

DOI
УДК 631.363.25

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГОЗАТРАТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОДНОВАЛЬЦОВО-ДЕКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЕГО КОНСТРУКЦИИ

Коновалов Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мелиорация и охрана земель», ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА имени В.Р. Филиппова».

670034, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8.

E-mail: kvi_viktor@mail.ru

Коновалова Анна Александровна, ассистент кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА имени В.Р. Филиппова».

670034, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8.

E-mail: nyura.matveevsckaya@mail.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Ключевые слова: измельчитель, зерно, энергоемкость, производительность, параметры, зазор, амплитуда.

Цель исследований – обеспечить наименьшие энергозатраты одновальцово-декового измельчителя. Проблема снижения энергоемкости процесса измельчения – одна из приоритетных решаемых задач в технологическом цикле производства сельскохозяйственной продукции. Проанализирована зависимость производительности первой зоны измельчения от конструктивных и кинематических параметров с подбором оптимального значения зазора между вальцом и декой 1 мм. Исследована зависимость производительности, удельной энергоемкости и модуля помола для второй зоны измельчения. Разработана методика графической обработки результатов экспериментальных данных. В результате применения предлагаемой методики графической обработки результатов экспериментальных данных была получена корреляционная зависимость между модулем помола, производительностью одновальцово-декового измельчителя и удельной энергоемкостью в виде поверхности отклика. Графический анализ полученной поверхности отклика показал, что с уменьшением значения модуля помола, согласно зоотехническим требованиям, оптимальные значения производительности одновальцово-декового измельчителя и удельной энергоемкости процесса измельчения будут отдаляться друг от друга, что свидетельствует о логичном представлении экспериментальных данных. Оптимальное сочетание производительности одновальцово-декового измельчителя, удельных энергозатрат процесса измельчения при соответствующих конструктивных и кинематических параметрах соответствует модулю помола 2,6 мм. При этом оптимальное значение производительности составило 1658,7 кг/ч, удельной энергоемкости процесса измельчения 1,017 кВт·ч/кг при конструктивных и кинематических параметрах дробилки: зазоры 1 мм и 0,8-0,84 мм, частота вращения вальца 150-197 об/мин, эксцентрикового привода деки 227-321 об/мин. Разработанная методика поиска главных значений оптимальных параметров работы измельчающих машин с позиции производительности, удельных энергозатрат и качества продукта применима для оценки любых конструкций современного дробильного оборудования.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDY OF DEPENDENCE BETWEEN ENERGY CONSUMPTION AND PRODUCTIVITY OF GRAIN CRUSHING MACHINE AND PARAMETERS OF ITS DESIGN

V. I. Konovalov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Land Reclamation and protection», FSBEI HE «Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov».

670034, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Pushkina street, 8

E-mail: kvi_viktor@mail.ru

A. A. Konovalova, Assistant of the Department «Electrification and Automation of Agriculture», FSBEI HE «Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov».

670034, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Pushkina street, 8.

E-mail: nyura.matveevsckaya@mail.ru

V. V. Konovalov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Mechanical Engineering Technology», FSBEI HE «Penza State Technological University».

440039, Penza, travel Baydukova/Gagarin street, 1A/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Keywords: chopper, grain, energy consumption, performance, parameters, clearance, amplitude.

The aim of the research is to ensure the lowest energy consumption for a cutter with one crumbling roll and a shredder concave. The aim of reducing the energy for the crushing process is one of the dominating and important tasks in the technological cycle of agricultural crop production. The dependence of the productivity of the first crushing zone on the design and kinematic parameters with the selection of the optimal value of the gap between the crumbling roll and shredder concave with 1 mm. was studied. The dependence of the productivity, volume energy and crushing module for the second cutting zone was studied. The method of graphic processing of experimental data results has been developed. As a result of applying of proposed graphic-processing of experimental data the correlation between the module crushing performance of cutter and volume energy in the form of the response surface was obtained. Graphical analysis of the response surface obtained showed that with a decrease in the value of the crushing module, according to zoo-technical requirements, the optimal values of the productivity of the cutter with one crushing roll and a shredder concave and volume energy for crushing will move away from each other, thus featuring absolutely logical conclusion of the experimental data. The optimal combination of the productivity of the cutter with one crushing roll and a shredder concave, the volume energy consumed during crushing with the appropriate design and kinematic parameters corresponds to the grinding module of 2.6 mm. At the same time, the optimal performance value was 1658.7 kg/h, the volume energy was 1.017 kW-h/kg with the design and kinematic parameters of the cutter: the gaps of 1 mm and 0.8-0.84 mm, the rotation frequency of the roller 150-197 rpm, the shredder concave eccentric drive 227-321 rpm. The search method for principle optimal parameters for the cutter developed taking into account production, volume energy and the product quality is applicable to evaluate any designs of modern crushing equipment.

