

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ ЗЕРНОВЫХ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМОВ

Колобов М.Ю., Сахаров С.Е., Чагин О.В., Абалихин А.М., Колобова В.В.

Колобов Михаил Юрьевич, Сахаров Сергей Евгеньевич, Чагин Олег Вячеславович  
Ивановский государственный химико-технологический университет,  
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.  
E-mail: [mikhailkolobov@rambler.ru](mailto:mikhailkolobov@rambler.ru), [cergce@mail.ru](mailto:cergce@mail.ru), [chagin@isuct.ru](mailto:chagin@isuct.ru)  
Абалихин Антон Михайлович, Колобова Валентина Владимировна  
Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева,  
г. Иваново, Россия. 153012, Ивановская область, г. Иваново, ул. Советская, д. 45.  
E-mail: [mikhailkolobov@rambler.ru](mailto:mikhailkolobov@rambler.ru)

Основными направлениями ресурсосбережения в кормопроизводстве следует считать повышение качества измельчения и смешивания различных компонентов. Реализация этих направлений позволит существенно снизить энергоемкость кормоприготовления, повысить качество кормов и как результат – продуктивность животных. Проведены исследования по измельчению и смешиванию зерновых культур в разработанных центробежном измельчителе и смесителе непрерывного действия гравитационного типа. Получены математические модели исследуемых процессов. Угол атаки частиц исходных материалов на ударный элемент и производительность измельчителя в меньшей степени влияют на степень измельчения, которая главным образом зависит от частоты вращения ротора измельчителя. Значительно влияют на мощность производительность измельчителя и частота вращения ротора. На содержание пылевидной фракции при измельчении зерновых культур наибольшее влияние оказывает частота вращения ротора. На содержание неизмельченной фракции наибольшее влияние оказывают частота вращения ротора и производительность измельчителя, меньшее – угол атаки частиц исходных материалов на ударный элемент. На модуль помола измельченных частиц зерновых культур наибольшее влияние оказывает частота вращения ротора. Наибольшее влияние на коэффициент неоднородности оказывает производительность смесителя и частота вращения диска, меньшее – высота выгрузки.

С учетом энергоемкости процесса и гранулометрического состава готового продукта рекомендованы следующие параметры измельчения зерновых культур:  $X_1 = 90^\circ$ ,  $X_2 = 5405 \text{ мин}^{-1}$ ,  $X_3 = 1500 \text{ кг/ч}$  (полный удельный расход энергии на размол –  $\mathcal{E}' \approx 2,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{т}\cdot\text{ед.ст.изм.})$ ; содержание пылевидной фракции не превышает 3,15%, неизмельченной фракции – 3,43%).

Рекомендованы следующие оптимальные параметры смешивания зерновых культур:  $X_1 = 500 \text{ кг/ч}$ ,  $X_2 = 8000 \text{ мин}^{-1}$ ,  $X_3 = 255 \text{ мм}$  (коэффициент неоднородности не превышает 4 %).

Ключевые слова: измельчение; смешивание; зерновые культуры; математическая модель.

## TECHNICAL MEANS FOR PREPARING MIXTURES GRAIN COMPONENTS OF COMBINED FEEDS

Kolobov M.Yu., Sakharov S.E., Chagin O.V., Abalikhin A.M., Kolobova V.V.

Kolobov Mikhail Yurievich, Sakharov Sergey Evgenievich, Chagin Oleg Vyacheslavovich  
Ivanovo State University of Chemical Technology,  
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.  
E-mail: [mikhailkolobov@rambler.ru](mailto:mikhailkolobov@rambler.ru), [cergce@mail.ru](mailto:cergce@mail.ru), [chagin@isuct.ru](mailto:chagin@isuct.ru)  
Abalikhin Anton Mikhailovich, Kolobova Valentina Vladimirovna  
Ivanovo State Agricultural Academy named after D.K. Belyaeva,  
Ivanovo, Russia. 153012, Ivanovo region, Ivanovo, st. Sovetskaya, 45.  
E-mail: [mikhailkolobov@rambler.ru](mailto:mikhailkolobov@rambler.ru)

Improving the quality of grinding and mixing of various components should be considered the main directions of resource conservation in fodder production. The implementation of these directions will significantly reduce the energy consumption of feed preparation, improve the quality of feed and, as a result, the productivity of animals. Research has been carried out on grinding and mixing grain crops in the developed centrifugal grinder and continuous-action gravity mixer. Mathematical models of the investigated processes have been obtained.

The angle of attack of the particles of the starting materials on the impactor and the performance of the grinder to a lesser extent affect the degree of grinding, which mainly depends on the rotational speed of the grinder rotor. The performance of the grinder and the rotor speed have a significant effect on the power. The rotor speed has the greatest influence on the content of the pulverized fraction during grinding of grain crops. The content of the non-crushed fraction is most influenced by the rotor speed and the crusher productivity, the smaller - by the angle of attack of the particles of the starting materials on the impact element. The rotor speed has the greatest influence on the grinding module of crushed grain particles.

The greatest influence on the coefficient of heterogeneity is exerted by the performance of the mixer and the rotational speed of the disk, and the least - by the discharge height.

Taking into account the energy intensity of the process and the granulometric composition of the finished product, the following parameters of grinding grain crops are recommended:  $X_1 = 900$ ,  $X_2 = 5405 \text{ min}^{-1}$ ,  $X_3 = 1500 \text{ kg / h}$  (total specific energy consumption for grinding is  $E' \approx 2.0 \text{ kWh / (unit.st.meas.)}$ ); the content of the dust-like fraction does not exceed 3.15%, the non-crushed fraction - 3.43%.

