



МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 621:631.31

DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.051

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ФРЕЗЕРНОГО МОТОКУЛЬТИВАТОРА «НЕВА» МК-200

**А. В. Анохин¹, В. Ф. Купряшкин², М. Н. Чаткин²,
Н. И. Наумкин², А. Г. Капустин², А. С. Уланов²**

*¹Институт машиноведения Национальной академии наук
Республики Кыргызстан (г. Бишкек, Республика Кыргызстан)*

*²ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва» (г. Саранск, Россия)*

Работа посвящена динамическому анализу загрузки двигателя мотокультиватора с учетом особенностей конструкции фрезерных рабочих органов и их взаимодействия с почвой. Рассмотрены области применения фрезерных мотокультиваторов как отечественных, так и зарубежных производителей. Указаны особенности конструкций рабочих органов фрезерных мотокультиваторов и отмечены их недостатки, приводящие к увеличению затрат мощности, снижению производительности и качества обработки почвы. Для установления причин снижения эффективности и наиболее оптимальных режимов функционирования фрезерных мотокультиваторов с учетом конструктивных особенностей рабочих органов и конкретных почвенных условий приведен подробный анализ конструкции фрезерных рабочих органов мотокультиватора «Нева» МК-200, заключающийся в установлении порядка и расчета рабочего угла взаимодействия их ножей с почвой. В результате динамического исследования, которое проводилось с использованием известных графоаналитических методов с учетом одного рабочего цикла, равному одному полному обороту фрезбаранов, при условии установившегося протекания технологического процесса фрезерования почвы; установлены расчетные зависимости максимального крутящего момента и требуемой мощности, необходимой для привода одного ножа. Также в ходе динамического анализа были определены значения суммарного среднего крутящего момента на приводном валу фрезбаранов. С учетом почвенных условий и конструктивно-технологических особенностей функционирования фрезерного мотокультиватора получены аналитическая и графическая зависимости требуемой мощности двигателя, необходимой для привода его рабочих органов. Обработка значений графических зависимостей требуемой мощности двигателя позволил а установить ее аппроксимирующие функции, на основании которых были определены оптимальные и критические режимы функционирования мотокультиватора в зависимости от варианта комплектования фрезерных рабочих органов и конкретных почвенных условий, определяемых ее твердостью, при условии максимальной загрузки его двигателя.

Ключевые слова: фрезерный мотокультиватор, фрезбаран, двигатель, режим работы, крутящий момент, мощность, почва, твердость

DYNAMIC LOAD ANALYSIS OF THE MOTOR CULTIVATOR “NEVA” MK-200 ENGINE

**A. V. Anokhin^a, V. F. Kupryashkin^b, M. N. Chatkin^b,
N. I. Naumkin^b, A. G. Kapustin^b, A. S. Ulanov^b**

*^a Institute of Machinery Sciences of National Academy of
Sciences of the Kyrgyz Republic (Bishkek, the Kyrgyz Republic)*

^b Ogarev Mordovia State University (Saransk, Russia)

The article deals with the dynamic analysis of the motocultivator motor load considering structural peculiarities of the milling work tools and their interaction with the soil. The authors describe the application areas of milling cultivators produced by domestic and foreign manufacturers. The features of the design of the milling work tools and the shortcomings leading to increased costs of power, the loss of productivity and quality of soil treatment are described. To find out the causes of reduced efficiency and establish the most optimal modes for motocultivators adjusted for the structural features of the work tools and specific soil conditions the authors have carried out a detailed analysis of the design of milling work tools of the motocultivator NEVA MK-200. The analysis includes the determination of the order and calculation of the operating angle for the interaction of the blades with the soil. The dynamic analysis has been carried out by the known semigraphical methods for one working cycle, which is equal one complete revolution of milling drums in the normal course of technological process of cutting the soil; the relations between the maximum torque and the power required to drive a knife have been calculated. The dynamic analysis has been also used to evaluate the total average torque of the drive shaft of milling drums. The analytical and graphical dependences of the engine power required to drive its work tools have been determined in view of the soil condition, structural and technological features of the functioning of the milling motocultivators. Processing the values of graphical dependences of the required engine power made it possible to establish its approximated functions. Based on the said functions, the authors have determined optimal and critical operation modes for motocultivators depending on configuration of milling work tools and soil penetration index when the engine operates under full load conditions.