Проблема снижения энергоемкости процесса измельчения является одной из приоритетных решаемых задач в технологическом цикле производства сельскохозяйственной продукции. Основная техническая проблема при измельчении зерна до определенных значений модуля помола $M=0,2-1$ мм (для тонкого помола) и $M=1-1,8$ мм (для среднего помола) заключается в применении многостадийного процесса измельчения с поэтапным использованием различных типов измельчителей, что ведет к повышению материало- и энергоемкости, а также повышению издержек производства. Дополнительной проблемой при применении стадийной схемы технологического процесса измельчения сырья является неоднородность гранулометрического состава при использовании в качестве промежуточных звеньев роторных и молотковых дробилок. В качестве технического решения указанных проблем может выступать применение одновальцово-дековых измельчителей, сочетающих в себе преимущества вальцовых и ударных измельчителей [3, 4, 5]. Для более подробного анализа эффективности работы одновальцово-дековых измельчителей следует провести исследование зависимости производительности и энергоемкости процесса измельчения зерна от конструктивных и кинематических параметров.

Цель исследований – обеспечить наименьшие энергозатраты одновальцово-декового измельчителя.

Задачи исследований – разработать методику проведения экспериментальных исследований по установлению зависимости производительности и энергозатрат одновальцово-декового измельчителя от его конструктивных и кинематических параметров; установить зависимость производительности и удельных энергозатрат одновальцово-декового измельчителя от его конструктивных и кинематических параметров.

Материалы и методы исследований. Объект исследования – технологический процесс измельчения зерновых материалов в одновальцово-дековом измельчителе. Предмет исследования – закономерности изменения производительности и удельных энергозатрат от конструктивных и кинематических параметров измельчителя. Одновальцово-дековый измельчитель зерна (рис. 1) представляет собой раму, установленную на фундаменте на регулировочных винтах 10. На раме крепится питающий бункер 4 и выгрузной лоток 8, а также привод рабочих органов.

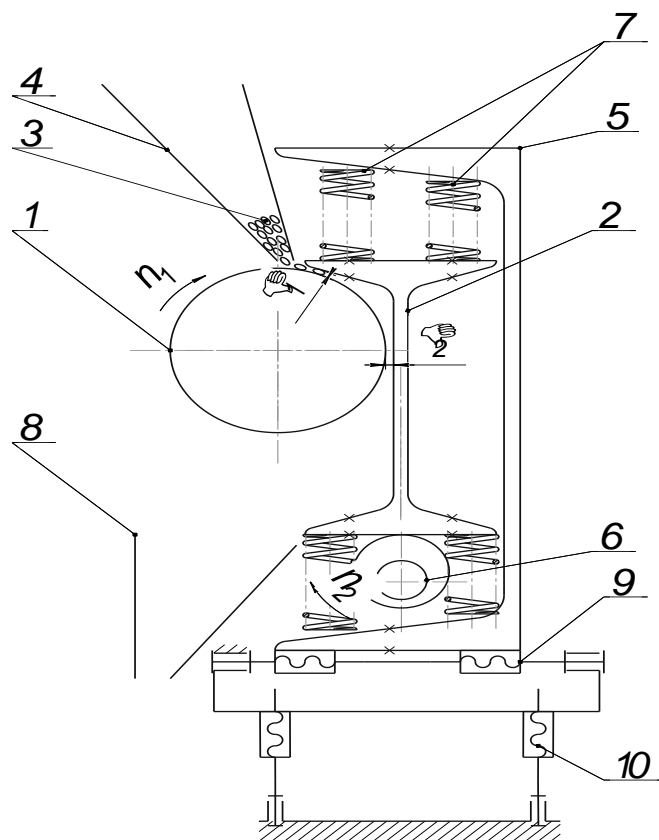


Рис. 1. Принципиальная схема одновальцово-декового измельчителя:

1 – валец, 2 – дека, 3 – измельчаемый материал, 4 – питающий бункер, 5 – корпус деки, 6 – эксцентриковый вал привода деки, 7 – опорные пружины, 8 – выгрузной лоток, 9, 10 – регулировочные винты

Основным рабочим органом является активно вращающийся валец 1. Поверхность вальца шероховатая, получаемая электродуговой наплавкой, с величиной неровностей до 0,5 мм. Вторым рабочим органом является вибрирующая дека. Корпус деки 5 установлен на опорных пружинах 7 и имеет эксцентриковый вал 6 привода деки с амплитудой колебаний 3 мм. Зерновка из питающего бункера 4 поступает в зону верхнего контакта вращающегося вальца 1 и корпуса вибрирующей деки 7. Происходит первичное измельчение зерновок. Некачественно измельченные зерновки повторно измельчаются в зоне бокового контакта 1 и корпуса вибрирующей деки 7, выгружаясь по выгрузному лотку 8. Рабочие параметры машины: ω_1 – угловая скорость вращения вальца и ω_2 – угловая скорость вращения эксцентрикового вала, определяющие производительность измельчителя, регулировались при помощи частотно-регулируемых приводов электродвигателей; Δ_1 и Δ_2 – технологические зазоры, характеризующие качество измельчения, изменялись при помощи системы винтовых опор 9 деки. Амплитуда деки выбиралась из условия плосконапряженного состояния измельчаемого материала [3] и отсутствия беспрепятственного поступления зерновок в первую зону измельчения. Ввиду того, что средний эквивалентный диаметр зерновок составлял 4,2 мм, а наименьшее значение зазора Δ_1 по зоотребованиям соответствует 0,8 мм, максимальное расстояние между декой и вальцом в верхнем положении равно $3,8 < 4,2$ мм. При увеличении значений амплитуды происходит проскальзывание неизмельченного материала во вторую зону измельчения. Таким образом, для обеих зон измельчения существует свое значение производительности Q . При условии $Q_1 \leq Q_2$ происходит плющение зерновок без забивания материала меж зон измельчения. При нарушении указанного условия данное пространство забивается материалом, и прекращается поступление зерновок на измельчение. Указанное условие повлияло на методику исследований: отдельными сериями экспериментов изучались обе зоны для последующей возможности соблюдения баланса расходов.

В качестве исследуемого при измельчении материала было использовано зерно яровой пшеницы урожая 2018 г. сорта «Селенга» влажностью 15,4%. При исследовании качественных

показателей зерна пшеницы, физико-механических характеристик, геометрических размеров применялись методики в соответствии с действующими стандартами на зерно. Исследования проводились в соответствии с 3-факторным ортогональным планом с трехкратной повторностью. В качестве контрольных критериев исследуемого процесса были выбраны производительность Q и удельные энергозатраты процесса измельчения \mathcal{E} , в качестве независимых факторов выступали: n_1 – частота вращения вальца, n_2 – частота вращения эксцентрикового вала привода деки; зазор между вальцом и декой. Отдельно рассматривался зазор Δ_1 между вальцом и декой в 1-й зоне измельчения, и отдельным планом – зазор Δ_2 между вальцом и декой во 2-й зоне измельчения.

Вначале проводилось интерполяционное исследование 1-й зоны измельчения с целью поиска функции влияния на производительность Q зазора Δ_1 и частот n_1, n_2 и установление их рациональных значений, т.к. наибольшее разрушающее воздействие происходит именно на первом этапе. При этом зазор Δ_2 был увеличен до максимального размера, при котором не оказывается разрушающее воздействие во 2-й зоне на предварительно измельченный материал (табл. 1).

Таблица 1

Факторы и интервалы их варьирования при исследовании 1-й зоны измельчения

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Независимый фактор и его размерность
x_1 :	0,8	1	1,2	0,2	Δ_1 , мм
x_2 :	100	150	200	50	n_1 , мин ⁻¹
x_3 :	150	350	550	200	n_2 , мин ⁻¹

После определения рациональных значений фактора Δ_1 проводилось исследование второй зоны измельчения при постоянном выбранном зазоре Δ_1 на зависимость производительности и удельных энергозатрат от данных факторов (табл. 2).

Обработка результатов эксперимента производилась с помощью программного обеспечения PlanExp«B-D13» v.1.0.

Результаты исследований. По результатам обработки и анализа данных зависимости производительности первой зоны измельчения от ряда факторов (табл. 3) была получена целевая функция отклика $Q=Y_{11}(x_1, x_2, x_3)$ (1) и установлено, что её экстремум находится в пределах варьирования переменных факторов (рис. 2).