The following optimal parameters for mixing grain crops are recommended:  $X_1 = 500 \text{ kg / h}$ ,  $X_2 = 8000 \text{ min}^{-1}$ ,  $X_3 = 255 \text{ mm}$  (the coefficient of heterogeneity does not exceed 4%).

**Keywords:** grinding; mixing; grain crops; mathematical model.

### Введение

Повышение эффективности производства является важнейшей составной частью экономической стратегии страны и, в конечном счете, выражается в увеличении выпуска продукции необходимого качества с наименьшими затратами. Это достигается путем технического перевооружения, широкого внедрения прогрессивных технологий и оборудования.

Одно из важнейших условий развития животноводства – совершенствование средств механизации и автоматизации процессов производства и переработки кормов, что необходимо для создания прочной кормовой базы.

Измельчение является одним из наиболее энергоемких процессов при производстве комбикормов и кормосмесей и потребляет до 70 % электроэнергии, затрачиваемой на весь технологический процесс. При дроблении, плющении и других операциях разрушается твердая оболочка, повышается доступность питательных веществ действию пищеварительных соков, ускоряется перевариваемость, происходит более полное усвоение энергии корма (за счет упо-

требления измельченного зерна продуктивность животных повышается на 10-15%). Для измельчения зернового сырья широко применяют различные по конструктивному исполнению молотковые дробилки. При тонком измельчении эти дробилки дают до 30 % пылевидной фракции, а при грубом – до 20 % недоизмельченной фракции. Переизмельчение к тому же ведет к дополнительным потерям энергии, дробилки потребляют от 10 до 15 кВт·ч на 1 т измельченного продукта.

В последние годы [1, 4, 5, 7, 8] широкое распространение получили измельчители центробежного действия с высокой скоростью нагружения. Оптимизация механики движения материала в этих машинах, достигаемая правильным конструктивным решением, позволяет обеспечивать скорости, достаточные для получения заданного granulометрического состава готового продукта при минимальных энергозатратах и износе рабочих органов. Повышение требований к качеству готовых кормосмесей потребовало создания смесителей более совершенных конструкций [2, 3, 6, 9].

### Материалы и методы

Экспериментальные исследования по измельчению и смешиванию зерновых культур (пшеница «Приокская», рожь «Фаленская», овес «Борус») проводили в разработанных центробежном измельчителе фуражного зерна и смесителе непрерывного действия гравитационного типа.

Для определения гранулометрического состава материалов использовались в зависимости от крупности частиц метод электронного микрофотографирования и ситовой анализ.

Средние диаметры определялись на основании построенных кривых распределения частиц исходного материала и готового продукта. Мощность холостого и рабочего хода исследуемых машин  $N_{x.x.}$ ,  $N_{p.x.}$  определяли с помощью измерительного комплекта К-505. Частота вращения роторов исследуемых машин замерялась стробоскопом СШ-2. Удельный расход энергии на размол без учета энергии холостого хода измельчителя, приходящийся на единицу степени измельчения (кВт·ч/т·ед.ст.изм.):

$$\mathcal{E} = \frac{N_{p.x.} - N_{x.x.}}{Qi} \quad (1)$$

где  $(N_{p.x.} - N_{x.x.})$  – мощность, затрачиваемая на процесс измельчения, Вт;  
 $Q$  – производительность измельчителя, кг/ч;  
 $i$  – степень измельчения.

Полный удельный расход энергии на размол, приходящийся на единицу степени измельчения (кВт·ч/т·ед.ст.изм.):

$$\mathcal{E}' = \frac{N_{p.x.}}{Qi} \quad (2)$$

– для ржи:

$$Y_1 = 1,76467 - 0,047364X_1 - 0,072859X_1^2 + 0,181517X_2 - 0,058357X_3 - 0,026039X_3^2 \quad (4)$$

$$Y_2 = 515,9993 + 287,9123X_2 + 247,5791X_3 + 213,375X_2X_3 \quad (5)$$

$$Y_3 = 2,262325 - 0,246924X_1 - 0,696438X_1^2 + 0,534144X_2 - 0,206477X_3 \quad (6)$$

$$Y_4 = 0,772 + 0,41928X_1^2 - 1,27701X_2 + 0,7028X_2^2 + 0,51548X_3 - 0,4425X_2X_3 \quad (7)$$

$$Y_5 = 1,698014 + 0,053163X_1 + 0,07601X_1^2 - 0,198565X_2 + 0,047377X_2^2 + 0,065426X_3 + 0,029227X_3^2 - 0,025X_2X_3 \quad (8)$$

Критерием качества процесса смешивания использовали коэффициент неоднородности (вариации) смеси  $V_c$ , который вычисляли по формуле:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \quad (3)$$

где  $\bar{c}$  – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента в пробах в %;

$c_i$  – значение концентрации ключевого компонента в  $i$ -ой пробе;

$n$  – число проанализированных проб.

### Результаты

Исследования проводились в измельчителе фуражного зерна с центральной загрузкой материала, горизонтальным расположением вала.

