

# МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739>



УДК 631.363.7

## Влияние изменения технологических параметров смесителя комбикормов на показатели его работы

© 2022. П. А. Савиных, Н. В. Турубанов✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская федерация

Для ведения эффективного животноводства и птицеводства необходимо использовать комбикорма, для приготовления которых в основном используют вертикальные и горизонтальные смесители. При небольшом потреблении комбикорма, входящего в рацион животных, учитывающий их потребность в питательных веществах, наиболее выгодно его приготовление хозяйством самостоятельно с использованием собственной сырьевой базы за счет сокращения времени и расходов на транспортировку и хранение готовых смесей. Для этого предпочтительнее использовать горизонтальные смесители, так как они позволяют получать комбикорма с более высокой однородностью распределения компонентов. Экспериментальные исследования проводили в 2021-2022 гг. В результате были получены математические модели рабочего процесса горизонтального смесителя, по которым построены двумерные поверхности отклика и определены оптимальные параметры работы с учетом различных конструктивных и технологических факторов. Наилучшее качество смешивания 94 % достигается при загрузке камеры смешивания 50 %, частоте вращения вала смесителя 13 мин<sup>-1</sup>, времени смешивания 18 мин. Величина пропускной способности достигает наибольшего значения 2,3 т/ч при количестве материала в камере смешивания 75 % и времени работы смесителя 12 мин, при этом частота вращения вала комбинированного шнека составляет 17,2 мин<sup>-1</sup>. Это позволяет снизить затраты труда и энергии на разработку и изготовление новых смесителей с ленточными рабочими органами и получить высококачественные корма с минимальными затратами.

**Ключевые слова:** комбикорм, компоненты смеси, смеситель, исследования, поверхности, математические модели, факторы

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0094).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Савиных П. А., Турубанов Н. В. Влияние изменения технологических параметров смесителя комбикормов на показатели его работы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(5):732-739.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739>

Поступила: 29.04.2022

Принята к публикации: 09.09.2022

Опубликована онлайн: 26.10.2022

## The influence of changes in the technological parameters of the feed mixer on its performance

© 2022. Petr A. Savinykh, Nikolaj V. Turubanov✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

To conduct effective animal husbandry and poultry farming, it is necessary to use compound feeds. To prepare them mainly vertical and horizontal mixers are used. With a small consumption of compound feed by the farm, its independent preparation will be the most profitable due to the reduction of time and costs for transportation and storage of finished mixtures. The use of the raw material base of an agricultural enterprise makes it possible to prepare compound feeds that most fully take into account the need of animals for nutrients. It is preferable to use horizontal mixers since they allow to obtain combined feeds with a higher uniformity of component distribution. Experimental studies were conducted in 2021-2022. As the result, there have been obtained mathematical models of the working process of a horizontal mixer, according to which two-dimensional response surfaces were constructed and optimal operating parameters were determined taking into account various design and technological factors. The best mixing quality of 94 % is achieved when the mixing chamber is loaded by 50 %, the rotation speed of the mixer shaft is 13 min<sup>-1</sup>, the mixing time is 18 minutes. The throughput value reaches the highest value of 2.3 t/h with the amount of material in the mixing chamber of 75 % and the working time of the mixer of 12 minutes, while the rotation speed of the shaft of the combined screw is 17.2 min<sup>-1</sup>.

*This allows to reduce labor and energy costs for the development and manufacture of new mixers with belt working bodies and to obtain high-quality feed with minimal costs.*

**Keywords:** compound feed, components of the mixture, mixer, research, surfaces, mathematical models, factors

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0094).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

**Conflict of interests:** the authors stated that there was no conflict of interests.

**For citations:** Savinykh P. A., Turubanov N. V. The influence of changes in the technological parameters of the feed mixer on its performance. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):732-739.

