

Изучение влияния режимных параметров опытного образца пресс-гранулятора на качество кормовых гранул на основе соевой половы и зерна кукурузы

В. С. УСАНОВ, Я. А. ОСИПОВ

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Игнатьевское ш., 19, Благовещенск, 675000, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью выяснения возможности совмещения операций измельчения соевой половы и плющения зерна кукурузы с производством на их основе кормовых гранул. Работу выполняли в 2022 г. Опыт осуществляли на экспериментальном образце пресс-гранулятора шнекового типа с использованием матрицы толщиной 40 мм и диаметром конусных отверстий 10 мм, согласно матрице композиционного плана многофакторного эксперимента. Факторами эксперимента были частота вращения измельчающего рабочего органа, которую изменяли от 130 до 180 мин⁻¹ с шагом варьирования 25 мин⁻¹, и расход воды на увлажнение в диапазоне от 390 до 630 мл/мин с интервалом 120 мл/мин. Критерий оптимизации – крошимость произведенных гранул. По результатам эксперимента было получено адекватное уравнение регрессии: $y = 7,1 + 0,89x_1 + 0,91x_2 - 0,88x_1^2 - 0,79x_2^2$. Процент крошимости гранул, произведенных в исследуемых диапазонах значений расхода воды на увлажнение и длины частиц половы, получаемых после измельчения при рассматриваемой частоте оборотов измельчающего органа, удовлетворяет требованиям ГОСТ 51899-2002. Оптимальные режимы для производства гранул из соевой половы и зерна кукурузы при подаче исходного сырья 3,3 кг/мин: расход воды на увлажнения измельченной массы – 390...440 мл/мин; частота вращения измельчающего рабочего органа – 120...130 мин⁻¹. Полученные результаты позволяют снизить удельные затраты энергии благодаря применению более эффективного способа подготовки концентратов, который заключается в их плющении и использовании скользящего резания стеблевых кормов, обеспечивающего получение частиц заданного размера. Одновременно снижается металлоёмкость оборудования, так как операции проводятся на одной установке и не требуются специальных устройств для подготовки исходных компонентов к гранулированию.

Ключевые слова: соевая полова, зерно кукурузы, пресс-гранулятор, гранулы, частота вращения, влажность, крошимость.

Сведения об авторах: В. С. Усанов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник (e-mail: usanov-1989@bk.ru); Я. А. Осипов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Для цитирования: Усанов В. С., Осипов Я. А. Изучение влияния режимных параметров опытного образца пресс-гранулятора на качество кормовых гранул на основе соевой половы и зерна кукурузы // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. №6. С. 75–79. doi: 10.53859/02352451_2023_37_6_75.

Study of the influence of operating parameters of a press-granulator prototype on the quality of the obtained feed pellets based on soybean chaff and corn

V. S. Usanov, Ya. A. Osipov

Federal Scientific Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean Breeding, Ignat'evskoe sh., 19, Blagoveshchensk, Amurskaya obl., 675027, Russian Federation

Abstract. Research aimed to find out the possibility of combining the operations of grinding soybean chaff and flattening corn grain with the production of feed pellets based on them. The work was carried out in 2022. The experiment was carried out on a prototype of a screw-type granulator press using a matrix 40 mm thick and a cone hole diameter of 10 mm, according to the matrix of the compositional plan of a multifactorial experiment. The factors of the experiment were the rotation frequency of the grinding working body, which was changed from 130 to 180 min⁻¹ with a variation step of 25 min⁻¹, and the water consumption for moistening in the range from 390 to 630 ml/min with an interval of 120 ml/min. The optimization criterion was the crumbling of the produced granules. According to the results of the experiment, an adequate regression equation was obtained: $y = 7,1 + 0,89x_1 + 0,91x_2 - 0,88x_1^2 - 0,79x_2^2$. The percentage of crumbling of granules produced in the studied ranges of water consumption for moistening and the length of chaff particles obtained after grinding at the considered speed of the grinding body meets the requirements of GOST 51899-2002. Optimal modes to produce granules from soybean chaff and corn when supplying feedstock 3.3 kg/min: water consumption for moistening the crushed mass – 390-440 ml/min; frequency of rotation of the grinding working body – 120-130 min⁻¹. The results obtained made it possible to reduce the specific energy consumption due to the use of a more efficient method of preparing concentrates, which consisted in their flattening and the use of sliding cutting of stalk fodder, which ensured the production of particles of a given size. At the same time, the metal consumption of the equipment was reduced since the operations were carried out at one installation and special devices were not required to prepare the initial components for granulation.

