

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 71–79

Vestnik Kurganskoy GSNA. 2024; (4-52): 71–79

Научная статья

УДК 631.363.7

Код ВАК 4.3.1

EDN: YBDYVZ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНЫМ ШНЕКОМ

Максим Александрович Фомичев^{1✉}, Валерий Геннадьевич Игнатенков², Алексей Владимирович Алешкин³, Владимир Васильевич Морозов⁴

^{1, 2, 4} Великолукская государственная сельскохозяйственная академия», Великие Луки, Россия

³ Вятский государственный университет, Киров, Россия

¹ fomichev1995@yandex.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0002-1003-8091>

² well_79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-7750>

³ usr00008@vyatsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6949-1480>

⁴ sovetnik@vgsa.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2697-2249>

Аннотация. Цель исследования – улучшение технологического процесса перемешивания корма, состоящего из сапропеля естественной влажности (относительная влажность около 90 %) и комбикорма. При внесении сапропеля сразу после его добычи в состав комбикорма из технологической линии исключается дорогостоящая и длительная операция обезвоживания сапропеля. Сапропель – это донные природные отложения пресноводных водоёмов, богатые минеральными веществами и витаминами. Замена части дорогостоящего комбикорма (до 6 %) позволит добиться повышения эффективности его производства. В то же время специфические физико-механические свойства сапропеля вносят корректировки в конструктивные параметры и режимы работы смесителей. Правильный выбор типа смесителя для сапропеля и комбикорма, непрерывное, равномерное и дозированное внесение этого жидкого компонента в общую среду продукта во многом и определит такие выходные данные агрегата, как его производительность, затрачиваемая мощность и однородность корма перед скармливанием поголовью сельскохозяйственных животных. Для изучения технологического процесса смешивания сапропеля естественной влажности с комбикормом разработали, изготовили и провели экспериментальные исследования горизонтального смесителя с ленточным шнеком с новой системой распыления. Обоснованы рациональные конструктивно-технологические параметры смесителя. При различных вариациях факторов исследовалось их влияние на следующие критерии оптимизации: однородность корма, энергозатраты на процесс смешивания и пропускную способность смесителя. После обработки полученных экспериментальных данных изложены соответствующие рекомендации по выбору конструктивно-технических параметров агрегата для смешивания сапропеля и комбикорма, а также режимы его работы при различных условиях загрузки. Обоснованы конструктивно-технологические особенности горизонтального смесителя с ленточным шнеком для смешивания сапропеля естественной влажности с комбикормом, позволяющие добиться повышения эффективности производства кормосмесей для сельскохозяйственных животных, с сохранением высокого качества и снижением экономических затрат на обезвоживание сапропеля известными технологическими средствами.

Ключевые слова: корм, комбикорм, сапропель, ленточный шнек, инжекторы, система распыления.

Благодарности: работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Великолукская государственная сельскохозяйственная академия». Дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Фомичев М.А., Игнатенков В.Г., Алешкин А.В., Морозов В.В. Результаты экспериментальных исследований работы горизонтального смесителя с ленточным шнеком // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 71–70. EDN: YBDYVZ.

Scientific article

RESULTS OF THE EXPERIMENTAL STUDIES OF THE OPERATION OF THE HORIZONTAL MIXER WITH A BELT AUGER

Maksim A. Fomichev^{1✉}, Valerij G. Ignatenkov², Alexey V. Aleshkin³, Vladimir V. Morozov⁴

^{1, 2, 4} State Agricultural Academy of Velikie Luki, Velikie Luki, Russia

³ Vyatka State University, Kirov, Russia

Abstract. The purpose of the study is to improve the technological process of mixing feed consisting of sapropel of natural humidity (relative humidity about 90 %) and combined fodder. When sapropel is introduced immediately after its extraction into combined fodder, an expensive and lengthy sapropel dehydration is excluded from the production line. Sapropel is a natural bottom sediment of freshwater bodies, rich in minerals and vitamins. The replacement of part of expensive combined fodder (up to 6%) will make it possible to increase the efficiency of its production. At the same time, the specific physical and mechanical properties of sapropel make adjustments to the design parameters and operating modes of the mixers. The correct choice of the mixer type for sapropel and combined fodder, continuous, uniform and dosed introduction of this liquid component into the general product environment will largely determine such output data of the unit as its productivity, power consumption and

© Фомичев М.А., Игнатенков В.Г., Алешкин А.В., Морозов В.В., 2024

feed uniformity before feeding it to the livestock. To study the technological process of mixing sapropel of natural humidity with combined fodder, a horizontal mixer with a belt auger with a new spray system was developed, manufactured and its experimental studies were conducted. The rational design and technological parameters of the mixer are substantiated. With various factor variations, their influence on the following optimization criteria was studied: feed uniformity, energy consumption for the mixing process and mixer throughput. After processing the experimental data obtained, the appropriate recommendations are given on the choice of design and technical parameters of the unit for mixing sapropel and combined fodder, as well as its operating modes under various loading conditions. The design and technological features of the horizontal mixer with a belt auger for mixing sapropel of natural humidity with combined fodder are substantiated, which make it possible to increase the efficiency of feed mixture production for farm animals, while maintaining high quality and reducing the economic costs of sapropel dehydration by known technological means.

