

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ СПИРАЛЬНО-ВИНТОВОГО КАТКА

OPTIMIZATION OF PARAMETERS AND MODES OF OPERATION OF THE SPIRAL-SCREW ROLLER

Г.Г. МАСЛОВ, д.т.н.
Р.О. ЕВГЛЕВСКИЙ
В.В. ЦЫБУЛЕВСКИЙ, к.т.н.

Кубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия,
evglevsky.roman@yandex.ru

G.G. MASLOV, DSc in Engineering
R.O. EVGLEVSKIJ
V.V. CYBULEVSKIJ, PhD in Engineering

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia, evglevsky.
roman@yandex.ru

Методом планирования двухфакторного эксперимента обоснованы оптимальные параметры и режим работы спирально-винтового катка для прикатывания почвы с целью создания ее оптимальной плотности в посевном слое, обеспечивающей дружные всходы высеянных семян культурных растений и их устойчивое развитие. Исследования выполнены с использованием положений теории планирования эксперимента и основных методов измерений, регламентированных нормативной документацией. Количественными факторами математического метода планирования являются конструктивные параметры и режимы работы прикатывающего катка. Для их оптимизации использовали V_k (план), а в качестве критерия оптимизации (отклика) принята плотность почвы в прикатанном слое, которая зависит от величины балластного груза, закрепленного на раме катка, и рабочей скорости движения агрегата. Уровни варьирования факторов выбраны так, чтобы их оптимальные значения, рассчитанные теоретически, попадали в центр интервала варьирования. Используя полученные уравнения регрессии в канонической форме, получили гиперповерхности зависимости плотности почвы в посевном слое от рабочей скорости агрегата и балластного груза, а также зависимости двумерных сечений плотности почвы. Центр эксперимента лежит в пределах области эксперимента. Получено значение оптимальной плотности почвы в посевном слое – 1,25 г/см³ при рабочей скорости агрегата 7,6 км/ч и величины балластного груза 42,4 кг.

Ключевые слова: планирование эксперимента, поверхность отклика, двумерные сечения, центр плана, факторы, уравнение регрессии, плотность почвы.

The method of planning a two-factor experiment substantiates the optimal parameters and operation mode of the spiral-helical roller for compacting the soil in order to create its optimum density in the sowing layer, which ensures friendly shoots of the sown seeds of cultivated plants and their sustainable development. The studies were carried out using the provisions of the experiment planning theory and the main measurement methods written in the regulatory documentation. The quantitative factors of the mathematical planning method are the design parameters and operating modes of the press roller. The V_k (plan) was used for its optimization, and the density of the soil in the rolled layer was taken as the optimization criterion (response), which depends on the size of the ballast weight attached to the frame of the roller and the operating speed of the unit. The levels of variation of the factors are chosen so that their optimal values, calculated theoretically, fall into the center of the interval of variation. Using the obtained regression equations in canonical form, we obtained hypersurfaces of dependence of soil density in the sowing layer on the operating speed of the aggregate and ballast weights, as well as dependencies of two-dimensional sections of soil density. The center of the experiment lies within the scope of the experiment. The value of the optimum density of the soil in the sowing layer of 1,25 g/cm³ at a working speed of the unit of 7,6 km/h and a ballast weight of 42,4 kg was obtained.

Keywords: experiment planning, response surface, two-dimensional sections, center of the plan, factors, regression equation, soil density.

Введение

Развитие современной сельскохозяйственной техники и ее технический уровень тесно связаны с оптимизацией производственных процессов, выполняемых машинами, а также их параметров и режимов работы. Для получения этих значений используют математические методы планирования экспериментов, которые позволяют существенно повышать эффективность экспериментальных исследований и разработок. Планирование эксперимента позволяет более чем в три раза сократить сроки исследований, затраты на их проведение и повысить достоверность полученных результатов.

