

RESEARCH RESULTS OF GRAIN SHREDDER BY USING MULTIPLIED METHOD OF EVALUATION¹

Petr A. Savinykh^{a*}, Alexey Yu. Isupov^a, Andrey Palichyn^b, Ilaya I. Ivanov^b,
Wacław Romaniuk^c, Kinga Borek^c

^a GNU NIISH-SH North-East Scientific and Research Institute of Agriculture N.V. Rudnitshy, Kirov, Russia

^b FGBOU Vologckaya GMHA NV. Vereshagina, Vologda, Russia

^c Institute of Technology and Life Sciences in Falenty, Warsaw Branch, Poland

*Corresponding author: e-mail: peter.savinyh@mail.ru

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: November 2018 Received in the revised form: December 2018 Accepted: January 2019</p> <p><i>Key words:</i> shredding devices, grain, experiment, rotor, shredding unit</p>	<p>Currently in Russia and other countries in family farms there is a demand for lowering cost of animal production. Main direction to achieve new technological solutions characterized by low energy consumption and high efficiency with maintaining high quality of product (mineral). For example, lately in animal production are acquired concentrates with low unit costs. Realising targets related with lowering costs of forage production with usage comminution and crease of grain. Previously conducted own researches and literature analyses shows, that currently used solutions are characterized by big errors made by construction of the devices, and technology effect of obtained product (grain). The paper presents the criteria for optimization of technical indicators of shredding devices affecting the quality of the product.</p>

Постановка проблемы

Толчком для разработки и внедрения современных энергосберегающих технологий в сельскохозяйственном производстве, послужила политика импортозамещения и государственной поддержки отечественного производителя сельскохозяйственной продукции.

Половина всего производимого в мире зерна используется для кормления сельскохозяйственных животных. Основным направлением применения этого зернового материала является производство комбинированных кормов, так в их состав может входить от 30 до 80% злаковых и бобовых культур, а также продуктов их переработки. Использование в составе комбикормов концентрированных кормов в

¹ Исследования, выполненные в рамках проекта "Междисциплинарные исследования по повышению энергоэффективности и увеличению доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе польского сельского хозяйства", Номер контракта BIOSTRATEG1/269056/5/NCBR/2015 11.08.2015 год, финансируемый по Национальный Центр Исследований и Разработок в рамках программы BIOSTRATEG1.

отличие от зерна, не подвергнутому никакому механическому или термическому воздействию, повышает их эффективность до 10-20% (Siergejev, 2008).

В структуре себестоимости продукции животноводства более 50% занимают затраты на производство кормов. При этом всего не более четверти использованной энергии корма возвращается в виде молока, мяса, шерсти и т.д. Оставшаяся доля расходуется на поддержание физиологической активности животного – дыхание, кровообращение, переваривание пищи и т.д. (Solitsev, 2008). Поэтому снижение всех затрат связанных с производством кормов; повышение качества кормов за счет улучшения перевариваемости и усвояемости являются важнейшими задачами науки и техники в области сельского хозяйства.

В сфере агропромышленного производства и в частности механизации животноводства основными направлениями решения описанной проблемы являются технические средства оптимизации конструктивных элементов уже известных устройств с подбором технологических режимов, а также разработка и внедрение новых технических решений. Например, в настоящее время, большой практический интерес в области измельчения зерна, представляют конструкции измельчителей, работающие в пограничной области, то есть совмещающие процесс измельчения срезом и скальванием (Sysujev и др., 2008; Suhlaev и др., 2014; Bulatov и др., 2014).

Анализ последних исследований.

В настоящее время разработано и используется огромное количество всевозможных конструкций дробилок кормов, которые отличаются между собой принципом работы и технологической схемой. Тем не менее все это разнообразие делят на решетные, универсальные и безрешётные дробилки, а также с рециркуляцией и без нее.

В последние годы за рубежом (США, Западная Европа) вновь вернулись к использованию дезинтеграторов и других машин ударного действия для измельчения пищевых продуктов. Опыты применения машин ударного действия с целью интенсификации измельчения и сокращения протяженности размольного процесса ведутся во многих странах. Необходимо отметить, что ударное измельчение стремятся применять в сочетании с пневматическим сепарированием. Для этих целей используются молотковые дробилки разных типов, дезинтеграторы (штифтовые дробилки), роторные дробилки, машины центробежного типа, в которых измельчение осуществляется путем удара продукта о неподвижную кольцевую поверхность или деку с ребристой или ровной поверхностью, и многие другие.

