

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО РЕЖИМА СМЕШИВАНИЯ КОРМОВЫХ КОМПОНЕНТОВ В СМЕСИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

STUDY OF THE CONTINUOUS MODE OF MIXING FEED COMPONENTS IN A MIXING PLANT

П.Н. СОЛОНЩИКОВ, к.т.н.
ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, Киров, Россия,
solon-pavel@yandex.ru

P.N. SOLONSHCHIKOV, PhD in Engineering
FGBOU VO Vyatskiy GATU, Kirov, Russia,
solon-pavel@yandex.ru

В статье рассматривается проблема по разработке средств, которые смогут повысить эффективность механизации процесса приготовления жидких кормов в животноводстве. Конструкторскими бюро, научно-исследовательскими и проектно-технологическими институтами механизации и электрификации сельского хозяйства разработаны новые прогрессивные технологии, а также комплекты, агрегаты, машины и аппараты для животноводства и кормопроизводства. На основе этой техники внедряется комплексная механизация ферм и создаются животноводческие комплексы с индустриальной технологией производства продукции. Но в последнее время широкого применения отечественных машин по приготовлению жидких кормовых смесей не наблюдается. Поэтому предлагается экспериментальная установка, совмещающая в себе три функции: дозатора, насоса и смесителя, позволяющего в конечном итоге получить смесь хорошего качества.

В статье приводится программа и методика исследований установки. Для этого разработан специальный стенд, позволяющий определять параметры качества смеси и удельных затрат электрической энергии. В качестве поиска оптимального сочетания факторов для критериев оптимизации: степень однородности и удельные затраты электрической энергии – был выбран план 32. Экспериментальные исследования показали диапазон подачи установки при различных частотах вращения вала рабочего колеса. Исследования по смешиванию подтвердили эффективность конструкции установки и ее составляющих устройств: дозатора, насоса и смесителя. С помощью методов планирования эксперимента выделены основные факторы влияющие на процесс смешивания, и определены оптимальные параметры качества смеси. По проведенным исследованиям по непрерывному внесению компонентов в экспериментальной установке для приготовления жидких кормовых смесей получили, что оптимальными сочетаниями факторов будет температура воды $t = 26...38$ °С и частота вращения $n = 1500...1650$ мин⁻¹, при этом степень однородности достигает $\Theta = 94,6$ %, удельные затраты электрической энергии $E_{эл} = 0,198$ кВт·ч/т.ед.ст.одн.

Ключевые слова: установка, смесь, температура, частота вращения рабочего колеса, степень однородности, удельные затраты электрической энергии, фактор, жидкие кормовые смеси.

Для цитирования: Солонщиков П.Н. Исследование непрерывного режима смешивания кормовых компонентов в смесительной установке // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 4. С. 71–76. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-4-71-76.

The article discusses the problem of developing means that can increase the efficiency of mechanization of the process of preparing liquid feed in animal husbandry. Design bureaus, research and technological institutes for mechanization and electrification of agriculture have developed new progressive technologies, as well as kits, units, machines and apparatus for animal husbandry and fodder production. On the basis of this technique, complex mechanization of farms is being introduced and livestock complexes with industrial production technology are being created. But recently, the widespread use of domestic machines for the preparation of liquid feed mixtures has not been presented. Therefore, an experimental setup is proposed that combines three functions: a batcher, a pump and a mixer, which ultimately allows to obtain a mixture of good quality.

The article provides a program and research methodology for the installation. For this, a special stand has been developed, which makes it possible to determine the parameters of the mixture quality and the specific consumption of electrical energy. As a search for the optimal combination of factors for the optimization criteria: the degree of homogeneity and the specific consumption of electrical energy, plan 32 was chosen. Experimental studies have shown the range of supply of the installation at different speeds of rotation of the impeller shaft. Mixing studies have confirmed the effectiveness of the design of the plant and its components: dispenser, pump and mixer. With the help of experimental planning methods, the main factors influencing the mixing process are identified, and the optimal parameters of the mixture quality are determined. According to the studies carried out on the continuous introduction of components in an experimental installation for the preparation of liquid feed mixtures, we obtained that the optimal combinations of factors would be the water temperature $t = 26...38$ °C and the rotation frequency $n = 1500...1650$ min⁻¹, while the degree of homogeneity reaches $\Theta = 94,6$ % and unit costs of electric energy $E_{el} = 0,198$ kWh/t.u. st.un.