Keywords: milling motor cultivator, rotor, engine, working mode, rotational power, capacity, soil, hardness

Для механизации различных сельскохозяйственных работ в личных подсобных хозяйствах, приусадебных участках, а также выполнения малых объемов работ в крупных сельскохозяйственных предприятиях широко применяются мотоблоки и мотокультиваторы как отечественного производства («Нева» МК-200, Салют 100 и др.) так и зарубежного (Caiman ECO MAX 60S C2 – Франция, MTD T/240 B – Германия, Венгрия и др.) [6; 11]. Применяемые в данных машинах фрезерные рабочие органы с Г-образными ножами предназначены, как правило, только для работы в заданных конкретных почвенных условиях. Их использование в условиях, отличных от заданных, приводит к увеличению затрат мощности, снижению производительности и качества обработки почвы. Именно поэтому при эксплуатации почвообрабатывающих машин важным вопросом является установление наиболее оптимальных режимов с учетом конструктивных особенностей рабочих органов и конкретных почвенных условий, обеспечивающих наиболее высокую эффективность их функционирования [4–5; 7; 12].

Предлагаемый материал посвящен динамическому анализу загрузки двигателя фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200-С4,5, оснащенного двигателем внутреннего сгорания Subaru EX13, с учетом особенностей конструкции фрезерных рабочих органов и их взаимодействия с почвой.

Динамические исследования почвообрабатывающих машин с фрезерными рабочими органами рассматривались в работах отечественных и зарубежных исследователей [1–3; 13–15], однако в них не предлагался анализ изменения требуемой мощности двигателя в зависимости от почвенных условий, что не позволяло охарактеризовать загруженность двигателя почвообрабатывающей фрезы и эффективность его функционирования.

Исследования динамических процессов работы фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200 заключаются в определении изменения крутящего момента на приводном валу фрезбарабанов за один полный его оборот и требуемой мощности двигателя, обеспечивающего его привод.



Для решения поставленной задачи используем графоаналитические методы [9; 12]. Динамический анализ проводим за один рабочий цикл, принятый равным одному полному обороту фрезбарабанов при условии установившегося протекания технологического процесса фрезерования почвы на глубине обработки $h = 0,2$ м. В качестве объекта обработки примем малогумусный чернозем с твердостью p в интервале 0,3–1,5 МПа, что соответствует свежеспаханной и сильно уплотненной почве. Кроме того, учитываем конструктивные особенности машины и фрезбарабанов.

Для определения зависимости крутящего момента на приводном валу мотокультиватора от его угла поворота предварительно определим последовательность расположения рабочих органов (ножей) по секциям фрезбарабанов и врезания их в почву, а также рабочий угол резания ножа и величину максимального крутящего момента на приводном валу.

Анализ конструкции фрезбарабанов и порядок взаимодействия их ножей с почвой представлены на рис. 1, а его результаты – в табл. 1 [8].

Для расчета рабочего угла ножа φ_p (град.) воспользуемся расчетной схемой (рис. 2), из которой следует, что значение φ_p можно определить по следующей формуле [6]:

$$\varphi_p = 180^\circ - 2 \arcsin \left(1 - \frac{h}{R} \right), \quad (1)$$

где h – глубина фрезерования почвы, м; $h = 0,2$ м; R – радиус фрезерного барабана, м; $R = 0,16$ м [8].

После подстановки значений h и R в (1) получим $\varphi_p = 210^\circ$.

Величина максимального значения крутящего момента на приводном валу фрезбарабана от действия одного ножа определяется зависимостью:

$$M_{\max i} = \frac{9550 P_\phi}{n_\phi}, \quad (2)$$

где P_ϕ – мощность затрачиваемая на фрезерование почвы одним ножом, кВт; n_ϕ – частота вращения фрезерного барабана, мин^{-1} ; $n_\phi = 120 \text{ мин}^{-1}$ [Там же].

Значение мощности P_ϕ с учетом особенностей функционирования фрезерного мотокультиватора будет определяться зависимостью [6; 10]:

$$P_\phi = P_{\text{рез}} + P_{\text{отб}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{рез}}$ и $P_{\text{отб}}$ – мощность, затрачиваемая на резание и отбрасывание почвы одним ножом, кВт.