Таблица 2

Факторы и интервалы их варьирования при исследовании 2-й зоны измельчения

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Независимый фактор и его размерность
x_1 :	0,6	0,8	1	0,2	Δ_2 , мм
x_2 :	100	150	200	50	n_1 , мин ⁻¹
x_3 :	150	350	550	200	n_2 , мин ⁻¹

Таблица 3

План эксперимента и значения критерия оптимизации при определении оптимальной производительности 1-й зоны измельчителя

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Критерий оптимизации ($Q=Y_{11}(x_1, x_2, x_3)$, кг/ч)		
	x_1	x_2	x_3	Δ_1 , мм	n_1 , об/мин	n_2 , об/мин	$Y_{11}(u, 1)$	$Y_{11}(u, 2)$	$Y_{11}(u, 3)$
1	-1	-1	-1	0,8	100	150	55	53	61
2	+1	-1	-1	1,2	100	150	150	149	151
3	-1	+1	-1	0,8	200	150	430	500	502
4	-1	-1	+1	0,8	100	550	692	690	705
5	-1	0	0	0,8	159,5	388	910	900	1020
6	0	-1	0	1,038	100	388	2850	2290	2284
7	0	0	-1	1,038	159,5	150	592	580	600
8	0	+1	+1	0,942	200	550	3010	3020	2892
9	+1	0	+1	1,2	135,5	550	2004	2010	2000
10	+1	+1	0	1,2	200	292	1840	1830	1832

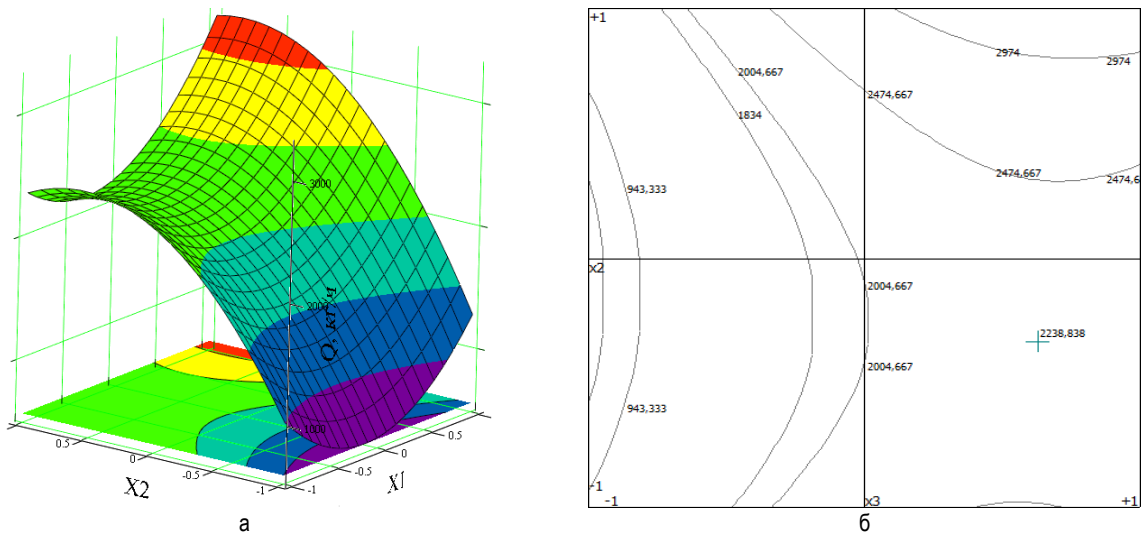


Рис. 2. График зависимости производительности в первой зоне измельчения от частоты вращения вальца x_2 , частоты вращения эксцентрикового вала привода деки x_3 при величине зазора $x_1=0$ (1 мм) (а) и двумерное сечение полученной поверхности (б)

Уравнение регрессии производительности измельчителя по первой зоне измельчения, кг/с:

$$Y_{11} = 2026,275 + 347,855 \cdot x_1 + 286,893 \cdot x_2 + 826,036 \cdot x_3 - 895,068 \cdot x_1^2 + 564,952 \cdot x_2^2 - 618,245 \cdot x_3^2 - 66,084 \cdot x_1 \cdot x_2 + 364,281 \cdot x_1 \cdot x_3 + 140,949 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

Значение экстремума составляет $Y_{11_opt}=2238,84$ кг/ч. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $x_2=-0,333$ (133,4 мин⁻¹) и $x_3=0,63$ (476 мин⁻¹) при $x_1=0$ (1 мм).

