

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПОСЕВНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

Даба Нимаевич Раднаев, доктор технических наук
Бэликто Батоевич Цыбиков, кандидат сельскохозяйственных наук
Дугар-Цырен Баярович Бадматсыренов, кандидат технических наук
Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова,
г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия
E-mail: daba01@mail.ru

Аннотация. Вопросы экологии, ресурсосбережения и снижения себестоимости продукции в земледелии связаны с освоением комбинированных почвообрабатывающих посевных машин, которые позволяют сократить количество технологических приемов. Необходимо оснащать сельхозпредприятия средствами механизации, приспособленными к конкретным условиям их производственного применения. Поэтому перспективное направление — разработка универсальных и комбинированных машин, способных за один рабочий цикл осуществлять несколько технологических приемов, обеспечивающих последовательное выполнение смежных операций. Для проведения экспериментальных исследований была разработана и изготовлена установка, представляющая собой комбинированную машину, которая обеспечивает предпосевную обработку почвы, полосовой разбросной посев, внесение минеральных удобрений и послепосевное прикатывание. Представлены математические модели, связывающие факторы: скорость движения агрегата; угол атаки лапы сошника; глубина хода лапы сошника при оптимизации степени крошения почвы, подрезания сорных растений, изменения твердости почвы. На первом месте по значимости стоит скорость движения. Степень подрезания растений зависит от угла атаки. Глубина обработки практически не оказывает влияния на степень подрезания сорных растений. Это можно объяснить тем, что корневая система расположена на малой глубине. Для других культур этот фактор может играть существенную роль.

Ключевые слова: посев, комбинированная машина, планирование эксперимента, крошение почвы, твердость почвы, подрезание сорняков

RESEARCH OF THE COMBINED SOWING WORKING BODY

D.N. Radnaev, *Grand PhD in Engineering Sciences*
B.B. Tsybikov, *PhD in Agricultural Sciences*
D.-Ts.B. Badmatsyrenov, *PhD in Engineering Sciences*
Philippov V.R the Buryat State Academy of Agriculture, Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia
E-mail: daba01@mail.ru

Abstract. Today, the issues of ecology, resource conservation and reduction of production costs in agriculture are associated with the development of combined tillage — sowing machines, which make it possible to reduce a number of technological techniques. Taking into account these factors makes it possible to equip agricultural enterprises with means of mechanization adapted to the specific conditions of their production use. Therefore, a promising direction is the development of universal and combined machines, that is, technical means of mechanization capable of performing several technological operations in one working cycle or, after relatively simple retrofits, ensuring the consistent execution of a number of operations. To carry out experimental studies, an installation was developed and manufactured, which is a combined machine that provides pre-sowing tillage, strip spreading sowing, mineral fertilizers and post-sowing rolling. Using the experimental planning method, mathematical models have been developed that link factors such as the speed of the unit, the angle of attack of the coulter's paw, the depth of the coulter's paw when optimizing the degree of soil crumbling, pruning of weeds, changes in soil hardness. Analysis of mathematical models shows that factors in a certain way affect the quality of tillage (crumbling, hardness, pruning of plants). In the first place in terms of significant importance is the speed of movement. The degree of pruning of plants depends on the angle of attack. As for the depth of processing, this factor has practically no effect on the degree of pruning of weeds. This can be explained by the fact that the root system is located at a shallow depth. For other cultures, this factor may play a significant role.

