ивакин Григорий Анатольевич** – РАНХиГС при Президенте РФ, зам. начальника управления образовательной политики, канд. ист. наук, доцент; trenklen@nntu.nnov.ru

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ**

**Верещагина Евгения Игоревна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ст. преподаватель; vereshagina.evgenija@rambler.ru

**Козицин Александр Сергеевич** – НИУ ВШЭ, студент; askozitsin@edu.hse.ru

**Шадрина Елена Викторовна** – НИУ ВШЭ, ст. преподаватель; eshadrina@hse.ru

## **МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**Братухин Владислав Анатольевич** – ОАО «Нормаль», зам. гендиректора по науке, главн. конструктор, канд. техн. наук; normal@kis.ru

**Володин Вячеслав Анатольевич** – ОАО «Нормаль», гендиректор, д-р техн. наук; normal@kis.ru

## **МАТЕРИАЛЫ 87-й международной научно-технической конференции «ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»**

### **Секция 1. АКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ДИНАМИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Анучин Илья Евгеньевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; iluxa\_90.12@mail.ru

**Беляков Владимир Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор, начальник УНИИИР; nauka@nntu.nnov.ru

**Герасин Андрей Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; veselo\_85@mail.ru

**Дыгало Владислав Геннадиевич** – ВолгГТУ, канд. техн. наук, доцент; dygalo@vstu.ru

**Дыгало Людмила Викторовна** – ВолгГТУ, инженер; dygalo@vstu.ru

**Истомин Денис Игоревич** – ЮУрГУ, аспирант; digist@inbox.ru

**Келлер Андрей Владимирович** – ЮУрГУ, д-р техн. наук, доцент, нач. кафедры; andreikeller@rambler.ru

**Котов Владислав Владимирович** – ВолгГТУ, канд. техн. наук, доцент; kotov@vstu.ru

**Кравец Владислав Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор; ksandrnn@mail.ru

**Кристалный Сергей Робертович** – МАДИ, канд. техн. наук, доцент; sportauto@rambler.ru

**Мусарский Роман Абрамович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор; musarsky@list.ru

**Отмахов Владимир Иванович** – ООО «Хекса», вед. инженер; infohexa.ru

**Попов Николай Викторович** – МАДИ, зав. лабораторией; niko-porov@yandex.ru

**Ревин Александр Александрович** – ВолгГТУ, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. ТЭРА; revin@vstu.ru

**Савельев Валерий Алексеевич** – НАМИ, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник; cardan-nami@yandex.ru

**Сергиевский Сергей Андреевич** – ООО «Эм-Эс-Си Софтвэр Рус», канд. техн. наук, руководитель отдела по развитию бизнеса; sergey.sergieviskiy@mscsoftware.com

**Соловьев Дмитрий Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; solo151073@mail.ru

**Тумасов Антон Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, зам. директора по развитию; anton.tumasov@gmail.com

**Фомичёв Владимир Александрович** – МАДИ, аспирант; cricetus90@mail.ru

**Шелепов Андрей Анатольевич** – ЮУрГУ, аспирант; sheleпов-aa@mail.ru

**Штурмин Алексей Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; shturmin\_alex@mail.ru

## **Секция 2. ПРОЧНОСТЬ И ПАССИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Багичев Сергей Анатольевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, ст. преподаватель; sergey.bagichev@gmail.com

**Вашурин Андрей Сергеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, вед. инженер; andreuctg@gmail.com

**Волков Антон Сергеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; anton\_volkov27@mail.ru

**Зеленов Михаил Юрьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; mihaile666-319@mail.ru

**Кочанов Евгений Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ст. преподаватель; eugeny.ko4anov@yandex.ru

**Орлов Лев Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор, зав. каф.; boris.reutov@gmail.com

**Сизоненко Дмитрий Иванович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; kastolom92@mail.ru

**Трусов Юрий Павлович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, руководитель группы; trusov\_jp@mail.ru

**Тумасов Антон Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, зам. директора по развитию; anton.tumasov@gmail.com

**Шабров Ринат Наильевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; doktor9191@mail.ru

**Шатилов Александр Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, вед. инженер; shatilova.v@yandex.ru

## **Секция 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

**Архипов Александр Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, зав. лабораторией; arhipovnn@yandex.ru

**Бердников Леонид Анатольевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; kafedraat@gmail.com

**Гаевский Виталий Валентинович** – МАДИ, канд. техн. наук, доцент; vit-life@rambler.ru

**Голиков Роман Олегович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, студент; F0x91@mail.ru

**Горбунов Кирилл Андреевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистрант; kira777go@mail.ru

**Елисеев Михаил Евгеньевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. физ.-мат. наук, доцент; eliseevmic@mail.ru