(In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.732-739>

Received: 29.04.2022

Accepted for publication: 09.09.2022

Published online: 26.10.2022

Для ведения эффективного животноводства и птицеводства необходимо использовать комбикорма. При небольшом потреблении комбикорма хозяйством наиболее выгодным будет самостоятельное его приготовление. Комбикорм, который состоит из концентратов, выращенных непосредственно в хозяйстве, наиболее учитывает потребности животных в необходимых питательных веществах. Использование сырьевой базы сельскохозяйственного предприятия позволяет сокращать время и расходы на транспортировку и хранение готовых смесей [1, 2, 3]. Для приготовления сухих рассыпных комбикормов в основном используют вертикальные шнековые и горизонтальные ленточные смесители. Непосредственно на территории сельскохозяйственных предприятий предпочтительнее использовать горизонтальные смесители с ленточными рабочими органами. Они позволяют получать комбикорма с более высокой однородностью распределения компонентов в сравнении с вертикальными смесителями [4, 5]. Это возможно за счет более интенсивного перемещения смеси рабочим органом смесителя, также в горизонтальных смесителях не происходит слеживание материала и готовый продукт выгружается полностью [6]. Таким образом, исследование горизонтальных смесителей с ленточными рабочими органами на сегодняшний день является актуальной задачей.

**Цель исследования** – получение зависимостей, показывающих влияние технологических параметров смесителя комбикормов на его рабочий процесс.

**Научная новизна** работы заключается в получении математических моделей процесса смешивания компонентов комбикормов в горизонтальном смесителе с ленточным шнеком, позволяющих определить оптимальные показатели работы смесителя.

**Материал и методы.** В лаборатории механизации животноводства разработан горизонтальный смеситель с комбинированным рабочим органом. На конструкцию смесителя получен патент РФ № 2638978 [7]. На производственной базе ФАНЦ Северо-Востока изготовлен горизонтальный смеситель (рис. 1, а) и в 2021-2022 гг. проведены исследования по определению влияния конструктивно-технологических факторов на основные показатели его работы.

Смеситель, схема которого представлена на рисунке 1, б, состоит из корпуса 1; рамы 2; загрузочного патрубка 3; выгрузочного патрубка 4; комбинированного ленточного шнека 5. Комбинированный шнек состоит из трех ленточных шнеков: внешний диаметр внешнего шнека смесителя равен  $D_1 = 1$  м, среднего –  $D_2 = 0,75$  м, внутреннего –  $D_3 = 0,4$  м; величина шага: внешнего шнека  $S_1 = 0,3$  м, среднего –  $S_2 = 0,4$  м, внутреннего –  $S_3 = 0,24$  м. Конструкция комбинированного ленточного шнека выполнена таким образом, что позволяет перемещать материал вдоль оси вала смесителя. Каждый ленточный шнек перемещает материал в своем направлении, тем самым способствует интенсивному перемешиванию компонентов комбикорма в камере смешивания. Благодаря такому движению материала повышается величина коэффициента равномерности готового комбикорма, снижаются затраты времени на приготовление смеси.

Экспериментальные исследования проводили, смешивая два компонента: основной – измельченное зерно, контрольный – горох. Количество контрольного компонента выбрано исходя из содержания белковых добавок в комбикормах для КРС и составило 12,5 %<sup>1</sup>. Частоту вращения вала комбинированного ленточного шнека изменяли с помощью преобразователя частоты тока Altivar ATV-312.

<sup>1</sup>НТП-АПК 1.10.16.002-03 Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034655>