Keywords: sowing, combined machine, experiment planning, soil crumbling, soil hardness, weed pruning

Вопросы экологизации, ресурсосбережения и снижения себестоимости продукции в земледелии связаны с освоением комбинированных почвообрабатывающих посевных машин, которые позволяют сократить количество технологических приемов. Сельхозпредприятия нуждаются в средствах механизации приспособленных к конкретным условиям их производственного применения. [5, 10]

Перспективное направление — разработка универсальных и комбинированных машин, способ-

ных за один рабочий цикл осуществлять несколько технологических приемов, обеспечивающих последовательное выполнение смежных операций. Еще один вариант оптимизации сельскохозяйственной техники состоит в создании и применении в комплексе с базовыми машинами и орудиями системы сменных рабочих органов, приспособленных для эффективного использования в широком диапазоне внешних условий, и выполнения узкого класса операций в специфических условиях. [4, 7–9]

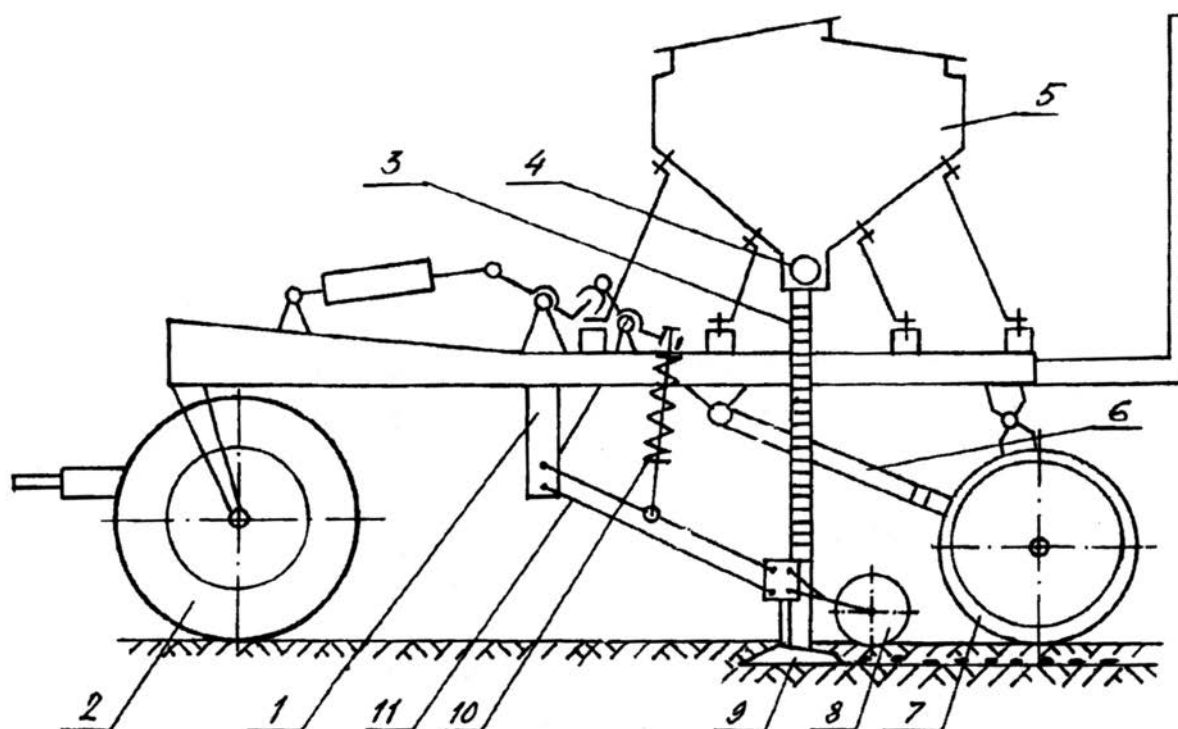


Схема экспериментальной сеялки: 1 – рама; 2 – самоустанавливающееся пневматическое колесо; 3 – семяпровод; 4 – высевной аппарат; 5 – бункер для семян и удобрений; 6 – шарнирная тяга; 7 – прикатывающие катки; 8 – каток сошника; 9 – лаповый сошник; 10 – нажимная пружина; 11 – поводок сошника в виде параллелограммного механизма.