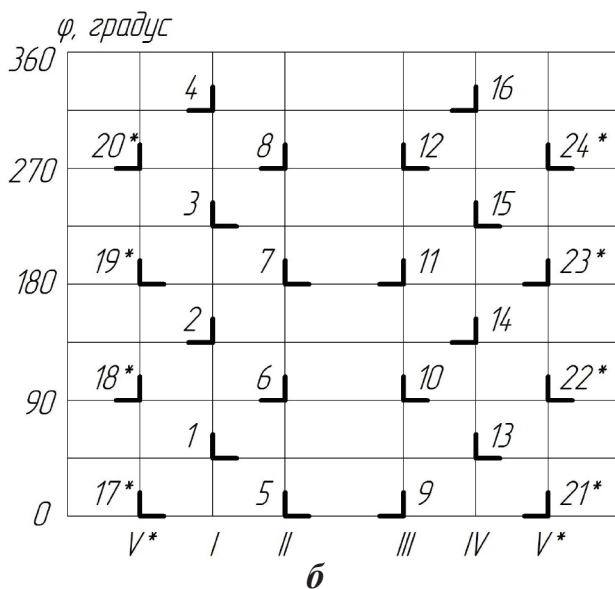
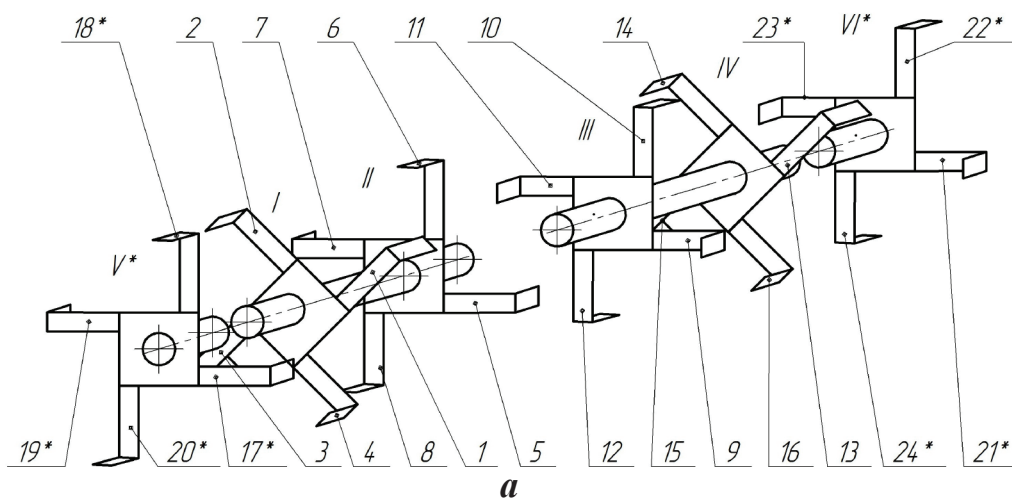
Таблица 1

Table 1

Порядок взаимодействия ножей с почвой

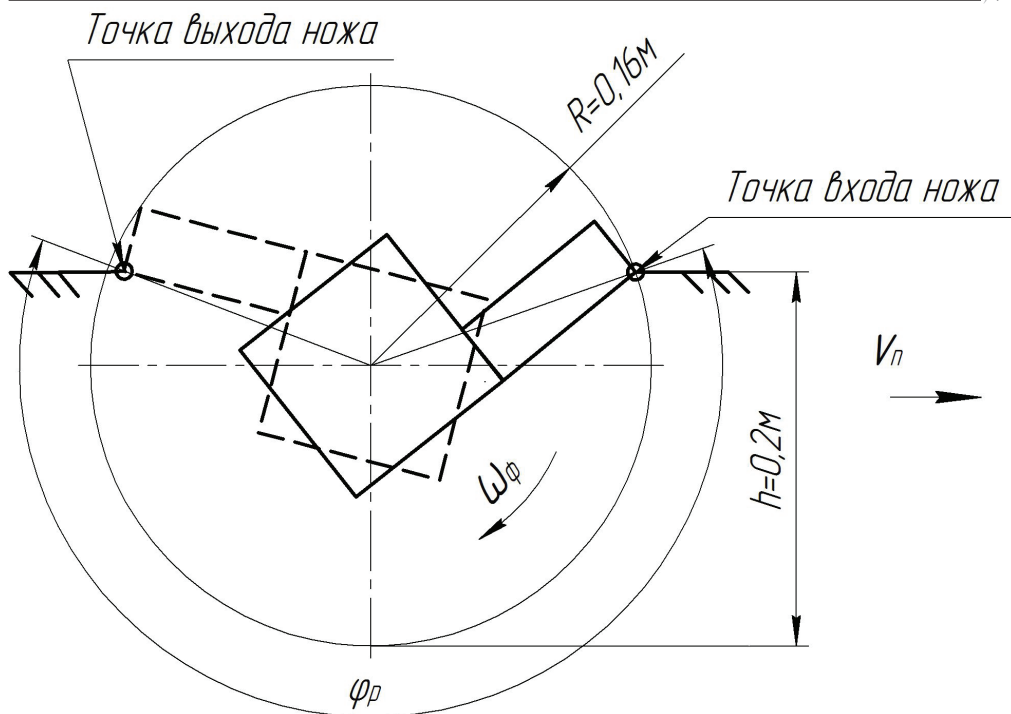
Order of knives interaction with soil

Угол поворота φ , град.	№ диска № ножа	Угол поворота φ , градус	№ диска № ножа
0	II5, III9, V17*, VI21*	180	II7, III11, V19*, VI23*
45	I1, IV13	225	I3, IV15
90	II6, III10, V18*, VI22*	270	II8, III12, V20*, VI24*
135	I2, IV14	315	I4, IV16