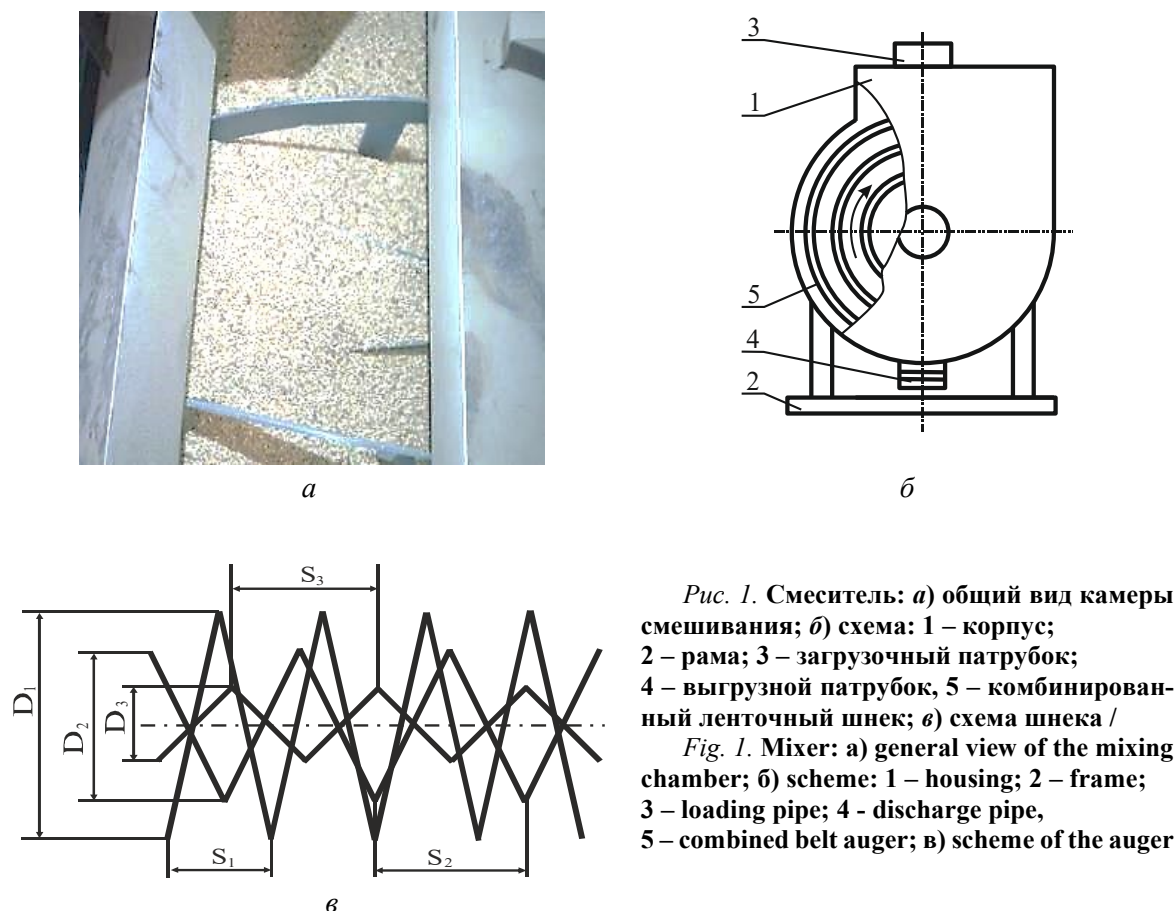


Рис. 1. Смеситель: а) общий вид камеры смешивания; б) схема: 1 – корпус; 2 – рама; 3 – загрузочный патрубок; 4 – выгрузный патрубок, 5 – комбинированный ленточный шнек; в) схема шнека /

Fig. 1. Mixer: а) general view of the mixing chamber; б) scheme: 1 – housing; 2 – frame; 3 – loading pipe; 4 – discharge pipe, 5 – combined belt auger; в) scheme of the auger

Технологические и энергетические показатели работы смесителя вычисляли по нижеприведенным формулам.

Мощность, необходимую на привод комбинированного ленточного шнека, определяли [8]:

$$N_{\text{ш}} = N_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{ц}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{эл}}$  – мощность, потребляемая электродвигателем, кВт;  $\eta_{\text{р}}$  – КПД ременной передачи;  $\eta_{\text{ред}}$  – КПД редуктора;  $\eta_{\text{ц}}$  – КПД цепной передачи.

Удельные энергозатраты характеризуют отношение количества энергии, потребляемой электродвигателем, к пропускной способности смесителя в единицу времени [8]:

$$q_{\text{эл}} = \frac{N_{\text{эл}}}{Q}, \quad (2)$$

где  $Q$  – пропускная способность смесителя, т/ч.

Пропускная способность смесителя  $Q$  (кг) за 1 час рабочего времени [8]:

$$Q = \frac{60 \cdot G}{t}, \quad (3)$$

где  $G$  – масса смеси в камере смешивания, кг;  $t$  – время цикла смешивания компонентов, мин.

Время цикла смешивания компонентов определяли по выражению [8]:

$$t = t_{\text{заг}} + t_{\text{см}} + t_{\text{выг}}, \quad (4)$$

где  $t_{\text{заг}}$  – время загрузки смесителя, мин;

$t_{\text{см}}$  – время работы смесителя, мин;  $t_{\text{выг}}$  – время выгрузки смесителя, мин.