Keywords: soybean chaff; corn grain; press-granulator; pellets; rotation frequency; humidity; crumbling.

Author Details: V. S. Usanov, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow (e-mail: usanov-1989@bk.ru); Ya. A. Osipov, Cand. Sc. (Tech.), senior research fellow.

For citation: Usanov VS, Osipov YaA. [Study of the influence of operating parameters of a press-granulator prototype on the quality of the obtained feed pellets based on soybean chaff and corn]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023;37(6):75–9. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_6_75.

Объем производства продукции животноводства в России, как и в целом в мире, тесно взаимосвязан с развитием отрасли кормопроизводства [1, 2]. Для повышения обеспеченности населения Амурской области продукцией животноводства в современных условиях происходит увеличение поголовья сельскохозяйственных животных различных видов. Для его обеспечения кормами необходимо расширять посев кормовых культур, однако значительная часть пашни занята основной сельскохозяйственной культурой области – соей. Частичное решение этой проблемы возможно путем использования незерновой части урожая сои: половы и соломы. Наибольшей кормовой

ценностью обладает соевая полова, которую сейчас, наряду с соломой, измельчают и заделывают в почву с целью возврата части питательных веществ.

Один из недостатков соевой половы – относительно малая объемная масса, что отражается на ее сборе, транспортировке и дальнейшем хранении [3]. Решить эту проблему можно путем уплотнения двумя способами – прессованием в брикеты и гранулированием. Прессование – менее эффективный метод, так как требует больших энергетических затрат [4, 5]. Гранулирование сырья позволяет увеличить кормовую ценность производимых гранул, сделав их полнорационными путем внесения других источников питательных

веществ (зерно, микроэлементы), предусмотренных рационами кормления, что обеспечит их хорошую поедаемость, повышение продуктивности животных, а также лучшую сохранность питательных веществ [6].

Согласно ГОСТ 51899-2002, одна из основных характеристик гранул – крошимость, которая зависит от компонентов, входящих в состав смеси для гранулирования, их размеров и диаметра получаемых гранул. Изготовление полноценных соломенно-концентратных гранул имеет ряд преимуществ, по сравнению с заготовкой других видов корма, среди которых можно назвать растянутый срок уборки зернофуражных и зернобобовых культур, более полное использование урожая, лучшая сохранность и однородность состава (гранулы не рассыпаются и не сортируются при транспортировке, что исключает выборочное поедание отдельных компонентов). Одновременно сокращаются потери при скармливании, транспортировке и раздаче.

Гранулирование растительного сырья дает возможность получать высокоэффективные полнорационные кормовые смеси. В качестве компонента, обогащающего смесь жиром, можно использовать зерно кукурузы, которое отличается богатым химическим составом, низкой себестоимостью и высокой рентабельностью [7, 8, 9]. Кроме того, использование сырья с высоким содержанием жира приводит к снижению расходов энергии и обеспечивает лучшее связывание частиц между собой, что влияет на качество произведенных гранул [10].

Исходными компонентами для кормовых гранул служат стебельные и концентрированные корма, используемые для увеличения энергетической ценности. Перед гранулированием их необходимо предварительно подвергать измельчению и дозированию. Чаще всего измельчение концентрированных кормов осуществляют путем помола, дробления и плющения, стебельных – дробления и резания. Использование дробленого зерна в кормлении крупного рогатого скота приводит к снижению содержания в рубцовой жидкости небелкового азота, аммиака и белкового азота, увеличению среднесуточных привесов, а также снижению затрат на производство продукции, по сравнению с молотым [11].

