

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108000>

Оригинальное исследование



Обоснование выбора частоты вращения рабочего колеса для оптимизации непрерывного режима смешивания в установке для приготовления жидких кормовых смесей

П.Н. Солонщиков

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Большая часть основной продукции животноводства в предстоящие годы будет производиться на фермах в условиях их коллективной аренды, а также в фермерских индивидуальных хозяйствах, что обеспечит интенсивное развитие отрасли.

Цель. Изучение процесса приготовления жидких кормовых смесей при различной частоте вращения рабочего колеса, разной температуре жидкости, с дальнейшей оптимизацией параметров.

Материалы и методы. Экспериментальная установка для приготовления жидких кормовых смесей представляет собой многофункциональное техническое устройство, способное выполнять 3 функции: дозирование материала (заменитель цельного молока), подача жидкости (функция нагнетания) и приготовление смеси (функция смесителя).

Результаты и применение. Исследование установок на базе лопастных насосов показало, что частота вращения n от 1750 до 3000 мин⁻¹ не всегда является эффективной. Тем не менее, при указанных значениях показатели производительности или подачи смеси оказываются наибольшими. Таким образом, проведение эксперимента будем планировать исходя из синхронности частот вращения электродвигателя и рабочего колеса: $n = 750, 1000, 1250, 1500$ и 1750 мин⁻¹. Использование асинхронного электродвигателя подразумевает учет скольжения s , составляющее 2–3%.

Выводы. Исследование смесительной установки при непрерывном режиме смешивания показывает, что при заданных конструктивных параметрах, не обязательно учитывать время смешивания, так как обработка смеси происходит мгновенно, т.е. за очень короткий промежуток времени $T = 0,02–0,006$ с. Экспериментальные исследования, с учетом числа неподвижных лопаток, показывают, что частота вращения рабочего колеса при различной температуре жидкости будет влиять на степень однородности смеси. Так при непрерывном режиме смешивания степень однородности составляет $\Theta = 85,2\%$, а при частоте вращения $n = 950–1490$ мин⁻¹, температура воды составляет $t = 20–24$ °С.

Ключевые слова: установка; смесь; температура; частота вращения рабочего колеса; степень однородности; фактор; жидкие кормовые смеси; смешивание; время.

Для цитирования:

Солонщиков П.Н. Обоснование выбора частоты вращения рабочего колеса для оптимизации непрерывного режима смешивания в установке для приготовления жидких кормовых смесей // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 5. С. 343–349. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108000>

Рукопись получена: 17.05.2022

Рукопись одобрена: 06.07.2022

Опубликована: 15.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108000>

Original Study Article

Justification of the impeller speed choice for optimization of the continuous mixing mode in a facility for preparation of liquid feed mixtures

Pavel N. Solonshchikov

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In the coming years, most of the main livestock production will be produced on farms under their collective lease, as well as on individual farms, which will ensure intensive development of the industry.

AIMS: The paper is devoted to the study of the liquid feed mixtures preparation under different impeller speeds, under different temperatures of the liquid and with further parameters optimization.

MATERIALS AND METHODS: The experimental facility for the liquid feed mixtures preparation is a multifunctional technical equipment, capable of performing following 3 functions: dosing of material (the whole milk replacer), liquid supply (the pumping function) and mixture preparation (the mixer function).

RESULTS: The study of facilities, based on blade pumps, revealed that the rotational speed n in the range of 1750 to 3000 min^{-1} is not always effective. Then, the indicators of performance or mixture supply are bigger for these values. Thus, the experiment is carried out based on the synchronism of the rotational speeds of the electric motor and the impeller: $n = 750, 1000, 1250, 1500$ and 1750 min^{-1} . The application of an asynchronous electric motor implies taking account of slip s being 2–3%.

CONCLUSIONS: The study of the mixing facility at the continuous mixing mode shows that it is not necessary to take the mixing time into account with given design parameters, as the mixture processing occurs instantly, for a very short time intervals $T_c = 0.02\text{--}0.006$ s. Experimental studies show that the impeller speed under different temperatures of the liquid affects the degree of the mixture homogeneity, while the number of fixed blades is also considered. Thus, in the continuous mixing mode, the degree of homogeneity Θ is 85.2% for a speed $n = 950\text{--}1490 \text{ min}^{-1}$, while the water temperature t is 20–24 °C.

