

Научная статья

УДК 631.316.2

doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51

ОЦЕНКА УПЛОТНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КАТКА НА ПОЧВУ КОМБИНИРОВАННОГО КУЛЬТИВАТОРА

Алексей Александрович Жалнин^{1✉}, Михаил Николаевич Чаткин², Сергей Евгеньевич Федоров³, Николай Александрович Жалнин⁴, Алексей Сергеевич Князьков⁵

1, 2, 3, 4, 5 Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия

¹alekseisxm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0719-9492>

²chatkinm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3758-7066>

³seregafedorov1989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7784-1946>

⁴nik.zhalnin2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4307-4619>

⁵ka13@ro.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8559-5100>

Резюме. Цель исследований – оценить конструктивные и кинематические параметры механизма регулирования рабочих органов комбинированного культиватора из условий функционирования, при котором обеспечивается необходимое воздействие на объект обработки – почву. Современные проблемы агропромышленного комплекса ставят перед учеными создание новых почвообрабатывающих машин на основе использования достижений в области информационно-коммуникационных, геоинформационных и компьютерных технологий – способных повысить производительность, снизить энерго- и трудозатраты в получении сельскохозяйственной продукции. Существует настоятельная необходимость в разработке комбинированных культиваторов, способных за один проход сформировать семенное ложе в соответствии с агротехническими требованиями, а также с возможностью изменения технологических параметров в зависимости от состояния почвы и биологических особенностей возделываемой культуры. Нами предложена конструкция адаптивного комбинированного культиватора с механизмом регулирования жесткости подвески катка и определены теоретические зависимости, характеризующие его конструктивно-режимные параметры на основе положений классической механики и законов математики. Определено необходимое усилие пружинного механизма регулирования для обеспечения требуемого давления катка. Из условия равновесия катка с учетом воздействия сил и моментов со стороны почвы на каток определены его параметры, при которых обеспечивается его работоспособность. Проведенные экспериментальные исследования показали, что в диапазоне рабочей глубины обработки и плотности почвы, показатель качества крошения почвы находится в пределах агротехнических требований и составляет 83...89%. Поэтому, для улучшения качества обработки, необходимо применять адаптивные комбинированные машины и агрегаты, способных подстраиваться под любые почвенные условия.

Ключевые слова: комбинированный культиватор, механизм регулирования, почва, каток.

Для цитирования: Жалнин А. А., Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Жалнин Н. А., Князьков А. С. Оценка уплотняющего воздействия катка на почву комбинированного культиватора // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №2. С. 44-51. doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51

Original article

ASSESSMENT OF THE COMPACTING EFFECT OF THE ROLLER ON THE SOIL COMBINED CULTIVATOR

Alexey A. Zhalnin^{1✉}, Mikhail N. Chatkin², Sergey E. Fedorov³, Nikolai A. Zhalnin⁴, Alexey S. Knyazkov⁵

1, 2, 3, 4, 5 N. P. Ogarev National Research Mordovian State University, Saransk, Russia

¹alekseisxm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0719-9492>

²chatkinm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3758-7066>

³seregafedorov1989@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7784-1946>

⁴nik.zhalnin2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4307-4619>

⁵ka13@ro.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8559-5100>

© Жалнин А. А., Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Жалнин Н. А., Князьков А. С., 2024

Abstracts. The purpose of the research is to evaluate the constructive and kinematic parameters of the mechanism of regulation of the working parts of a combined cultivator from the operating conditions, which provides the necessary impact on the object of processing – the soil. Modern problems of the agro-industrial complex pose to scientists the creation of new tillage machines based on the use of achievements in the field of information and switching, geoinformation and computer technologies that can increase productivity, reduce energy and labor costs in obtaining agricultural products. There is an urgent need to develop combined cultivators capable of forming a seedbed in one pass in accordance with agrotechnical requirements, as well as with the possibility of changing technological parameters depending on the state of the soil and the biological characteristics of the cultivated crop. We have proposed the design of an adaptive combined cultivator with a mechanism for regulating the stiffness of the roller suspension and determined the theoretical dependencies characterizing its design and operating parameters based on the provisions of classical mechanics and the laws of mathematics. The required force of the spring control mechanism has been determined to ensure the required roller pressure. From the equilibrium condition of the roller, taking into account the impact of forces and moments from the soil on the roller, its parameters are determined, which ensure its operability. The conducted experimental studies have shown that in the range of working depth of cultivation and soil density, the indicator of soil quality is within the limits of agrotechnical requirements and amounts to 83...89%. Therefore, in order to improve the quality of processing, it is necessary to use adaptive combined machines and units capable of adapting to any soil conditions.