Keywords: installation, mixture, temperature, impeller rotation frequency, degree of homogeneity, specific consumption of electrical energy, factor, liquid feed mixtures.

Cite as: Solonshchikov P.N. Study of the continuous mode of mixing feed components in a mixing plant. Traktory i sel'khoz mashiny. 2021. No 4, pp. 71–76 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-4-71-76.

Введение

В нашей стране развитию животноводства уделяется большое внимание. Большая часть основной продукции животноводства в предстоящие годы будет производиться на существующих фермах в условиях их коллективной аренды, а также в фермерских индивидуальных хозяйствах, что обеспечит интенсивное ведение отрасли.

Конструкторскими бюро, научно-исследовательскими и проектно-технологическими институтами механизации и электрификации сельского хозяйства разработаны новые прогрессивные технологии, а также комплекты, агрегаты, машины и аппараты для животноводства и кормопроизводства. На основе этой техники внедряется комплексная механизация ферм и создаются животноводческие комплексы с индустриальной технологией производства продукции.

Техническая оснащенность хозяйств влияет на производство животноводческой продукции через экономию живого труда при обслуживании животных, улучшение условий их содержания, повышение окупаемости кормов и т.д. Доля затрат овеществленного труда в стоимости валовой продукции животноводства повышается с применением средств механизации [1, 2].

В связи с переходом хозяйств на новые экономические отношения остро встала проблема комплексной механизации, так как экономический эффект на фермах может быть достигнут лишь при становлении их на механизированную основу с применением прогрессивных технологий ведения животноводства. Но при этом, для того чтобы восполнять поголовье животных, необходимо организовать правильное приготовление кормов и кормление молодняка, что в свою очередь позволит выполнить функцию замены взрослых животных.

Цель исследований

Изучение процесса приготовления жидких кормовых смесей на основе заменителя цельного молока с использованием экспериментальной установки при изменении настроечных параметров.

Материалы и методы

Экспериментальная установка для приготовления жидких кормовых смесей представляет собой многофункциональное техническое средство, способное выполнять 3 функции:

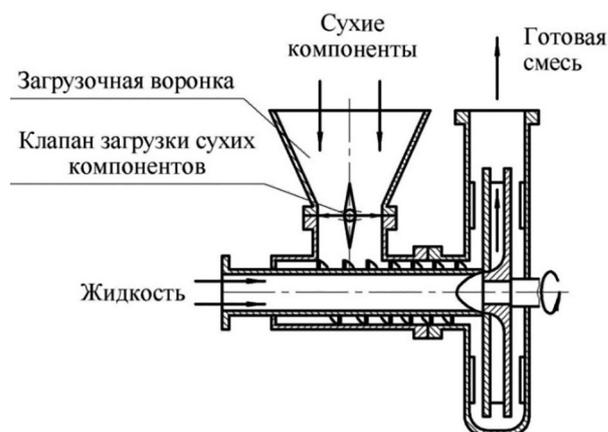


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для приготовления жидких кормовых смесей

Fig. 1. Scheme of an experimental setup for the preparation of liquid feed mixtures

дозирование материала (заменитель цельного молока), подачу жидкости (функция нагнетания) и приготовление смеси (функция смесителя) (рис. 1) [3–5].

Испытание установки проводили на специально созданном стенде (рис. 2), который позволяет отбирать пробы во время испытаний.

По проточной схеме установка работает следующим образом. Перед началом работы кран 11 закрывают, а краны 9, 10 открывают. После запуска электродвигателя открывают кран 6 и засыпают в загрузочную камеру 7 сухие компоненты. Полученная смесь поступает в бак 3 [6].