Использование плющеного зерна также обеспечивает увеличение продуктивности животных. Это обусловлено тем, что в процессе плющения разрушается внешняя оболочка (клетчатка), наличие которой снижает доступ ферментов к питательным веществам, и увеличивается площадь соприкосновения питательных веществ зерна с ферментами пищеварительной системы. Плющенное зерно более равномерно распределяется внутри рубца коровы, что ведет к улучшению использования его микроорганизмами питательных веществ корма. Кроме того, плющение требует в 3...4 раза меньше затрат энергии, чем дробление, при одинаковом объеме переработки [12].

Важное значение для сельскохозяйственных животных имеют физико-механические свойства кормовой смеси и отдельных ее компонентов. Размеры частиц корма оказывают решающее влияние на переваримость питательных веществ. Для подготовки соевой половы лучше использовать рабочие органы, обеспечивающие скользящее резание, так как в отличие от дробления оно обеспечивает получение частиц заданного размера, а не переизмельченных, как при дроблении. Высокое содержание в корме частиц размером менее 2 см негативно сказывается на процессе пищеварения у крупного рогатого скота, оно приводит к закупорке преджелудков, нарушению процесса жвачки и др. [13].

Цель исследований – определить влияние совмещения операций подготовки зерна и соевой половы с увлажнением в процессе гранулирования на производство качественных гранул.

Условия, материалы и методы. Работу проводили в лаборатории механизации и автоматизации растениеводства ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои в 2022 г. на доработанном опытном образце пресс-гранулятора шнекового типа, изготовленный по результатам исследований 2018–2020 гг., максимальная производительность которого составляет 500 кг/ч (рис. 1). Объект исследования – технологический процесс гранулирования, совмещенный с одновременным измельчением таких компонентов, как зерно кукурузы и соевая полова.

Рабочие органы опытного образца гранулятора – блок плющильных барабанов, подающая спираль с размещенными на ней ножами (измельчающий рабочий орган), прессующий шнек и матрица (рис. 2).

Перед началом работы гранулятора выставляют необходимый зазор между противорезающей пластиной 12 с ножами 8 и барабанами 5, 13. Зерно и полова загружают в соответствующие бункеры 14 и 15. После чего включают электродвигатели 16, 17, которые приводят в действие червячный вал 3, измельчающий рабочий орган 4 и плющильные барабаны 5, 13. Открывают регулирующие заслонки на заданную производительность и подают ингредиенты на обработку. Кукуруза, проходя через зазор между барабанами 5 и 13, плющится и попадает в подготовительную зону I на спираль 7 с закрепленными на ней наклонными ножами

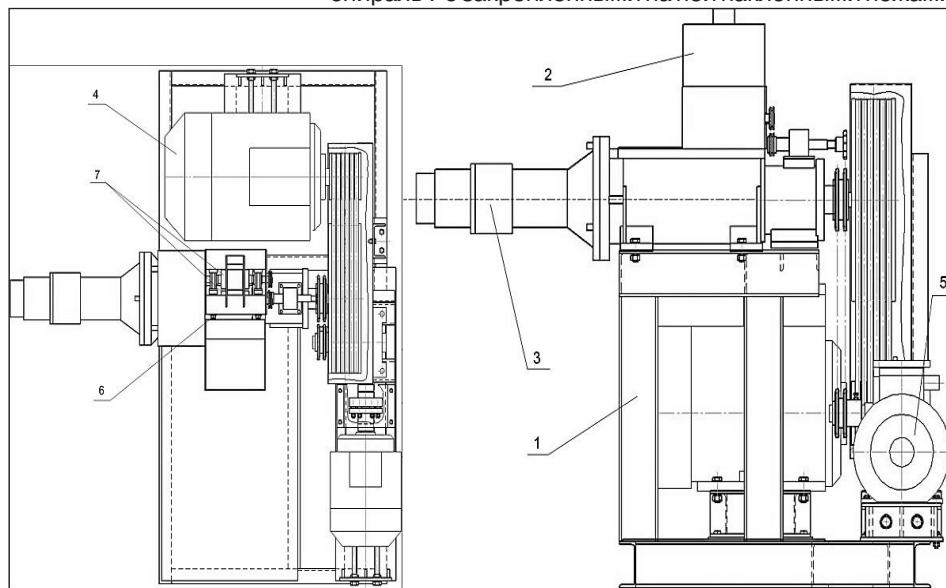


Рис. 1. Общий вид пресс-гранулятора шнекового типа: 1 – рама гранулятора; 2 – загрузочные бункера; 3 – корпус гранулятора; 4 – основной привод гранулятора; 5 – привод дозирующего шнека с электродвигателем; 6 – измельчающий рабочий орган; 7 – плющильные барабаны.