Появление новых конструкций комбинированных машин и комплексов обусловлено применением ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур (почвозащитная, минимальная, нулевая и другие), а также стремлением к повышению точности посева. [3, 4, 14]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения экспериментальных исследований была разработана и изготовлена установка (см. рисунок), представляющая собой комбинированную машину, которая обеспечит выполнение агротехнических требований к предпосевной обработке почвы и посеву. [11, 12] Основные из них: равномерная плотность для суглинистых почв в слое 0...15 см – 1,1...1,2 г/см³ (для зерновых культур); на поверхности почвы не должно быть комков размером более 50 мм (до 25 мм – не менее 80%); гребнистость поверхности поля после прохода со средним отклонением высоты от прямой линии поверхности – ±20 мм.

Сеялка может за один проход одновременно производить безотвальную предпосевную обработку почвы, полосовой разбросной посев, внесение минеральных удобрений и послепосевное прикатывание. На первом этапе на поле учебного полигона Бурятского ГСХА изучали работу различного сочетания рабочих органов при посеве. Условия опыта: рельеф ровный, почва участка – средний суглинок, абсолютная влажность – 15,4...16,6% на глубине до 15 см, фон – пар. Опыты по определению агротехнических показателей в зависимости от режима работы агрегата проводили в соответствии с методикой ОСТ 70.5.1-82 и ОСТ 10.5.1-2000.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью планирования эксперимента можно получить математические модели, связывающие исследуемый параметр со всеми влияющими на него факторами. [1, 6, 13]

Предположим, что в рассматриваемой сложной системе существует функциональная связь между факторами (скорость движения агрегата, угол атаки лапы сошника, глубина хода лапы сошника) рабочего органа. Тогда в общем виде математическое описание процесса представляет зависимость:

$$y = f(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

где y – исследуемый параметр; x_1, x_2, x_3 – независимые переменные (факторы), которые можно изменять при постановке эксперимента.

В качестве исследуемых параметров оптимизации установлены степени крошения почвы, подрезания

Таблица 1.
Условия кодирования переменных факторов

Уровень и интервал варьирования	Значение фактора		
	x_1	x_2	x_3
Основной (x_0)	1,5	70	7
Интервал варьирования	0,9	20	2
Верхний уровень (+1)	2,4	90	9
Нижний (-1)	0,6	50	5

Примечание. x_1 – скорость движения агрегата м/с, x_2 – угол атаки лапы сошника, град; x_3 – глубина хода лапы сошника, см.

Таблица 2.

Матрица планирования и результаты эксперимента для крошения почвы, подрезания сорных растений и изменения твердости почвы, %

№ опыта	Фактор				Степень крошения почвы					Подрезание сорных растений					Изменение твердости почвы				
	x_0	x_1	x_2	x_3	KP_1	KP_2	KP_3	KP_4	$\overline{KP}$	W_1	W_2	W_3	W_4	$\overline{W}$	T_1	T_2	T_3	T_4	$\overline{T}$
1	+	-	-	-	76,9	75,5	76,7	73,7	75,7	75,5	74,3	76,2	75,2	75,3	17,5	20,2	21,1	18,5	19,3
2	+	+	-	-	78,8	81,7	79,2	80,8	80,1	83,6	82,8	84,5	83,2	83,5	22,3	25,1	22,8	25,6	24,0
3	+	-	+	-	76,7	77,5	79,4	78,4	78,0	86,6	85,9	87,4	86,4	86,6	30,1	29,5	27,9	31,3	29,7
4	+	+	+	-	88,6	89,3	87,2	90,1	88,8	93,5	94,2	95,2	94,4	94,3	36,2	34,9	33,9	36,8	35,5
5	+	-	+	+	83,6	79,7	80,2	82,5	81,5	85,6	86,6	86,8	87,7	86,7	43,8	44,4	46,8	43,9	44,7
6	+	+	+	+	91,8	88,6	92,1	89,5	90,5	94,5	93,8	94,8	95,3	94,6	44,8	51,8	50,6	51,3	50,6
7	+	-	-	+	76,1	80,9	77,7	79,2	78,5	77,5	76,4	76,8	75,8	76,6	29,2	31,5	22,8	32,7	30,8
8	+	+	-	+	87,3	83,4	86,5	84,8	85,5	83,5	84,2	84,8	85,2	84,4	35,2	34,8	34,4	32,2	33,5

Примечание. (+) и (-) – уровни варьирования переменных.