Качество смеси, полученной при смешивании компонентов, определим с помощью степени однородности, который характеризует завершенность процесса в целом [7]:

$$\Theta = \frac{\Phi_0(z_i)}{\Phi(z-3)} = \frac{\Phi_0(z_i)}{0,9973}, \quad (1)$$

где Φ_0 – нормированная функция Лапласа.

Доля частиц контрольного компонента в смеси находится в заданных пределах $\pm\Delta$; при этом $0 < \Theta < 1$. Предельному случаю полного смешивания соответствует значение $\Theta = 1$. Рецепт соотношения компонентов была принята исходя из зоотехнических требований, соответственно в интервале от 1:8...1:10, то есть на 8 л воды 1 кг заменителя молока, отклонение допустимое $\Delta = \pm 20\%$. Таким образом, формулу (1) нужно преобразовать с учетом этих допущений так, что в знаменателе будет не число 0,9973, которое близко смешиванию компонентов в соотношении 1:1,

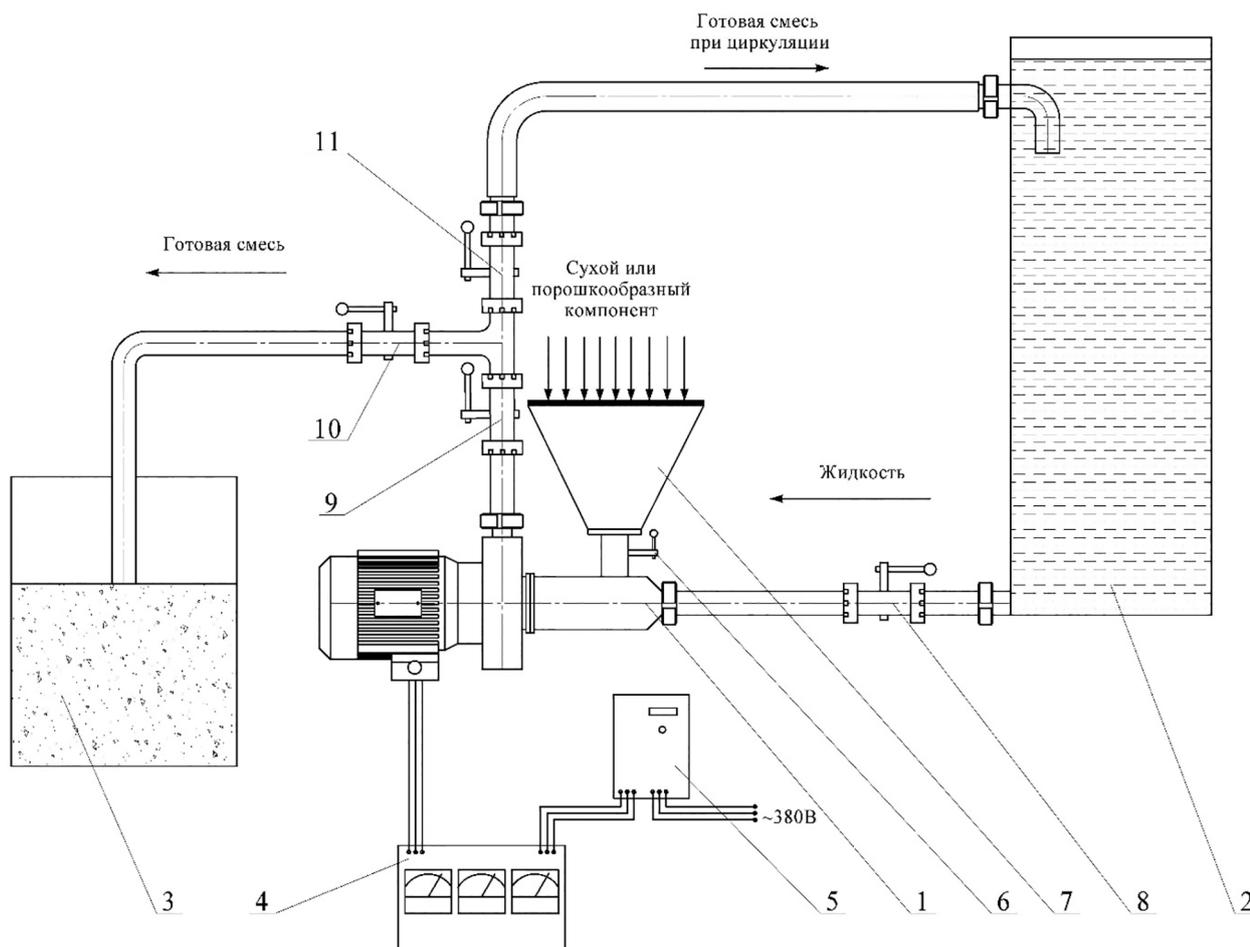


Рис. 2. Схема работы установки с открытым контуром:

1 – установка; 2 – бак с водой; 3 – бак с готовой смесью; 4 – мультиметр DMK-20; 5 – частотный преобразователь; 6 – клапан загрузки компонентов; 7 – загрузочная камера; 8, 9, 10, 11 – шаровые краны

Fig. 2. Scheme of the setup with an open circuit: 1 – setup; 2 – water tank; 3 – ready-mix tank; 4 – DMK-20 multimeter; 5 – frequency converter; 6 – component loading valve; 7 – loading chamber; 8, 9, 10, 11 – ball valves

а будет интервал от 0,125 до 0,1, что соответствует соотношению 1:8...1:10:

$$\Theta = \frac{\Phi_o(z_i)}{0,125...0,1} \quad (2)$$

Для оценки качества работы смесительной установки используем один из показателей, такой как удельные энергозатраты, отнесенные к единице массы готового продукта, определяемый по формуле (кВт·ч/т):

$$q = \frac{P}{Q_{\text{ч}}} \quad (3)$$

где P – мощность, потребляемая установкой, кВт; $Q_{\text{ч}}$ – часовая производительность установки, м³/ч или т/ч.

Формула (3) является универсальной, но она не учитывает характер качества по-