По результатам однофакторных исследований были определены интервалы и уровни варьирования факторов и реализована матрица плана эксперимента  $3^3$ . В качестве независимых переменных использовались:

$X_1$  – угол атаки, град.;  $X_2$  – частота вращения ротора, мин<sup>-1</sup>;  $X_3$  – производительность измельчителя, кг/час. В качестве критериев оптимизации выбраны:  $Y_1$  – степень измельчения;  $Y_2$  – мощность, затраченная на процесс измельчения ( $N_{p.x.} - N_{x.x.}$ ), Вт;  $Y_3$  – количество пылевидной фракции (< 0,2 мм), %;  $Y_4$  – количество неизмельченной фракции, %;  $Y_5$  – модуль помола, мм. Диапазоны варьирования факторов:  $60^\circ \leq X_1 \leq 120^\circ$ , интервал  $30^\circ$ ;  $3775 \leq X_2 \leq 5405$  мин<sup>-1</sup>, интервал  $815$  мин<sup>-1</sup>;  $500 \leq X_3 \leq 1500$  кг/ч, интервал  $500$  кг/ч.

Получены математические модели (выборочно):

После преобразования математических моделей (4-8) были получены функции отклика в натур-

ральных значениях факторов:  
– для ржи:

$$Y_1' = 0,241303 + 0,016151\beta - 0,00008\beta^2 + 0,000223n + 0,000091Q - 0,0000001Q^2 \quad (9)$$

$$Y_2' = 802,761398 - 0,170353n - 1,908256Q + 0,000524nQ \quad (10)$$

$$Y_3' = -5,86219 + 0,13108\beta - 0,000774\beta^2 + 0,000655n - 0,000413Q \quad (11)$$

$$Y_4' = 28,013956 - 0,083856\beta + 0,000466\beta^2 - 0,010194n + 0,00000106n^2 + 0,006015Q - 0,00000109nQ \quad (12)$$

$$Y_5' = 4,548094 - 0,01343\beta + 0,000084\beta^2 - 0,000838n + 0,00000007n^2 + 0,000179Q + 0,00000012Q^2 - 0,00000006nQ \quad (13)$$

Графическое изображение поверхностей откликов (выборочно) показано на рисунках 1-5.

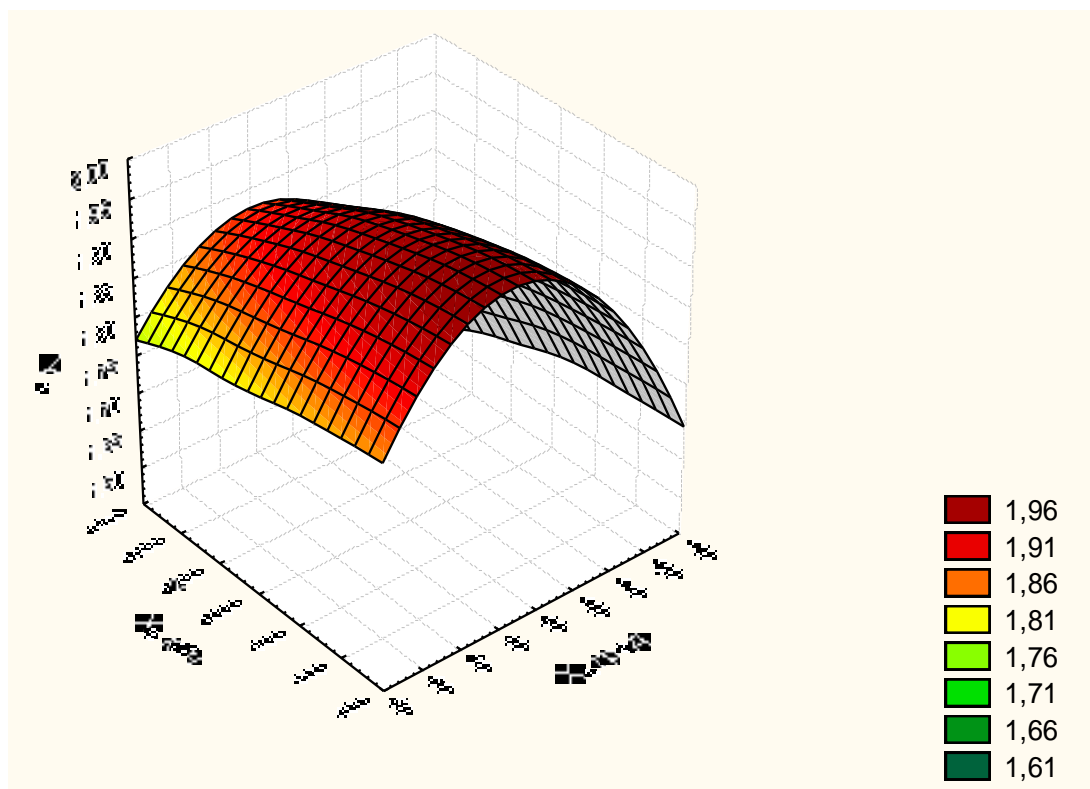


Рис. 1. Зависимость степени измельчения ржи ( $Y_1$ ) от угла атаки ( $X_1$ ) и производительности измельчителя ( $X_3$ ) (при частоте вращения ротора  $X_2 = 5405 \text{ мин}^{-1}$ )

Fig. 1. Dependence of the degree of crushing of rye ( $Y_1$ ) on the angle of attack ( $X_1$ ) and the capacity of the grinder ( $X_3$ ) (at a rotor speed of  $X_2 = 5405 \text{ min}^{-1}$ )