**Ильянов Сергей Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ст. преподаватель; ilyanovsv@mail.ru

**Корчажкин Михаил Георгиевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; kormg@list.ru

**Кочкуров Евгений Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистрант; gin2125@mail.ru

**Кузьмин Николай Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой; kuznntu@mail.ru

**Кустиков Александр Дмитриевич** – ООО «Автомобили Баварии», рук. отдела продаж; kustikov-ad@yandex.ru

**Липенков Александр Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ст. преподаватель; \_alexl\_@mail.ru

**Лозовский Никита Трофимович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; kafedraat@gmail.com

**Негодяев Андрей Сергеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, студент; karramma@inbox.ru

**Федосов Алексей Евгеньевич** – ДПИ НГТУ, канд. хим. наук, доцент; kafedraat@gmail.com

**Федосова Марина Евгеньевна** – ДПИ НГТУ, канд. хим. наук, вед. инженер; kafedraat@gmail.com

**Шишкин Алексей Игоревич** – ОАО «АВИА-БОР», вед. специалист новых производств и установок; alex\_sh86@inbox.ru

**Ясенов Владимир Васильевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; dedyas@mail.ru

#### **Секция 4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Карпухин Кирилл Евгеньевич** – НАМИ, канд. техн. наук, нач. управления; K.Karpukhin@nami.ru

**Козлов Андрей Викторович** – НАМИ, д-р техн. наук, зав. отделом; a.kozlov@nami.ru

**Коркин Сергей Николаевич** – НАМИ, канд. техн. наук, директор проекта; sergey.korkin@nami.ru

**Коротков Виктор Сергеевич** – МАМИ, вед. инженер-исследователь; v.korotkov@mami.ru

**Курмаев Ринат Ханяфиевич** – НАМИ, канд. техн. наук, зав. отделом; rinat.kurmaev@nami.ru

**Миренкова Елена Александровна** – НАМИ, зав. сектором; e.mirenkova@nami.ru

**Папкин Борис Аркадьевич** – МАМИ, канд. техн. наук, зам. директора; borisrapkin@yandex.ru

**Петров Роман Леонидович** – ОАО «Авто-ВАЗ», канд. техн. наук, нач. исслед. лаборатории; RL.Petrov@vaz.ru

**Теренченко Алексей Станиславович** – НАМИ, канд. техн. наук, директор центра; terenchenko@nami.ru

**Хрипач Николай Анатольевич** – МАМИ, канд. техн. наук, зав. каф.; khripachna@gmail.com

#### **Секция 5. СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ. ПОДВИЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Беляев Александр Михайлович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ст. преподаватель; myhome2010@mail.ru

**Беляков Владимир Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор, начальник УНИИИР; nauka@nntu.nnov.ru

**Дорофеев Роман Александрович** – НОЦ «Транспорт», инженер; blonde-o@yandex.ru

**Зезюлин Денис Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; balakhnaman@gmail.com

**Колотилин Владимир Евгеньевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; transfer@nntu.nnov.ru

**Кошурина Алла Александровна** – НОЦ «Транспорт», канд. техн. наук, директор; allakoshurina@yandex.ru

**Крашенинников Максим Сергеевич** – НОЦ «Транспорт», вед. инженер; maxim.krashennikov@mail.ru

**Куркин Андрей Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор, зав. каф.; aakurkin@gmail.com

**Макаров Владимир Сергеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; makvl2010@gmail.com

**Молев Юрий Игоревич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор; moleff@yandex.ru

**Обрезкова Валентина Евгеньевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, студент; v.obrezkova@mail.ru

**Папунин Алексей Валерьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ассистент; lehalenia@rambler.ru

**Редкозубов Антон Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант; anto-x@ya.ru

**Тютнев Илья Анатольевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант; tyutnev-ilya@mail.ru

**Федоренко Александр Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, нач. отдела метрологии и стандартизации; alex.fedorenko.tech@yandex.ru

**Худяков Владимир Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; nauka@nntu.nnov.ru

**Секция 6. ОРГАНИЗАЦИЯ  
И БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО  
ДВИЖЕНИЯ. КОНТРОЛЬ  
ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Липин Алексей Александрович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, студент; [ngtu-cdm@mail.ru](mailto:ngtu-cdm@mail.ru)

**Месяченко Даниил Алексеевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, студент; [ngtu-cdm@mail.ru](mailto:ngtu-cdm@mail.ru)

**Пряхина Александра Николаевна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, студент; [ngtu-cdm@mail.ru](mailto:ngtu-cdm@mail.ru)

**Стрижак Аркадий Дмитриевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, студент; [ngtu-cdm@mail.ru](mailto:ngtu-cdm@mail.ru)

**Тихомиров Александр Николаевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;  
[alnit@mail.ru](mailto:alnit@mail.ru)

**Тихомирова Ольга Борисовна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;  
[gtoгурuru@gmail.com](mailto:gtoгурuru@gmail.com)

**Черненко Алла Валерьевна** - ООО «Объединенный инженерный центр», специалист 2 кат.;  
[ChernenkoAV@gaz.ru](mailto:ChernenkoAV@gaz.ru), [chernenkoalla@yandex.ru](mailto:chernenkoalla@yandex.ru)

**Чилеев Анатолий Михайлович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, студент; [ngtu-cdm@mail.ru](mailto:ngtu-cdm@mail.ru)

**Шапкин Виктор Александрович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, профессор;  
[from\\_friends@mail.ru](mailto:from_friends@mail.ru)

**ПРИНИМАЕМ В ПЕЧАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ В ЖУРНАЛ  
«ТРУДЫ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