В качестве дополнительного критерия, оценивающего качественные характеристики измельченного материала, был выбран модуль помола M , мм.

При анализе зависимости производительности 2-й зоны от ряда факторов (табл. 4), являющейся общей для всего измельчителя, выяснилось, что целевая функция зависимости $Q=Y_{21}(x_1, x_2, x_3)$ имеет 3 экстремума (табл. 5), удельные энергозатраты имеют 1 экстремум, а модуль помола не имеет явных экстремумов.

Таблица 4

План эксперимента и значения критериев оптимизации при определении производительности и энергозатрат 2-й зоны измельчителя

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Критерий оптимизации ($Q=Y_{21}(x_1, x_2, x_3)$, кг/ч)	Критерий оптимизации ($\mathcal{E}=Y_{22}(x_1, x_2, x_3)$, (Вт·ч)/кг)	Критерий оптимизации ($M=Y_{23}(x_1, x_2, x_3)$, мм)
	x_1	x_2	x_3	Y_{21_cp}	Y_{22_cp}	Y_{23_cp}
1	-1	-1	-1	144	6,78	1,81
2	+1	-1	-1	145	6,56	2,9
3	-1	+1	-1	679	1,74	1,97
4	-1	-1	+1	565	1,93	0,52
5	-1	0	0	864,67	1,38	0,91
6	0	-1	0	281,75	3,87	1,45
7	0	0	-1	2239,87	1,92	2,44
8	0	+1	+1	2577,60	0,51	0,39
9	+1	0	+1	1483,53	0,77	1,32
10	+1	+1	0	1668,25	1,16	1,96

Таблица 5

Оптимальные значения критериев оптимизации и соответствующих факторов при исследовании 2-й зоны измельчения

$Q= Y_{21_opt}(x_1, x_2, x_3)$, кг/ч	x_1 (Δ_2 , мм)	x_2 (n_1 , мин ⁻¹)	x_3 (n_2 , мин ⁻¹)
1851,902	0 (0,8)	0,591 (179,55)	-0,219 (306,2)
1658,705	0,173 (0,835)	0 (150)	-0,144 (321,2)
1957,333	0,337 (0,867)	0,711 (185,55)	0 (350)
$\mathcal{E}= Y_{22_opt}(x_1, x_2, x_3)$, (Вт·ч)/кг	x_1	x_2	x_3

1,017	0 (0,8)	0,948 (197,4)	-0,614 (227,2)
-------	---------	---------------	----------------

В результате обработки данных по второй зоне были получены уравнения зависимости производительности $Y_{21}=f(x_1, x_2, x_3)$ (2), удельных энергозатрат $Y_{22}=f(x_1, x_2, x_3)$ (3) и модуля помола $Y_{23}=f(x_1, x_2, x_3)$ (4) от конструктивных и кинематических параметров измельчителя (x_1, x_2, x_3) . Коэффициенты корреляции расчетных и экспериментальных значений для приведенных функций равны соответственно: для $Y_{11} = f(x_1, x_2, x_3) - R_{11}=0,988$; для $Y_{21} = f(x_1, x_2, x_3) - R_{21}=0,985$; для $Y_{22} = f(x_1, x_2, x_3) - R_{22}=0,992$; для $Y_{23} = f(x_1, x_2, x_3) - R_{23}=0,971$. Каждое из уравнений (1-4) прошло проверку по F-критерию Фишера и является адекватным.

Уравнение регрессии производительности измельчителя по второй зоне измельчения, кг/с:

$$Y_{21} = 1653,92 + 226,208 \cdot x_1 + 746,017 \cdot x_2 + 205,488 \cdot x_3 - 709,023 \cdot x_1^2 - 608,14 \cdot x_2^2 + 637,375 \cdot x_3^2 + 353,551 \cdot x_1 \cdot x_2 - 130,276 \cdot x_1 \cdot x_3 + 124,161 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

Уравнение регрессии энергозатрат измельчения, Вт·ч/кг:

$$Y_{22} = 1,42 - 0,068 \cdot x_1 - 1,66 \cdot x_2 - 1,248 \cdot x_3 + 0,384 \cdot x_1^2 + 1,198 \cdot x_2^2 - 0,248 \cdot x_3^2 - 0,131 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,182 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,995 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (3)$$