Keywords: facility; mixture; temperature; impeller speed; degree of homogeneity; factor; liquid feed mixtures; mixing; time.

Cite as:

Solonshchikov PN. Justification of the impeller speed choice for optimization of the continuous mixing mode in a facility for preparation of liquid feed mixtures. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(5):343–349. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108000>

Received: 17.05.2022

Accepted: 06.07.2022

Published: 15.11.2022

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране развитию животноводства уделяется существенное внимание. Основная часть продукции животноводства в предстоящие годы будет производиться на фермах в условиях их коллективной аренды, а также в индивидуальных фермерских хозяйствах, что обеспечит интенсивное развитие отрасли.

В различных вариантах исследований смесительных установок выделяют основные показатели (факторы): частоту вращения различных смешивающих устройств; углы установки; высоту лопаток, если это касается лопастных смесителей; число неподвижных лопаток; температуру среды или одного из компонентов смеси. Конечно, частота вращения рабочего органа является наиболее значимым показателем, ведь от нее зависит не только качество смеси, но и энергетические показатели работы установки [1–6].

Как хорошо известно [2, 3, 4], в установках (смесителях), которые работают непрерывно, длительность смешивания равна времени пребывания смеси в аппарате, определяемому по размерам или длине каких-либо частей установки. Отметим, что время пребывания смеси в установке может отличаться для различных компонентов, при этом следует учитывать конструктивные и технологические параметры установки. Величину времени пребывания смеси можно оценить по формуле:

$$T_c \leq \frac{L_0}{v}, \quad (1)$$

где L_0 – рабочая длина смесителя, при которой обеспечивается смешивание, м; v – скорость движения смеси в продольном направлении (скорость выдачи), м/с.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является изучение процесса приготовления жидких кормовых смесей при различной частоте вращения рабочего колеса, при разной температуре жидкости, с дальнейшей оптимизацией параметров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная установка для приготовления жидких кормовых смесей представляет собой многофункциональное техническое средство, способное выполнять 3 функции: дозирование материала (заменитель цельного молока), подача жидкости (функция нагнетания) и приготовление смеси (функция смесителя) (рис. 1) [7].

В нашем случае установка представляет собой смеситель с рабочей камерой в виде корпуса лопастного насоса, где происходит процесс смешивания. При этом из формулы (1), видно, что рабочая длина L_0 будет составлять всего лишь $L_0 = 0,13$ м по размеру рабочего колеса и дисков с неподвижными лопатками, а окружающая

скорость составляет $v = 5,1–20,41$ м/с. Поэтому время пребывания смеси достаточно мало $T_c = 0,02–0,006$ с. Это говорит о том, что время работы смесителя при непрерывном режиме стремится к нулю $T_c \rightarrow 0$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование установок на базе лопастных насосов, указанных в работах [5–11] показало, что частота вращения n от 1750 до 3000 мин^{-1} не всегда является эффективной, хотя и при этих значениях достигаются большие показатели производительности или подачи смеси. Таким образом проведение эксперимента будем планировать исходя из синхронных частот вращения электродвигателя и рабочего колеса n : 750, 1000 и 1500 мин^{-1} . Для более точных показаний выберем шаг изменения частот – 250 мин^{-1} , т.е. получим следующий набор частот n : 750, 1000, 1250, 1500 и 1750 мин^{-1} . Заметим, что при использовании асинхронного электродвигателя следует учитывать наличие скольжения s , которое у данного электродвигателя составляет $s = 2–3\%$.

Экспериментальная часть работы проведена на специально созданном стенде [2–4], который позволяет отбирать пробы при двух режимах: непрерывном и периодическом.

Качество смеси, полученной при смешивании компонентов, определим с помощью степени однородности по методикам, изложенным в работе [7], выдерживая соотношение 1:8–1:10, то есть на 8 литров воды будет приходиться 1 кг заменителя молока, с допустимым отклонением $\Delta = \pm 20\%$.