Основной характеристикой качества смеси служит коэффициент однородности, который можно определить по выражению [9]:

$$\nu = 100 - \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $x_i$  – текущее значение величины контрольного компонента;  $\bar{x}$  – среднеарифметическое значение величины контрольного компонента  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ ;  $n$  – число проб.

После смешивания контрольного компонента с основой (дёрт) из камеры смешивания проводили отбор проб согласно ГОСТ Р ИСО 6497-2011. Пробы отбирали специально изготовленным пробоотборником, представленным на рисунке 2.

Каждую пробу помещали в пакет, подписывали и герметично упаковывали. Для определения текущего значения величины контрольного компонента проводили рассев

смеси на решетках. Размер отверстий решет при расसेве и разделении смеси на решетном столе должен быть одинаковым. Ширина прямоугольных отверстий в решетках подбирается таким образом, чтобы полностью отделять

контрольный компонент от смеси, при проведении наших исследований она составляла 3 мм. Полученные после рассева фракции взвешивали и по формуле (3) рассчитывали коэффициент однородности в опыте [10].

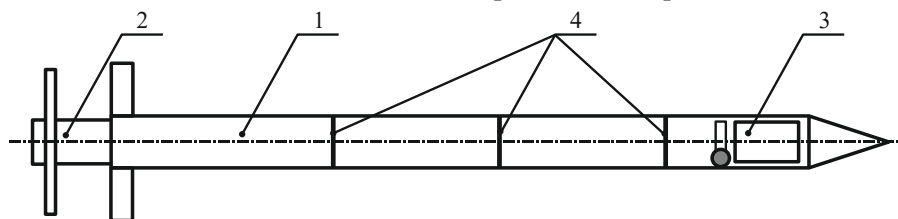


Рис. 2. Схема пробоотборника: 1 – направляющая; 2 – труба для выгрузки пробы; 3 – окно для отбора пробы; 4 – метки определения уровня /

Fig. 2. Sampler diagram: 1 – guide; 2 – pipe for unloading samples; 3 – window for sampling; 4 – level determination marks

После отбора проб из камеры смешивания оставшуюся смесь разделяли на решетном столе на 2 фракции: контрольный компонент и основа (дёрт) (рис. 3). После разделения на фракции компоненты смеси готовы для проведения дальнейших экспериментальных исследований.



Рис. 3. Общий вид решетного стола /  
Fig. 3. General view of the sieve table

После обработки результатов экспериментальных исследований в программе Statgraphics получены математические модели

процесса смешивания, которые позволяют построить двумерные поверхности отклика, наглядно показывающие влияние факторов на критерии оптимизации [11, 12]. Таким образом, по результатам эксперимента можно определить оптимальные конструктивно-технологические параметры исследуемого горизонтального смесителя.

**Результаты и их обсуждение.** Однофакторные эксперименты позволили определить значимые факторы и величину их изменения [8, 13]. Для определения оптимальных показателей работы смесителя наиболее подходит методика планирования многофакторного эксперимента [14]. За факторы приняты:  $x_1$  – частота вращения комбинированного шнека,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $x_2$  – количество материала в камере смешивания, %;  $x_3$  – время работы смесителя, мин. Уровни варьирования факторов выбраны на основании проведенных ранее однофакторных экспериментов [8] и представлены в таблице. В качестве критериев оптимизации приняты:  $y_1$  – коэффициент однородности, %;  $y_2$  – удельные энергозатраты,  $\text{кВт} \cdot \text{ч/т}$ ;  $y_3$  – пропускная способность,  $\text{т/ч}$ .

Таблица – Факторы и уровни их варьирования /  
Table – Factors and levels of their variation

Уровни варьирования факторов / Levels of variation of factors	Частота вращения комбинированного шнека, $\text{мин}^{-1}$ / Rotation speed of the combined screw, $\text{min}^{-1}$	Количество материала в камере смешивания, % / The amount of material in the mixing chamber, %	Время работы смесителя, мин / Mixer operating time, min
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Верхний (+1) / Upper	21,5	75	18
Средний (0) / Middle	17,2	62,5	15
Нижний (-1) / Lower	12,9	50	12