Keywords: combined cultivator, control mechanism, soil, roller.

For citation: Zhalnin, A. A., Chatkin, M. N., Fedorov, S. E., Zhalnin, N. A. & Knyazkov, A. S. (2024). Assessment of the compacting effect of the roller on the soil combined cultivator. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 2, 44-51 (in Russ.). doi: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51

В настоящее время актуальным вопросом при обработке почвы является не только сохранение, но и повышение ее плодородия. Плотность сложения почвы непосредственно влияет на условия развития возделываемой культуры, качество и затраты энергии на механическую работу при ее рыхлении [1, 2]. Для обеспечения необходимого уровня перечисленных показателей следует подобрать вид механической обработки, конструктивное исполнение рабочих органов, последовательность и перечень одновременно выполняемых технологических операций одной машиной, состав машинно-тракторного агрегата и др. Таким образом, можно сделать вывод об избирательности такого агротехнического приема, как обработка почвы. Она должна выполняться с учетом типа почвы, ее сложения и возделываемой культуры. Однако даже в пределах одного поля меняются характеристики почвы, что учитывается в процессе ее подготовки под посев определенной культуры [3, 4].

Цель исследований – оценить конструктивные и кинематические параметры механизма регулирования рабочих органов комбинированного культиватора из условий функционирования, при котором обеспечивается необходимое воздействие на объект обработки – почву.

Задачи исследований – оценка влияния конструктивно-технологических параметров механизма регулирования рабочих органов адаптивного комбинированного культиватора и режимов его работы на основные показатели технологического процесса дифференцированной обработки почвы

Материалы и методы исследований. Проведенный литературный анализ конструктивных схем современных комбинированных машин сельскохозяйственного назначения показывает наличие в их конструкции кривошипно-коромысловых механизмов различного назначения [5, 6]. Нами предложен аналогичный механизм регулирования жесткости упругих стоек, звенья которого, воздействуя через пружину на двуплечий рычаг подвески катка, создают уплотняюще-рыхляющее действие на обрабатываемую почву (рис. 1). Для выявления перемещений, скоростей и ускорений кинематических пар, отдельных характерных точек звеньев и дальнейшего рассмотрения его динамики выполним кинематический анализ механизма.

Силовой анализ кривошипно-коромыслового механизма является одним из важных этапов их проектирования, поскольку силы, действующие на звенья механизма, необходимо знать для проведения проектных и проверочных расчетов. Для выполнения анонсированного кинематического и силового анализа построим схему механизма в масштабе $\mu_1 = 0,005 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$.