Основными преимуществами дисковой дробилки являются: возможность измельчения различного по крупности зерна, обеспечение хорошего качества размола при малом содержании мелкой фракции, возможность регулирования рабочего зазора в процессе работы. К основным недостаткам следует отнести быстрый износ рабочих поверхностей и большой удельный расход энергии. Дисковые дробилки не нашли применения в комбикормовой промышленности нашей страны, и отечественным машиностроением не выпускаются.

В комбикормовой промышленности и сельскохозяйственном производстве для измельчения зернового сырья в основном используются молотковые и вальцовые

станки, в отдельных случаях - дисковые дробилки и жернова. Наиболее распространены как универсальные, так и специализированные молотковые дробилки, например, КДМ-3,0, КДУ-2,0 и др. (Sysujev и др., 2008)

Доказано, что в зависимости от конструктивных особенностей дробилок окружная скорость молотков 45-70 м·с⁻¹ обеспечивает разрушение зерна за счет первичного удара. На зарубежных комбикормовых предприятиях процесс измельчения зернового сырья ведется при окружных скоростях молотков в пределах 80-115 м·с⁻¹. В настоящее время отечественная комбикормовая промышленность использует молотковые дробилки, у которых окружная скорость молотков 90-100 м·с⁻¹. Имеющиеся отклонения в рассмотренных параметрах работы молотковых дробилок объясняются различными задачами, которые ставились при выполнении исследований, а также отсутствием единого метода оценки технологического процесса измельчения.

К существенным недостаткам молотковых дробилок следует отнести (Siergejev, 2008):

- высокий удельный расход энергии на измельчение (до $54 \cdot 10^3$ кДж·т⁻¹);
- большое количество тонкодисперсной фракции в продуктах дробления (при среднем и мелком размоле до 30%);
- быстрый износ рабочих органов;
- относительно высокую металлоемкость (до 500 кг·ч·т⁻¹).

К существенным недостаткам центробежных дробилок следует отнести следующее: снижается качество измельченного продукта при увеличении подачи материала в камеру дробления для повышения производительности, при этом увеличивается выход целых и неизмельченных частиц исходного материала; не представляется возможным измельчать зерно повышенной влажности (17-20%), а также семена масличных культур, например, рапса.

Многообразие машин, применяемых для измельчения, свидетельствует о том, что до настоящего времени продолжают поиски наиболее рационального типа измельчающей машины, которая наряду с высокой технологической эффективностью, обеспечила бы большую производительность и меньший расход энергии по сравнению с существующими.

Поэтому целью исследования являлась оценка влияния ряда конструктивных и кинематических параметров, выявленных в ходе анализа, предложенной конструкции измельчителя роторно-центробежного типа на качество получаемого продукта – измельченного зерна и на его выходные технологические характеристики. Основными задачами нашего исследования явились: установление и оценка влияния и взаимосвязей конструктивных и кинематических параметров на технологические показатели работы измельчителя, а также соответствие получаемого продукта зоотехническим требованиям, выбор дальнейшего направления исследований, предложенной нами, конструкции измельчителя зерна роторно-центробежного типа.

Результаты исследований

Установление влияния различных факторов на процесс измельчения зерна, выходные энергетические и технологические параметры в устройстве для

измельчения зерна роторно-центробежного типа проводилось на экспериментальной установке (Рис. 1). Исследования проводились на материально-технической базе ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА имени Н.В. Верещагина.



Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки

При этом устройство для измельчения зерна роторно-центробежного типа (Рис. 2) состоит из неподвижного корпуса 1 с загрузочным 2 и выходным 3 патрубками. Внутри корпуса соосно установлены два вращающихся смежных диска: верхний 4 (Рис. 3) и нижний 5 (Рис. 4). На рабочей поверхности нижнего диска 5 выполнены кольцевые выступы 6, а на рабочей поверхности верхнего диска 4 установлены ножи 7, которые выполнены в виде ромба с малыми углами заточки относительно больших диагоналей, причем наружный ряд ножей 8 образует сепарирующую поверхность, изменение угла наклона которых позволяет бесступенчато регулировать степень измельчения материала. Нижний диск 5 имеет в радиальном направлении сквозные пазы 9, выполненные под наклоном в сторону противоположную направлению вращения данного диска. Нижний диск 5 укреплен на фланце приводного вала 10 и приводятся во вращение посредством установленного на нем шкива 11. Верхний диск 4 жестко закреплен к неподвижному корпусу 1. В верхней части неподвижного корпуса установлена приемная камера 12, которая образована вертикальными стенками. Приемная камера 12 в верхней части сообщена с загрузочным патрубком 2

Research results...