Первый этап исследования – получение качественных показателей при непрерывном смешивании компонентов. Исследуем зависимость степени однородности смеси

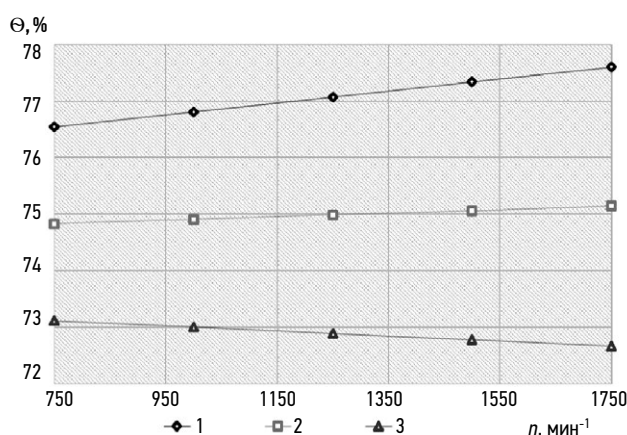


Рис. 1. График зависимости степени однородности Θ , %, при различной частоте вращения n , мин^{-1} рабочего колеса, при разных температурах воды t , °C ($Z = 12$ шт.): 1 – температура $t = 20$ °C; 2 – температура $t = 30$ °C; 3 – температура $t = 40$ °C.
Fig. 1. The plot of the homogeneity degree Θ (in %) depending on the impeller speed n , мин^{-1} , and water temperature t , °C (number of fixed blades Z is 12): 1 – the temperature t is 20 °C, 2 – the temperature t is 30 °C, 3 – the temperature t is 40 °C.

от частоты вращения рабочего колеса, то есть $\Theta = f(n)$. При этом изменяемым параметром будет температура воды t : 20, 30 и 40 °С. На рис. 1 представлена зависимость степени однородности смеси от частоты вращения рабочего колеса, при числе неподвижных лопаток $Z = 12$ шт.

По графику видно, что степень однородности растет при температурах воды $t = 20$ и 30 °С, а при температуре $t = 40$ °С, она убывает. Такое изменение, возможно, связано с тем, что вязкость жидкости при высоких температурах имеет значение меньше, чем при 20 °С, поэтому при большем взаимодействии рабочего колеса с неподвижными лопатками, происходит выбрасывание смеси к периферии рабочей камеры, и частицы корма не успевают смешаться с водой.

Дальнейшие исследования проводили при таких же параметрах частоты вращения и температуры воды, но увеличивали число неподвижных лопаток $Z = 18$ и 24 шт. Полученные зависимости представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

На графике (рис. 2) видно, что степень однородности смеси имеет вид параболы почти при каждой температуре. А при увеличении числа лопаток (рис. 3) характер зависимости в виде, убывающих по значению, параболических кривых.

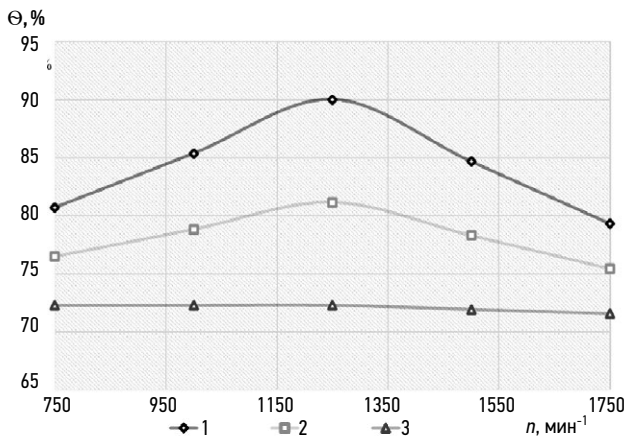


Рис. 2. График зависимости степени однородности Θ , %, при различной частоте вращения n , мин^{-1} рабочего колеса, при разных температурах воды t , °С ($Z = 18$ шт.): 1 – температура $t = 20$ °С; 2 – температура $t = 30$ °С; 3 – температура $t = 40$ °С.
Fig. 2. The graph of the degree of homogeneity Θ (in %) depending on the impeller speed n , мин^{-1} , and water temperature t , °С (number of fixed blades Z is 18): 1 – the temperature t is 20 °С, 2 – the temperature t is 30 °С, 3 – the temperature t is 40 °С.

Для оптимизации параметров частоты вращения реализуем план эксперимента на шестиугольнике, где в качестве фактора x_1 будет выступать частота вращения n , мин^{-1} , которая будет изменяться на пяти уровнях, а фактором x_2 будет температура смеси t °С. В качестве критерия оптимизации выберем степень однородности смеси $\Theta\%$ (y_1).