Р и с. 1. Схема конструкции фрезбарабанов мотокультиватора «Нева» МК-200
F i g. 1. Structure diagram of the motorcultivators "Neva" MK-200 milling drums

а – конструкция фрезбарабанов; б – расположение ножей в секциях фрезбарабанов; I, II, III, IV – номера основных секций; V*, VI* – номера дополнительных секций; 1, 2, ..., 16 – номера ножей основных секций; 17*, 18*, ..., 24* – номера ножей дополнительных секций



Р и с. 2. Расчетная схема для определения рабочего угла ножа
F i g. 2. Calculation scheme for determining the operating angle of the knife

Значения мощностей $P_{рез}$ и $P_{отб}$, согласно рекомендациям [10], рассчитываются по формулам:

$$P_{рез} = k_{рез} h b v_o 10^{-3}, \quad (4)$$

$$P_{отб} = k_{отб} h b \lambda^2 v_o 10^{-3}. \quad (5)$$

Последовательно подставляя зависимости (4) и (5) в (3) и (2) соответственно, получим:

$$P_{\phi} = h b v_o (k_{рез} + k_{отб} \lambda^2 v_o^2) 10^{-3}, \quad (6)$$

$$M_{max i} = \frac{9550 h b v_o (k_{рез} + k_{отб} \lambda^2 v_o^2) 10^{-3}}{n_{\phi}}, \quad (7)$$

где $k_{рез}$ – коэффициент резания почвы, Н/м² (согласно [Там же],

для малогумусного чернозема при твердости почвы $p = 0,3-1,5$ МПа, что соответствует свежевспаханной и сильно уплотненной почве, $k_{рез} = 5,8 \cdot 10^3 - 13,0 \cdot 10^3$ Н/м²; $k_{отб}$ – коэффициент отбрасывания почвы, Нс²/м⁴ (для указанной почвы и диапазона твердости почвы $k_{отб} = 14-13$ Нс²/м⁴); b – ширина захвата одного ножа, м (для ножа фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200 – $b = 0,06$ м); v_o – окружная скорость на ножах фрезерных барабанов, м/с; λ – кинематический параметр фрезерного мотокультиватора.

Для практического использования коэффициентов $k_{рез}$ и $k_{отб}$ в зависимости от конкретной твердости почвы p в указанном диапазоне, используя метод линейной интерполяции, определим их значения и на основании них составим табл. 2.

Значения коэффициентов $k_{рез}$ и $k_{отб}$ и крутящего момента M_{max}
в зависимости от твердости почвы p

Values of ratios $k_{рез}$, $k_{отб}$ and torque M_{max} depending
on soil hardness p

Наименование параметра, размерность	Номер режима по твердости почвы				
	1	2	3	4	5
	Значение				
Твердость почвы p , МПа	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50
Коэффициент резания $k_{рез}$, 10^3 Н/м ²	5,80	7,60	9,40	11,20	13,00
Коэффициент отбрасывания $k_{отб}$, Нс ² /м ⁴	14,00	13,75	13,50	13,25	13,00
Максимальный крутящий момент на валу фрезбарабана при взаимодействии одного ножа с почвой M_{max} , Нм	14,90	18,30	21,70	25,00	28,40

Окружную скорость на ножах v_0 (м/с) определяем расчетной зависимостью:

$$v_0 = \frac{\pi n_\phi R}{30}. \quad (8)$$

Подставляя известные значения n_ϕ и R в (8), получим $v_0 = 2$ м/с.

Значение кинематического параметра λ рассчитаем по формуле [6]:

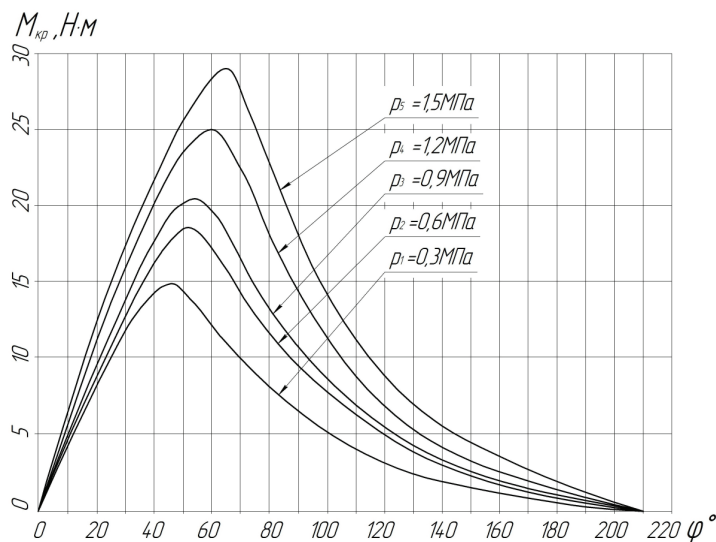
$$\lambda = \frac{\sqrt{2Rc - c^2}}{R \left(\frac{\pi(z+2)}{2z} - \arcsin \frac{R-c}{R} \right)}, \quad (9)$$

где c – высота гребня на дне борозды, м (для получения однородной обработки почвы она должна быть $c \leq 0,2h = 0,2 \cdot 0,2 = 0,04$ м [10]); $z = 2$ – количество ножей, вращающихся на одной плоскости (см. рис. 1а).