Цель работы

Оптимизировать методом планирования эксперимента конструктивные и режимные параметры прикатывающего спирально-винтового катка для прикатывания почвы после посева зерновых, колосовых культур. Задача прикатывающего катка – создать оптимальную плотность почвы в посевном слое, чтобы обеспечить благоприятные условия для всходов семян сельскохозяйственных культур и последующего развития растений [1]. Предлагаемый нами каток используется в составе многофункционального посевного агрегата, обеспечивая за один проход агрегата внесение удобрений, посев семян и прикатывание [2]. Такое совмещение технологических операций, бесспорно, обеспечит высокую эффективность по сравнению с однооперационными машинами.

Материалы и методы

Для оптимизации конструктивных и режимных параметров прикатывающего спирально-винтового катка использовался метод экспериментального исследования, известный как V_k (план). При этом изучалось влияние двух факторов и фиксировали их значение на оптимальных уровнях. Факторы, интервалы и уровни варьирования представлены в табл. 1.

В качестве критерия оптимизации (отклика) принята плотность почвы в прикатанном слое, которая зависит от балластного груза на

раме катка и рабочей скорости движения агрегата при определенной влажности почвы.

Уровни факторов выбрали таким образом, чтобы оптимальные их значения, рассчитанные теоретически или с учетом существующих ограничений, попадали в центр интервала варьирования.

Максимальным значением первого фактора являлось значение рабочей скорости движения агрегата $V_p = 12$ км/ч, минимальным – 4 км/ч, средним – 8 км/ч, что и соответствовало интервалу варьирования скорости в центре плана, равному 4 км/ч.

Максимальным значением второго фактора являлось значение балластного груза на раме катка $G = 60$ кг, которое снижалось до минимального – 20 кг; среднее значение составило 40 кг, что также соответствовало интервалу варьирования в центре плана, равного 20 кг.

Другие конструктивные управляемые факторы прикатывающего катка в работе не использовались, так как они не являются определяющими для качественного прикатывания.

Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 2.

Порядок проведения опыта выполнялся согласно таблице случайных чисел. Результаты экспериментальных исследований по определению качественных показателей и оптимизации параметров процесса обрабатывали по известным методикам [3, 4].

Результаты и обсуждения

После математической обработки экспериментальных данных получили следующие уравнения регрессии с действительными коэффициентами:

$$Y = D_0 + D_1 X_1 + D_2 X_2 + D_{12} X_1 X_2 + D_{11} X_1^2 + D_{22} X_2^2, \quad (1)$$

где $D_0 = 0,463$; $D_1 = -0,14$; $D_2 = 0,062$; $D_{12} = 5 \cdot 10^{-4}$; $D_{11} = 7,813 \cdot 10^{-3}$; $D_{22} = 7,75 \cdot 10^{-4}$ – действительные значения коэффициентов уравнения регрессии.

Центр плана: $X_1 = 8$ км/ч, а $X_2 = 40$ км/ч.

Таблица 1

Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированный интервал	Уровни варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Скорость движения агрегата V , км/ч	x_1	4	4	8	12
Дополнительный груз	x_2	20	20	40	60

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Факторы				Отклик	
	V_p , км/ч	G , кг	x_1	x_2	P , г/см ³	
1	12	60	+1	+1	1,22	ПФЭ
2	4	60	-1	+1	1,11	
3	12	20	+1	-1	0,96	
4	4	20	-1	-1	1,01	
5	12	40	+1	0	1,41	Звездные точки
6	4	40	-1	0	1,36	
7	8	60	0	+1	1,04	
8	8	20	0	-1	0,86	
9	8	40	0	0		Центр плана

После преобразования действительных значений коэффициентов уравнения регрессии в нормализованные, учитывая уравнения перевода, получим:

$$x_1 = \frac{x_1 - x_{o1}}{\Delta_1}; \quad (2)$$

$$x_2 = \frac{x_2 - x_{o2}}{\Delta_2}; \quad (3)$$

нормализованные значения коэффициентов уравнения регрессии будут:

$$b_o = 1,243; b_1 = 0,020; b_2 = 0,080; \\ b_{12} = 0,040; b_{11} = 0,125; b_{22} = 0,310.$$

После расчета коэффициентов проверяли гипотезу об их статистической значимости по критерию Стьюдента. Все коэффициенты уравнения регрессии оказались статистически значимыми.