В таблице 1 представлен план эксперимента для 2-х варьируемых факторов, таким образом он будет составной частью полного факторного эксперимента (ПФЭ). Другая часть плана эксперимента – так называемые «звездные точки». Очевидно, что при числе факторов k имеется $2k$ звездных точек, таким образом общее число необходимых опытов будет равно:

$$N = 2^k + 2 \cdot k. \quad (2)$$

После реализации опытов по плану и последующей обработке экспериментальных данных получена математическая модель рабочего процесса:

$$y_1 = 81,15 - 0,52 \cdot x_1 - 5,65 \cdot x_2 - 5,19 \cdot x_1^2 + 0,17 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,003 \cdot x_2^2. \quad (3)$$

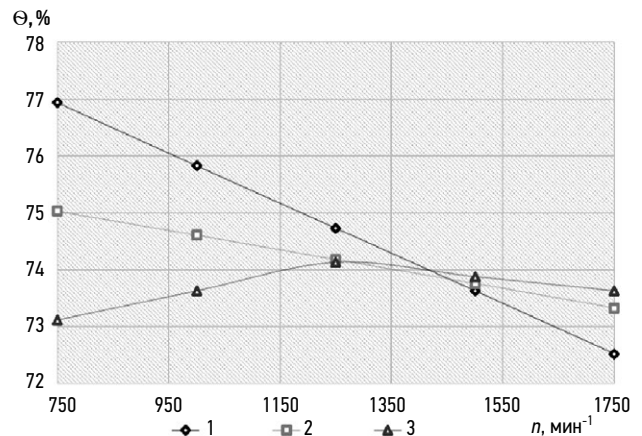


Рис. 3. График зависимости степени однородности Θ , %, при различной частоте вращения n , мин^{-1} рабочего колеса, при разных температурах воды t , °С ($Z = 24$ шт.): 1 – температура $t = 20$ °С; 2 – температура $t = 30$ °С; 3 – температура $t = 40$ °С.
Fig. 3. The graph of the degree of homogeneity Θ (in %) depending on the impeller speed n , мин^{-1} , and water temperature t , °С (number of fixed blades Z is 24): 1 – the temperature t is 20 °С, 2 – the temperature t is 30 °С, 3 – the temperature t is 40 °С.

Таблица 1. Факторы и уровни варьирования

Table 1. Factors and levels of variation

Факторы	Нормированные факторы	Уровни варьирования		
		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Частота вращения рабочего колеса n , мин^{-1}	x_1	750	1250	1750
Температура воды t , °С	x_2	20	30	40

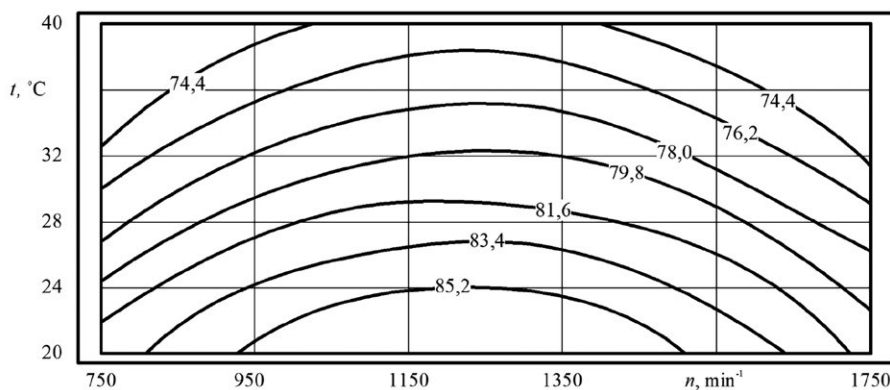


Рис. 4. Двумерное сечение поверхности отклика степени однородности Θ , %, в зависимости от частоты вращения n , min^{-1} и температуры воды t , $^{\circ}\text{C}$.

Fig. 4. The two-dimensional section of response surface of degree of homogeneity Θ (in %) depending on the impeller speed n , min^{-1} , and water temperature t , $^{\circ}\text{C}$.

Анализ математической модели (3) позволяет сделать вывод, что на степень однородности наибольшее влияние оказывает частота вращения n ($b_1 = -0,52$), так как она имеет наименьшее значение, а температура воды вносит значительный вклад.

Для наглядности полученных результатов были построены двумерные сечения (рис. 4) поверхности отклика, для чего в исходном уравнении оставляли по два фактора.