сорных растений, изменения твердости почвы. План исследований – полный факторный эксперимент типа 2^3 с варьированием переменных на двух уровнях для рабочего органа комбинированной машины (табл. 1). [6, 13]

Матрица планирования и результаты полного факторного эксперимента приведены в таблице 2.

В общем виде уравнение регрессии для трех факторов в первом приближении:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (2)$$

Результаты опытов обрабатывали по методикам. [1, 4, 5] Вычисленные коэффициенты регрессии и другие статистические характеристики приведены в таблице 3.

Гипотезу об однородности построчных выборочных дисперсий при одинаковом объеме всех выборок проверяли по критерию Кохрена:

$$G_p = \frac{S_f^2 \max}{\sum_i S_f^2} < G_q(f_n, N), \quad (3)$$

где $G_q(f_n, N)$ – табличное значение критерия при уровне значимости q ; $f_n = n - 1$ – число степеней свободы для выборочных дисперсий; n – количество параллельных опытов.

Поскольку вычисленные значения G_q (табл. 3) меньше табличного $G_{q,0,05}(2,8) = 0,516$ и $G_{q,0,05}(3,8) = 0,4226$, условие (3) выполняется – расхождения между дисперсиями незначительны, опыты воспроизводимы.

Доверительные интервалы Δb_j для коэффициентов уравнения регрессии получены (уровень значимости $q = 5\%$) при

$$|\Delta b_j| > b_j. \quad (4)$$

Коэффициент регрессии b_j – статистически значим.

После исключения незначимых коэффициентов были получены интерполяционные уравнения: для степени рыхления почвы (%)

$$\hat{K}_p = 67,225 + 0,825x_1 + 0,118x_2 + 0,3335x_3 + 0,231x_1x_2; \quad (5)$$

подрезания сорных растений (%)

$$\hat{W} = 61,25 + 4,4x_1 + 1,1x_2 + 0,065x_3, \quad (6)$$

где $W = \frac{W - W_n}{W_g} \cdot 100\%$;

изменения твердости почвы (%)

$$\hat{T} = 0,91 + 0,86x_1 + 0,24x_2 + 0,57x_3 + 0,12x_1x_2 + 0,047x_2x_3, \quad (7)$$

где $T = \frac{T_g - T_n}{T_g} \cdot 100\%$.

Для проверки адекватности полученных уравнений использован критерий Фишера:

$$F_p = \frac{S^2_{ад}}{S^2_{(g)}}, \quad (8)$$

Таблица 3.
Результаты математической обработки экспериментов

Характеристика	Степень крошения почвы	Подрезание сорных растений	Изменение твердости почвы
	%		
Коэффициенты регрессии b_{01}	67,225	61,25	0,91
b_1	0,825	4,4	0,86
b_2	0,118	1,1	0,24
b_3	0,335	0,065	0,57
b_{12}	0,231	–	0,12
b_{13}	–	–	–
b_{23}	–	–	0,047
b_{123}	–	–	–
Расчетное значение критерия Кохрена G_p	0,205	0,178	0,158
Дисперсия воспроизводимости результатов эксперимента $S^2(y)$	2,57	0,52	2,134
Дисперсия коэффициентов регрессии $S^2(b_j)$	0,08	0,016	0,067
Доверительный интервал коэффициентов регрессии b_j	0,583	0,26	0,532
Дисперсия адекватности $S^2_{ад}$	5,97	0,97	5,66
Расчетное значение критерия F_p	2,3	1,87	2,65

где $S_{ад}^2$ — дисперсия адекватности, характеризующая отклонение экспериментальных точек от найденных по уравнению регрессии; $S^2\{g\}$ — дисперсия воспроизводимости результатов эксперимента.