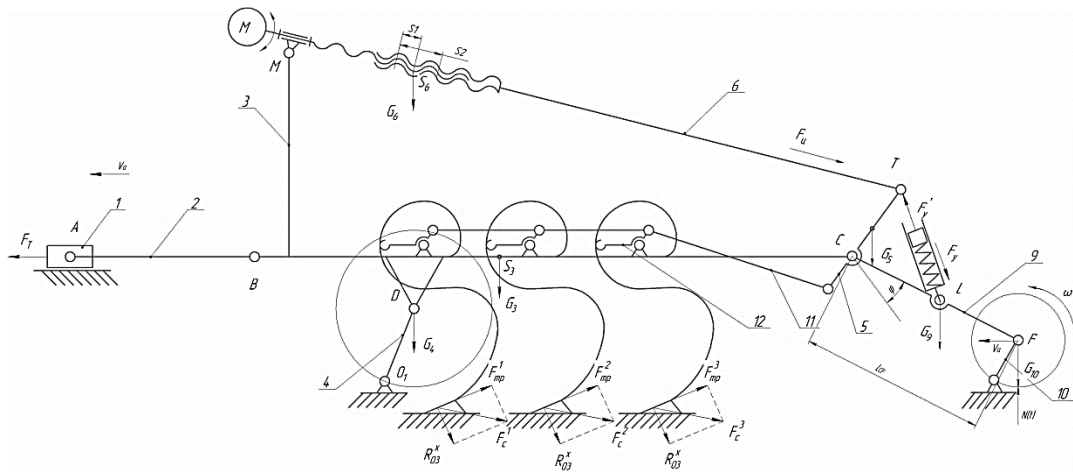


Рис. 1. Кинематическая схема адаптивного комбинированного культиватора с величинами сил, действующими на механизм

В процессе работы почвообрабатывающий каток перекачивается по поверхности почвы под действием тягового усилия F_T со стороны трактора. Перевод катка из транспортного в рабочее положение происходит за счет изменения длины штока электроцилиндра S_1 , S_2 и соответственно, звена 6. Изменения потенциальной силы электроцилиндра создает момент сил $M_n(t)$ на звене 5, происходит деформация пружины с усилием F_y , которое совместно с силой тяжести катка G_{10} создают усилие воздействия катка на почву. При этом противодействующая этим силам является реакция $N(t)$, действующая со стороны почвы.

При движении катка по полю величина уплотняющего воздействия на поверхность почвы приложена к оси его вращения и определяется суммой действия силы пружины $F(y)$ через звено 9 подвески и составляющей силы G_{10} , тяжести катка (рис. 1).

Из условия равновесия системы с учетом воздействия на каток сил и моментов со стороны почвы через подвеску и раму орудия определим параметры, при которых обеспечивается его работоспособность. Вычислим основные силы, действующие на механизм подвески катка. Сила тяжести катка создающее давление на почву определим по формуле:

$$\overrightarrow{G_{10}} = m_k g, \quad (1)$$

где m_k – масса катка, Н; g – ускорение свободного падения, м/с².

В кривошипно-коромысловом механизме усилие пружины заменим силами F_y' и F_y , приложив в соответствующие точки на схеме механизма:

$$F_y = F_y'. \quad (2)$$

В силовом расчете механизма, звено, регулирующее жесткость пружины, представим в виде цельного жесткого звена 6. Отделяем от механизма группу звеньев 9-10, а реакции в кинематических парах заменяем силовыми связями $\overrightarrow{R_{39}}$ и $\overrightarrow{R_{010}}$.

Для звена 9 составим уравнение моментов относительно точки F и определим $\overrightarrow{R_{39}^t}$:

$$\sum M_F^{(9)} = 0, \quad (3)$$

$$-\overrightarrow{R_{39}^t} \cdot l_{CF} + \overrightarrow{F_y} \cdot h_y + \overrightarrow{G_9} \cdot h_9 = 0. \quad (4)$$

$$\overrightarrow{R_{39}^t} = \frac{\overrightarrow{F_y} \cdot h_y + \overrightarrow{G_9} \cdot h_9}{l_{CF}}. \quad (5)$$

Векторное уравнение равновесия для всей группы запишется следующим образом:

$$\overrightarrow{R_{39}^n} + \overrightarrow{R_{39}^t} + \overrightarrow{F_y} + \overrightarrow{G_9} + \overrightarrow{G_{10}} + \overrightarrow{R_{010}^t} + \overrightarrow{R_{010}^n} = 0. \quad (6)$$

Решим уравнение графически, для чего построим многоугольник плана сил в масштабе $\mu_i = 20 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$, замкнув его известными по направлению векторами $\overrightarrow{R_{39}^n}$ и $\overrightarrow{R_{010}^n}$ (рис. 2).