лученного продукта, поэтому лучше ввести такой показатель, как удельные энергозатраты электрической энергии, учитывающий степень однородности смеси, который определим по формуле (кВт·ч/т.ед.ст.одн.):

$$\Theta_{\text{эл}} = \frac{P}{Q_{\text{ч}} \cdot \Theta} \quad (4)$$

Мощность, расходуемая электродвигателем, который приводит в движение установку, определим по формуле [2, 5]:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi = U_{\text{л}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение сети, В; $I_{\text{ф}}$ – сила тока фазная, учитывая, что соединение «звезда», то $I_{\text{ф}} = I_{\text{л}}$ – линейная сила тока, А; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности электродвигателя.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования установки как насоса позволили получить следующие данные по производительности: при частоте вращения $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, производительность $Q_{\text{ч}} = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$, $n = 2250 \text{ мин}^{-1} - Q_{\text{ч}} = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$, а при $n = 1500 \text{ мин}^{-1} - Q_{\text{ч}} = 8 \text{ м}^3/\text{ч}$ [8, 9].

Для оценки качества смешивания при непрерывном внесении компонентов, выделили 2 фактора, которые будут влиять на критерии оптимизации: степень однородности и удельные энергозатраты электрической энергии $\Theta_{\text{эл}}$. Для этого составили план эксперимента 3^2 (табл. 1) [11]. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

По результатам исследования получили следующие уравнения регрессии для степени однородности $\Theta (y_1)$ и удельных энергозатрат электрической энергии $\Theta_{\text{эл}} (y_2)$:

$$\Theta = 91,28 - 1,83 \cdot x_1 + 2,6 \cdot x_2 + 2,56 \cdot x_1^2 + 1,87 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2,29 \cdot x_2^2. \quad (6)$$

$$\Theta_{\text{эл}} = 0,205 + 0,004 \cdot x_1 - 0,006 \cdot x_2 - 0,005 \cdot x_1^2 + 0,0045 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,005 \cdot x_2^2. \quad (7)$$