С учетом выбранных факторов и интервалов их варьирования проведены экспериментальные исследования по плану Бокса-Бенкина,

$$y_1 = 90,92 - 0,95 \cdot x_2 - 0,36 \cdot x_3 + 0,58 \cdot x_1 x_2 - 0,39 \cdot x_1 x_3 - 0,62 \cdot x_2 x_3 + 1,11 \cdot x_3^2; \quad (6)$$

$$y_2 = 3,37 - 0,47 \cdot x_2 + 0,53 \cdot x_3 + 0,10 \cdot x_2^2 - 0,08 \cdot x_2 x_3; \quad (7)$$

$$y_3 = 2,09 + 0,42 \cdot x_2 - 0,34 \cdot x_3 - 0,07 \cdot x_2 x_3 + 0,06 \cdot x_3^2. \quad (8)$$

Математические модели (6), (7) и (8) позволяют описать процесс смешивания компонентов в горизонтальном смесителе с комбинированным ленточным шнеком. Модели с необходимой точностью позволяют рассчитать значения рассматриваемых показателей работы смесителя в зависимости от изменения величины факторов [15, 16]. Коэффициент детерминации  $R^2$  показывает, насколько точно полученная математическая модель описывает происходящий технологический процесс, для выражения (6) он равен 97 %, для выражения (7) –  $R^2 = 99$  %, для (8) –  $R^2 = 99$  %. Коэффициент P-Value позволяет оценить значимость коэффициентов в математических моделях (6), (7) и (8). На основании полученных при расчете результатов все коэффициенты являются значимыми.

Коэффициенты в уравнениях математических моделей позволяют оценить влияние факторов на рассматриваемые показатели. Согласно уравнению (6), количество материала в камере смешивания ( $x_2$ ) оказывает наибольшее влияние на величину коэффициента однородности ( $y_1$ ). Время смешивания компонентов ( $x_3$ ) оказывает значительно меньше влияния на качество смешивания ( $y_1$ ) в сравнении с количеством материала ( $x_2$ ).

На критерии оптимизации ( $y_2$ ) и ( $y_3$ ) оказывают существенное влияние количество материала в камере смешивания ( $x_2$ ) и время работы смесителя ( $x_3$ ). Увеличение времени смешивания ( $x_3$ ) снижает пропускную способность смесителя ( $y_3$ ), но увеличивает значение удельных энергозатрат ( $y_2$ ). Увеличение количества материала в камере смешивания ( $x_2$ ) приводит к повышению пропускной способности ( $y_3$ ) смесителя и снижению удельных энергозатрат ( $y_2$ ).

Частота вращения комбинированного шнека ( $x_1$ ) не влияет на пропускную способность смесителя ( $y_3$ ) и удельные энергозатраты ( $y_2$ ), так как она не входит в уравнения математических моделей (7) и (8).

На рисунке 4 представлены двумерные поверхности отклика, показывающие влияние изменения частоты вращения комбинированного шнека ( $x_1$ ), количества материала в камере

результаты которых обработаны с помощью программы Statgraphics и получены уравнения математических моделей:

смешивания ( $x_2$ ) и времени работы смесителя ( $x_3$ ) на основные показатели его работы: коэффициент однородности ( $y_1$ ); удельные энергозатраты ( $y_2$ ); пропускная способность смесителя ( $y_3$ ).