Уравнение регрессии модуля помола зерна после второй зоны измельчения, мм:

$$Y_{23} = 1,533 + 0,441 \cdot x_1 - 0,197 \cdot x_2 - 0,737 \cdot x_3 - 0,062 \cdot x_1^2 - 0,116 \cdot x_2^2 + 0,142 \cdot x_3^2 - 0,057 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,073 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,075 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (4)$$

Для поиска оптимального значения производительности (Q) и удельных энергозатрат (\mathcal{E}) при измельчении зерна во второй зоне, на основании данных (табл. 4) была построена поверхность отклика, показывающая корреляционную зависимость между модулем помола M и оставшимися двумя критериями оценки процесса (рис. 3). В результате графического анализа удалось установить, что при увеличении требуемого получаемого значения модуля помола согласно зоотехническим требованиям от 1 до 2,6 мм наблюдается сближение оптимальных значений производительности $Q=1658,705$ кг/ч и удельных энергозатрат процесса измельчения $\mathcal{E}=1,017$ (кВт·ч)/кг, при соблюдении баланса производительностей на этапах измельчения (рис. 4).

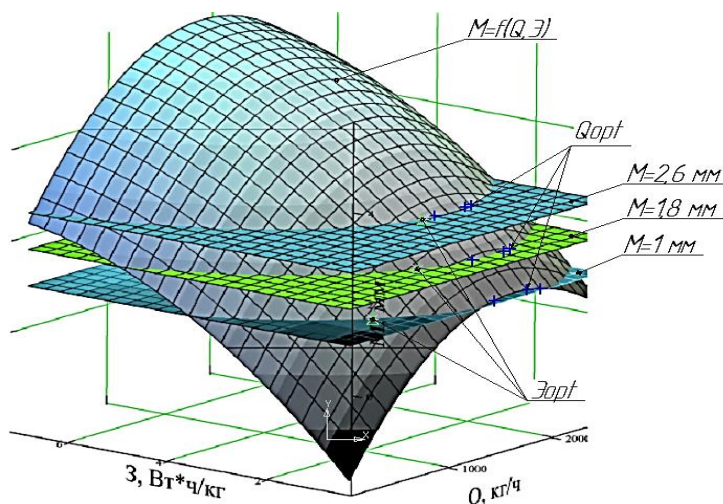


Рис. 3. График корреляционной зависимости модуля помола M от производительности Q и удельных энергозатрат \mathcal{E}