Keywords: feed, combined fodder, sapropel, belt auger, injectors, spray system.

Acknowledgments: the work was funded from the budget of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'State Agricultural Academy of Velikiye Luki'. No additional grants have been received to conduct or direct this particular study.

For citation: Fomichev M.A., Ignatenkov V.G., Aleshkin A.V., Morozov V.V. Results of the experimental studies of the operation of the horizontal mixer with a belt auger. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; (4-52): 71–79. EDN: YBDYVZ (In Russ).

Введение. Обеспечение населения РФ продуктами питания, основными из которых являются мясо, молоко и яйца остаётся актуальной задачей, имеющей стратегическую важность в непростой политической ситуации. По данным Росстата в настоящее время наблюдается рост динамики производства свинины, снижается импорт мяса птицы, имеются предпосылки к увеличению производства говядины. Для сохранения высоких темпов роста выпуска продукции по основным направлениям животноводства следует сократить промышленные затраты и использовать при производстве кормов природные источники местных сырьевых ресурсов.

Одним из маловостребованных источников сырья, особенно в Северо-Западном регионе РФ, богатым биологически активными элементами и минеральными веществами, является сапропель – донное отложение пресноводных водоёмов [1–3].

Наиболее трудоёмкой и экономически затратной операцией в технологии производства кормов с добавлением сапропеля является его обезвоживание. Для этого пользуются различные машины: центрифуги, прессы, отстойники, фильтры. За счет использования обезвоживания сапропеля значительно возрастает время производства кормов и повышаются энергозатраты [4].

Разработанная авторами технология распыления позволяет вносить сапропель естественной влажности в состав комбикорма и смешивать все компоненты горизонтальным смесителем с ленточным шнеком для достижения соответствия необходимых зоотехнических требований по однородности получаемого корма.

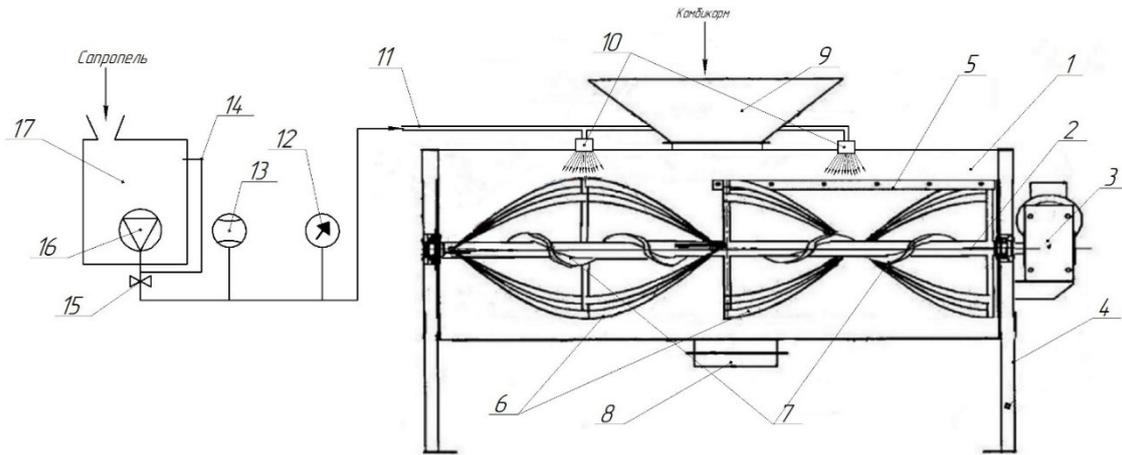
Оптимизация технологической линии производства кормов с добавлением сапропеля позволит получить продукцию высокого качества и снизить его себестоимость [5; 6]. Обоснование конструктивно-технологических параметров агрегата для смешивания сапропеля и комбикорма, а также проверка теоретических гипотез через многофак-

торные эксперименты определит рациональные характеристики и режимы работы исследуемого смесителя [7–9].

Материалы и методы. С целью производства кормов, включающих местные источники сырья, была разработана и испытана на базе ФГБОУ ВО «Великолукская ГСХА» экспериментальная установка – горизонтальный смеситель с ленточным шнеком с системой распыления сапропеля естественной влажности, полученного сразу после добычи [10].

Горизонтальный смеситель с ленточным шнеком (рисунок 1) для смешивания комбикорма с сапропелем естественной влажности работает следующим образом: комбикорм загружается в смеситель через загрузочную горловину (9), в то же время включается мотор-редуктор (3) и приводит в движение вал смесителя (2), параллельно вступает в работу насос (16), который посредством трубопроводов (11) подаёт сапропель естественной влажности через распылители (10) в камеру смешивания (1). После загрузки комбикорма и начала распыления сапропеля компоненты смеси перемешиваются спиральными лентами (6) и витками разнонаправленного действия (7), одновременно с этим происходит очистка стенок камеры смешивания от налипания материала посредством использования радиальных лопастей (5). Все перечисленные выше рабочие органы установлены на валу смесителя (2). После окончания цикла смешивания открывается заслонка выгрузной горловины (8), и готовая смесь поступает в мешки для хранения, транспортировки и скармливания полученного корма животным.