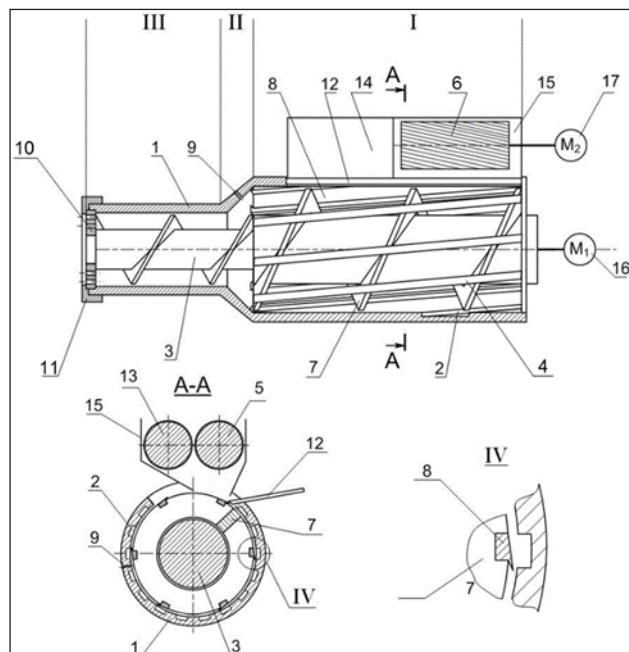


Рис. 2. Схема рабочих органов пресс-гранулятора шнекового: I – подготовительная зона; II – зона уплотнения; III – рабочая зона; IV – разрез ножа; 1 – корпус; 2 – ребра; 3 – червячный вал; 4 – измельчающий рабочий орган; 5, 13 – плющильные барабаны; 6 – рифления; 7 – спираль; 8 – наклонные ножи; 9 – форсунка; 10 – матрица; 11 – прижимная шайба; 12 – противорежущая пластина; 14, 15 – бункер с заслонкой; 16, 17 – электродвигатели.

8. Спиральное размещение рифлений 6 на барабанах обеспечивает равномерное распределение нагрузки на валы и подачу, а также снижение затрат энергии. Соевая посевка, поступающая из бункера 14, измельчается ножами 8. После этого ее частицы подхватывают витки спирали 7 и транспортируют к зоне уплотнения, одновременно перемешивая с расплюснутым зерном. Длина получаемых частиц посевки регулируется изменением числа ножей 8. Достигнув зоны уплотнения II, смесь увлажняется через форсунки 9, сжимается благодаря конусной форме уплотнительной зоны и подхватывается червячным валом 3, который и транспортирует ее по рабочей зоне III. В этой зоне происходит уплотнение с повышением температуры. Уменьшение объема межвиткового пространства червячного вала 3 создает давление, под которым смесь продавливается через отверстия матрицы 10, образуя гранулы.

Работа опытного образца пресс-гранулятора происходила при следующих постоянных параметрах: подача соевой посевки – 3,3 кг/мин; подача зерна кукурузы – 0,3 кг/мин; частота вращения прессующего шнека – 305 мин⁻¹; частота вращения плющильных барабанов – 200 мин⁻¹; число ножей измельчающего органа – 4 шт.; диаметр отверстий матрицы – 10 мм; толщина матрицы гранулятора – 40 мм.

При проведении эксперимента изменяли факторы частота вращения измельчающего органа (n , мин⁻¹), расход воды на увлажнение (ϕ , мл/мин.),

Таблица 1. Факторы и уровни их варьирования

Уровень варьирования факторов	Частота вращения измельчающего органа (x_1), мин ⁻¹	Расход воды на увлажнение (x_2), мл/мин
+1	180	630
0	155	510
-1	130	390
Интервал варьирования	25	120

параметр оптимизации (y , %) – крошимость гранул (табл. 1).