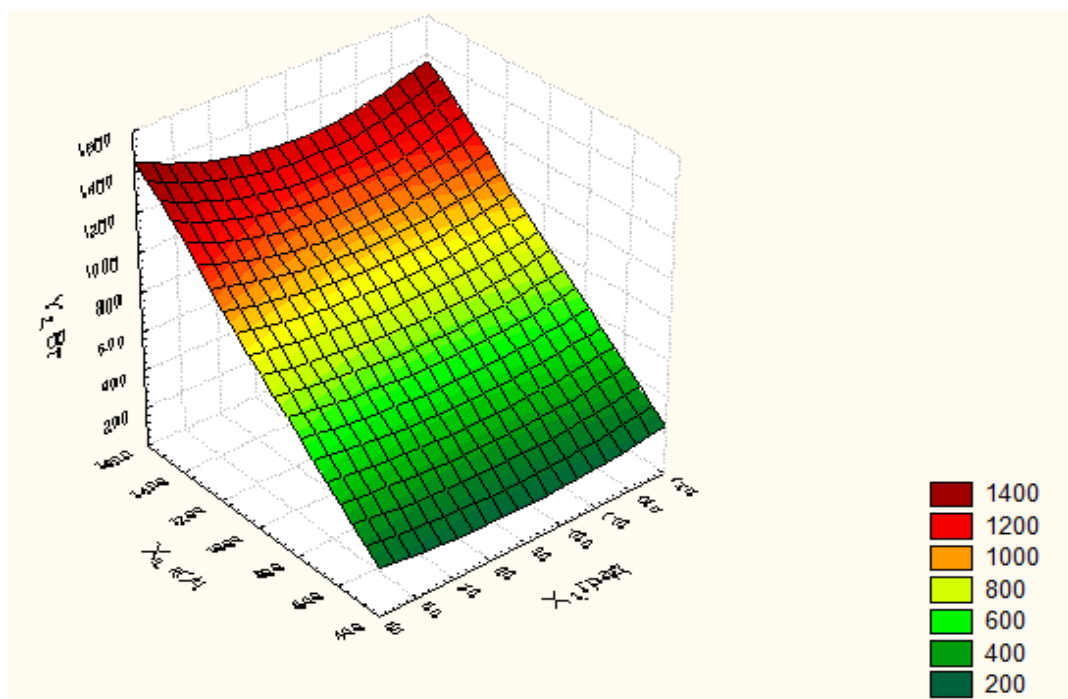


Рис. 2. Зависимость мощности, затраченной на измельчение ржи, ( $Y_2$ ) от угла атаки ( $X_1$ ) и производительности измельчителя ( $X_3$ ) (при частоте вращения ротора  $X_2 = 5405 \text{ мин}^{-1}$ )  
 Fig. 2. Dependence of the power spent on grinding rye ( $Y_2$ ) on the angle of attack ( $X_1$ ) and the capacity of the grinder ( $X_3$ ) (at a rotor speed of  $X_2 = 5405 \text{ мин}^{-1}$ )

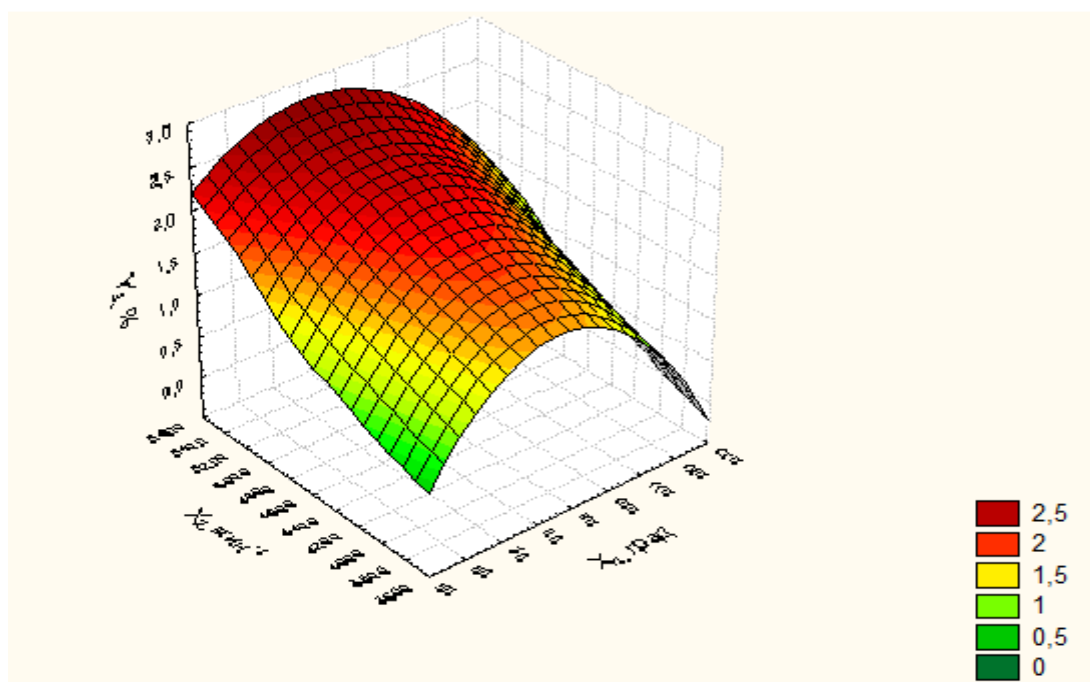
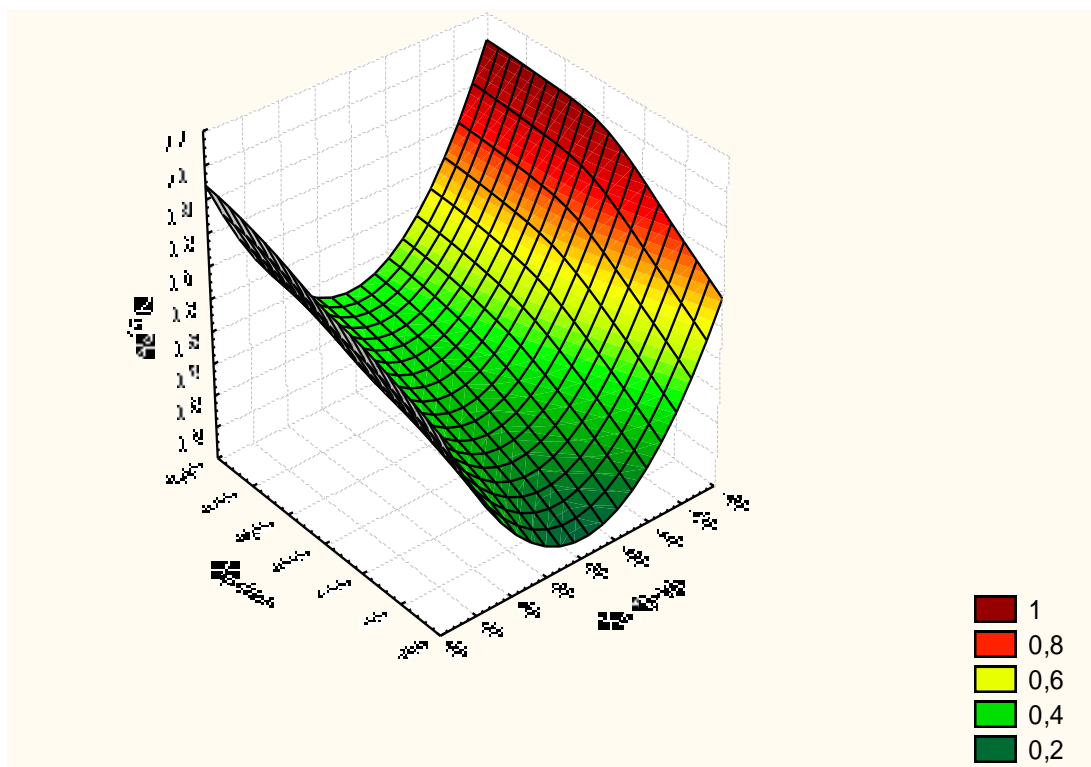