и посредством радиальных окон 13 связана с рабочей камерой 14, представляющей собой пространство между дисками 4 и 5.

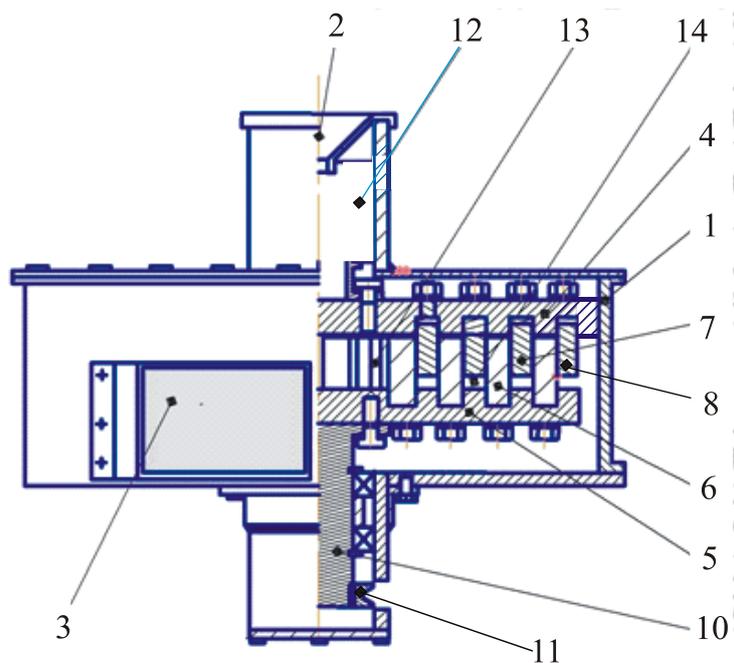


Рисунок 2. Общий вид устройства для измельчения сыпучих материалов



Рисунок 3. Общий вид верхнего диска



Рисунок 4. Общий вид нижнего диска

Рабочий процесс измельчения зерна в устройстве роторно-центробежного типа осуществляется следующим образом. Поступающее зерно, подвергается механическому воздействию первой режущей пары, далее под действием центробежных сил предварительно измельченный материал движется по сквозным пазам к следующей паре. А далее измельченное зерно – дерть, достигнув наружного ряда ножей 8, которые образуют сепарирующую поверхность, проходит в зазор между ножами 8 и под воздействием воздушного потока, создаваемого вращающимся нижним диском 5, выходит из корпуса 1 через выходной патрубок 3.

Для решения поставленных задач по исследованию влияния конструктивных и кинематических параметров измельчителя зерна роторно-центробежного типа на выходные технологические и качественные показатели использована методика планирования многофакторного эксперимента (Mielnikov и др., 1980; Montgomeri, 1980; Dzhonson, Likon, 1981).

Анализ конструкции измельчителя и исследований по этой тематике позволил выделить ряд факторов. Которые условно можно поделить на конструктивные, например, количество ножей на внутреннем и наружном кольце, и технологические факторы, например, подача зерна и частота вращения ротора. Выбранные по результатам однофакторных экспериментов факторы и уровни их варьирования (Табл. 1).

Таблица 1.

Факторы и уровни их варьирования

Факторы	Наименование и размерность	Уровни факторов	
		-1,0	+1,0
x_1	Подача зерна, герц.	30	60
x_2	Частота вращения ротора, c^{-1}	800	1200
x_3	Открытие сепарирующей поверхности, мм.	2,5	3,2
x_4	Число ножей на внутреннем кольце, шт.	9	3
x_5	Число ножей на наружном кольце, шт.	18	9
x_6	Состояние ножей	старые	Новые
x_7	Наличие вставки	есть	Нет

В ходе проведения исследования в качестве исходного зернового материала использовался ячмень кондиционной влажности. Регулировка подачи зерна в устройство x_1 осуществлялась за счет изменения частоты вращения вала электродвигателя лопастного питателя. Частота вращения ротора x_2 регулировалась за счет изменения передаточного отношения ременной передачи между шкивом электродвигателя и шкивом приводного вала измельчителя 10 (Рис. 2). Открытие сепарирующей поверхности x_3 - за счет выставления соответствующего размера между параллельными плоскостями двух рядом расположенных ножей на внешнем кольце 8 (Рис. 3). Число ножей на внутреннем x_4 и наружном кольце x_5 - в результате добавления или удаления таковых. В качестве фактора x_6 использовались новые - заточенные ножи и старые - потерявшие заточку.