Уравнение регрессии с нормализованными коэффициентами примет вид:

$$y = 1,243 + 0,020x_1 + 0,080x_2 + 0,040x_{12} + \\ + 0,125x_1^2 - 0,310x_2^2. \quad (4)$$

Проверку адекватности полученного уравнения провели по критерию Фишера, сравнивая полученное значение с табличным, оно не превышает его. Дисперсию опыта определили из дополнительно проведенных опытов в центре плана – в количестве пяти.

$$F_p < F_p, 1,065 < 6,04.$$

Для нахождения оптимальных значений исследуемых факторов найдем частные производные уравнения (4) по факторам:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dx_1} = 0,02 + 0,04x_2 + 0,25x_1 \\ \frac{dy_1}{dx_2} = 0,08 + 0,04x_1 - 0,62x_2. \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему линейных уравнений, найдем координаты центра поверхности отклика.

$$x_1 = 0,1; x_2 = 0,123.$$

Поверхность изучали с помощью двумерных сечений для более детального представления о поверхности отклика вблизи центра.

Подставляя найденные значения x_1 и x_2 в уравнение (4), определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика: $Y_0 = 1,25$.

Угол поворота осей равен 2,63 градуса, т.е. уравнение (4) не имеет парных взаимодействий, а коэффициенты регрессии в канонической форме равны $B_{11} = 0,126; B_{22} = -0,311$.

Инварианты: $J_1 = -0,158; J_2 = -0,185$.

Уравнение регрессии в канонической форме:

$$Y - 1,25 = 0,126X_1^2 - 0,311X_2^2. \quad (6)$$

Коэффициенты канонического уравнения регрессии имеют разные знаки, поверхность отклики является гиперболическим параболоидом, а центр фигуры называется седлом, или минимаксом.

После подстановки различных значений отклика Y в каноническое уравнение (6) было получено семейство сопряженных изолиний (рис. 1 и 2).

На рис. 3 представлены поверхности отклика в зависимости от скорости движения агрегата и балластного груза, шкалы в натуральных единицах: а) график функции $P = f(G, V_p)$; б) график функции $P = f(V_p, G)$.

Центр эксперимента лежит в пределах области эксперимента.

Оптимальная плотность почвы в семенном ложе при посеве озимой пшеницы будет равна 1,25 при скорости движения агрегата 7,6 км/ч и балластном грузе 42,4 кг.

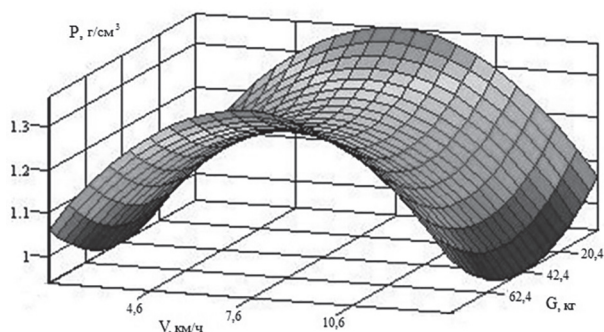


Рис. 1. Поверхность зависимости плотности почвы в посевном слое при прикатывании озимой пшеницы МФА от скорости движения агрегата и балластного груза