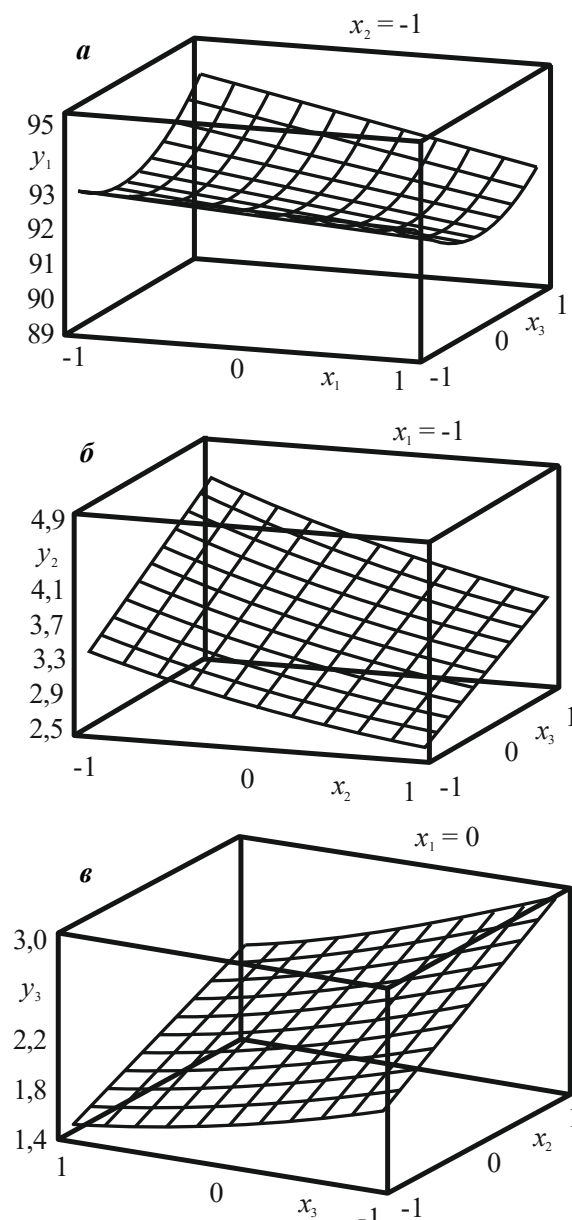


Рис. 4. Двумерные поверхности отклика: а) коэффициент однородности  $y_1$ ; б) удельные энергозатраты  $y_2$ ; в) пропускная способность  $y_3$  /  
Fig. 4. Two-dimensional response surfaces: а) uniformity coefficient  $y_1$ ; б) specific energy consumption  $y_2$ ; в) throughput capacity  $y_3$

На рисунке 4, а представлена поверхность, показывающая зависимость изменения коэффициента однородности готовой смеси ( $y_1$ ) от частоты вращения комбинированного шнека ( $x_1$ ) и времени работы смесителя ( $x_3$ ) при заполнении камеры смешивания материалом на 50 % ( $x_2 = -1$ ). Анализ поверхности показывает, что при увеличении частоты вращения с 12,9 до 21,5 мин<sup>-1</sup> снижается качество готовой смеси с 94 до 92,2 % (при  $x_3 = 1$ ). Это происходит из-за уменьшения перемещения материала вдоль оси вала смесителя и увеличения вращательного движения смеси. Увеличение времени работы смесителя с 12 до 18 мин позволяет повысить качество готовой смеси с 92,9 до 94 % (при  $x_1 = -1$ ). Таким образом, наилучшее качество смеси (94 %) получается при частоте вращения комбинированного шнека 12,9 мин<sup>-1</sup>, заполнении материала в камере смешивания 50 % и времени работы смесителя 18 мин.

На рисунке 4, б представлена поверхность, показывающая зависимость изменения удельных энергозатрат ( $y_2$ ) от количества материала в камере смешивания ( $x_2$ ) и времени работы смесителя ( $x_3$ ) при частоте вращения вала комбинированного шнека 12,9 мин<sup>-1</sup> (при  $x_1 = -1$ ). Анализ поверхности показывает, что удельные энергозатраты достигают наимень-

шего значения 2,55 кВт·ч/т при максимальном заполнении камеры смешивания ( $x_2$ ) 75 % и минимальном времени работы смесителя ( $x_3$ ) 12 мин.

На рисунке 4, в представлена поверхность, показывающая зависимость изменения пропускной способности смесителя ( $y_3$ ) от количества материала в камере смешивания ( $x_2$ ) и времени работы смесителя ( $x_3$ ) при частоте вращения комбинированного шнека 17,2 мин<sup>-1</sup> ( $x_1 = 0$ ).

Величина пропускной способности достигает наибольшего значения 2,3 т/ч при количестве материала в камере смешивания 75 % и времени работы смесителя 12 мин.

**Выводы.** Результаты экспериментальных исследований позволили получить математические модели процесса смешивания компонентов в смесителе, по которым определены оптимальные показатели его работы. Наилучшее качество смешивания (94 %) достигается при загрузке камеры смешивания 50 %, частоте вращения вала смесителя 12,9 мин<sup>-1</sup>, времени смешивания 18 мин. Величина пропускной способности достигает наибольшего значения 2,3 т/ч при загрузке материала камеры смешивания 75 %, времени работы смесителя 12 мин и частоте вращения вала комбинированного шнека 17,2 мин<sup>-1</sup>.