Для сокращения объема, проводимых исследований использовалась матрица дробного факторного эксперимента типа 2^{7-2} . Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в табл. 2.

За критерии оптимизации, оценивающие выходные конструктивно-технологические показатели работы измельчителя зерна, принимались: потребляемая мощность y_1 , в кВт, и производительность измельчителя y_2 , выражаемая в $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$. Замер показателей потребляемой мощности осуществлялся при помощи счетчика электрической энергии Меркурий 221, подключенного к ПК через интерфейс USB в CAN/RS-232/RS485 (Рис. 5). Блок схема замера потребляемой мощности). Мгновенный контроль показателей отслеживался измерительным комплектом К-505.



Рисунок 5. Комплект измерительного оборудования при проведении исследований

Производительность экспериментальной установки рассчитывалась по формуле:

$$y_2 = \frac{M}{t} \quad (1)$$

где:

M – масса навески зерна, (кг)

t – время истечения навески из бункера, (сек)

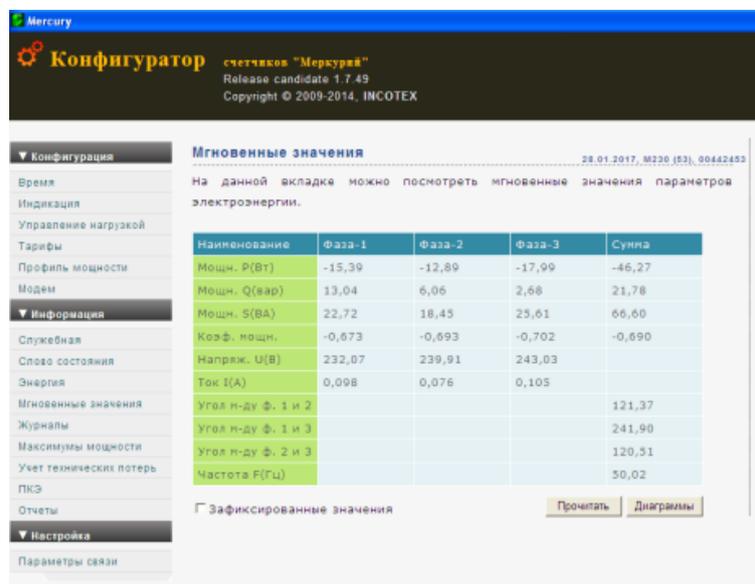


Рисунок 6. Фрагмент записи расхода мощности на ваттметре-самописце

Таблица 2.

Матрица планирования эксперимента и результаты исследований

№ п/п	Факторы							Критерии оптимизации		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y_1	y_2	y_3
1	1	1	1	-1	-1	-1	1	5,28	0,029	0,68
2	1	-1	1	-1	-1	1	-1	2,28	0,015	2,19
3	1	1	-1	-1	1	1	-1	3,12	0,033	38,19
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	6,54	0,024	2,59
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	4,44	0,017	6,88
6	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	4,68	0,023	0,30
7	1	1	1	1	-1	1	-1	2,46	0,034	5,27
8	1	1	1	1	1	1	1	3,12	0,032	14,61
9	1	-1	1	1	1	-1	-1	6,36	0,011	24,29
10	1	-1	-1	-1	1	-1	1	5,22	0,025	0,77
11	1	1	-1	-1	-1	1	1	2,58	0,029	9,76
12	1	-1	-1	1	-1	1	1	2,82	0,022	40,96
13	1	1	-1	1	-1	-1	-1	4,2	0,030	0,86
14	1	-1	-1	1	1	1	-1	2,1	0,026	60,66
15	1	1	-1	1	1	-1	1	6,42	0,027	7,95
16	1	-1	1	-1	1	1	1	2,64	0,022	20,54
17	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	5,34	0,016	0,49
18	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	5,34	0,013	1,01

Research results...