Расход подачи воды на увлажнение исходной массы регулировали форсункой, установленной в корпусе гранулятора. Частоту вращения плющильных барабанов подтирали так, чтобы обеспечить плющение зерна при максимальной производительности. Изменяли ее путем регулировки частотного преобразователя напряжения ПЧВ (380 В, 3 кВт), подсоединенного к электродвигателю. Подачу исходного сырья регулировали дозирующими бункерами путем открытия заслонок с сохранением соотношения подачи зерна кукурузы (15...16%) и соевой посевки по массе. Отбор гранул проводили при установившемся процессе гранулирования (рис. 3).

Всего проведено 9 опытов согласно матрице композиционного плана многофакторного эксперимента типа 3² (табл. 2) в трех повторностях. Во время работы пресс-гранулятора постоянно фиксировали температуру ствола с использованием пирометра. Крошимость гранул определяли по ГОСТ 28497-2014. Поверхность отклика и ее сечение строили в программе SigmaPlotv.15. Обработку результатов осуществляли по методике С.В. Мельникова (Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л: Колос, 1972. 200 с.).



Рис. 3. Процесс гранулирования опытным образцом пресс-гранулятора шнекового типа.

Результаты и обсуждение. Рабочая температура внешней части ствола гранулятора, при которой устанавливался процесс гранулирования, составляла 85...90 °С. По мере ее повышения процесс гранулирования дестабилизировался, сырье в стволе гранулятора начинало «гореть».

Длина полученных гранул была в 4...5 раз больше размеров 2 диаметров, установленных ГОСТ 51899-2002.

Таблица 2. Матрица композиционного плана многофакторного эксперимента

№ опыта	x_1	x_2
1	-1	-1
2	-1	+1
3	+1	-1
4	+1	+1
5	+1	0
6	-1	0
7	0	-1
8	0	+1
9	0	0

Однако при этом уменьшалась поверхность их соприкосновения с воздухом, что снижает интенсивность окислительного процесса.

Предварительный анализ полученных результатов показал, что наименьшая крошимость гранул на уровне 4,22 % наблюдается при частоте вращения рабочего органа 130 мин⁻¹ и расходе воды на доувлажнение 390 мл/мин (табл. 3).

Таблица 3. Натуральные значения факторов и результаты многофакторного эксперимента

№ опыта	n , мин ⁻¹	φ , мл/мин	$\bar{y}$, %	Влажность гранул, %
1	130	390	4,22	13,3
2	180	390	5,66	14,1
3	130	630	5,13	19,5
4	180	630	6,70	21,4
5	155	630	7,92	20,3
6	155	390	4,55	14,5
7	130	510	5,10	18,3
8	180	510	7,55	19,0
9	155	510	7,05	18,5

В результате статистической обработки данных было получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает зависимость крошимости гранул от частоты вращения измельчающего рабочего органа и расхода воды на увлажнение исходного сырья (измельченной соевой половы и зерна) при расчетном значении критерия Фишера $F=2,57$:

$$\bar{y} = 7,1 + 0,89 \cdot x_1 + 0,91 \cdot x_2 - 0,88 \cdot x_1^2 - 0,79 \cdot x_2^2. \quad (1)$$

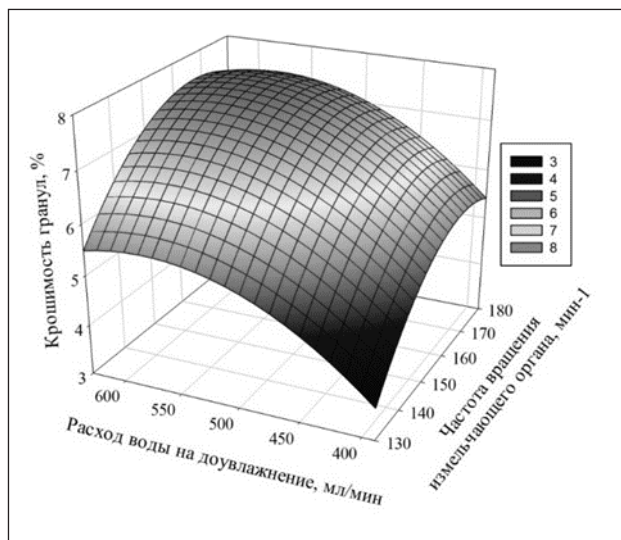
Анализ уравнения (1) свидетельствует, что функция отклика исследуемых факторов стремиться к максимуму, так как квадратичные члены уравнения имеют отрицательный знак. При этом остается неясно существует ли точка экстремума. Отсутствие парного взаимодействия факторов указывает на то, что их эффект слишком мал, чтобы его можно было считать отличным от нуля.