Новым в предлагаемой нами конструкции горизонтального смесителя с ленточным шнеком (рисунок 2) является система распыления жидкого сапропеля инжекторного типа, сбалансированная система основных и дополнительных витков спирального шнека и система очистки камеры смешивания посредством использования радиальной лопасти.



1 – камера смешивания; 2 – вал смесителя; 3 – мотор-редуктор; 4 – корпус; 5 – радиальная лопасть; 6 – спиральные ленты шнека; 7 – витки шнека разнонаправленного действия; 8 – выгрузная горловина; 9 – загрузочная горловина; 10 – распылители; 11 – трубопровод; 12 – манометр; 13 – расходомер; 14 – трубопровод сброса избыточного давления; 15 – вентиль; 16 – насос; 17 – расходная ёмкость
 Рисунок 1 – Общий вид горизонтального смесителя с ленточным шнеком [10]



Рисунок 2 – Общий вид разработанного смесителя

Для изучения эффективности технологии распыления и смешивания сапропеля естественной влажности и комбикорма проведены экспериментальные исследования, в ходе которых варьировались характеристики конструктивно-технологических параметров разработанного смесителя [11–13].

В соответствии с методикой экспериментальных исследований были выбраны следующие факторы с установленными интервалами варьирования: частота вращения вала шнека смесителя – x_1 (n), мин⁻¹; загрузка смесителя – x_2 (V), %; время смешивания компонентов корма – x_3 (t), мин.

Исследуемые факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 1. При планировании трёхфакторного эксперимента использовали матрицу по плану Бокса – Бенкина [14; 15].

В качестве критериев оптимизации были выбраны: однородность корма – λ , %; пропускная способность смесителя – Q, кг/ч; энергозатраты на процесс смешивания – N, кДж/ч.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе проведения многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала

Таблица 1 – Попеременные факторы и уровни их варьирования

Параметры	Факторы		
	Частота вращения вала шнека смесителя, мин ⁻¹	Загрузка смесителя, %	Время смешивания компонентов корма, мин
	x_1 (n)	x_2 (V)	x_3 (t)
Верхний уровень (+1)	50	100	6
Основной уровень (0)	40	75	5
Нижний уровень (-1)	30	50	4

смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма [16; 17].

Для обоснования выбора факторов и определения характера их влияния на критерии оптимизации был проведен регрессионный анализ.

В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основании результатов экспериментальных исследований, установлена зависимость однородности корма λ , от факторов: n , V , t .

После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма на однородность получаемого корма:

$$\begin{aligned} \lambda = & 69,0832 - 0,027655 n + \\ & + 0,0102271 \times V + \\ & + 3,47181 \times t + 0,025 \times n \times t + \\ & + 0,0199735 \times V \times t + \\ & + 0,000189438 \times n^2 - 0,00113671 \times V^2 - \\ & - 0,109449 \times t^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, представлены на рисунках 3, 4 и 5.

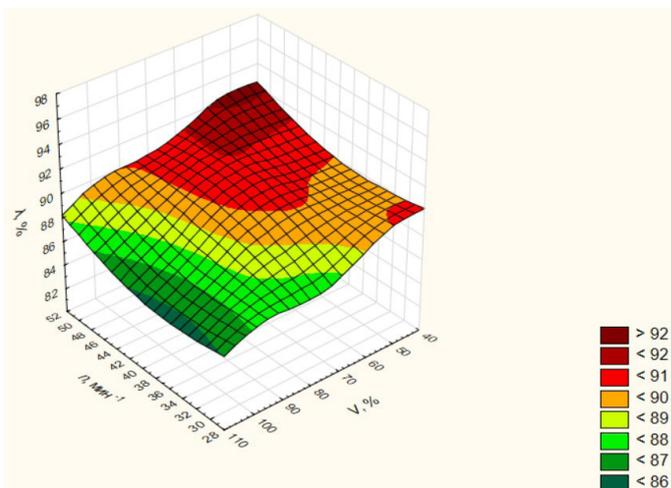


Рисунок 3 – Зависимость однородности корма (λ) от частоты вращения вала смесителя (n , мин⁻¹) и загрузки смесителя (V , %)

Из представленных данных сделан вывод, о том, что модель (1) информационно способна, т. к. коэффициент детерминации параметров достаточно велик 0,977, или 97,7473 %. Обнаружены статистически достоверные (значимые) различия на уровне $\alpha = 0,05$. Заметной корреляции

между опытными данными нет, т. к. статистика Durbin-Watson (DW) больше, чем 1,4. Таким образом, в ходе эксперимента была получена полная квадратичная модель, адекватно аппроксимирующая результаты эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