После подстановки известных значений в (9), получим $\lambda = 6$.

Таким образом, подставляя известные и найденные значения h , b , v_0 , λ , ω_ϕ и значения коэффициентов $k_{рез}$ и $k_{отб}$, соответствующие показателям твердости почвы p (см. табл. 2), в (7), определим значения максимального крутящего момента на валу фрезбарабана при взаимодействии одного ножа с почвой. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Для построения графика изменения крутящего момента на приводном валу фрезбарабана при работе одного ножа воспользуемся кривой распределения приводного момента за рабочий ход для Г-образных ножей [Там же] и полученными максимальными значениями крутящего момента $M_{кр max}$ и рабочим углом $\varphi_p = 210^\circ$ при глубине обработки $h_p = 0,2$ м. В результате построим соответствующие графики изменения крутящих моментов (рис. 3).



Р и с. 3. Графики изменения крутящего момента на валу фрезбарабана при взаимодействии с почвой одного ножа в зависимости от угла его поворота
 Fig. 3. Graphics of milling drum shaft torque ratios when interacting of a knife with soil depending on knife rotation angle

1, 2, 3, 4 и 5 – зависимости $M_{кр\ max}$, соответствующие твердости почвы 0,3, 0,6, 0,9, 1,2 и 1,5 МПа

Используя данные табл. 1, учитывая особенности взаимодействия определенного количества ножей и угловой шаг между ними ($\varphi = 45^\circ$), производим суммирование значений графиков крутящего момента на валу фрезбарабана при взаимодействии с почвой одного ножа $M_{кр\ max}$ в диапазоне твердости почвы 0,3–1,5 МПа, что позволит получить минимальные и максимальные значения суммарного крутящего момента на приводном валу мотокультиватора $M_{\Sigma\ min}$ и $M_{\Sigma\ max}$, Нм (табл. 3).

После этого определяем величины среднего крутящего момента $M_{кр\ ср}$ (Нм) на валу фрезбарабана по формуле:

$$M_{кр\ ср} = \frac{M_{кр\ max} + M_{кр\ min}}{2}. \quad (10)$$

Подставляя значения $M_{кр\ min}$ и $M_{кр\ max}$, соответствующие твердости почвы,

в (10), получим значения $M_{кр\ ср}$ (см. табл. 3).

После этого определим требуемую мощность двигателя мотокультиватора $P'_{дв}$, кВт, по формуле:

$$P'_{дв} = \frac{M_{кр\ ср} n_{дв}}{9550 i_o \eta_o}, \quad (11)$$

где $n_{дв}$ – частота вращения вала двигателя, мин^{-1} (для двигателя Subaru EX13 которым оснащен мотокультиватор «Нева» МК-200-С4,5 $n_{дв} = 3600 \text{ мин}^{-1}$ [8]); i_o и η_o – общее передаточное отношение и общее КПД привода фрезерных рабочих органов (учитывая конструктивные особенности фрезерного мотокультиватора, а именно наличие цепного зубчато-цепного редуктора и клиноременной передачи [Там же], а также частоту вращения фрезерных рабочих органов $n_\phi = 120 \text{ мин}^{-1}$, $i_o = 30$ и $\eta_o = 0,9$).

Подставив найденные значения $n_{\text{дв}}$, i_o , η_o и значение $M_{\text{кр}}$, взятые для твердости почвы 0,3–1,5 МПа в (11), получим значения $P'_{\text{дв}}$ (см. табл. 3). На основании значений табл. 3 построим

графики требуемой мощности двигателя $P'_{\text{дв}}$ (кВт) в зависимости от твердости почвы p (МПа) для фрезбарабанов, включающих в себя по 2 и 3 рабочие секции (рис. 4).