Для определения наличия точек экстремума в изучаемой области значений факторов, уравнение (1) раскодировали, после чего оно приняло следующий вид:

$$K = -50,382 + 0,47208 \cdot n + 0,06322875 \cdot \varphi - 0,001408 \cdot n^2 - 5,44231 \times 10^{-5} \cdot \varphi^2, \quad (2)$$

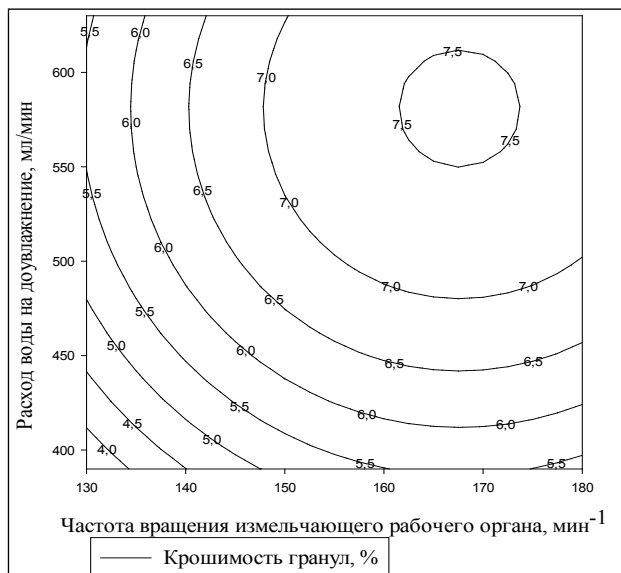
где K – крошимость гранул, %.

Исследование построенной на основании уравнения (2) поверхности отклика (рис. 4) подтвердило, что с увеличением оборотов измельчающего органа и расхода воды на доувлажнение крошимость гранул возрастает. В то же время в диапазонах значений расхода воды на увлажнение 390...630 мл/мин при частоте оборотов измельчающего органа 120...180 мин⁻¹ она остается в пределах требований ГОСТ 51899-2002 для различных видов сельскохозяйственных животных – 7...22 %. Самая низкая влажность, которая способствует увеличению сроков хранения, отмечена у гранул, изготовленных

Рис. 4. Поверхность отклика крошимости гранул $K = f(n, \varphi)$ при подаче соевой половы 3,3 кг/мин.

в опыте № 1 (см. табл. 3), при наименьших оборотах электродвигателя и расхода воды на доувлажнение.

Максимальная крошимость гранул отмечена при расходе воды на доувлажнение сырья в количестве 560...580 мл/мин и частоте вращения ножей 170 мин⁻¹ (рис. 5). Оптимальными параметрами работы пресс-гранулятора будут частота вращения измельчающего рабочего органа 130...140 мин⁻¹, расход воды на доувлажнение – 390...440 мл/мин.

Рис. 5. Сечение поверхности отклика крошимости гранул $K = f(n, \varphi)$ при подаче соевой половы 3,3 кг/мин.

Выводы. Для нормальной работы пресс-гранулятора шнекового типа необходимо установление рабочей температуры ствола на уровне 85...90 °С. Частота вращения измельчающего органа с ножами и расход воды на увлажнения сырья оказывают прямое влияние на крошимость гранул. Максимальная величина этого показателя (7,5 %) отмечена при расходе воды 560...580 мл/мин и частоте вращения ножей 170 мин⁻¹, при этом она не выходит за пределы, установленные ГОСТ 51899-2002.