#### Список литературы

1. Савиных П. А., Сычуглов Ю. В., Казаков В. А., Чернятьев Н. А. Комбикормовый цех для сельскохозяйственного предприятия. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(6):131-137. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36346292>
2. Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Беннова Е. В. Преимущества модульного проектирования малых комбикормовых заводов. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(6):141-145. DOI: <https://doi.org/10.24412/FeYK7B0nROQ>
3. Матюшев В. В., Бочкарев А. Н., Семенов А. В., Чаплыгина И. А. Исследование режимов работы центробежного смесителя сыпучих компонентов. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021;(4(44)):206-214. DOI: [https://doi.org/10.48136/2222-0364\\_2021\\_4\\_206](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_4_206)
4. Marczuk A., Sysuev V., Aleshkin A., Turubanov N., Tomporowski A. Theoretical studies of the interaction between screw surface and material in the mixer. Materialsthis link is disabled. 2021;14(4):962. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14040962>
5. Рыбалкин Н. А., Лебедев А. Т., Павлюк Р. В. Совершенствование процесса смешивания кормов в лопастном смесителе. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020;(3(27)):78-84. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44085224>
6. Кикин Н. О., Лебах А. В., Семидоцкий А. Н. Различные схемы установки лопастей смесителей с горизонтальным расположением валов и их влияние на интенсивность смешивания. Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Под ред. В. С. Богданова. Белгород, 2018. С. 201-205. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42997976>
7. Савиных П. А., Алешкин А. В., Казаков В. А., Турубанов Н. В., Чернятьев Н. А., Зырянов Д. А., Саитов В. Е. Смеситель: пат. № 2638978 Российская Федерация. № 2016105025: заяв. 15.02.2016; опубл. 19.12.2017; Бюл. №35. 8 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38291111>
8. Турубанов Н. В., Медведев О. Ю., Исупов А. Ю. Экспериментальные исследования технологического процесса смешивания в горизонтальном смесителе. Общество, наука, инновации (НПК-2016): сб. ст. 2-е изд., исправ. и доп. Киров: Вятский государственный университет, 2016. С. 898-903.
9. Мещерякова А. А. Оценка качества смешивания смесей сыпучих материалов. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018;6(5 (41)):325-331. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36702433>

10. Сахапов Р. Л., Шакирова Г. И. Исследование эксплуатационных характеристик при смешивании материалов с одинаковой плотностью в двухбарабанном смесителе. *Техника и технология транспорта*. 2017;(2 (3)):1-9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29771632>
11. Savinyh P., Aleshkin A., Turbanov N., Ivanovs S. Investigation of impact of technological and structural parameters upon energy indicators of work of mixer. 19<sup>th</sup> International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT Proceedings – Jelgava. 2020;19:1338-1348. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF334>
12. Marczuk A., Misztal W., Savinykh P., Turubanov N., Zyryanov D. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters. *Eksplotacja I Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2019;21(2):220-225. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38947650>
13. Морозов В. В., Савельева Л. Н. Обоснование параметров барабанного смесителя сапропеле-минеральных удобрений. *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2016;(22 (27)):15-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29154928>
14. Хлыстунов В. Ф., Брагинцев С. В., Алферов А. С., Чернуцкий М. В. Влияние конструктивных и кинематических параметров на энергоёмкость процесса в наклонном шнековом смесителе. *Вестник Донского государственного технического университета*. 2018;18(4):408-413. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36680542>
15. Лозовой Н. М., Радинская Л. И., Лозовая С. Ю. Экспериментальные исследования зависимости коэффициента неоднородности смеси от технологических параметров в смесителе с изменяющейся рабочей камерой. *Техника и технология транспорта*. 2019;(S (13)):33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40999989>
16. Игнатенков В. Г., Лаппо Е. Л., Быченко Д. М. Результаты экспериментальных исследований универсального смесителя-измельчителя для производства витаминно-кормовых добавок на основе сапропеля. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018;(6(164)):166-171. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35467503>