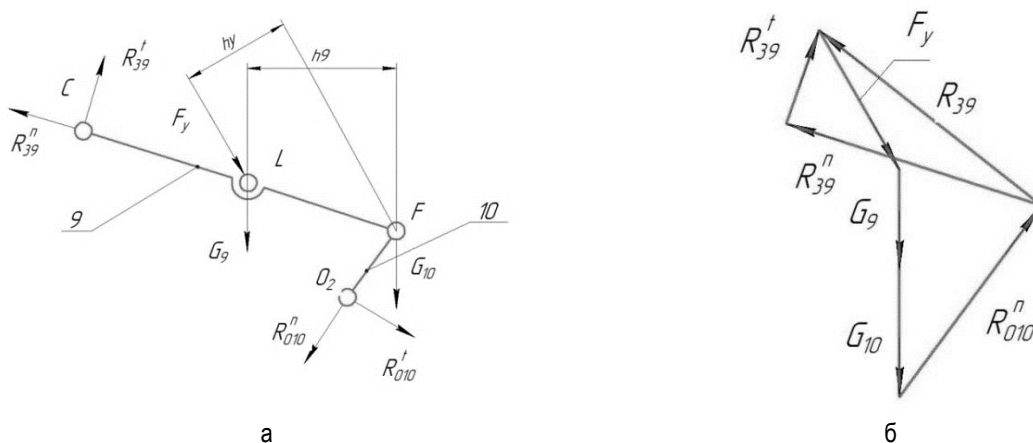


Рис. 2. Группа звеньев 9-10:
 а – силы, действующие на группу звеньев 9-10; б – план сил группы звеньев 9-10

Сумма реакций, действующих относительно оси вращения O_2 будет равна нулю, т.е.;

$$\sum R = (\overline{R_{39}^1} + \overline{R_{39}^2} + \overline{R_{39}^3} + \overline{R_{010}^n}) \cdot \mu_i = 0. \quad (7)$$

Определим влияние силы реакции почвы. В процессе работы сила $N(t)$ постоянно меняется, вследствие чего приводит к нарушению равенства (7).

$$Nl \pm \Delta N(t)l_{CF} - GL - F_y h_y = M(t), \quad (8)$$

$$Nl \pm \Delta N(t)l_{CF} = m_k G l_{CF} - F_y h_y = M(t), \quad (9)$$

$$\Rightarrow Nl \pm N(t)l_{CF} - 3 \cdot 9,8 \cdot 0,47 - F_y h_y, \quad (10)$$

где $M(t)$ – произведение сил на плечо (момент сил) $\pm \Delta N(t)$, действующих на прутковый каток, кН/м.

Значение и направление силы $\pm \Delta N(t)$ при движении катка с постоянной скоростью V_a и воздействие на почву, определяет количество и место расположения в нем прутковых элементов. Изменение силы $\pm \Delta N(t)$ в процессе работы ведет к колебаниям катка относительно точки C на угол $\pm \varphi$. Момент сопротивления перемещению катка определим по выражению:

$$M_c(t) = Kl_{CF} \frac{d\varphi}{dt} = Kl_{CF} \dot{\varphi}, \quad (11)$$

где K – коэффициент пропорциональности.

Изменение момента $M_n(t)$ со стороны потенциальной силы электроцилиндра и сопротивления перемещению катка $M_c(t)$ сопровождается возникновением возмущающего момента $M(t)$, которое наряду с соответствующими моментами составляют правую часть дифференциального уравнения движения катка:

$$J\ddot{\varphi} + Kl_{CF}\dot{\varphi} + l_{CF}F_y\varphi = M_n(t) + M_c(t) + M(t) = \Delta N(t)l_{CF}. \quad (12)$$

Уравнение равновесия системы (12), приводим к упрощенному виду преобразованием:

$$\ddot{\varphi} + c\dot{\varphi} + \omega_c^2\varphi = \frac{\Delta N(t)l}{J}, \quad (13)$$

$$\ddot{\varphi} + 2,707\dot{\varphi} + 0,05\varphi = \frac{N(t)l}{0,75}, \quad (14)$$

где c – коэффициент сопротивления перемещению катка, $c = \frac{Kl_{CF}}{J} = 2,7$;

ω_c^2 – собственная частота колебаний катка, $\omega_c^2 = \frac{F_y l_{CF}}{J} = 0,05$.