По двумерному сечению видно, что наибольшее значение степени однородности составляет 85,2% при частоте вращения $n = 950\text{--}1490 \text{ min}^{-1}$ и температуре воды $t = 20\text{--}24 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

ВЫВОДЫ

Исследование смесительной установки при непрерывном режиме смешивания показывает, что при заданных конструктивных параметрах, не обязательно учитывать время смешивания, так как обработка смеси происходит практически мгновенно, т.е. за очень короткий промежуток времени $T_c = 0,02\text{--}0,006 \text{ с}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мохнаткин В.Г., Шулятьев В.Н., Филинков А.С. и др. Программа и методика испытаний устройства ввода и смешивания порошкообразных компонентов с жидкостью // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», посвящённой 60-летию инженерного факультета: Сборник научных трудов. Киров: Вятская ГСХА, 2012. Вып. 13. С. 96–100.
2. Мохнаткин В.Г., Шулятьев В.Н., Филинков А.С. и др. Обзор устройств и установок для приготовления заменителей цельного молока и анализ их эффективности // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики.

Экспериментальные исследования показывают, что частота вращения рабочего колеса при различной температуре жидкости будет влиять на степень однородности смеси при учете числа неподвижных лопаток. Так при непрерывном режиме смешивания степень однородности составляет $\Theta = 85,2\%$ при частоте вращения $n = 950\text{--}1490 \text{ min}^{-1}$ и температуре воды $t = 20\text{--}24 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Competing interests. The author declares that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», посвящённой 60-летию инженерного факультета: Сборник научных трудов. Киров: Вятская ГСХА, 2012. Вып. 13. С. 101–105.

3. Патент РФ на полезную модель № 104022 / 10.05.2011; Бюл. № 13. Мохнаткин В.Г., Шулятьев В.Н., Филинков А.С. и др. Устройство для приготовления смесей. Режим доступа: https://i.moscow/patents/RU2544953C1_20150320 Дата обращения: 16.05.2022.

4. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 2008. 89 с. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/441/44138.pdf> Дата обращения: 16.05.2022.

5. Мохнаткин В.Г., Филинков А.С., Солонщиков П.Н. Многоцелевые насосы для интенсификации смешивания // Сельский механизатор. 2013. № 8. С. 25.
6. Филинков А.С., Солонщиков П.Н., Обласов А.Н. и др. Устройство для смешивания компонентов с жидкостью для приготовления питательных сред // Вестник Саратовского государственного университета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 10. С. 57–59.
7. Булатов С.Ю., Семенов С.В. Анализ конструкций технических средств приготовления зерновой патоки // Актуальные направления развития техники и технологий в России и за рубежом – реалии, возможности, перспективы: Материалы и доклады, Княгинино, 25 марта 2021 года. Княгинино: Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, 2021. С. 26–30.
8. Булатов С.Ю., Семенов С.В. Причинно-следственная диаграмма с положительными и отрицательными обратными связями процесса производства зерновой патоки // Проблемы современной науки и общества: сохранение и развитие наследия Великой Победы, Княгинино, 08–13 мая 2021г. Княгинино: Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, 2021. С. 105–112.

REFERENCES

1. Mokhnatkin VG, Shulyatiev VN, Filinkov AS, et al. The program and test procedure for the device for introducing and mixing powdered components with a liquid. *Improving the performance of agricultural energy. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "Science – Technology – Resource Saving", dedicated to the 60th anniversary of the Faculty of Engineering: Collection of scientific papers.* Kirov: Vyatskaya State Agricultural Academy; 2012. Iss. 13. P:96–100. (in Russ).
2. Mokhnatkin VG, Shulyatiev VN, Filinkov AS. Review of devices and installations for the preparation of whole milk substitutes and analysis of their effectiveness. *Improvement of operational indicators of agricultural energy. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "Science – Technology – Resource Saving", dedicated to the 60th anniversary of the Faculty of Engineering: Collection of scientific papers.* Kirov: Vyatskaya State Agricultural Academy; 2012. Iss. 13 P:101–105. (in Russ).
3. Patent RUS № 104022 / 10.05.2011; Byul. № 13. Mokhnatkin VG, Shulyatyev VN, Filinkov AS et al. *Ustroystvo dlya prigotovleniya smesey.* Available from: https://i.moscow/patents/RU2544953C1_20150320 (in Russ).
4. GOST 6134–2007. Nасosy dinamicheskie. Metody ispytaniy. M.: Izdatelstvo standar-tov, 2008. Available from: <https://files.stroyinf.ru/Data/441/44138.pdf> (in Russ).
5. Mokhnatkin VG, Filinkov AS, Solonshchikov PN. Multi-purpose pumps for intensive mixing. *Selskiy mekhanizator.* 2013;8:25. (in Russ).
6. Filinkov AS, Solonshchikov PN, Oblassov AN, et al. Device for mixing components with liquid for preparing culture media. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova.* 2013;10:57–59. (in Russ).
7. Bulatov SYu, Semenov SV. Analysis of the designs of technical means for the preparation of grain molasses. *Current trends in the*