#### References

1. Savinykh P. A., Sychugov Yu. V., Kazakov V. A., Chernyatev N. A. Feed plant for agricultural enterprise. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(6):131-137. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36346292>
2. Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Benova E. V. Advantages of modular design the small-scale formula-feed plants. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(6):141-145. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/FeYK7B0nROO>
3. Matyushev V. V., Bochkarev A. N., Semenov A. V., Chaplygina I. A. Issledovanie rezhimov raboty tsen-trobezhnogo smesitelya sypu-chikh komponentov. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2021;(4(44)):206-214. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.48136/2222-0364\\_2021\\_4\\_206](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_4_206)
4. Marczuk A., Sysuev V., Aleshkin A., Turubanov N., Tomporowski A. Theoretical studies of the interaction between screw surface and material in the mixer. *Materials* this link is disabled. 2021;14(4):962. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14040962>
5. Rybalkin N. A., Lebedev A. T., Pavlyuk R. V. Improvement of the process of mixing fodder in a valve mixer. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* = Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2020;(3(27)):78-84. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44085224>
6. Kikin N. O., Lebach A. V., Semidotskiy A. N. Various installation schemes of mixer blades with horizontal shaft position and their effect on mixing intensity. *Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials: Interacademic collection of articles. Pod red. V. S. Bogdanova*. Belgorod, 2018. pp. 201-205. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42997976>
7. Savinykh P. A., Aleshkin A. V., Kazakov V. A., Turubanov N. V., Chernyatev N. A., Zyryanov D. A., Saitov V. E. Mixer: patent RF, no. 2638978 2017. URK: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38291111>
8. Turubanov N. V., Medvedev O. Yu., Isupov A. Yu. Experimental studies of the mixing process in a horizontal mixer. *Society, Science, innovation (NPK-2016): sat. art. 2nd ed., revised and corrected*. Kirov: *Vyatskiy gosudarstvennyy universitet*, 2016. pp. 898-903.
9. Meshcheryakova A. A. Assessment of quality of mixing of loose materials. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* = Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2018;6(5 (41)):325-331. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36702433>
10. Sakhapov R. L., Shakirova G. I. Research of operational characteristics at mixing of materials with different densities in a single-drum mixer. *Tekhnika i tekhnologiya transporta* = Technique and Technology of Transport. 2017;(2 (3)):1-9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29771632>

11. Savinykh P., Aleshkin A., Turbanov N., Ivanovs S. Investigation of impact of technological and structural parameters upon energy indicators of work of mixer. 19<sup>th</sup> International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT Proceedings – Jelgava. 2020;19:1338-1348.

DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF334>

12. Marczuk A., Misztal W., Savinykh P., Turbanov N., Zyryanov D. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2019;21(2):220-225. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38947650>

13. Morozov V. V., Savelieva L. N. Substantiation of parameters of the drum mixer of sapropel and mineral fertilizers. *Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaokhnogo universiteta* = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2016;(22 (27));15-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29154928>

14. Khlystunov V. F., Braginets S. V., Alferov A. S., Chernutskiy M. V. Vliyaniye konstruktivnykh i kinematicheskikh parametrov na energoemkost' protsessa v naklonnom shnekovom smesitele. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Vestnik of Don State Technical University. 2018;18(4):408-413. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36680542>

15. Lozovoi N. M., Radinskaya L. I., Lozovaya S. Yu. Experimental studies of the dependence of the inhomogeneity coefficient of the mixture on the technological parameters in a mixer with a changing working chamber. *Tekhnika i tekhnologiya transport* = Technique and Technology of Transport. 2019;(S (13)):33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40999989>

16. Ignatenkov V. G., Lappo E. L., Bychenkov D. M. The results of experimental tests of multifunctional crushing mixer for production of sapropel-based vitamin feed supplement. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2018;(6(164)):166-171. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35467503>

#### **Сведения об авторах**

**Савиных Петр Алексеевич**, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

✉ **Турубанов Николай Валентинович**, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1446-6851>, e-mail: [nikolaytu@mail.ru](mailto:nikolaytu@mail.ru)

#### **Information about the authors**

**Petr A. Savinykh**, DSc in Engineering, professor, chief researcher, head of the laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

✉ **Nikolaj V. Turubanov**, PhD in Engineering, associate professor, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1446-6851>, e-mail: [nikolaytu@mail.ru](mailto:nikolaytu@mail.ru)

✉ – Для контактов / Corresponding author