№ п/п	Факторы							Критерии оптимизации		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	y_1	y_2	y_3
19	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	3,66	0,017	1,33
20	-1	1	1	-1	1	1	1	2,34	0,021	6,22
21	-1	-1	-1	1	1	-1	1	6,54	0,012	1,22
22	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	2,28	0,019	28,61
23	-1	1	1	-1	-1	1	-1	3,06	0,018	0,40
24	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	2,58	0,020	46,84
25	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	3,72	0,012	11,39
26	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1,92	0,019	3,60
27	-1	-1	1	1	1	1	1	2,52	0,014	12,70
28	-1	1	-1	-1	1	-1	1	6,54	0,014	0,49
29	-1	1	-1	1	1	1	-1	2,94	0,019	47,44
30	-1	1	1	1	-1	-1	1	5,1	0,017	1,66
31	-1	1	1	1	1	-1	-1	4,44	0,016	5,22
32	-1	1	-1	1	-1	1	1	2,04	0,021	13,18

Анализ зоотехнических требований, предъявляемых к концентрированным кормам для различных групп животных, позволил выделить несколько основных критериев для оценки качества получаемого продукта. Это крупность помола, процентное содержание в помоле частиц более 3 мм и наличие в помоле целых зерен. Однако результаты отсева на вибросите отобранных проб показали, что наиболее критичным параметром для получаемого продукта является содержание в помоле частиц более 3 мм y_3 . При этом наличие целых зерен и модуль помола не рассматривались в виду того что, в отсеве не наблюдалось целых зерен, а значение модуля соответствовало грубому помолу. При этом стоит отметить, что модуль помола в большой степени зависел от содержания частиц более 3 мм, так, например, их содержание варьировалось в диапазоне от 0,4 до 60,8%.

Результаты (табл. 3) многофакторного дисперсионного анализа ANOVA данных, представленных в таблице 2, и полученных при этом уравнений регрессии (1), (2) и (3), позволили сделать вывод, что коэффициенты уравнений адекватны; математические модели (1), (2) и (3), обусловлены вариацией выбранных факторов (табл. 1), являются статистически значимыми и не могут описать происходящие процессы лишь на 5% уровне.

Таблица 3.
Результаты дисперсионного анализа моделей (ANOVA)

Наименование	y_1	y_2	y_3
Вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы (P-value)	0,0000	0,0000	0,0000
Число исключенных значений (Error d.f.)	20	18	20
Стандартная ошибка оценивания (Std. Error)	0,464976	0,001784	4,21375
Коэффициент детерминации (R-squared)	94,26	95,64	95,89

$$y_1 = 3,89 + 0,122*x_1 + 0,201*x_2 - 0,152*x_3 + 0,302*x_5 - 1,34*x_6 + 0,276*x_1*x_3 + 0,122*x_1*x_5 - 0,283*x_2*x_4 + 0,144*x_3*x_6 - 0,182*x_3*x_7 - + 0,126*x_4*x_7 \quad (1)$$

$$y_2 = 0,0208 + 0,00409*x_1 + 0,00291*x_2 - 0,000969*x_3 + 0,00191*x_6 + 0,00191*x_1*x_2 - 0,000969*x_1*x_3 + 0,00109*x_2*x_3 + 0,000969*x_2*x_4 - 0,000531*x_3*x_5 + 0,000969*x_3*x_7 - 0,000656*x_4*x_5 + 0,000844*x_4*x_6 - 0,000656*x_4*x_7 \quad (2)$$

$$y_3 = 13,1 + 1,71*x_1 - 3,38*x_2 - 5,6*x_3 + 2,4*x_4 + 5,75*x_5 + 8,88*x_6 - 2,6*x_7 + 3,01*x_1*x_4 - 1,68*x_2*x_6 - 8,16*x_3*x_6 + 3,2*x_3*x_7 \quad (3)$$

Проведенный анализ моделей регрессии потребления электроэнергии (1) и производительности (2), а также содержания в готовом продукте частиц более 3 мм (3) выявил что:

1. Подача зерна x_1 является главным фактором, оказывающим влияние на производительность измельчителя y_2 , однако изменение подачи x_1 в выбранном диапазоне варьирования не оказывает столь значительного влияния на энергопотребление y_1 и содержание в помоле y_3 частиц более 3мм, что может говорить о не полной нагрузке измельчителя;
2. Увеличение частоты вращения нижнего диска x_2 оказывает положительное влияние на качество готового продукта y_3 и рост производительности измельчителя y_2 , однако увеличивает потребляемую мощность y_1 ;
3. Увеличение зазора между декой с 2,5 до 3,2 мм x_3 приводит к улучшению качества получаемого продукта, за счет снижения в помоле частиц более 3 мм y_3 , а также снижению пропускной способности y_2 и потребляемой электроэнергии измельчителя сыпучих материалов y_1 ;
4. Анализ математической модели (3), показывает, что, снижение числа ножей на внутреннем кольце x_4 позволяет также уменьшить в помоле количество частиц более 3 мм y_3 . Однако изменение количества ножей на внутреннем кольце x_4 не оказывает существенного влияния на производительность y_2 и энергетические затраты y_1 измельчителя;
5. Установка на наружном кольце x_5 большего количества ножей не способствует уменьшению содержания в количества частиц более 3 мм y_3 и снижению потребляемой мощности y_1 ;
6. Ухудшение технического состояния ножей (износ, затупления ножей) x_6 снижает количество частиц размером более 3 мм y_3 и производительность измельчителя y_2 , а также увеличивает затраты электроэнергии на измельчение сыпучих материалов y_1 ;
7. Фактор x_7 не оказывает, существенного влияния на потребляемую мощность y_1 и производительность измельчителя y_2 . Однако ее отсутствие положительно сказывается на качестве получаемого продукта – снижению содержания в помоле частиц более 3 мм y_3 .

Анализ двумерных сечений, представленных на рис. 7, показывает, что:

1. Наличие вставки x_7 с увеличением величины установки зазора сепарирующей поверхности x_3 (рис. 7,а) несколько снижает производительность измельчителя

- сыпучих кормов y_2 , но уменьшает содержание в помоле частиц более 3 мм. Также при отсутствии вставки x_7 и минимальном зазоре сепарирующей поверхности x_3 достигается снижение содержания в помоле частиц более 3 мм на 10-12%;
- Из рис. 7,б и 7,г следует, что увеличивая частоту вращения x_2 и уменьшая количество, установленных ножей на внутреннем диаметре x_4 , возможно увеличение производительности измельчителя зерна x_2 в 1,5 раза без корректировки площади сепарирующей поверхности x_3 ;
 - Открытие сепарирующей поверхности x_3 при выбранных значениях подачи зерна x_1 не оказывает значительных изменений на производительность измельчителя y_2 . Также на верхних уровнях варьирования подачи зерна x_1 наблюдается установившееся в 2,9 кВт потребление электроэнергии измельчителя вне зависимости от величины открытия сепарирующей поверхности x_3 , а при минимальной подаче x_1 уменьшение зазора x_3 приводит к росту потребляемой энергии y_1 до 30% (рис.7,в);
 - Из двумерного сечения (рис. 7,е) следует, что с износом ножей x_6 содержание в помоле частиц более 3 мм y_3 уменьшается вне зависимости от открытия сепарирующей поверхности x_3 ;
 - Из представленном на рис. 7,д графика следует, что установка меньшего количества ножей на внутреннем диаметре x_4 способствует более плавному изменению количеству потребляемой электроэнергии y_1 вне зависимости от увеличения частоты вращения x_2 .

Результаты поиска оптимальных значений факторов (Табл. 5) и получаемых при этом значений критериев оптимизации (табл. 4) с помощью пакета программ StatGraphics говорит о том, что: при установке подачи зерна лопастным питателем x_1 – 60 Герц; при частоте вращения ротора x_2 – 1200 об·мин⁻¹; при величине открытия сепарирующей поверхности x_3 в 3,2 мм; при установке на внутреннем кольце x_4 – шесть, а на наружном x_5 девять ножей; при установке новых ножей x_6 и отсутствии вставки x_7 – достигается минимальная потребляемая мощность y_1 в 2,59 кВт при максимальной производительности y_2 – 0,032 кг·с⁻¹ и полном отсутствии в помоле частиц более 3 мм y_3 . При этом общее достижение результатов, по предъявленным параметрам, составила в среднем 87,8%.

Таблица 4.

Оптимальные значения критериев оптимизации в пакете программ StatGraphics

Наименование (Name)	Цель (Goal)	Чувствительность (Sensitivity)	Нижний уровень (Low)	Верхний уровень (High)	Среднее прогнозируемое значение критерия (Prediction)	Lower	Upper	Достижимая желанность (Desirability)
						95,0% Limit	95,0% Limit	
y_1 , (кВт)	Minimize	Medium	-	-	2,59	2,00	3,18	0,76
y_2 , (кг·сек ⁻¹)	Maximize	Medium	-	-	0,032	0,0303	0,034	0,86
y_3 , (%)	Minimize	Medium	0,0	10,0	-0,000022	-4,91	4,91	1,0