Рис. 3. Влияние угла атаки ( $X_1$ ) и частоты вращения ротора ( $X_2$ ) на содержание пылевидной фракции ( $Y_3$ ) при измельчении ржи (при производительности измельчителя  $X_3 = 1500 \text{ кг/ч}$ )  
 Fig. 3. Influence of the angle of attack ( $X_1$ ) and the rotor speed ( $X_2$ ) on the content of the dust fraction ( $Y_3$ ) during crushing of rye (with the capacity of the grinder  $X_3 = 1500 \text{ кг/ч}$ )



**Рис. 4. Влияние угла атаки ( $X_1$ ) и производительности измельчителя ( $X_3$ ) на содержание неизмельченной фракции ( $Y_4$ ) при измельчении ржи (при частоте вращения ротора  $X_2 = 5405 \text{ min}^{-1}$ )**  
**Fig. 4. Influence of the angle of attack ( $X_1$ ) and the capacity of the grinder ( $X_3$ ) on the content of the unmilled fraction ( $Y_4$ ) when grinding rye (at a rotor speed of  $X_2 = 5405 \text{ min}^{-1}$ )**

В исследованной области факторного пространства угол атаки частиц исходных материалов на ударный элемент и производительность измельчителя в меньшей степени влияют на степень измельчения, которая главным образом зависит от частоты вращения ротора измельчителя.

Значительно влияют на мощность производительность измельчителя и частота вращения ротора. На содержание пылевидной фракции при измельчении зерновых культур наибольшее влияние оказывает частота вращения ротора.

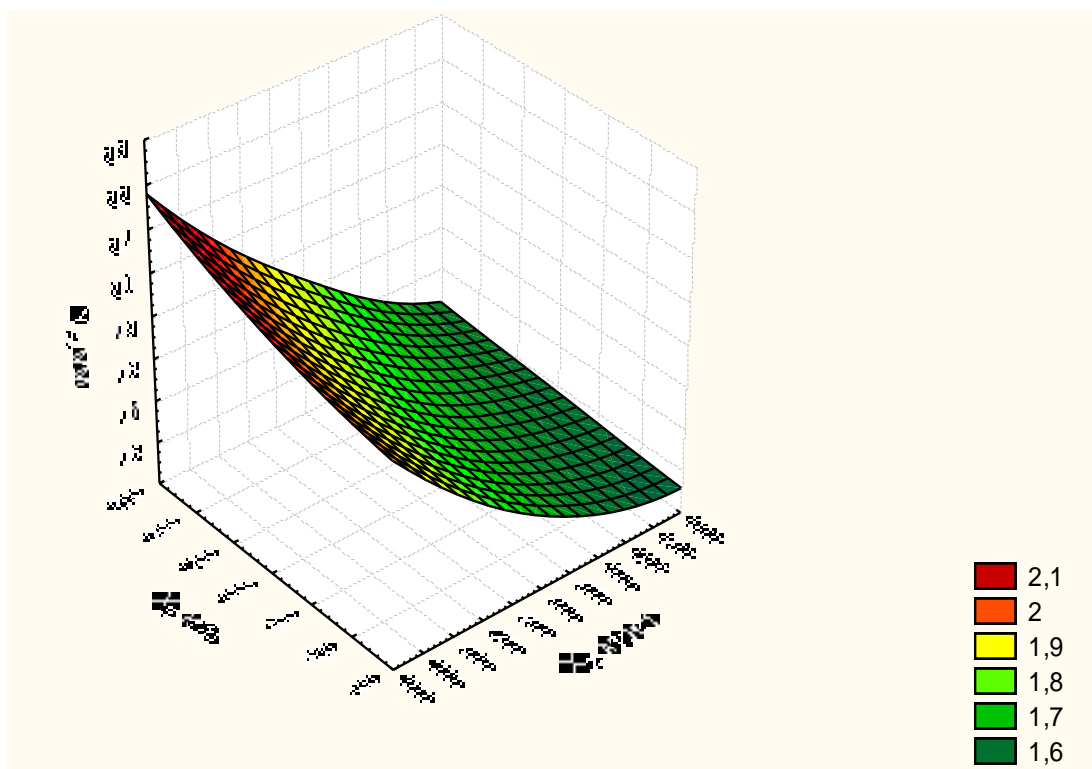
На содержание неизмельченной фракции наибольшее влияние оказывают частота вращения ротора и производительность измельчителя, меньшее – угол атаки частиц исходных материалов на ударный элемент.