Оптимальными режимами при подаче исходного сырья из соевой половы и зерна кукурузы 3,3 кг/мин следует считать, расход воды на увлажнения измельченной массы 390...440 мл/мин; частоту вращения измельчающего рабочего органа – 130...140 мин⁻¹.

Литература

1. Kazemi M. An investigation on chemical/mineral compositions, ruminal microbial fermentation, and feeding value of some leaves as alternative forages for finishing goats during the dry season // *AMB Expr*. 2021. Vol. 11. No. 1. Article 76. URL: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-021-01238-0> (дата обращения: 22.02.2023). doi: 10.1186/s13568-021-01238-0.
2. A systemic comparative economic approach efficiency of fodder production / M. Lukyanova, V. Kovshov, Z. Zalilova, et al. // *Journal of innovation and Entrepreneurship*. 2021. Vol. 10. Article 48. URL: <https://innovation-entrepreneurship.springeropen.com/articles/10.1186/s13731-021-00189-x> (дата обращения: 22.02.2023). doi: 10.1186/s13731-021-00189-x.
3. Оптимизация процесса работы пресс-гранулятора соевой полостью в зависимости от площади винтовой поверхности шнека // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25. № 1. С. 33–39. doi: 10.26897/2687-1149-2023-1-33-39.
4. Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview / S. E. Ibitoye, T. C. Jen, R. M. Mahamood, et al. // *Bioresources and Bioprocessing*. 2021. Vol. 8. Article 75. URL: <https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-021-00427-w> (дата обращения: 18.02.2023). doi: 10.1186/s40643-021-00427-w.
5. Определение температуры гранулирования соевой полостью в зависимости от площади винтовой поверхности шнека гранулятора / А. А. Кувшинов, Е. А. Шульженко, И. Ю. Татаренко и др. // *Техника и оборудование для села*. 2019. № 10 (268). С. 30–33. doi: 10.33267/2072-9642-2019-10-30-33.
6. Суханова С. Ф., Позднякова Н. А., Усков Г. Е. Влияние и взаимосвязь продуктивных показателей у молодняка крупного рогатого скота мясного направления продуктивности, потреблявшего минеральную кормовую добавку РусМД // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 4. С. 181–185. doi: 10.18286/1816-4501-2019-4-181-185.
7. Specific enrichment of microbes and increased ruminal propionate production: the potential mechanism underlying the high energy efficiency of Holstein heifers fed steam-flaked corn / H. Ren, X. Su, H. Bai, et al. // *AMB Expr*. 2019. Vol. 9. Article 209. URL: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-019-0937-8> (дата обращения: 18.02.2023). doi: 10.1186/s13568-019-0937-8.
8. Технология полосовой обработки почвы под кукурузу на зерно в черноземно-степной зоне Волгоградской области / В. М. Иванов, А. В. Кубарева, Е. В. Мищенко и др. // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2021. № 2 (62). С. 64–71. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-06.
9. Михалёв В. В., Шульженко Е. А., Рыжков Е. В. Улучшение углеводной питательности кормового концентрата на основе зерна сои и повышение производительности оборудования при его производстве // *Кормопроизводство*. 2017. № 12. С. 39–43.
10. Моделирование коэффициентов внешнего трения масляного материала при экструдировании в шнековом прессе / В. П. Бородинский, А. В. Гукасян, В. С. Косачев и др. // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019. № 5-6 (371-372). С. 80–83. doi: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.20.
11. Зависимость рубцового пищеварения и продуктивности молодняка крупного рогатого скота от крупности помола зерна / Г. В. Бесараб, В. Ф. Радчиков, В. П. Цай и др. // *Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы IV Международной науч.-практ. конф.* Красноярск: Красноярский НИИЖ, 2020. С. 121–125.
12. Благов Д. А., Павкин Д. Ю. Плющенное зерно в кормлении крупного рогатого скота. *Технология и технические средства для его приготовления* // *Все о мясе*. 2022. № 1. С. 37–43. doi: 10.21323/2071-2499-2022-1-37-43.
13. Осипов Я. Д., Вохмин В. С., Валишин Д. Е. Исследование математической модели колебательно-вращательного электропривода измельчителя листостебельных кормов со скольжением резания // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2022. № 3 (63). С. 100–106. doi: 10.31563/1684-7628-2022-63-3-100-106.