Уравнение регрессии адекватно экспериментальным данным, если

$$F_p \leq F_q(F_1, F_2), \quad (9)$$

где $F_q(F_1, F_2)$ — табличное значение F-критерия, найденное при числах степеней свободы F_1 и F_2 и уровня значимости q : $F_1 = N - k$ — число степеней свободы для дисперсии адекватности (k — число значимых коэффициентов уравнения регрессии); $F_2 = N(n - 1)$ — число степеней свободы для дисперсии воспроизводимости.

В результате расчетов оказалось, что вычисленные значения F меньше табличных — $F_{q,0.05}(3,16) = 3,24$; $F_{q,0.05}(3,24) = 3,01$; $F_{q,0.05}(4,24) = 2,78$.

Следовательно, гипотеза об адекватности доказана. Анализ уравнений регрессии позволяет оценить степень влияния как отдельных факторов, так и их взаимодействия на процесс обработки почвы с помощью комбинированного агрегата. Знаки и величины коэффициентов регрессии характеризуют направления и степень влияния линейных эффектов и эффектов взаимодействия.

Анализ уравнений показывает, что факторы x_1 , x_2 , x_3 определяют качество обработки почвы (крошение, твердость, подрезание растений). На первом месте по существенной значимости стоит скорость движения x_1 . Степень подрезания растений зависит от угла атаки x_2 . Что касается глубины обработки x_3 , то этот фактор практически не оказывает влияния на степень подрезания сорных растений. Это можно объяснить тем, что корневая система расположена на малой глубине. Для других культур этот фактор может играть существенную роль.

Выводы. Разработаны интерполяционные уравнения для степени рыхления почвы, подрезания сорных растений и изменения твердости почвы. Гипотеза об адекватности линейной модели принята, так как расчетное значение F -критерия не превышает табличного для выбранного уровня значимости с 95%-й достоверностью.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Адлер Ю.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.
2. Кем А.А. Совершенствование способов посева зерновых в Западной Сибири /Зерновое хозяйство. 2007. № 1. С. 17–19.
3. Кем А.А., Кокорин М.В., Кобяков Н.В., Кузнецов Т.Ю. Комбинированный сошник для разноровневого посева семян и внесения минеральных удобрений. В сб.: Проблемы научно-технологической модернизации сельского хозяйства: производство, менеджмент, экономика. Сборник трудов Международной науч.-практ. конф. обучающихся в магистратуре. Институт экономики и финансов ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина. 2014. С. 32–36.

4. Кем А.А., Михальцов Е.М., Чекусов М.С., Шмидт А.Н. Сеялка для разноразмерного посева зерновых и внесения минеральных удобрений. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 62–68
5. Лачуга Ю.Ф., Конкин М.Ю. Ресурсосберегающая направленность технической политики в сельском хозяйстве // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 1. С. 3–7.
6. Мельников С.В. и др. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Колос, 1980.
7. Мударисов С.Г. Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 7. С. 27–30.
8. Мударисов С.Г., Мухаметдинов А.М. Результаты полевых испытаний комбинированного сошника. В сборнике: Достижения науки — агропромышленному производству. Материалы I Международной научно-технической конференции. Редактор: Н.С. Сергеев. 2011. С. 171–175.
9. Мухаметдинов А.М., Мударисов С.Г., Ямалетдинов М.М. Разработка математической модели процесса взаимодействия комбинированного сошника с почвой. Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 17. С. 84–89.
10. Орлова Л.В. Анализ внедрения ресурсосберегающих технологий в России / Достижения науки и техники АПК. № 6. 2005. С. 2–5.
11. Раднаев Д.Н., Тумурхонов В.В., Прокопьев С.Н. Почвообрабатывающая посевная машина. Патент на полезную модель RU № 103695 U1, 27.04.2011. Заявка № 2010143380/21 от 22.10.2010
12. СТО АИСТ 5.6-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные и посадочные. Показатели назначения. Общие требования [Текст]. Введ. 2011-04-15. М.: Стандартинформ, 2011.
13. Тихомиров В.Б. Математические методы планирования экспериментов при изучении нетканых материалов. М: Лёгкая индустрия, 1968. 156 с.
14. Radnaev D.N., Pekhutov A.S., Abiduev A.A. et al. Efficiency of Row Packing when Sowing Grain Crops. AIP Conference Proceedings, 2022, 2661, 130001.