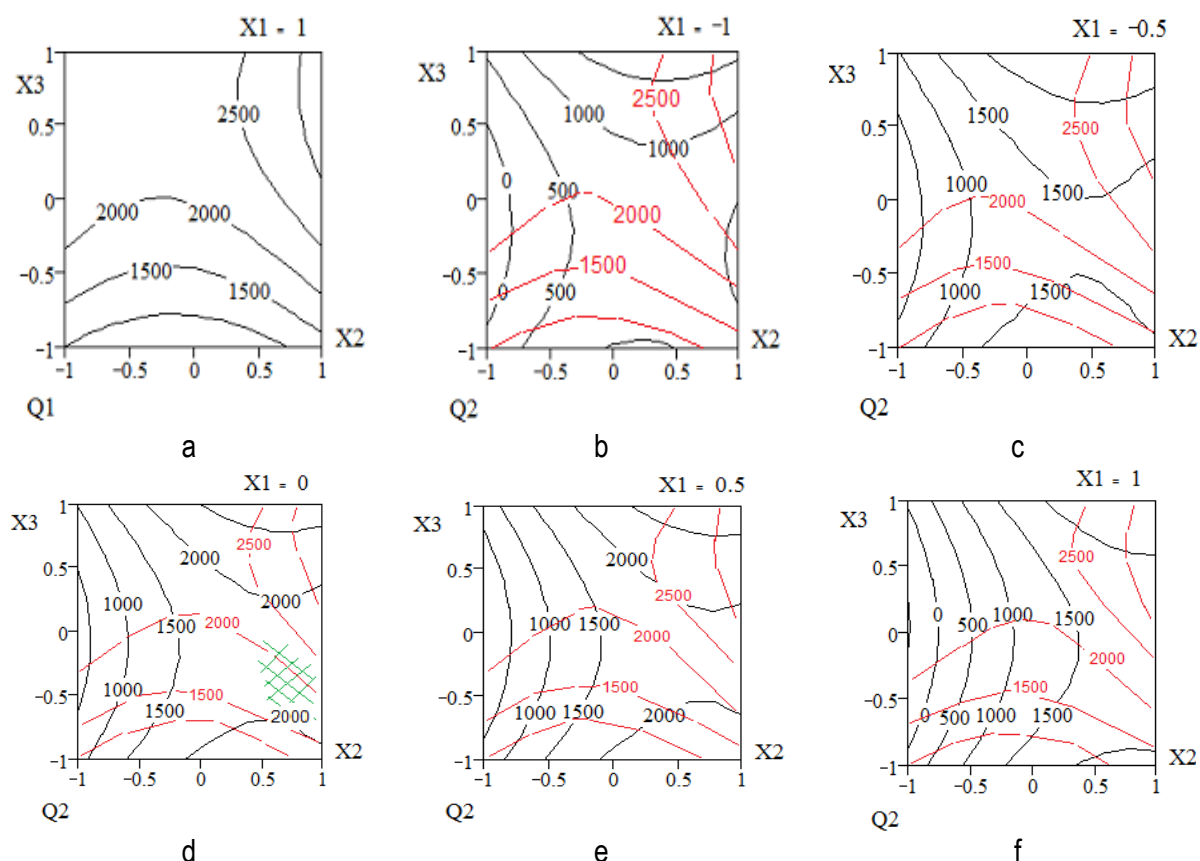


Рис. 4. График влияния частот вращения вальца x_2 и эксцентрикового вала привода деки x_3 на производительность Q , кг/ч:

а – после первого зазора $\Delta_1=1$ мм, по формуле (1); б, с, d, e, f – после второго зазора Δ_2 , по формуле (2), при зазорах Δ_2 , соответствующих $x_1=-1$; $-0,5$; 0 ; $+0,5$; $+1$, соответственно; при наложении значений производительности после первого зазора $\Delta_1=1$ мм

Для проверки соответствия производительностей измельчителя по ступеням измельчения произведено моделирование производительностей по выражениям (1) и (2). На рисунке 4, а представлена производительность после первого этапа измельчения по выражению (1) (серия экспериментов по таблице 1) на выходе из рекомендуемого зазора $\Delta_1=1$ мм. На последующих графиках рисунка 4 указанная производительность дана для контроля красными линиями. Так же даны производительности (серия экспериментов по таблице 2) по выражению (2) при зазорах Δ_2 , соответствующих $x_1=-1$; $-0,5$; 0 ; $+0,5$; $+1$, соответственно. Рекомендуемая зона совпадает по производительности в обоих зазорах и выделена на рисунке 4, d зеленой штриховкой.

Заключение. В результате проведенных исследований процесса измельчения зерна в однорольцово-дековом измельчителе разработана методика, позволяющая оценить процесс получения дробленого материала с позиции удельного расхода энергии, производительности и модуля помола. На основании графического анализа зависимости значений установленных функций модуля помола от производительности и энергозатрат обнаружены оптимальные значения конструкции измельчителя, при которых возможно одновременное сочетание высокой производительности, соответствующей $Q=1658,7$ кг/ч и низких удельных энергозатрат процесса измельчения

$\mathcal{E}=1,017$ (кВт·ч)/кг, что соответствует модулю помола зерна для крупного рогатого скота $M=2,6$ мм, при конструктивных и кинематических параметрах зазоров дробилки: $\Delta_1=1$ мм, $\Delta_2=0,8-0,84$ мм, при частоте вращения вальца $n_1=150-197$ мин⁻¹, и вала привода эксцентриковой деки $n_2=227-321$ мин⁻¹.