References

1. Kazemi M. An investigation on chemical/mineral compositions, ruminal microbial fermentation, and feeding value of some leaves as alternative forages for finishing goats during the dry season. *AMB Expr* [Internet]. 2021 [cited 2023 Feb 22];11(1): Article 76. Available from: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-021-01238-0>. doi: 10.1186/s13568-021-01238-0.
2. Lukyanova M, Kovshov V, Zalilova Z, et al. A systemic comparative economic approach efficiency of fodder production. *Journal of innovation and Entrepreneurship* [Internet]. 2021 [cited 2023 Feb 22];10: Article 48. Available from: <https://innovation-entrepreneurship.springeropen.com/articles/10.1186/s13731-021-00189-x>. doi: 10.1186/s13731-021-00189-x.
3. Usanov VS, Osipov YaA, Kuvshinov AA, et al. [Process optimization of soybean chaff pellet mill]. *Agroinzheneriya*. 2023;25(1):33-9. Russian. doi: 10.26897/2687-1149-2023-1-33-39.
4. Ibitoye SE, Jen TC, Mahamood RM, et al. Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview. *Bioresources and Bioprocessing* [Internet]. 2021 [cited 2023 Feb 18];8: Article 75. Available from: <https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-021-00427-w>. doi: 10.1186/s40643-021-00427-w.
5. Kuvshinov AA, Shul'zhenko EA, Tatarenko IYu, et al. [Determining the temperature of soybean chaff granulation depending on the helical surface area of the granulator screw]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019;(10):30-3. Russian. doi: 10.33267/2072-9642-2019-10-30-33.
6. Sukhanova SF, Pozdnyakova NA, Uskov GE. [Influence and relationship of productive indicators in young cattle of the meat direction of productivity, consuming the mineral feed additive RusMD]. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2019;(4):181-85. Russian. doi: 10.18286/1816-4501-2019-4-181-185.
7. Ren H, Su X, Bai H, et al. Specific enrichment of microbes and increased ruminal propionate production: the potential mechanism underlying the high energy efficiency of Holstein heifers fed steam-flaked corn. *AMB Expr* [Internet]. 2019 [cited 2023 Feb 18];9: Article 209. Available from: <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-019-0937-8>. doi: 10.1186/s13568-019-0937-8.
8. Ivanov VM, Kubareva AV, Mishchenko EV, et al. [Technology of strip tillage for grain corn in the chernozem-steppe zone of the Volgograd region]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2021;(2):64-71. Russian. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-06.
9. Mikhalev VV, Shul'zhenko EA, Ryzhkov EV. [Improving the carbohydrate nutritional value of soybean-based feed concentrate and increasing the productivity of equipment during its production]. *Kormoproizvodstvo*. 2017;(12):39-43. Russian.
10. Borodyanskii VP, Gukasyan AV, Kosachev VS, et al. [Modelling the coefficients of external friction of oilseed material during extrusion in a screw press]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya*. 2019;(5-6):80-3. Russian. doi: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.20.
11. Besarab GV, Radchikov VF, Tsai VP, et al. [Dependence of cecotrial digestion and productivity of young cattle on grain grinding size]. In: *Nauchnoe obespechenie zhivotnovodstva Sibiri: materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Scientific support of animal husbandry in Siberia: Materials of the IV International Scientific and Practical Conference]. Krasnoyarsk (Russia): Krasnoyarskii NIIZh; 2020. p. 121-5. Russian.
12. Blagov DA, Pavkin DYU. [Crimped grain in cattle feeding. Technology and technical means for its preparation]. *Vse o myase*. 2022;(1):37-43. Russian. doi: 10.21323/2071-2499-2022-1-37-43.
13. Osipov YaD, Vokhmin VS, Valishin DE. [Study of the mathematical model of the oscillating-rotational electric drive of the chopper of leafy forages with sliding cutting]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(3):100-6. Russian. doi: 10.31563/1684-7628-2022-63-3-100-106.