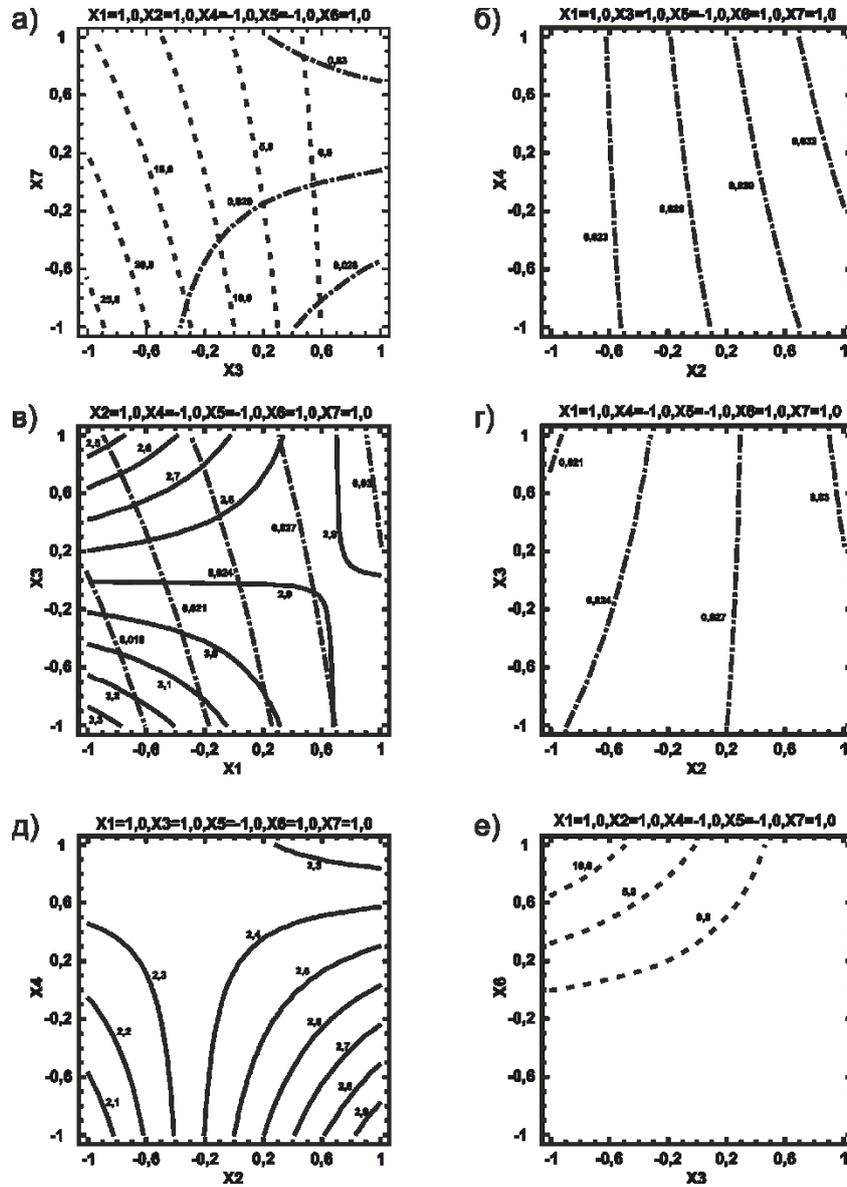


Рисунок 7. Двумерные сечения поверхностей отклика, характеризующие:

- потребляемую мощность u_1 ,
- производительность измельчителя u_2 ,
- содержание в помоле частиц более 3 мм u_3 .

Таблица 5.

Оптимальные значения факторов полученные в пакете программ StatGraphics

Фактор	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
значение	1	1	1	0,057	-1	1	1

Выводы

- Из проведенного анализа полученных данных, можно заключить, что:
 - исследуемый измельчитель в выбранном диапазоне факторов недогружен; наличие вставки x_7 не оказывает положительного влияния на все критерии оптимизации;
 - количество ножей на наружном ободе x_5 является более важным фактором оказывающим влияние на критерии оптимизации в отличии от ножей на внутреннем ободе x_4 ;
 - при общем уменьшении количества ножей наблюдается рост производительности измельчителя и качества получаемого продукта, а также уменьшение потребляемой мощности;
 - предварительно выбранные границы варьирования факторов позволяют получать только грубый помол;
 - при увеличении величины зазора до 3,2 мм техническое состояние ножей x_6 не влияет рост содержания в помоле частиц более 3 мм.
- По результатам проведенного исследования и поиска оптимальных значений факторов было принято решение для факторов подачи материала x_1 , частоты вращения ротора x_2 и величины открытия сепарирующей поверхности x_3 расширить интервал варьирования, а от наличия вставки x_7 отказаться. При этом число ножей на внутреннем кольце x_4 ограничить – 3 шт., а состояние ножей x_6 – новые; рассмотреть возможность исследования различных углов заточки ножей.