**Адрес редакции: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24**  
**Телефон: 8(831)257-86-63**  
**E-mail: [rsl@nntu.nnov.ru](mailto:rsl@nntu.nnov.ru)**

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ**

- В редакцию направляют **два экземпляра** статьи, отпечатанных на лазерном принтере на белой бумаге формата А4, с одной стороны листа, через один интервал 12 кеглем. Сноски и примечания 10 кеглем. Поля: левое, правое и нижнее – 20 мм, верхнее – 25 мм.
- Желательно, чтобы объем статьи не превышал 10 страниц текста и 4–6 рисунков. Все страницы должны быть пронумерованы. Минимальное количество страниц – 6.
- Статью необходимо сопроводить актом экспертизы, выпиской из заседания кафедры, рекомендующей статью к опубликованию, сведениями об авторах и рецензией.
- Статья должна быть подписана **всеми авторами**.
- Текст набирают без переносов, используя формат *Word for Windows* и стандартные шрифты *Times New Roman* и *Symbol*.
- Формульные выражения выполняют строго в редакторе MS Equation 3 – 12 кегль. Размерность физических величин должна соответствовать системе СИ.
- Первая страница статьи должна содержать следующую информацию: УДК (код по универсальному десятичному классификатору); инициалы и фамилии авторов (в таком порядке); название статьи; место работы всех авторов (полное название организации, город); аннотацию; ключевые слова (не более 10).
- Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Рекомендуется следующая структура статьи: вводная часть с обоснованием необходимости и изложением цели работы, теоретический анализ, методика, экспериментальная часть, результаты и выводы (не более 0,5 страницы), библиографический список.
- Сокращение слов, кроме общепринятых, не допускается.
- Таблицы (11 кегль жирный) должны иметь названия, их следует располагать по тексту статьи, ссылки на таблицы (табл. 1).
- Диаграммы выполняются в формате Excel.
- Графический материал (только в черно-белом изображении) должен быть четким и не требовать перерисовки. Изображение выполняется в формате **jpf** или **tif** с разрешением 300 **dpi**. Рисунки выполняются по ГОСТ, подрисуночная подпись 11 жирный кегль.
- К статье следует приложить CD с файлами: текста статьи с библиографией на русском языке; **фамилиями авторов, названием статьи, информацией о месте работы всех авторов, аннотацией и ключевыми словами на английском языке**.
- В сведениях об авторах следует сообщить: ФИО (полностью), место работы, должность, ученую степень и звание, телефон и адрес электронной почты.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ АВТОРСКИХ РЕЗЮМЕ

(АННОТАЦИЙ, РЕФЕРАТОВ К СТАТЬЯМ)

Авторский реферат на английском языке должен быть понятен без ссылки на саму статью. Это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные фактические сведения и выводы описываемой работы. Объем не менее 10 строк (100–250 слов – 850 знаков). Реферат включает: 1) предмет, тему, цель работы; 2) метод или методологию проведения работы; 3) результаты и область их применения; 4) выводы. Таблицы, формулы, рисунки (нумерация в реферате может не совпадать с текстом статьи) включаются, если раскрывают основное содержание документа и позволяют сократить объем реферата.

Реферат можно начать с изложения результатов работы и выводов. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата. Следует применять терминологию, характерную для иностранных специальных текстов, избегать терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных слов. Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» (consequently, moreover, for example, the benefits of this study, as a result). Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in the study».

Авторское резюме из International Journal of Operations & Production Management. V.22.N 8

**B. Meijboom, M. Houtepens**

### STRUCTURING INTERNATIONAL SERVICE OPERATIONS: A THEORETICAL FRAMEWORK AND A CASE STUDY IN THE IT-SECTOR

#### The name of organization

**Purpose:** The specific challenges with which companies pursuing international manufacturing strategies are faced, if their output also contains a service dimension, are addressed.

**Design/methodology/approach:** A theoretical framework is proposed based on three virtually complementary perspectives by integrating international production, demand, and contemporary ICT-based theory. Subsequently, an exploratory case study in a pure service environment is described that illustrates the value of the framework.

**Findings:** It is possible, for example, to apply the theoretical framework to case studies in internationally-operating companies delivering a mix of goods and services.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the international manufacturing sector.

**Originality/value:** Moreover, the framework has proven to be useful in improving the European structure of the case company. This is a notable and promising side-effect of the exploratory study, at least from a managerial point of view.

*Key words:* multinationals, service operations, location, decision making, case studies.

**ТРУДЫ**  
**НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**  
**им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**№ 4 (106)**

Редакторы: **Е.В. Комарова, Т.В. Третьякова**  
Технический редактор **Т.П. Новикова**

*Редакция:*  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.  
rsl@ntu.nnov.ru

Подписано в печать 03.12.2014. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 48. Тираж 300 экз. Заказ

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева.  
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

**Индекс 10312**  
**Объединенный каталог «Пресса России»**

**Свидетельство о регистрации**  
**СМИ в Роскомнадзоре**  
**ПИ № ФС 77-56417 от 11 декабря 2013**