На модуль помола измельченных частиц зерновых культур наибольшее влияние оказывает частота вращения ротора.

Таким образом, анализ полученных математических моделей (4-13) и поверхностей отклика (рис. 1-5) позволил выявить влияние исследуемых факторов ( $X_1$ - $X_3$ ) на изучаемые параметры процесса измельчения зерновых культур (пшеница, рожь, овес) ( $Y_1$ - $Y_5$ ).

Проведены исследования по смешиванию зерновых компонентов комбикормов в смесителе непрерывного действия гравитационного типа.

По результатам однофакторных исследований были определены интервалы и уровни варьирования факторов и реализована матрица плана эксперимента  $3^3$ .



**Рис. 5. Влияние частоты вращения ротора ( $X_2$ ) и производительности измельчителя ( $X_3$ ) на модуль помола измельченных частиц ржи ( $Y_5$ ) (при угле атаки  $X_1 = 60^\circ$ )**  
**Fig. 5. Influence of the rotor speed ( $X_2$ ) and grinder performance ( $X_3$ ) on the grinding module of crushed rye particles ( $Y_5$ ) (at an angle of attack  $X_1 = 60^\circ$ )**

В качестве независимых переменных использовались:  $X_1$  – производительность смесителя, кг/ч;  $X_2$  – частота вращения диска, мин<sup>-1</sup>;  $X_3$  – высота выгрузки, мм. В качестве критерия оптимизации выбран:  $Y_1$  – коэффициент неоднородности, %. Диапазоны варьирования фак-

торов:  $500 \leq X_1 \leq 1000$  кг/ч, интервал 250 кг/ч;  $2000 \leq X_2 \leq 8000$  мин<sup>-1</sup>, интервал 2000 мин<sup>-1</sup>;  $125 \leq X_3 \leq 385$  мм, интервал 130 мм. Были получены математические модели:

– зерно целое:

$$Y_1 = 5,78189 + 1,14083X_1 + 0,44237X_1^2 - 1,63X_2 + 0,53592X_2^2 + 1,00833X_3 + 1,35072X_3^2 \quad (14)$$

– зерно дробленое (фракция 1-2 мм):

$$Y_1 = 5,19177 + 0,44575X_1 + 0,10671X_1^2 - 1,3634X_2 + 0,52617X_2^2 + 0,98116X_3 + 1,12973X_3^2 \quad (15)$$

После преобразования математических моделей (14-15) были получены функции отклика в натуральных значениях факторов:

– зерно целое:

$$Y_1' = 19,27320695 - 0,00605366Q + 0,00000708Q^2 - 0,00242276n + 0,00000013n^2 - 0,03300499h + 0,00007992h^2 \quad (16)$$

– зерно дробленое (фракция 1-2 мм):

$$Y_1' = 16,0628435 - 0,00077804Q + 0,00000171Q^2 - 0,00226021n + 0,00000013n^2 - 0,02654506h + 0,00006685h^2 \quad (17)$$



В уравнениях (16) – (17) принято:

$Q$  – производительность смесителя, кг/ч;

$n$  – частота вращения диска, мин<sup>-1</sup>;

$h$  – высота выгрузки, мм.

Графическое изображение поверхностей откликов (выборочно) показано на рисунке 6-7.

Наибольшее влияние на коэффициент неоднородности оказывает производительность смесителя и частота вращения диска, меньшее – высота выгрузки.

#### Заключение

Результаты исследований позволяют рекомендовать с учетом энергоемкости процесса и гранулометрического состава готового продукта

следующие параметры измельчения зерновых культур:  $X_1 = 90^0$ ,  $X_2 = 5405$  мин<sup>-1</sup>,  $X_3 = 1500$  кг/ч (полный удельный расход энергии на размол –  $\mathcal{E}' \approx 2,0$  кВт·ч/(т·ед.ст.изм.); содержание пылевидной фракции не превышает 3,15%, неизмельченной фракции – 3,43%).

Анализ полученных моделей и поверхностей откликов позволяет рекомендовать следующие оптимальные параметры смешивания зерновых культур:  $X_1 = 500$  кг/ч,  $X_2 = 8000$  мин<sup>-1</sup>,  $X_3 = 255$  мм (коэффициент неоднородности не превышает 4 %).