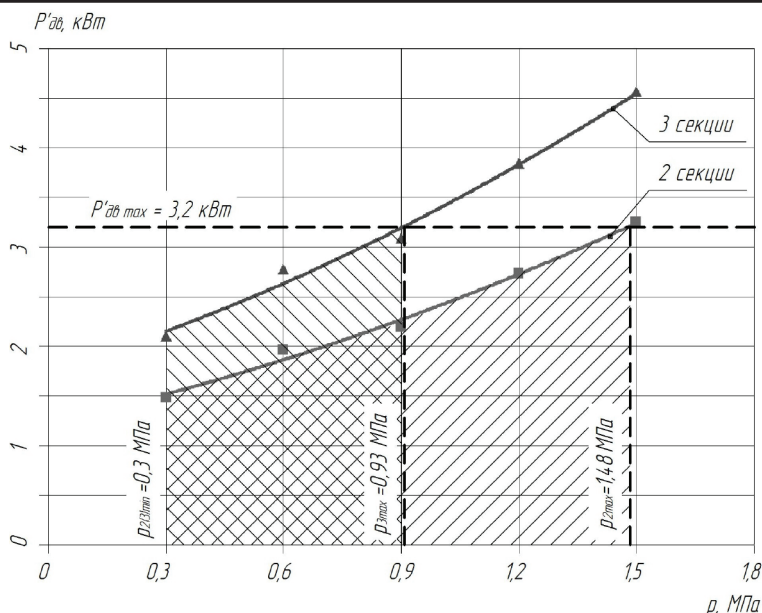
Таблица 3

Table 3

Значения крутящих моментов на валу фрезбарабана, коэффициентов неравномерности и требуемой мощности двигателя в зависимости от твердости почвы

Values of milling drum shaft torque, irregularity ratios and the required engine power depending on soil hardness

Количество рабочих секций во фрезбарабане	Параметр	Значения крутящего момента на валу фрезбарабана $M_{\text{кр}}$ и требуемой мощности двигателя $P'_{\text{дв}}$ при твердости почвы p , МПа				
		0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
2	Крутящий момент на валу фрезбарабана, Нм:					
	– минимальный $M_{\text{кр min}}$	104,5	134,3	150,4	185,1	217,6
	– максимальный $M_{\text{кр max}}$	107,4	145,8	163,5	206,6	248,5
	– средний $M_{\text{кр ср}}$	106,0	140,1	157,0	195,9	233,0
	Требуемая мощность двигателя $P'_{\text{дв}}$, кВт	1,48	1,96	2,19	2,73	3,25
3	Крутящий момент на валу фрезбарабана, Нм:					
	– минимальный $M_{\text{кр min}}$	133,0	183,6	194,9	246,6	290,3
	– максимальный $M_{\text{кр max}}$	167,8	213,2	246,3	303,4	363,0
	– средний $M_{\text{кр ср}}$	150,4	198,4	220,6	275,0	326,6
	Требуемая мощность двигателя $P'_{\text{дв}}$, кВт	2,10	2,77	3,08	3,84	4,56



Р и с. 4. Графики изменения требуемой мощности двигателя в зависимости от твердости почвы

F i g. 4. Graphics of required engine power depending on soil hardness

На основании данных рис. 4 установившим аппроксимирующие функции требуемой мощности двигателя $P'_{дв}$ (кВт) от твердости почвы p (МПа) для фрезбаранов, включающих по 2 и 3 рабочие секции:

$$P'_{дв2} = 0,31p^2 + 0,88p + 1,22, \quad (12)$$

$$P'_{дв3} = 0,44p^2 + 1,21p + 1,75. \quad (13)$$

Величина достоверности полученных аппроксимаций составляет $R^2 = 0,99$.

Учитывая, что $P'_{дв} = P_{дв} = 3,2$ кВт (где $P_{дв}$ – мощность двигателя Subaru EX15 [Там же]), и ряд преобразований, запишем формулы (12) и (13) в виде квадратных уравнений:

$$p^2 + 2,84p - 6,4 = 0, \quad (14)$$

$$p^2 + 2,75p - 3,4 = 0. \quad (15)$$

Решив их, выясним, что для рассматриваемого фрезерного культиватора «Нева» МК-200-С4,5 критические значения твердости почвы, при которых он может эксплуатироваться при условии максимальной загрузки двигателя, равны $p_{2max} = 1,48$ МПа для фрезбаранов с 2 рабочими секциями и $p_{3max} = 0,93$ МПа – с 3 рабочими секциями соответственно.

Результаты расчетов и анализ графика (рис. 4) свидетельствуют о том, что фрезерный мотокультиватор «Нева» МК-200-С4,5 при комплектации каждого из фрезбаранов 2 секциями общей шириной 60 см обеспечивает при заданных технологических параметрах обработку почвы во всем рассматриваемом диапазоне ее твердостей. Однако наиболее эффективная загрузка его двигателя обеспечива-

ется при $p = 1,48$ МПа. Применение мотокультиватора со фрезбарабанами, включающими по 3 секции общей шириной 90 см, ограничивается $p = 0,93$ МПа. Как и в предыдущем случае, максимальная нагрузка двигателя обеспечивается только в одном режиме, соответствующему указанной твердости почвы.