С помощью программных приложений Microsoft Office Excel 2007 и Statgraphics Plus 5.0, были произведены расчеты оценок коэффициентов регрессии; при этом была оценена их значимость, проверена адекватность полученных моделей, по которым строили двумерные сечения поверхностей откликов. Расчеты, проведенные по определению среднего значения отклика и расчетного значения критерия оптимизации, определяли в среде Microsoft Office Excel 2007. В уравнениях (6) и (7), наибольшее влияние на степень однородности смеси и удельные энергозатраты электриче-

Таблица 1

План эксперимента 3^2

Table 1. Plan of 3^2 experiment

Название факторов и единицы их измерения	Кодированное обозначение факторов	Уровни факторов			Интервал варьирования
		нижний -1	средний 0	верхний +1	
Частота вращения рабочего колеса, n , мин^{-1}	x_1	1500	2250	3000	500
Температура воды, t , $^{\circ}\text{C}$	x_2	20	30	40	10

Таблица 2

Результаты исследований по определению степени однородности и удельных энергозатрат электрической энергии

Table 2. Research results to determine the degree of homogeneity and specific energy consumption of electrical energy

Уровни варьирования	Факторы		Критерии оптимизации	
	Частота вращения рабочего колеса, n , мин^{-1}	Температура воды, t , $^{\circ}\text{C}$	Степень однородности, Θ , %	Удельные энергозатраты электрической энергии, $\Theta_{\text{эл}}$, кВт·ч/т.ед.ст.одн.
	x_1	x_2	y_1	y_2
Верхний +1	3000	40	–	–
Основной 0	2250	30	–	–
Нижний -1	1500	20	–	–
1	-1	-1	92,52	0,203
2	0	-1	86,45	0,217
3	+1	-1	85,28	0,220
4	-1	0	94,61	0,198
5	0	0	93,75	0,200
6	+1	0	90,61	0,207
7	-1	+1	95,31	0,197
8	0	+1	89,04	0,211
9	+1	+1	95,55	0,196

ской энергии оказывает температура воды ($b_2 = 2,6$ и $b_2 = -0,006$).

Оценки коэффициентов регрессии считались значимыми с 95%-й доверительной вероятностью при величине P-Value [10, 11], приведенной в таблице дисперсионного анализа, не превышающей 0,05. Анализируя сечение (рис. 3, а), можно сделать вывод, что при температуре воды $t = 26...38$ °С и частоте вращения $n = 1500...1650$ мин⁻¹ достигли максимального значения степени однородности $\Theta = 94,6$ %. По двумерному сечению (рис. 3, б) видно, что наименьшие затраты электрической энергии достигаются при сочетании факторов $t = 26...38$ °С и частоте вращения $n = 1500...1650$ мин⁻¹ и значение составляет $\Theta_{эл} = 0,198$ кВт·ч/т.ед.ст.одн.

Полученные результаты показывают, что при увеличении температуры уменьшается начальная вязкость воды, что в дальнейшем способствует качественному смешиванию компонентов. При этом, если подача будет достаточно большой, то качество смеси будет ухудшаться и увеличивается потребление энергии.

Выводы

По проведенным исследованиям по непрерывному внесению компонентов в экспериментальной установке для приготовления жидких кормовых смесей, получили что оптимальными сочетаниями факторов будет температура воды $t = 26...38$ °С и частота вращения

$n = 1500...1650$ мин⁻¹, при этом степень однородности достигает $\Theta = 94,6$ % и удельные затраты электрической энергии $\Theta_{эл} = 0,198$ кВт·ч/т.ед.ст.одн.