1. Коновалов В. И. Обоснование технологического процесса измельчения и параметров одновальцово-декового измельчителя зерна : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Коновалов Виктор Иванович. – Улан-Удэ, 2013. – 131 с.
2. Коновалов, В. И. Анализ теоретических и экспериментальных результатов исследований одновальцово-декового измельчителя зерна / В. И. Коновалов, М. Б. Балданов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2014. – №4 (37). – С. 68-73.
3. Коновалов В. И. Обоснование параметров вальцедекового измельчителя зерна / В. И. Коновалов, Н. А. Урханов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. – 2012. – №4 (39). – С. 64-67.
4. Коновалов, В. И. О некоторых особенностях конструкции вальцедекового измельчителя фуражного зерна / В. И. Коновалов, Н. А. Урханов, М. Б. Балданов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2013. – №2 (31). – С. 49-53.
5. Коновалов, В. И. Анализ процесса измельчения фуражного зерна в одновальцово-дековом измельчителе / В. И. Коновалов, И. Б. Шагдыров, М. Б. Балданов, А. И. Пунько // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Межведомственный тематический сборник : в 2 т. – Минск : Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014. – С. 99-104.
6. Пунько, А. И. Экспериментальное исследование вальцовой дробилки зернофуража ДВ-3 / А. И. Пунько, М. В. Иванов, Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Межведомственный тематический сборник : в 2 т. – Минск : Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2016. – С. 27-31.
7. Шагдыров, И. Б. Анализ устройств для измельчения фуражного зерна / И. Б. Шагдыров, В. П. Мацуков, В. И. Коновалов, А. И. Шагдыров // Научные проблемы и технологические аспекты модернизации АПК и развития сельских территорий Байкальского региона : материалы научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки и 85-летию образования ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА имени В. Р. Филиппова». – Улан-Удэ : БГСХА, 2016. – С. 125-129.

References

1. Konovalov, V. I. (2013). Obosnovaniie tekhnologicheskogo processa izmelicheniia I parametrov odnovalicovo-dekovogo izmelichitel'ia zerna [Justification of technological process of grinding and parameters of single-roller-deck grain shredder]. *Candidate's thesis*. Ulan-Ude [in Russian].
2. Konovalov, V. I., & Baldanov, M. B. (2014). Analiz teoreticheskikh I eksperimentalnykh rezulitativ issledovaniia odnovalicovo-dekovogo izmelichitel'ia zerna [Analysis of theoretical and experimental results of studies of single-roller-deck grain shredder]. *Vestnik Buriatsko I gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademiiim. V. R. Filippova – Bulletin Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov*, 4 (37), 68-73 [in Russian].
3. Konovalov, V. I., & Urhanov, N. A. (2012). Obosnovaniie parametrov valice dekovogo izmelichitel'ia zerna [Substantiation of the parameters of valledemosa grain refiner]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniia – Bulletin of the East Siberian state University of technology and management*, 4 (39), 64-67 [in Russian].
4. Konovalov, V. I., Urhanov, N. A., & Baldanov, M. B. (2013). O nekotorykh osobennostiakh konstrukcii valicedekovogo izmelichitel'ia furazhnogo zerna [On some peculiarities of the structure aladekomo chopper fu-arbitration grain]. *Vestnik Buriatskoi gosudarstvennoi seliskokhoziaistvennoi akademiiim. V. R. Filippova – Bulletin Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philippov*, 2 (31), 49-53 [in Russian].
5. Konovalov, V. I., Shagdyrov, I. B., Baldanov, M. B., & Pun'ko, A. I. (2014). Analiz processa izmelicheniia furazhnogo zerna v odnovalicovo-dekovom izmelichitele [Analysis of the process of grinding feed grain in a single-roller-deck mill]. *Mechanization and electrification of agriculture '14: Mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik – Interdepartmental thematic collection* : in 2 vol. (pp. 99-104). Minsk [in Russian].
6. Pun'ko, A. I., Ivanov, M. V., Vorobiev, N. A., & Drozd, S. A. (2016). Eksperimentalnoe issledovaniie valicovoi drobilki I zernofurazha DV-3 [Experimental study of a roller crusher of grain forage DV-3]. *Mechanization and electrification of agriculture '16: Mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik – Interdepartmental thematic collection* : in 2 vol. (pp. 27-31). Minsk [in Russian].
7. Shagdyrov, I. B., Matsukov, V. P., Konovalov, V. I., & Shagdyrov, A. I. (2016). Analiz ustroistv dlia izmelicheniia furazhnogo zerna [Analysis of devices for grinding of feed grain]. *Scientific problems and technological aspects of modernization of agriculture and development of rural territories of the Baikal region '16: materialy nauchno-prakticheskoi konferencii, posviashchennoi Dnyu rossiiskoi nauki 85-letiiu obrazovaniia FGBOU VO «Buriatskaia GSKHA imeni V. R. Filippova»* – materials of scientific-practical conference devoted to the Russian science Day and

the 85th anniversary of the formation of the «Buryat state agricultural Academy named after V. R. Filippov». (pp. 125-129). Ulan-Ude [in Russian].