Полученное уравнение равновесия (14) было рассмотрено на физическую устойчивость путем преобразования в передаточную функцию для дальнейшего исследования. В упрощенной форме необходимое условие устойчивости линеаризованных систем автоматического регулирования формулируется для систем, записанных в переменных «вход-выход», причем оно применяется в одинаковой «редакции» как для замкнутых, так и для разомкнутых систем автоматического регулирования. Это условие доказывается с использованием характеристического полинома $D(S)$ – для замкнутых

систем автоматического регулирования:

$$D = \frac{N(t)l_{CF}}{(S^2+2,71S+0,05) \cdot 0,75} = \frac{N(t)l_{CF}}{0,75S^2+2,03S+0,38} \quad (15)$$

Таким образом, характеристическое уравнение примет вид:

$$D = 0,75S^2 + 2,03S + 0,38. \quad (16)$$

Разложим многочлен $D(S)$ на элементарные линейные сомножители:

$$D(S) = a_n \cdot S^n + a_{n-1} \cdot S^{n-1} + \dots + a_1 \cdot S + a_0. \quad (17)$$

Так как, $a_n = 0,75 > 0$ и что все полюса s_j расположены в левой полуплоскости получим:

$$S_1 = -|a_1|, \quad (18)$$

$$S_2 = -|a_2| + i \cdot \beta_2, \quad (19)$$

$$S_3 = -|a_2| - i \cdot \beta_2. \quad (20)$$

Тогда:

$$D(S) = a_n \cdot (S - S_1) \cdot (S - S_2) \cdot \dots \cdot (S - S_n), \quad (21)$$

где: $S_1 = -0,02$, $S_2 = -2,69$ – полюса передаточной функции замкнутой системы автоматического регулирования.

Подставив значения S_1 , S_2 в выражение 21 получим:

$$0,75S^2 + 2,033S + 0,04. \quad (22)$$

В выражении (22) мы имеем только положительные коэффициенты полинома $D(S)$, поэтому можно утверждать, что получено необходимое условие устойчивости рассматриваемой линейной системы автоматического регулирования и анализируемого механизма регулирования давления катка на почву.

Результаты исследований. Для подтверждения результатов теоретических исследований и установления степени воздействия конструктивно-технологических параметров адаптивного комбинированного культиватора и режимов его работы на основные показатели технологического процесса обработки почвы, были проведены экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования проводились в условиях почвенного канала кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А.И. Лещанкина, института механики и энергетики, МГУ им. Н.П. Огарёва (рис. 3).

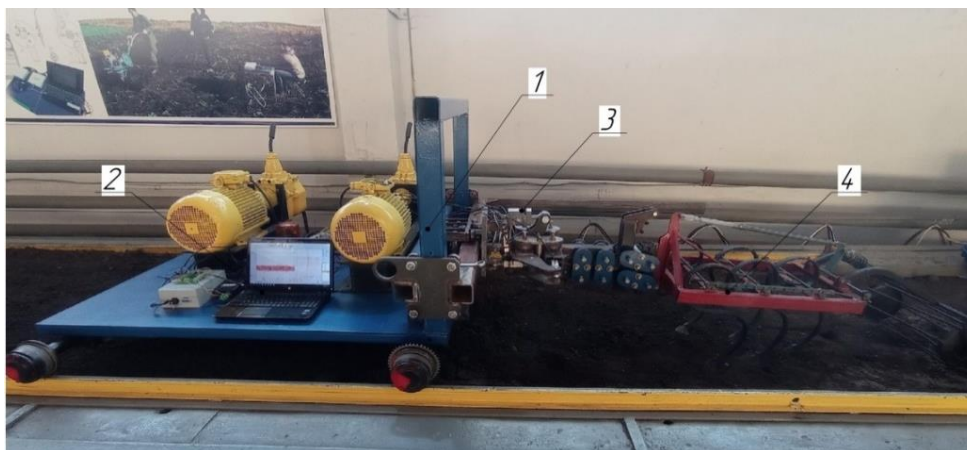


Рис. 3. Общий вид лабораторной установки:

1 – приводная тележка; 2 – измерительно - вычислительный комплекс;

3 – тензозвено; 4- адаптивный комбинированный культиватор

С учетом условий эксплуатации комбинированного культиватора, агротехнических требований к поверхностной обработке почвы и рассмотренных теоретических предпосылок по определению основных параметров рабочих органов, разработан макетный образец культиватора для проведения исследований в условиях почвенного канала. Габаритные размеры макетного образца культиватора: длина – 1400 мм, рабочая ширина захвата – 475 мм; диаметр катка – 225 мм; количество прутков – 8; диаметр прутков – 8 мм.

Геометрические параметры подвески катка и его диаметр, при которых обеспечивается работоспособность культиватора, определены в результате расчета [7]. При этом силовые характеристики соответствуют условиям функционирования и расчетным параметрам. Указанные параметры установлены из условия устойчивости хода культиватора в продольно-вертикальной плоскости с учетом соотношения действующих на каток сил, моментов сил и реакций в точке их приложения.

По известной методике планирования экспериментальных исследований с учетом приведенных теоретических предпосылок установлены параметры оптимизации и факторы, определяющие условия функционирования комбинированного культиватора для обеспечения качества предпосевной обработки почвы при минимуме энергозатрат [8, 9]. В таблице 1 приведены факторы и интервалы их варьирования. Критерием оптимизации является крошение почвы (K).

Сочетание факторов и полученные результаты опытов при исследовании влияния работы адаптивного комбинированного культиватора на качество крошения почвы приложены в таблице 2.

Таблица 1

Факторы и интервалы их варьирования в действительных значениях

№ п/п	Факторы	Единица измерения	Уровни			Интервал
			Нижний -1	Основной 0	Верхний +1	
1	Глубина, h (x_1)	м	0,04	0,08	0,12	0,04
2	Давление катка, Q (x_2)	Н/м	40	50	60	10
4	Плотность почвы, ρ (x_3)	г/см ³	1,27	1,29	1,32	0,025

Таблица 2

Матрица планирования полно факторного эксперимента и результаты опытов

Номер опыта	Факторы				Комбинации факторов				Значение параметра оптимизации (крошение почвы, %)			
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1 x_2 x_3$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	+	-	-	-	+	+	+	-	85,2	85,1	85,6	85,4
2	+	+	-	-	-	-	+	+	83,0	83,5	83,1	83,3
3	+	-	+	-	-	+	-	+	89,3	89,6	89,4	89,7
4	+	+	+	-	+	-	-	-	86,1	86,3	86,5	86,0
5	+	-	-	+	+	-	-	+	84,1	84,4	84,6	84,7
6	+	+	-	+	-	+	-	-	82,0	82,2	82,5	82,4
7	+	-	+	+	-	-	+	-	87,3	87,2	87,4	87,5
8	+	+	+	+	+	+	+	+	88,1	88,5	88,4	88,2

После проведения соответствующих экспериментов, расчета и исключения незначимых коэффициентов получено уравнение регрессии:

$$K = 82,25 - 23,43 h + 0,22Q - 4,5 \rho. \quad (23)$$

На рисунке 4 приведены графики зависимости крошения почвы от давления катка и плотности почвы при глубине обработки 0,04 м и 0,12 м, полученные при многофакторном эксперименте. Скорость движения адаптивного культиватора была принята 3 м/с (10,8 км/ч) и оставалась не изменяемой.