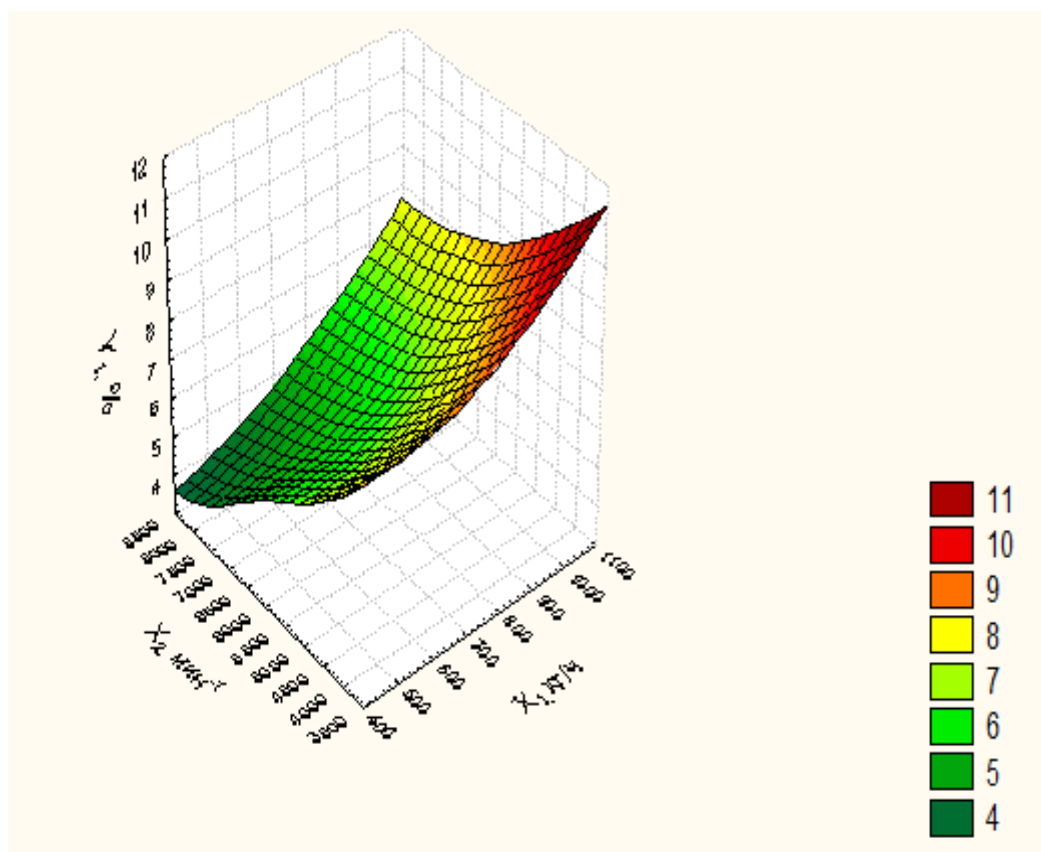
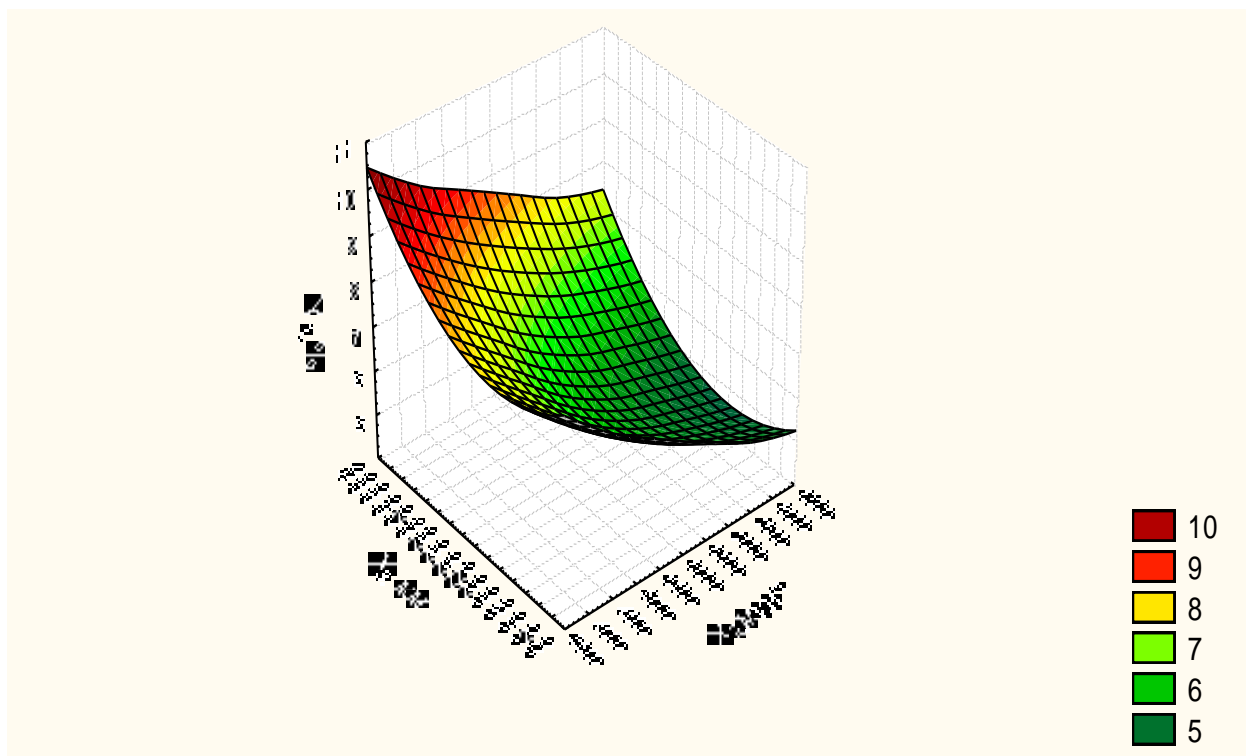