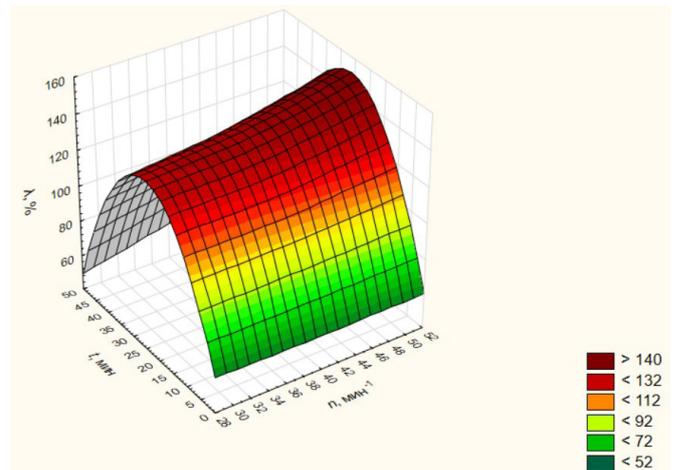


Рисунок 4 – Зависимость однородности корма (λ) от частоты вращения вала смесителя (n , мин⁻¹) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

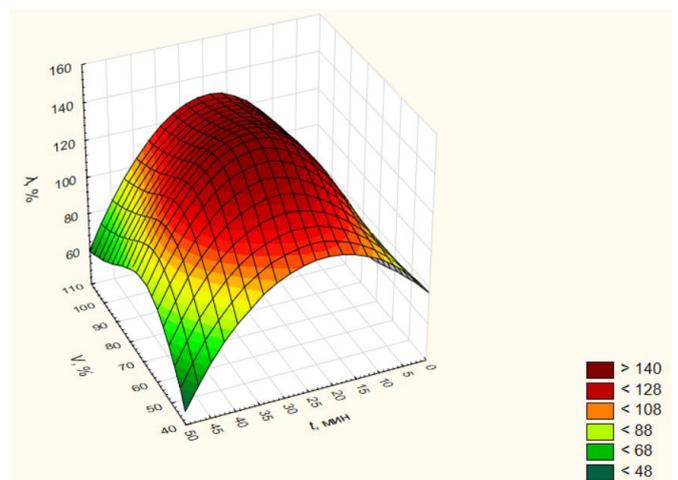


Рисунок 5 – Зависимость однородности корма (λ) от загрузки смесителя (V , %) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика (рисунки 3, 4 и 5), отмечено, что наибольшая степень однородности корма 92...95% достигается при частоте вращения вала смесителя от 40 до 50 мин⁻¹, при времени смешивания компонентов корма 4 минуты и при загрузке смесителя 65...75 %. Также исходя из проведенного анализа видно, что наибольшее влияние на однородность корма оказывают такие факторы, как частота вращения вала шнека сме-

сителя и время смешивания компонентов корма, в меньшей степени однородность корма зависит от загрузки смесителя [18].

Наибольшая степень однородности корма $\lambda=96\%$ наблюдалась при частоте вращения вала шнека смесителя $n = 50 \text{ мин}^{-1}$; загрузке смесителя $V = 75\%$; времени смешивания компонентов корма $t = 6 \text{ мин}$.

В результате многофакторного регрессионного анализа, выполненного на основании полученных экспериментальных данных, установлена зависимость пропускной способности смесителя Q от факторов: n, V, t .

После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала шнека смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма на пропускную способность смесителя:

$$Q = 898,178 - 4,59097 \times n + 2,34818 \times V - 128,316 \times t - 0,002 \times n \times V + 0,025 \times n \times t + 0,356484 \times V \times t + 0,0619184 \times n^2 - 0,01899031 \times V^2 + 2,19984 \times t^2. \quad (2)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, изображены на рисунках 6, 7 и 8.

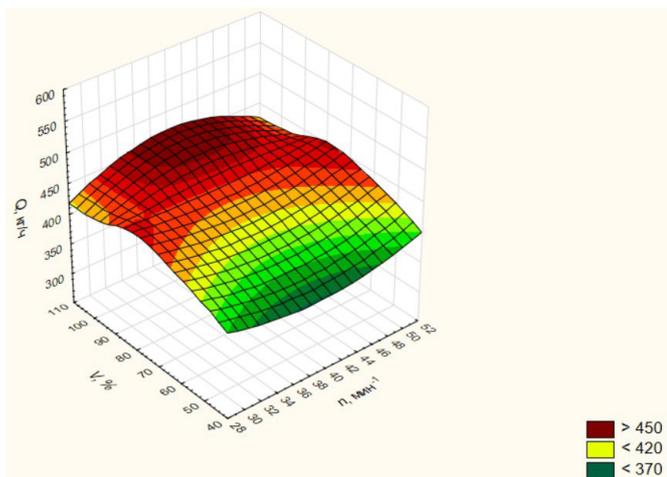


Рисунок 6 – Зависимость пропускной способности смесителя (Q) от частоты вращения вала шнека смесителя ($n, \text{мин}^{-1}$) и загрузки смесителя ($V, \%$)

Из представленных данных сделан вывод, о том, что модель (2) информационно способна, т. к. коэффициент детерминации параметров достаточно велик 0,945, или 94,4558%. Обнаружены статистически достоверные (значимые) различия

на уровне $\alpha = 0,05$. Заметной корреляции между опытными данными нет, так как статистика Durbin-Watson (DW) больше, чем 1,4. Таким образом, в ходе эксперимента была получена полная квадратичная модель, адекватно аппроксимирующая результаты эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