Таким образом, проведенный динамический анализ загруженности

двигателя фрезерного мотокультиватора позволяет утверждать об ограниченности режимов его эффективного функционирования при обработке почвы с твердостью 0,3–1,5 МПа. В связи с этим необходимо найти конструктивные решения, позволяющие обеспечить расширение возможных режимов его эффективного функционирования в зависимости от свойств обрабатываемой почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ динамических нагрузок в приводе машины для обработки почвы в теплицах МПТ-1,2 / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5, Ч. 1. – С. 62–63.
2. Андреев, В. И. Исследования динамических процессов ротационных почвообрабатывающих машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. И. Андреев. – Москва, 1969. – 28 с.
3. Динамика работы малогабаритной почвообрабатывающей фрезы ФС-0,85 / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем : сб. мат-лов Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск : [б. и.], 2004. – С. 296–307.
4. Динамические условия обеспечения равномерного движения самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез с ходовыми колесами / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Нива Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 52–56.
5. Купряшкин, В. Ф. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы оптимизацией конструктивно-технологических параметров (на примере фрезы ФС-0,85) : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Ф. Купряшкин. – Саранск, 2011. – 20 с.
6. Купряшкин, В. Ф. Устойчивость движения и эффективное использование самоходных почвообрабатывающих фрез : Теория и эксперимент / В. Ф. Купряшкин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – 140 с.
7. Мелихов, В. В. Размещение ножей на валу фрезбарабана ротационных почвообрабатывающих машин / В. В. Мелихов // Тракторы и сельхозмашины. – 1974. – № 5. – С. 17–18.
8. Мотокультиватор «Нева» МК-200 и его модификации : руководство по эксплуатации 005.65.0100 РЭ4 : ЗАО «Красный Октябрь-Нева». – Санкт-Петербург : [б. и.], 2013. – 36 с.
9. Наумкин, Н. И. Теория механизмов и машин и ее приложения в АПК / Н. И. Наумкин, Н. В. Раков, В. Ф. Купряшкин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 220 с.
10. Синееков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синееков, И. М. Панов. – Москва : Машиностроение, 1977. – 328 с.
11. Средства механизации для производства и переработки сельскохозяйственной продукции в малых формах хозяйствования : кат. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 280 с.
12. Чаткин, М. Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих машин / М. Н. Чаткин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – 316 с.
13. Чаткин, М. Н. Особенности динамического анализа работы почвообрабатывающих фрезерных машин / М. Н. Чаткин, В. Ф. Купряшкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 12. – С. 9–11.
14. Sohne, W. Einfluss von Form und Anordnung der Werkzeuge auf Antriebsmomente von Ackerfrasen, Grundl. D. Landtechn. / W. Sohne. – 1957. – № 9. – P. 696–787.
15. Tomiko, J. On the Shape of flatknight tines “Natabo” for garden type rotary tillers / J. Tomiko. – Tokyo, 1965.

Поступила 07.09.2015 г.



Об авторах:

Анохин Анатолий Васильевич, заведующий лабораторией Института машиноведения Национальной академии наук Республики Кыргызстан (Республика Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Скрябина, д. 23), кандидат технических наук, доцент, anochin_anatoli@mail.ru

Купряшкин Владимир Федорович, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, kupwvf@mail.ru

Чаткин Михаил Николаевич, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3758-7066>, chatkinm@yandex.ru

Наумкин Николай Иванович, профессор кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1109-5370>, naumn@yandex.ru

Капустин Андрей Геннадьевич, преподаватель кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2954-9200>, pechen1214@yahoo.com

Уланов Александр Сергеевич, аспирант кафедры основ конструирования механизмов и машин Института механики и энергетики ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6041-6911>, ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

Для цитирования: Анохин, А. В. Динамический анализ загрузки двигателя фрезерного мотокультиватора «Нева» МК-200 / А. В. Анохин [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 51–62. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.051