Рис. 6. Зависимость коэффициента неоднородности ( $Y_1$ ) от производительности смесителя ( $X_1$ ) и частоты вращения диска ( $X_2$ ) (при высоте выгрузки  $X_3 = 125$  мм, зерно целое)

Fig. 6. Dependence of the coefficient of inhomogeneity ( $Y_1$ ) on the mixer capacity ( $X_1$ ) and the rotational speed of the disk ( $X_2$ ) (with the unloading height  $X_3 = 125$  mm, the grain is intact)





**Рис. 7. Зависимость коэффициента неоднородности ( $Y_1$ ) от частоты вращения диска ( $X_2$ ) и высоты выгрузки ( $X_3$ ) (при производительности смесителя  $X_1 = 1000$  кг/ч, зерно дробленое)**

**Fig. 7. Dependence of the coefficient of inhomogeneity ( $Y_1$ ) on the rotational speed of the disk ( $X_2$ ) and the height of unloading ( $X_3$ ) (with the mixer capacity  $X_1 = 1000$  kg/h, crushed grain)**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гущина Т.В., Гущина Е.А., Колобов М.Ю., Блиничев В.Н. Исследование мельницы ударно-отражательного действия. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. Иваново. 2020. № 3. С. 54-59.

2. Колобов М.Ю., Сахарова С.Г., Сахаров С.Е. Измельчитель сыпучих материалов. *Ремонт, восстановление, модернизация*. Москва. 2017. № 1. С. 9-12.

3. Колобов М.Ю., Чагин О.В., Блиничев В.Н. Повышение долговечности рабочих органов центробежно-ударных измельчителей. *Российский химический журнал*. Иваново. 2019. т. LXIII, № 3-4. С. 40-44. DOI: 10.6060/rcj.2019633.5

4. Лебедев А.Т., Искендеров Р.Р., Шумский А.С. К вопросу повышения долговечности рабочих органов роторной дробилки. *Наука в центральной России*. Тамбов. 2018. № 5 (29). С. 36-43.

5. Савиных П.А., Палицын А.В., Иванов И.И. Исследование измельчителя фуражного зерна роторно-центробежного типа с различными рабочи-

ми органами. *Молочнохозяйственный вестник*. Вологда. 2017. №2 (26). С. 119-128.

6. Колобов М.Ю., Козловский А.Э., Сахаров С.Е. Получение смесей дисперсных материалов. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. Иваново. 2017. № 3. С. 80-85.

7. Колобов М.Ю., Колобова В.В. Износостойкость разгонных лопаток смесителя непрерывного действия. *Аграрный вестник Верхневолжья*. Иваново. 2019. № 1 (26). С. 75-78.

8. Коновалов В. В., Чупшев А. В., Фомина М. В. Моделирование изменения качества смеси лопастного смесителя на основе технологических параметров. *Инновационная техника и технология*. Пенза. 2016. № 3 (08). С. 56-66.

9. Сиволецкий М.О., Чагин О.В., Блиничев В.Н., Колобов М.Ю. Математическое описание процесса смешения в статистическом смесителе с использованием вихревого смешивающего устройства. *Российский химический журнал*. Иваново. 2019. т. LXIII, № 3-4. С. 80-85. DOI: 10.6060/rcj.2019633.11

## REFERENCES

1. **Gushchina T.V., Gushchina E.A., Kolobov M.Yu., Blinichev V.N.** Research of a shock-reflective mill. *Modern high technologies. Regional application.* Ivanovo. 2020. N 3. P. 54-59.
2. **Kolobov M.Yu., Sakharova S.G., Sakharov S.E.** Shredder of bulk materials. *Repair, restoration, modernization.* Moscow. 2017. N 1. P. 9-12.
3. **Kolobov M.Yu., Chagin O.V., Blinichev V.N.** Increasing the durability of the working bodies of centrifugal impact grinders. *Russian chemical journal.* Ivanovo. 2019. vol. LXIII, N 3-4. P. 40-44. Doi: 10.6060/rcj.2019633.5
4. **Lebedev A.T., Iskenderov R.R., Shumsky A.S.** On the issue of increasing the durability of the working bodies of the impact crusher. *Science in Central Russia.* Tambov. 2018. N 5 (29). P. 36-43.
5. **Savinykh P.A., Palitsyn A.V., Ivanov I.I.** Research of a rotary-centrifugal feed grain grinder with various working bodies. *Dairy Bulletin.* Vologda. 2017. N 2 (26). P. 119-128.
6. **Kolobov M.Yu., Kozlovsky A.E., Sakharov S.E.** Obtaining mixtures of dispersed materials. *Modern high technologies. Regional application.* Ivanovo. 2017. N 3. P. 80-85.
7. **Kolobov M.Yu., Kolobova V.V.** Wear resistance of accelerating blades of a continuous mixer. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region.* Ivanovo. 2019. N 1 (26). P. 75-78.
8. **Kononov V. V., Chupshev A. V., Fomina M. V.** Modeling of the quality change of the mixing paddle mixer on the basis of technological parameters. *Innovative technique and technology.* Penza. 2016. N 3 (08). P. 56-66.
9. **Sivolotskiy M.O., Chagin O.V., Blinichev V.N., Kolobov M.Yu.** Mathematical description of the mixing process in a statistical mixer using a vortex mixing device. *Russian chemical journal.* Ivanovo. 2019. vol. LXIII, N 3-4. P. 80-85. Doi: 10.6060/rcj.2019633.11