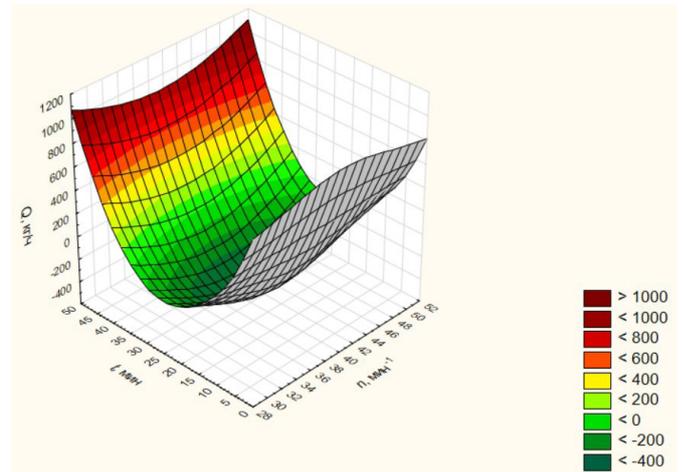


Рисунок 7 – Зависимость пропускной способности смесителя (Q) от частоты вращения вала смесителя ($n, \text{мин}^{-1}$) и времени смешивания компонентов корма ($t, \text{мин}$)

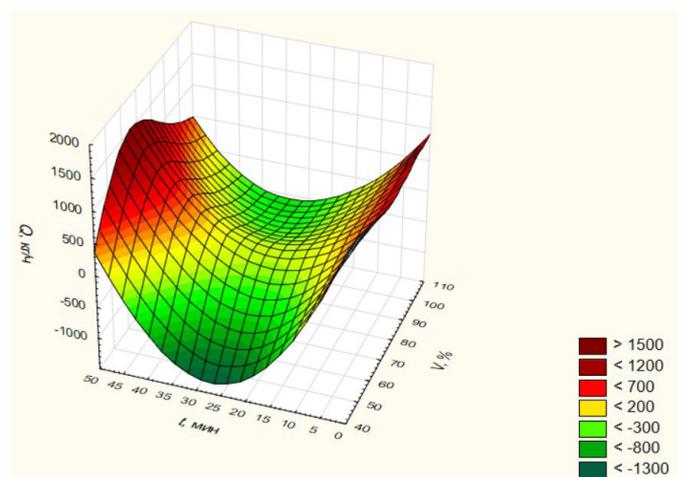


Рисунок 8 – Зависимость пропускной способности смесителя (Q) от загрузки смесителя ($V, \%$) и времени смешивания компонентов корма ($t, \text{мин}$)

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика (рисунки 6, 7 и 8), отмечено, что наибольшая пропускная способность достигается при увеличении частоты вращения вала шнека смесителя. При этом пропускная способность в незначительной степени зависит от загрузки смесителя, а при увеличении времени

смешивания пропускная способность снижается.

Наибольшая пропускная способность регистрировалась при частоте вращения вала шнека смесителя $n = 40 \text{ мин}^{-1}$; загрузке смесителя $V = 100 \%$; времени смешивания компонентов корма $t = 4 \text{ мин}$.

Проведенный многофакторный регрессионный анализ, выполненный на основании результатов экспериментальных исследований, установил зависимость энергозатрат на процесс смешивания N от факторов: n , V , t .

После проведения повторного многофакторного регрессионного анализа было получено уравнение регрессии, описывающее влияние частоты вращения вала шнека смесителя, загрузки смесителя и времени смешивания компонентов корма на энергозатраты на процесс смешивания:

$$\begin{aligned} N = & 11166,8 - 366,34 \times n - \\ & - 28,314 \times V - 772,2 \times t + 1,692 \times n \times V - \\ & - 18,27 \times n \times t - 1,62 \times V \times t + \\ & + 5,202 \times n^2 - 0,09792 \times V^2 + 153,9 \times t^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Поверхности отклика, построенные на основе регрессионного анализа, изображены на рисунках 9, 10 и 11.

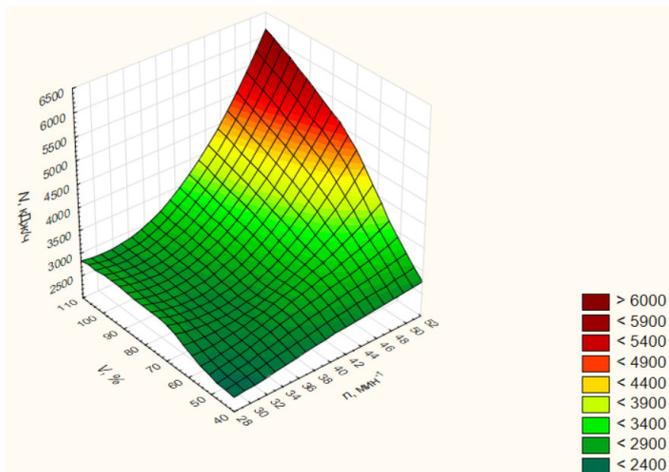


Рисунок 9 – Зависимость энергозатрат на процесс смешивания (N) от частоты вращения вала шнека смесителя (n , мин^{-1}) и загрузки смесителя (V , %)