Исходя из агротехнических требований, в диапазоне плотности почвы 1,27...1,32 г/см³, было определено максимально допустимое давления катка на почву $Q = 60$ Н/м, при ее влажности 18,4 %

Из анализа зависимости «крошение почвы – давление катка и плотность почвы» (рис. 4) видно, что с увеличением плотности почвы и глубины обработки крошение почвы в полной мере удовлетворяет агротехническим требованиям.

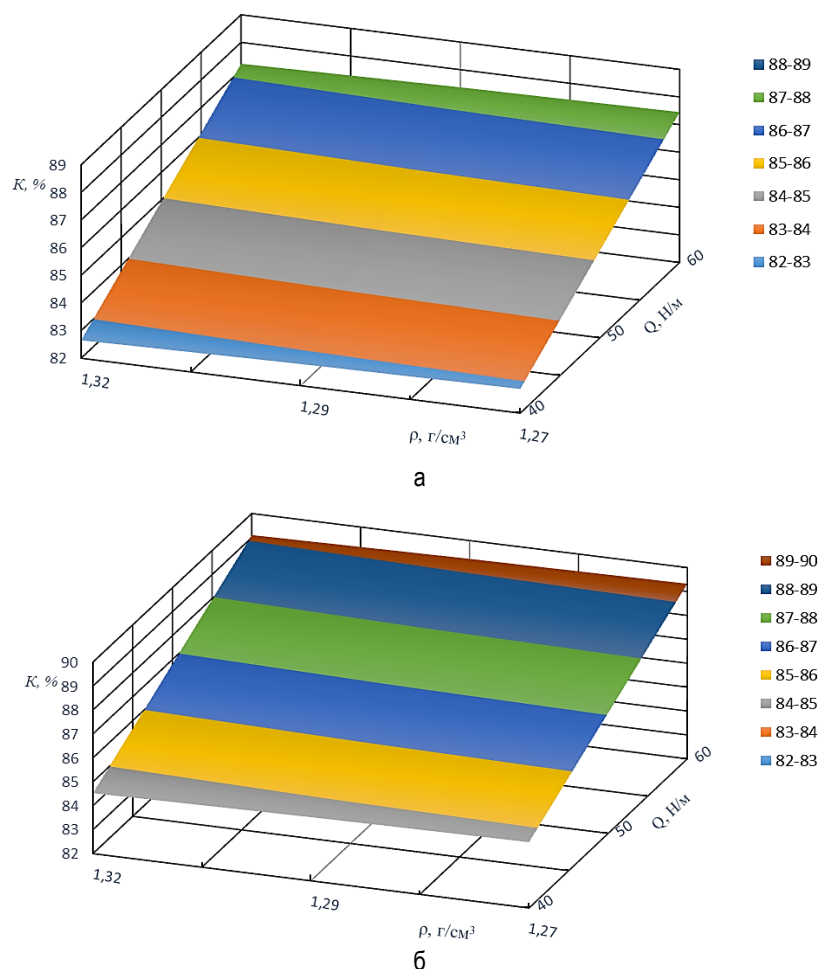


Рис. 4. График зависимости крошения почвы от давления катка и плотности почвы при глубине обработки: а – 0,12 м; б – 0,04 м

Заключение. Резюмируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что полученные конструктивные и кинематические параметры механизма регулирования рабочих органов комбинированного культиватора обеспечили в заданных условиях функционирования требуемые агротехнические показатели работы. Конструкция комбинированного культиватора позволит на сложных участках поля при наличии крупных почвенных агрегатов в адаптивном режиме автоматического регулирования жесткости стоек и пружины подвески катка получить эффективные показатели работы.