Литература

- Bulatov, S.Yu., Nechaev, V.N., Savinykh, P.A. (2014). *Razrabotka drobilki zierna dla kvestijnskih, hazjaystvi i rezultaty issledovaniy po optimizatsii jeyo konstruktivno-tehnologicheskikh parametrov*. Nizhegorodskiy gosudarstviyeni inzhinerno-ekonomicheskij unemimut. Kniaginino.
- Dzhonson, N., Likon, F. (1981). *Statistika i planirovaniye eksperimenta i tehniki v nauce: mietody planirovaniya eksperimenta* (per s ang.), Moskva, 520.
- Mielnikov, S.V., Aleshkin, V.R., Roshchin, P.M. (1980). *Planirovaniye eksperimenta v isledovaniyah protsesov*. Leningrad, Kolos, 168.
- Montgomeri, D.K. (1980). *Planirovaniye eksperimenta i analiz danyh* (per. s ang.). Leningrad, Sudostroeniye, 380.
- Siergejev, N.S. (2008). *Tsentvobiezno-rotornyye iznekchiteli furazhnovo zierna*. Chelabinsk, Diss, dokt, teh, nauk.
- Solitsev, R.V. (2010). *Tsentrabezhnyj ismielchitel zierna*. Vestnik Altayskovo Agrainovo Universiteta, Vypusk, №4 (66), 76-80.
- Suhlaev, V.A., Molin, A.A., Mezlyakov, I.V. (2014). *Ustroytvo dla izmielcheniya sypochih materialov*. Patent № 146644. Rosyjska Federatsiya, MPK V02S 13/00 (20.10.2014), Bjul, № 29
- Sysujev, V.A., Aleszkin, A.A., Savinykh, P.A. (2008). *Kormoprigatovitelnyje mashiny. Teoria, razrabotka, eksperiment*. Kirov, Zonalnyj NIISH Sieverno-Vostoka, Tom I, 640.

REZULTATY BADAŃ ROZDRABNIACZA ZIARNA Z WYKORZYSTANIEM WIELOKRYTERIALNEJ METODYKI OCENY

Streszczenie. Obecnie, w Rosji i innych krajach w gospodarstwach rodzinnych i farmerskich dąży się do obniżenia kosztów produkcji zwierzęcej. Głównym kierunkiem prac umożliwiających osiągnięcie tego celu jest opracowanie nowych technicznych rozwiązań charakteryzujących się niską energochłonnością i wysoką wydajnością z zachowaniem wysokiej jakości produktu (surowca) przy produkcji pasz. Przykładowo w ostatnich latach w produkcji zwierzęcej pozyskuje się koncentraty o niskich kosztach jednostkowych, a zastosowanie rozdrabniania i gniczenia ziarna umożliwia realizację tego celu związanego z obniżeniem kosztów produkcji pasz. Prowadzone do tej pory badania naukowe i analiza literatury wykazują, że dotychczasowe rozwiązania charakteryzują się dużymi błędami wynikającymi z konstrukcji urządzeń, a także efektem technologicznym uzyskanego rozdrabnianego produktu (ziarna). W pracy przedstawiono kryteria optymalizacji wskaźników technicznych urządzeń rozdrabniających wpływających na jakość produktu.

Słowa kluczowe: rozdrabniacze, ziarno, eksperyment, rotor, bijak, nóż rozdrabniacza

Identification data Authors:

<i>Petr Savinykh</i>	https://orcid.org/0000-0002-5668-8479
<i>Alexey Yu. Isupov</i>	https://orcid.org/0000-0002-3399-5089
<i>Andrey Palichyn</i>	https://orcid.org/0000-0001-5901-5678
<i>Ilaya I. Ivanov</i>	https://orcid.org/0000-0003-3388-9865
<i>Wacław Romaniuk</i>	https://orcid.org/0000-0001-7776-9940
<i>Kinga Borek</i>	https://orcid.org/0000-0002-0171-7498