Из представленных данных сделан вывод, о том, что модель (3) информационно способна, т. к. коэффициент детерминации параметров достаточно велик 0,955, или 95,5033 %. Обнаружены статистически достоверные (значимые) различия на уровне $\alpha = 0,05$. Заметной корреляции между опытными данными нет, т. к. статистика Durbin-Watson (DW) больше, чем 1,4. Таким образом,

в ходе эксперимента была получена полная квадратичная модель, адекватно аппроксимирующая результаты эксперимента на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

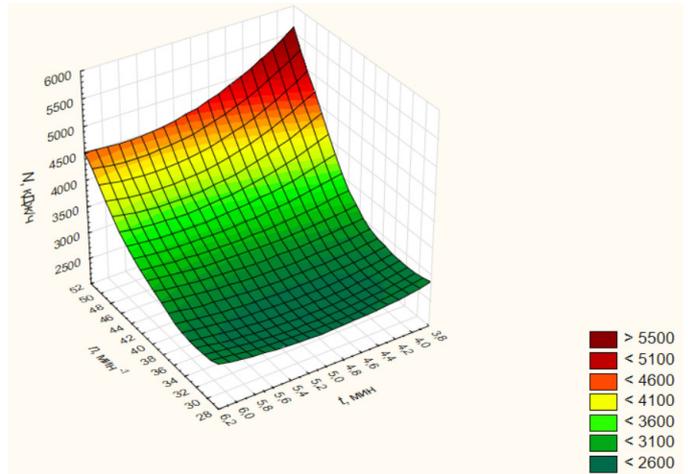


Рисунок 10 – Зависимость энергозатрат на процесс смешивания (N) от частоты вращения вала смесителя (n , мин^{-1}) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

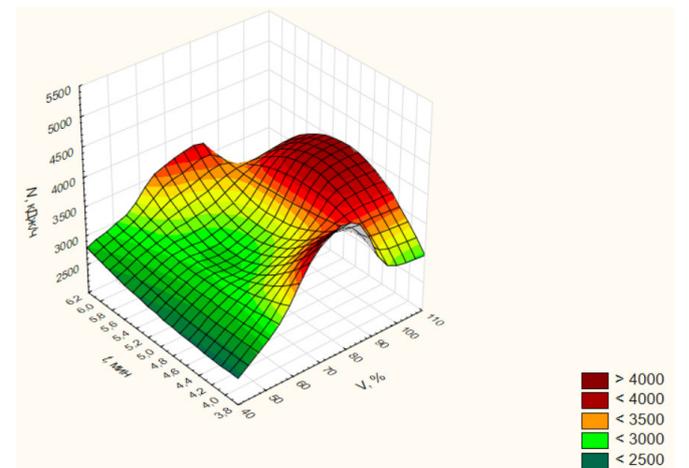


Рисунок 11 – Зависимость энергозатрат на процесс смешивания (N) от загрузки смесителя (V , %) и времени смешивания компонентов корма (t , мин)

Принимая во внимание значение коэффициентов получаемой математической модели, анализируя поверхности отклика (рисунки 9, 10 и 11), выявлено, что на изменения затрачиваемой мощности на процесс смешивания компонентов корма влияют все три изменяемых величины. Исходя из этого можно сделать вывод, что оптимальный режим работы будет достигаться до потребляемой мощности менее 3600 кДж/ч. При этом наибольшая величина показателя энергозатрат на процесс смешивания наблюдается при предельных значениях частоты вращения вала шнека смесителя

и его загрузки, в меньшей мере влияет такой фактор, как время смешивания.

Наименьшие энергозатраты на процесс смешивания $N = 2415.6$ кДж/ч наблюдались при частоте вращения вала шнека смесителя $n = 30$ мин⁻¹; загрузке смесителя $V = 50$ %; времени смешивания компонентов корма $t = 5$ мин.

Заключение. В результате экспериментальных исследований работы горизонтального смесителя с ленточным шнеком были получены следующие рациональные конструктивно-технологические параметры: частота вращения вала смесителя $n = 40$ мин⁻¹; загрузки смесителя $V = 50$ %; времени смешивания $t = 6$ мин. При таких значениях факторов: однородность корма составит $\lambda = 94$ %; пропускная способность $Q = 277$ кг/час; энергозатраты на процесс смешивания $N = 2905,2$ кДж/ч. Полученные экспериментальные данные подтверждают теоретические предположения и дают возможность рекомендовать разработанный агрегат к использованию в линиях производства кормов на основе сапропеля с целью повышения качества кормосмесей и снижения затрат на его производство.