Литература

1. Булатов С.Ю. Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств приготовления кормов в условиях малых форм хозяйствования: дис. ... докт. техн. наук. Княгинино, 2018. 412 с.
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. Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение», посвященной 60-летию инженерного факультета: сборник научных трудов. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2012. Вып. 13. С. 101–105.
3. Мохнаткин В.Г., Шулятьев В.Н., Филинков А.С., Солонщиков П.Н. и др.; заявитель ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА. Установка для приготовления смесей: патент № 146974 Российской Федерации, МПК 29С9/00, А01J11/16, В01F7/02. № 2014121853/10; заявл. 29.05.2014, опубл. 20.10.2014; . 2 с.
4. Мохнаткин В.Г., Филинков А.С., Солонщиков П.Н. Многоцелевые насосы для интенсификации смешивания // Сельский механизатор. 2013. № 8. С. 25.
5. Мохнаткин В.Г., Шулятьев В.Н., Филинков А.С. и др. Устройство для приготовления смесей: патент на полезную модель 104022 РФ, МПК

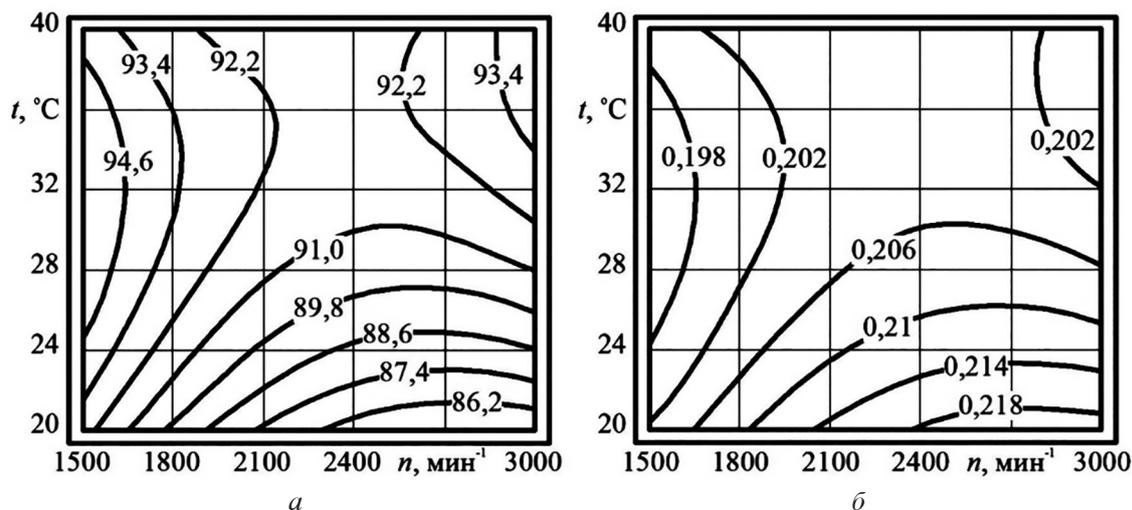


Рис. 3. Двумерные сечения поверхности отклика для степени однородности Θ , % (а) и удельных энергозатрат электрической энергии $\Theta_{эл}$, кВт·ч /т.ед.ст.одн., (б) в зависимости от частоты вращения рабочего колеса n , мин⁻¹, и температуры воды t , °С

Fig. 3. Two-dimensional sections of the response surface for the degree of homogeneity Θ , % (а) and specific energy consumption of electrical energy $E_{эл}$, kW·h /t.d. h. (b) depending on the frequency of rotation of the impeller n , min⁻¹ and water temperature t , °С

A23C11/00. № 2010152132/10; заявл. 20.12.2010. Бюл. 2011. № 13.

6. 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», посвященной 60-летию инженерного факультета: сборник научных трудов. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2012. Вып. 13. С. 96–100.
7. Алешкин В.Р. Статистическая оценка качества смешивания кормов // Сб. науч. тр. Перм. с.-х. ин-т. Пермь, 1983. С. 3–9.
8. Филинков А.С., Солонщиков П.Н., Обласов А.Н. и др. Устройство для смешивания компонентов с жидкостью для приготовления питательных сред // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2013. № 9. С. 50–53.
9. Оболенский Н.В., Булатов С.Ю., Свистунов А.И. Исследование процесса смешивания компонентов комбикорма // Вестник научных конференций. 2015. № 1–1 (1). С. 111–117.
10. Андреев В.Л. Использование статистического пакета Statgraphics Plus 5.1 для обработки результатов экспериментальных исследований: методическое пособие. Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2012. 32 с.
11. Алешкин В.Р., Филинков А.С. Основы научных исследований: тетрадь для лабораторных работ. Изд. 3-е переработ. и доп. Киров: Вятская ГСХА, 2010. 45 с.