9. Патент РФ № 146974/ 20.10.2014 Мохнаткин В.Г., Шулятьев В.Н., Филинков А.С., Солонщиков П.Н. и др. Установка для приготовления смесей. Режим доступа: https://i.moscow/patents/RU146974U1_20141020 Дата обращения: 16.05.2022.
10. Solonshchikov P., Savinykh P., Ivanovs S. Determination and optimization of feeding device parameters in the plant for preparing liquid feed mixtures // *RURAL sustainability research.* Vol. 45, N. 340. P. 13–20. doi: 10.2478/plua-2021-0003
11. Solonshchikov P., Barwicki J., Savinyh P., et al. Optimalization of design parameters of experimental installation concerning preparation of liquid feed mixtures // *Processes.* 2021. Vol. 9, N. 12. P. 2104. doi: 10.3390/pr9122104
12. Горбунов Р.М. Повышение эффективности функционирования центробежного молочного насоса путем совершенствования рабочих органов и оптимизации параметров. дис. ... канд. тех. наук. Киров, 2007.
13. Булатов С.Ю. Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств приготовления кормов в условиях малых форм хозяйствования. дис. ... док. тех. наук. Княгинино, 2018.

- development of engineering and technology in Russia and abroad – realities, opportunities, prospects: Materials and reports, Knyaginino, March 25, 2021.* Knyaginino: Nizhny Novgorod State Institute of Engineering and Economics, 2021. P:26–30. (in Russ).
8. Bulatov SYu, Semenov SV. Cause-and-effect diagram with positive and negative feedbacks of the grain molasses production process. *Problems of modern science and society: preservation and development of the legacy of the Great Victory, Knyaginino, May 08–13, 2021.* Knyaginino: Nizhny Novgorod State Institute of Engineering and Economics, 2021. P:105–112. (in Russ).
 9. Patent RUS № 146974/ 20.10.2014 Mokhnatkin VG, Shulyatyev VN, Filinkov AS, et al. *Ustanovka dlya prigotovleniya smesey.* Available from: https://i.moscow/patents/RU146974U1_20141020 (in Russ).
 10. 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
 11. Solonshchikov P, Barwicki J, Savinyh P, et al. Optimalization of design parameters of experimental installation concerning preparation of liquid feed mixtures. *Processes.* 2021;9(12):2104. doi: 10.3390/pr9122104
 12. Gorbunov RM. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya tsentrobezhnogo molochnogo nasosa putem sovershenstvovaniya rabochikh organov i optimizatsii parametrov. [dissertation] Kirov, 2007. (in Russ).
 13. Bulatov SYu. Razrabotka i sovershenstvovanie tekhnologicheskikh liniy i tekhnicheskikh sredstv prigotovleniya kormov v usloviyakh malykh form khozyaystvovaniya. [dissertation] Knyaginino, 2018. (in Russ).

ОБ АВТОРЕ

Солонщиков Павел Николаевич,

к.т.н.,

доцент кафедры технологического и энергетического оборудования;

адрес: Россия, 610017, Киров, Октябрьский пр-т, д. 133;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4695-7126>;

eLibrary SPIN: 2559-6921;

e-mail: solon-pavel@yandex.ru

AUTHOR'S INFO

Pavel N. Solonshchikov,

Cand. Sci. (Tech.),

Associate Professor of the Department of Process and Power Equipment;

address: 133 Oktyabrsky avenue, 610017 Kirov, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4695-7126>;

eLibrary SPIN: 2559-6921;

e-mail: solon-pavel@yandex.ru