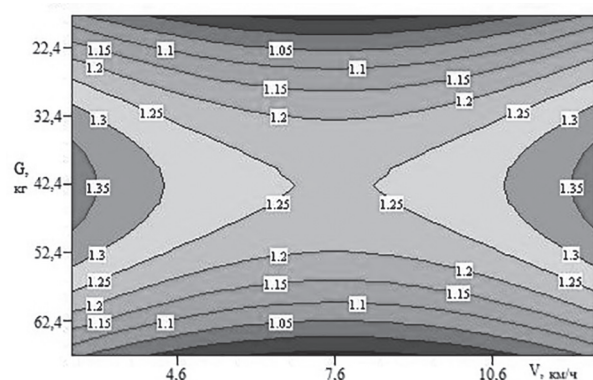
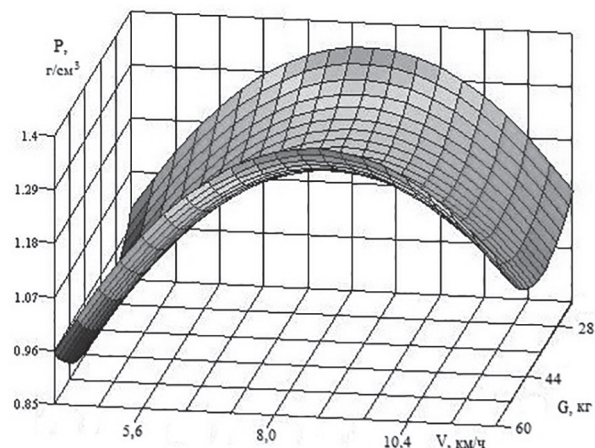
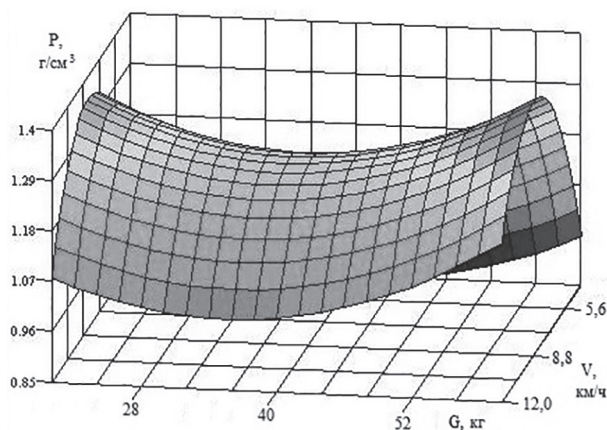


Рис. 2. Зависимости двумерных сечений плотностных почв в посевном слое при прикатывании озимой пшеницы от скорости движения агрегата и балластного груза



a



б

Рис. 3. Поверхности отклика в зависимости от скорости движения агрегата и балластного груза

Выводы

На основании оптимизации параметров и режимов работы спирально-винтового катка методом планирования двухфакторного эксперимента установлено, что центр эксперимента лежит в пределах области эксперимента; оптимальное значение плотности почвы в посевном слое при прикатывании посевов озимой пшеницы составило $1,25 \text{ г/см}^3$ при рабочей скорости движения агрегата $7,6 \text{ км/ч}$ и балластном грузе на раме прикатывающего катка $42,4 \text{ кг}$.

Литература

1. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе. Краснодар, 2018. 352 с.
2. Маслов Г.Г., Евглевский Р.О. Энергосберегающий агрегат для посева зерновых колосовых культур // Техника и оборудование для села. 2018. № 12 (258). С. 12–14.

3. Налимов В.В., Чернова Н.А., Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
4. Свид. № 2004612241. План Вк 2-х факторный: программа / Цыбулевский В.В. М.: Роспатент, 2004.

References

1. Sistema zemledeliya Krasnodarskogo kraja na agrolandshaftnoj osnove [The system of agriculture on an agroland-scape basis of the Krasnodar Krai]. Krasnodar, 2018. 352 p.
2. Maslov G.G., Evglevskij R.O. Energy-saving unit for sowing cereal crops. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2018. No 12(258), pp. 12–14 (in Russ.).
3. Nalimov V.V., Chernova N.A. Statisticheskie metody planirovaniya chkstremal'nyh chksperimentov [Statistical methods for planning extreme experiments]. Moscow: «Nauka» Publ., 1965. 340 p.
4. Cybulevskij V.V. Plan Vk 2-h faktornyj: programma [2-factor plan Vk: program]. SVMD. № 2004612241. Moscow: Rospatent Publ., 2004.