Список источников

1. Петерс И. А., Шмырева И. А. Основные тенденции использования прогрессивных технологий в производстве сельскохозяйственных культур // Форум молодых ученых. 2016. №3. С. 202-205.
2. Камбулов С. И., Божко И. В. Агрегат для комбинированной обработки почвы АПК-4 // Аграрный научный журнал. 2020. № 9. С. 78-82.
3. Кокошин С. Н., Черенцов Д. А., Ташланов В. И. Применение регулятора жесткости в конструкциях культиваторов // Вестник АПК Ставрополя. 2020. № 2. С. 4-9.
4. Федоров С. Е., Чаткин М. Н., Мишечкин С. И. Дифференцированная система обработки почвы // Материалы XXI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов национального исследовательского мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. 2017. С. 674-678.
5. Федоров С. Е. Применение дифференцированной обработки почвы // Тракторы и сельхозмашины. 2018. №2. С. 78-82.
6. Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Бычков М. В., Жалнин А. А. Обоснование дифференцированных параметров рабочих органов культиватора для предпосевной обработки почвы // Материалы Международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы». 2022. С. 102-106.

7. Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Жалнин А. А. Определение параметров механизма регулирования катка комбинированного культиватора для дифференцированной обработки почвы // Вестник рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023 Том 15. №3. С. 163-169.

8. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 2-е изд. Ленинград : Колос, 1980. 168 с.

9. Юдин М. И. Планирование эксперимента и обработка его результатов : монография. Краснодар : КубГАУ, 2004. 239 с.

References

1. Peters, I. A. & Shmyreva, I. A. (2016). The main trends in the use of progressive technologies in the production of agricultural crops. *Forum molodyh uchenyh (Forum of young scientists)*, 3, 202-205 (in Russ).

2. Kambulov, S. I. & Bozhko, I. V. (2020). Aggregate for combined tillage of APK-4. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal (Agrarian Scientific Journal)*, 9, 78-82 (in Russ).

3. Kokoshin, S. N., Cherentsov, D. A., & Tashlanov, V. I. (2020). Application of the stiffness regulator in cultivator structures. *Vestnik APK Stavropol'ya (Bulletin of Agroindustrial complex of Stavropol Territory)*, 2, 4-9 (in Russ).

4. Fedorov, S. E., Chatkin, M. N., & Mishechkin, S. I. (2017). Differentiated soil treatment system. *Materialy XXI nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov nacional'nogo issledovatel'skogo mordovskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. P. Ogaryova (Proceedings of the XXI scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students of the National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev)*, 674-678 (in Russ).

5. Fedorov, S. E. (2018). Application of differentiated tillage. *Traktory i sel'hozmashiny (Tractors and agricultural machines)*, 2, 78-82 (in Russ).

6. Chatkin, M. N., Fedorov, S. E., Bychkov, M. V. & Zhalnin, A. A. (2022). Substantiation of differentiated parameters of cultivator working bodies for pre-sowing tillage. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy» (Materials of the International scientific and practical conference "Energy-efficient and resource-saving technologies and systems")*, 102-106 (in Russ).

7. Chatkin M. N., Fedorov S. E., & Zhalnin A. A. (2023). Determination of parameters of the mechanism of regulation of the roller of a combined cultivator for differentiated tillage. *Scientific and production journal (Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev)*. 3. 163-169 (in Russ).

8. Melnikov, S. V., Aleshkin, V. R., & Roshchin, P. M. (1980). Planning an experiment in the study of agricultural processes. *Leningrad: Kolos*. 2. 168. (in Russ).

9. Yudin, M. I. (2004) *Experiment planning and processing of its results*. Krasnodar: KubGAU (in Russ).

Информация об авторах

А. А. Жалнин – аспирант;

М. Н. Чаткин – доктор технических наук, профессор;

С. Е. Федоров – кандидат технических наук;

Н. А. Жалнин – аспирант;

А.С. Князьков – преподаватель.

Information about the authors

A. A. Zhalnin – postgraduate student;

M. N. Chatkin – Doctor of Technical Sciences, Professor;

S. E. Fedorov – Candidate of Technical Sciences;

N. A. Zhalnin – postgraduate student;

A.S. Knyazkov – teacher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.03.2024; одобрена после рецензирования 1.04.2024; принята к публикации 16.04.2024.

The article was submitted 11.03.2024; approved after reviewing 1.04.2024; accepted for publication 16.04.2024.