Список источников

1. Волков В.В., Ярмоц Г.А., Беленькая А.Е. Эффективность применения комплексной кормовой добавки на основе сапропеля в кормлении крупного рогатого скота // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (68). С. 72-76. DOI: 10.31563/1684-7628-2023-68-4-72-76. EDN: PSYAIO.
2. Дементьев В.А. Влияние реологических и технологических параметров на расход сапропеля естественной влажности в напорном трубопроводе // Гидротехническое строительство. 2024. № 8. С. 50-55. EDN: HXRBC.
3. Сапропель как кормовая добавка в животноводстве / В.В. Волков [и др.] // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2023. № 11 (220). С. 29-36. DOI: 10.33920/sel-05-2311-03. EDN: TJSTDN.
4. Результаты экспериментальных исследований шнекового пресса для обезвоживания сапропеля естественной влажности / В.Г. Игнатенков [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 62-66. EDN: YSGGIJ.
5. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters / A. Marczuk, W. Misztal, P. Savinykh [et al.] // Eksploatacja i Niezawodnosc. 2019. Vol. 21. No. 2. P. 220-225. DOI: 10.17531/ein.2019.2.5. EDN: KLKTDE.
6. Solonscikov P., Barwicki J., Savinyh P., Gaworski M. Optimization of design parameters of experimental installation concerning preparation of liquid feed mixtures // Processes. 2021. Vol. 9. No. 12. DOI: 10.3390/pr9122104. EDN: PYPPKI.
7. Теоретическое обоснование работы горизонтального смесителя с ленточным шнеком / М.А. Фомичев [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2024. № 71. С. 98-104. EDN: PICOEE.
8. Исследование процесса смешивания компонентов корма / В.В. Морозов [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 4 (40). С. 73-80. DOI: 10.52463/22274227_2021_40_73. EDN: GSMARZ.
9. Богданов К.А. Теоретическое исследование конструктивных и технологических параметров в экструдере для производства кормов с добавлением сапропеля // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 2 (38). С. 50-54. DOI: 10.52463/22274227_2021_38_71. EDN: NGZFLM.
10. Горизонтальный смеситель для смешивания сыпучих компонентов: пат. 216423 U1 Рос. Федерация, МПК В01F 27/72, В01F 27/60, № 2022128604/ М.А. Фомичев, В.Г. Игнатенков, В.Е. Саитов [и др.]; заявл. 03.11.2022; опубл. 02.02.2023.
11. Theoretical studies of the interaction between screw surface and material in the mixer / A. Marczuk [et al.] // Materials. 2021. Vol. 14. No. 4. P. 1-29. DOI: 10.3390/ma14040962. EDN: EEPNZW.
12. Solonschikov P., Savinykh P., Ivanovs S. Determination and optimization of feeding device parameters in the plant for preparing liquid feed mixtures // Rural Sustainability Research. 2021. Vol. 45. No. 340. P. 13-20. DOI: 10.2478/plua-2021-0003. EDN: HTGYII.
13. Игнатенков В.Г., Лаппо Е.Л., Быченков Д.М. Результаты экспериментальных исследований универсального смесителя-измельчителя для производства витаминно-кормовых добавок на основе сапропеля // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (164). С. 166-171. EDN: XWXPTV.
14. Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Результаты экспериментально-поисковых исследований по влиянию микронизации на усилие разрушения зерновки // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. №4(72). С. 75-81. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-75-81. EDN: POTOYN.
15. Фоминых А.В., Сергеев Н.С., Судаков К.В. Теоретические исследования вибрационно-гравитационного дозатора сыпучих кормов // Вест-

ник Курганской ГСХА. 2023. № 4 (48). С. 71-78. EDN: MAEIDI.

16. Производственный процесс приготовления кормовых смесей для сельскохозяйственных животных / Г.Г. Класнер [и др.] // Проблемы научной мысли. 2023. Т. 9. № 2. С. 94-96. EDN: TCEPIR.

17. Савиных П.А., Турубанов Н.В. Исследование влияния конструктивно-технологических параметров горизонтального смесителя на показатели его рабочего процесса // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3 (47). С. 42-47. DOI: 10.51794/27132064-2022-3-42. EDN: PXIORB.

18. Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Фомичев М.А. Результаты экспериментальных исследований смесителя-гранулятора для получения топливных гранул // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 36-42. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_36. EDN: ENGQUD.

References

1. Volkov V.V., Yarmots G.A., Belenkaya A.E. Effektivnost' primeneniya kompleksnoi kormovoi dobavki na osnove sapropelya v kormlenii krupnogo rogatogo skota [Efficiency of using a complex feed additive based on sapropel in feeding cattle]. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2023; 4(68): 72-76. DOI: 10.31563/1684-7628-2023-68-4-72-76. EDN: PSYAIU. (In Russ).

2. Dementiev V.A. Vliyaniye reologicheskikh i tekhnologicheskikh parametrov na raskhod sapropelya estestvennoi vlazhnosti v napornom truboprovode [The influence of rheological and technological parameters on the consumption of sapropel of natural humidity in a pressure pipeline]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2024; (8): 50-55. EDN: HXRSBC. (In Russ).

3. Volkov V.V. et al. Sapropel' kak kormovaya dobavka v zhivotnovodstve [Sapropel as a feed additive in animal husbandry]. *Feeding of agricultural animals and feed production*. 2023; 11(220): 29-36. DOI: 10.33920/sel-05-2311-03. EDN: TJSTDN. (In Russ).

4. Ignatenkov V.G. et al. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy shnekovogo pressa dlya obezvozhivaniya sapropelya estestvennoi vlazhnosti [Results of experimental studies of a screw press for dehydration of sapropel of natural moisture content]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2020; 2(34): 62-66. EDN: YSGGIJ. (In Russ).

5. Marczuk A., Misztal W., Savinykh P. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters. *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 2019; 21(2): 220-225. DOI: 10.17531/ein.2019.2.5. EDN: KLKTDI.