REFERENCES

1. Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Firstov A. F., Ulanov A. S. Analiz dinamicheskikh nagruzok v privode mashiny dlya obrabotki pochvy v teplitsakh MPT-1,2 [Analysis of dynamic loads in the drive machine MPT-1,2 for soil cultivation in greenhouses]. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* [Modern high technologies]. 2014, no. 5, pp. 62–63.
2. Andreyev V. I. Issledovaniya dinamicheskikh protsessov rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Study of dynamic processes of rotary tillers: author's abstract of cand. eng. sci. diss.]. Moscow, 1969, 28 p.
3. Kupryashkin V. F., Chatkin M. N., Naumkin N. I. Dinamika raboty malogabaritnoy pochvoobrabatyvayushchey frezy FS-0,85 [Dynamics works of small-sized tillage cutters FS-0,85]. *Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya mekhanicheskikh i energeticheskikh sistem: sb. mat-lov Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Improving the efficiency of mechanical and energy systems: Collection of materials Intern. scientific and engineering conf.]. Saransk, 2004, pp. 296–307.
4. Kupryashkin V. F., Chatkin M. N., Naumkin N. I. Dinamicheskiye usloviya obespecheniya ravnomernogo dvizheniya samokhodnykh malogabaritnykh pochvoobrabatyvayushchikh frez s khodovymi kolesami [Dynamic conditions ensuring uniform motion of self-propelled small tillers cutters with running wheels] *Niva Povolzhya* [Cornfields of Povolzhye]. 2011, no. 4, pp. 52–56.
5. Kupryashkin V. F. Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya samokhodnoy malogabaritnoy pochvoobrabatyvayushchey frezy optimizatsiyey konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov (na primere frezy FS-0,85): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of self-propelled cutter compact tillage optimization design and technological parameters (for example, the cutter FS-0,85): author's abstract of cand. eng. sci. diss.]. Saransk, 2011, 20 p.

6. Kupryashkin V. F. Ustoychivost dvizheniya i effektivnoye ispolzovaniye samokhodnykh pochvo-obrabatyvayushchikh frez: Teoriya i eksperiment [Stability of movement and effective use of self-propelled cutter tillage. Theory and experiment]. Saransk, 2014, 140 p.
7. Melikhov V. V. Razmeshcheniye nozhey na valu frezbarabana rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Placement of knives on the cutting reel shaft of rotational tillers]. *Traktory i selkhoz mashiny* [Agricultural machinery]. 1974, no. 5, pp. 17–18.
8. Motokultivator “Neva” MK-200 i yego modifikatsii: rukovodstvo po ekspluatatsii 005.65.0100 RE4: ZAO “Krasnyy Oktyabr-Neva” [Tiller “Neva” MK-200 and its modifications. Instruction manual 005.65.0100 RE4. ZAO “Krasnyy Oktyabr-Neva”], 2013, 36 p.
9. Naumkin N. I., Rakov V. F., Kupryashkin V. F. Teoriya mekhanizmov i mashin i yeye prilozheniya v APK [Theory of mechanisms and machines and its application in AIC]. Saransk, 2012, 220 p.
10. Sineokov G. N., Panov I. M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and design of tillers]. *Mashinostroyeniye* [Machine engineering]. 1977, 328 p.
11. Sredstva mekhanizatsii dlya proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii v mal'kikh formakh khozyaystvovaniya [Rigging for the production and processing of agricultural products in small farms]. Moscow: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2008, 280 p.
12. Chatkin M. N. Kinematika i dinamika rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Kinematics and dynamics of rotational tillers]. Saransk, 2008, 316 p.
13. Chatkin M. N., Kupryashkin V. F. Osobennosti dinamicheskogo analiza raboty pochvoobrabatyvayushchikh frezernykh mashin [Features dynamic analysis of tillage milling machines]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification in agriculture]. 2006, no. 12, pp. 9–11.
14. Sohne W. Einfluss von Form und Anordnung der Werhzeuge auf Antriebsmomente von Ackerfräsen, Grundl. D. Landtechn, 1957, no. 9, pp. 696–787.
15. Tomiko J. On the Shape of flatknife tines “Natabo” for garden type rotary tillers. Tokyo, 1965.

Submitted 07.09.2015

About the authors:

Anokhin Anatoliy Vasilyevich, head of laboratory Institute of Machinery Sciences of National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic (23, Skryabin str., Bishkek, the Kyrgyz Republic), Ph.D. (Engineering), docent, anochin_anatoli@mail.ru

Kupryashkin Vladimir Fedorovich, associate professor of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Ph.D. (Engineering), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, kupwf@mail.ru

Chatkin Mikhail Nikolayevich, head of chair of Agricultural Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Engineering), professor, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3758-7066>, chatkinm@yandex.ru

Naumkin Nikolay Ivanovich, professor of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), Dr.Sci. (Pedagogy), Ph.D. (Engineering), docent, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1109-5370>, naumn@yandex.ru

Kapustin Andrey Gennadyevich, lecturer of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2954-9200>, pechen1214@yahoo.com

Ulanov Aleksandr Sergeyeich, post-graduate student of chair of Design Principles of Mechanisms and Machines of Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya str., Saransk, Russia), **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6041-6911>, ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

For citation: Anokhin A. V., Kupryashkin V. F., Chatkin M. N., Naumkin N. I., Kapustin A. G., Ulanov A. S. Dynamic load analysis of the motor cultivator “Neva” MK-200 engine. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin]. 2015, vol. 25, no. 4, pp. 51–62. DOI: 10.15507/0236-2910.025.201504.051