References

1. Bulatov S.YU. Razrabotka i sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh liniy i tekhnicheskikh sredstv prigotovleniya kormov v usloviyakh malykh form khozyaystvovaniya: dis. ... dokt. tekhn. nauk [Development and improvement of technological lines and technical means for the preparation of feed in the conditions of small-scale farming: Dissertation for Degree of DSc in Engineering]. Knyaginino, 2018. 412 p.
2. Mokhnatkin V.G., Shulyat'yev V.N., Filinkov A.S. i dr. Overview of devices and installations for the preparation of full milk substitutes and analysis of their effectiveness. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka – Tekhnologiya – ResursosberezheniYE», posvyashchennoy 60-letiyu inzhenernogo fakul'teta: Sbornik nauchnykh trudov [Improving the performance indicators of agricultural energy. Materials 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: FGBOU VPO Vyatskaya GSKHA, 2012. Vyp. 13, pp. 101–105 (in Russ.).

3. Patent No 146974 Rossiyskaya Federatsiya, MPK 29C9/00, A01J11/16, V01F7/02. Ustanovka dlya prigotovleniya smesey [Installation for the preparation of mixtures]: No 2014121853/10; yayavl: 29.05.2014: opubl. 20.10.2014 / V.G. Mokhnatkin, V.N. Shulyat'yev, A.S. Filinkov, P.N. Solonshchikov i dr.; yayavitel' FGBOU VPO Vyatskaya GSKHA. 2 p.
4. Mokhnatkin V.G., Filinkov A.S., Solonshchikov P.N. Multipurpose pumps for mixing intensification. Sel'skiy mekhanizator, 2013. No 8, pp. 25.
5. Patent na poleznuyu model' 104022 RF, MPK A23C11/00. Ustroystvo dlya prigotovleniya smesey [Mixing device] / V.G. Mokhnatkin, V.N. Shulyat'yev, A.S. Filinkov, i dr. No 2010152132/10; Zayavleno 20.12.2010. Byul. 2011. No 13.
6. Mokhnatkin V.G., Shulyat'yev V.N., Filinkov A.S. i dr. Program and methodology for testing the device for introducing and mixing powder components with liquid. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley sel'skokhozyaystvennoy energetiki. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka – Tekhnologiya – ResursosberezheniYE», posvyashchennoy 60-letiyu inzhenernogo fakul'teta: Sbornik nauchnykh trudov [Improving the performance indicators of agricultural energy. Materials 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: FGBOU VPO Vyatskaya GSKHA, 2012. Vyp. 13, pp. 96–100 (in Russ.).
7. Aleshkin V.R. Statistical assessment of the quality of mixing feed. Sb. nauch. tr. Perm. s.-kh. in-t. Perm', 1983, pp. 3–9 (in Russ.).
8. Filinkov A.S., Solonshchikov P.N., Oblasov A.N. i dr. A device for mixing components with a liquid for the preparation of culture media. Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova. 2013. No 9, pp. 50–53 (in Russ.).
9. Obolenskiy N.V., Bulatov S.YU., Svistunov A.I. Investigation of the process of mixing feed components. Vestnik nauchnykh konferentsiy. 2015. No 1–1 (1), pp. 111–117 (in Russ.).
10. Andreyev V.L. Ispol'zovaniye statisticheskogo paketa Statgraphics Plus 5.1 dlya obrabotki rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy [Using the statistical package Statgraphics Plus 5.1 for processing the results of experimental studies]: Metodicheskoye posobiye. Kirov: FGBOU VPO Vyatskaya GSKHA Publ., 2012. 32 p.
11. Aleshkin V.R., Filinkov A.S. Osnovy nauchnykh issledovaniy: tetrad' dlya laboratornykh rabot [Fundamentals of research: workbook for laboratory works]. Izd. 3-e pererabot. i dop. Kirov: Vyatskaya GSKHA Publ., 2010. 45 p.