6. Solonscikov P., Barwicki J., Savinyh P., Gaworski M. Optimalization of design parameters of experimental installation concerning preparation of liquid feed mixtures. *Processes*. 2021; 9(12): DOI: 10.3390/pr9122104. EDN: PYPPKI.

7. Fomichev M.A. et al. Teoreticheskoe obosnovanie raboty gorizontalnogo smesitelya s lentochnym shnekom [Theoretical justification of the operation of a horizontal mixer with a ribbon auger]. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2024; (71): 98-104. EDN: PICOEE. (In Russ).

8. Morozov V.V. et al. Issledovanie protsessa smeshivaniya komponentov korma [Study of the process of mixing feed components]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2021; 4(40): 73-80. DOI: 10.52463/22274227_2021_40_73. EDN: GSMARZ. (In Russ).

9. Bogdanov K.A. Teoreticheskoe issledovanie konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov v ekstrudere dlya proizvodstva kormov s dobavleniem sapropelya. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2021; 2(38): 50-54. DOI: 10.52463/22274227_2021_38_71. EDN: NGZFLM. (In Russ).

10. Gorizontalny smesitel' dlya smeshivaniya sypuchikh komponentov [Horizontal mixer for mixing bulk components]: Pat. 216423 U1 Rus. Federation, No 2022128604/ M.A. Fomichev, V.G. Ignatenkov, V.E. Saitov [et al.]; dec. 03 November 2022; publ. 02.02.2023. (In Russ).

11. Marczuk A. et al. Theoretical studies of the interaction between screw surface and material in the mixer. *Materials*. 2021; 14(4): 1-29. DOI: 10.3390/ma14040962. EDN: EEPNZW.

12. Solonshchikov P., Savinykh P., Ivanovs S. Determination and optimization of feeding device parameters in the plant for preparing liquid feed mixtures. *Rural Sustainability Research*. 2021; 45(340): 13-20. DOI: 10.2478/plua-2021-0003. EDN: HTGYII.

13. Ignatenkov V.G., Lappo E.L., Bychenkov D.M. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy universal'nogo smesitelya-izmel'chitelya dlya proizvodstva vitaminno-kormovykh dobavok na osnove sapropelya [Results of experimental studies of a universal mixer-grinder for the production of vitamin-feed additives based on sapropel]. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018; 6(164): 166-171. EDN: XWXPTV. (In Russ).

14. Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. Rezul'taty eksperimental'no-poiskovykh issledovaniy po vliyaniyu mikronizatsii na usilie razrusheniya zernovki [Results of experimental research on the effect of micronization on the force of destruction of the grain]. *Vestnik of the*

Kazan State Agrarian University. 2023; 18-4(72): 75-81. DOI: 10.12737/2073-0462-2023-75-81. EDN: POTOYH. (In Russ).

15. Fominykh A.V., Sergeev N.S., Sudakov K.V. Teoreticheskie issledovaniya vibratsionno-gravitatsionnogo dozatora sypuchikh kormov [Theoretical research of vibration-gravity dispenser of bulk feed]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2023; 4(48): 71-78. EDN: MAEIDI. (In Russ).

16. Klasner G.G. et al. Proizvodstvennyi protsess prigotovleniya kormovykh smesei dlya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Manufacturing process of preparing feed mixtures for farm animals]. *Problemy nauchnoi mysli*. 2023; 9(2): 94-96. EDN: TCEPIP. (In Russ).

17. Savinykh P.A., Turubanov N.V. Issledovanie vliyaniyakonstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov gorizontalnogo smesitelya na pokazateli ego rabocheho protsessa [Study of the influence of design and technological parameters of a horizontal mixer on the performance of its working process]. *Machinery and technologies in livestock*. 2022; 3(47): 42-47. DOI: 10.51794/27132064-2022-3-42. EDN: PXIORB. (In Russ).

18. Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Fomichev M.A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy smesitelya-granulyatora dlya polucheniya toplivnykh granul [Results of experimental studies of a mixer-granulator for producing fuel pellets]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2022; 2(42): 36-42. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_36. EDN: ENGQUD. (In Russ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Фомичев М.А. – написание исходного текста; развитие методологии;

Игнатенков В.Г. – научное руководство; концепция исследования; написание исходного текста;

Алешкин А.В. – развитие методологии;

Морозов В.В. – научное руководство; итоговые выводы.

AUTHOR CONTRIBUTION

Fomichev, M.A. – writing the original text; development of methodology;

Ignatenkov, V.G. – scientific guidance; research concept; writing the original text;

Aleshkin, A.V. – development of methodology;

Morozov, V.V. – scientific guidance; final conclusions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

Информация об авторах

М.А. Фомичев – AuthorID 1087451.

В.Г. Игнатенков – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 330396.

А.В. Алешкин – доктор технических наук, профессор; AuthorID 257832.

В.В. Морозов – доктор технических наук, профессор; AuthorID 786350.

Information about the author

M.A. Fomichev – AuthorID 1087451.

V.G. Ignatenkov – candidate of technical sciences, associate professor; AuthorID 330396.

A.V. Aleshkin – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 257832.

V.V. Morozov – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 786350.

Статья поступила в редакцию 17.11.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 17.11.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 17.12.2024.