REFERENCES

1. Adler Yu.P. i dr. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. M.: Nauka, 1976.
2. Kem A.A. Sovershenstvovanie sposobov poseva zernovykh v Zapadnoy Sibiri / Zernovoe hozyajstvo. 2007. № 1. S. 17–19.
3. Kem A.A., Kokorin M.V., Kobyakov N.V., Kuznecov T. Yu. Kombinirovannyj soshnik dlya raznourovnevnogo poseva semyan i vneseniya mineral'nykh udobrenij. V sb.: Problemy nauchno-tehnologicheskoy modernizacii sel'skogo hozyajstva: proizvodstvo, menedzhment, ekonomika. Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. obuchayushchihsy v magistrature. Institut ekonomiki i finansov FGBOU VPO OmGAU im. P.A. Stolypina. 2014. S. 32–36.
4. Kem A.A., Mihal'cov E.M., Chekusov M.S., Shmidt A.N. Seyalka dlya raznoglubinnogo poseva zernovykh i vneseniya mineral'nykh udobrenij. Sel'skohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii. 2022. T. 16. № 2. S. 62–68
5. Lachuga Yu.F., Konkin M.Yu. Resursosberegayushchaya napravlennost' tekhnicheskoy politiki v sel'skom hozyajstve // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2008. № 1. S. 3–7.

6. Mel'nikov S.V. i dr. Planirovanie eksperimenta v issledovaniyah sel'skohozyajstvennyh processov / 2-e izd. pererab. i dop. L.: Kolos, 1980.
7. Mudarisov S.G. Modelirovanie processa vzaimodejstviya rabochih organov pochvoj. Traktory sel'skohozyajstvennyye mashiny. 2005. № 7. S. 27–30.
8. Mudarisov S.G., Muhametdinov A.M. Rezul'taty polevyh ispytaniy kombinirovannogo soshnika. V sbornike: Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu. Materialy L Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Redaktor: N.S. Sergeev. 2011. S. 171–175.
9. Muhametdinov A.M., Mudarisov S.G., Yamaletdinov M.M. Razrabotka matematicheskoy modeli processa vzaimodejstviya kombinirovannogo soshnika s pochvoj. Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. 2013. № 17. S. 84–89.
10. Orlova L.V. Analiz vnedreniya resursosberegayushchih tekhnologij v Rossii / Dostizheniya nauki i tekhniki APK. № 6. 2005. S. 2–5.
11. Radnaev D.N., Tumurhonov V.V., Prokop'ev S.N. Pochvoobrabatyvayushchaya posevnaya mashina. Patent na poleznuyu model' RU № 103695 U1, 27.04.2011. Zayavka № 2010143380/21 ot 22.10.2010
12. STO AIST 5.6-2010. Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Mashiny posevnye i posadochnye. Pokazateli naznacheniya. Obshchie trebovaniya [Tekst]. Vved. 2011-04-15. M.: Standartinform, 2011.
13. Tihomirov V.B. Matematicheskie metody planirovaniya eksperimentov pri izuchenii netkanyh materialov. M: Lyogkaya industriya, 1968. 156 s.
14. Radnaev D.N., Pekhutov A.S., Abiduev A.A. et al. Efficiency of Row Packing when Sowing Grain Crops. AIP Conference Proceedings, 2022, 2661, 130001.

Поступила в редакцию 20.02.2023

Принята к публикации 06.03.2023 •