

НАУЧНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

Мотовилов К.Я., Волончук С.К., Науменко И.В., Резепин А.И.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологии РАН Сибирский научно-исследовательский и технологический институт переработки сельскохозяйственной продукции, Краснообск, e-mail: volonchuk2015@yandex.ru

Цель работы – создание инновационных технологий получения кормовой добавки с использованием растительного и животного сырья. Статья обобщает научные и технические аспекты, являющиеся основой при разработке технологий производства белково-углеводной кормовой добавки, фрагменты которых отражены в ранее опубликованных авторами работах. В связи с этим в статье приведены (использованы) методы теоретических и экспериментальных исследований и результаты анализа данных, полученных авторами в 2018–2020 гг., отражающих основные этапы процесса создания технологии производства кормовой добавки для кормления сельскохозяйственных животных. Анализ научных источников показал, что для создания полноценной кормовой добавки целесообразно использовать в качестве сырья зерно пшеницы, молочную сыворотку и пшеничные отруби. Приводятся данные по составу физиологически ценных пищевых веществ компонентов кормовой добавки, влияющих на продуктивный потенциал крупного рогатого скота. В целях повышения доступности и усвояемости физиологически ценных пищевых веществ компонентов кормовой добавки они подвергаются конверсии путем физическо-химических воздействий, виды которых приводятся в статье. На основании анализа данных разработана технологическая схема производства белково-углеводной кормовой добавки, в которой приведена последовательность операций получения кормовой добавки: очистка, деструкция зерна пшеницы инфракрасной обработкой, ферментативный гидролиз его в среде молочной (подсырной) сыворотки с получением патоки, содержащей сахара в количестве $20,8 \pm 0,2\%$, обогащение ее белками и клетчаткой пшеничных отрубей, инфракрасная сушка до влажности $9 \pm 2\%$. Кормовая добавка, при сушке с плотностью потока ИК излучения $17,5 \text{ кВт/м}^2$, содержит сахаров – $30 \pm 0,5\%$, белка – $18,0 \pm 0,4\%$, клетчатки – $7,0 \pm 0,2\%$. Процесс сушки описывается регрессионной зависимостью содержания сахаров в кормовой добавке от исходной влажности сырой кормовой добавки и плотности потока ИК-излучения. Важным аспектом научного подхода при разработке технологии является использование принципов системы ХАССП на всех её этапах. Это обеспечивает качество и безопасность кормовой добавки. Приводятся результаты исследования микробиологической загрязненности добавки. Значения источников порчи, плесени и дрожжей, не превышают допустимые нормы.

Ключевые слова: зерно, сыворотка, отруби, патока, ИК-излучение, ферментативный гидролиз, технология, кормовая добавка, качество

SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASPECTS OF PRODUCTION TECHNOLOGIES OF PROTEIN-CARBOHYDRATE FEED ADDITIVES

Motovilov K.Ya., Volonchuk S.K., Naumenko I.V., Rezepin A.I.

*Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology, Russian Academy of Sciences
Siberian Research and Technological Institute for Processing Agricultural Products,
Krasnoobsk, e-mail: volonchuk2015@yandex.ru*

The purpose of the work is to create innovative technologies for obtaining a feed additive using plant and animal raw materials. The article summarizes the scientific and technical aspects that are the basis for the development of technologies for the production of a protein-carbohydrate feed additive, fragments of which are reflected in the works published by the authors earlier. In this regard, the article presents (uses) the methods of theoretical and experimental studies and the results of the analysis of data obtained by the authors in the period 2018-20, reflecting the main stages of the process of creating a technology for the production of a feed additive for feeding farm animals. Analysis of scientific sources has shown that to create a full-fledged feed additive, it is advisable to use wheat grain, whey and wheat bran as raw materials. The data on the composition of physiologically valuable nutrients of feed additive components that affect the productive potential of cattle are presented. In order to increase the availability and assimilation of physiologically valuable nutrients of the components of the feed additive, they are converted by physical and chemical effects, the types of which are given in the article. Based on the analysis of the data, a technological scheme for the production of a protein-carbohydrate feed additive was developed, which shows the sequence of operations for obtaining a feed additive: cleaning, destruction of wheat grain by infrared treatment, its enzymatic hydrolysis in a milk (cheese) whey medium to obtain molasses containing sugar in an amount of $20,8 \pm 0,2\%$, enrichment with proteins and fiber of wheat bran, infrared drying to a moisture content of $9 \pm 2\%$. The feed additive, when dried with a flux density of IR radiation of $17,5 \text{ kW / m}^2$, contains sugars – $30 \pm 0,5\%$, protein – $18,0 \pm 0,4\%$, fiber – $7,0 \pm 0,2\%$. The drying process is described by the regression dependence of the sugar content in the feed additive on the initial moisture content of the raw feed additive and the IR radiation flux density. An important aspect of the scientific approach in the development of technology is the use of the principles of the HACCP system at all its stages. This ensures the quality and safety of the feed additive. The results of the study of microbiological contamination of the additive are presented. The values of sources of spoilage, mold and yeast, do not exceed the permissible limits.

Keywords: grain, whey, bran, molasses, IR radiation, enzymatic hydrolysis, technology, feed additive, quality

В публикациях последних лет обращается внимание на несбалансированность компонентов в рационах крупного рогатого скота (КРС), в частности недостаток легкоперевариваемых углеводов (ЛПУ). В качестве источников углеводов в рационах животных в России принято использовать сахарную свеклу, мелассу, побочный продукт ее переработки, и различные патоки [1–5].

Следует отметить, что производство сахарной свеклы является трудоемким и дорогостоящим процессом. Хранят сахарную свеклу при низких температурах в зимний период. При оттепелях и к марту содержание сахара снижается в два раза по отношению к окончанию её уборки в осенний период. Кроме того, в Западной Сибири её выращивают в Алтайском крае, и перевозка на дальние расстояния к фермам крупного рогатого скота значительно удорожает конечный продукт.

Из источников [1, 3] известно, что при добавлении в корм животных большого количества мелассы нужно учитывать, что она содержит щелочные соли органических кислот, вызывающих раздражение пищеварительного тракта и ацидоз животных. Кроме того, практически все виды мелассы имеют превышение содержания по нитратам. Более 10 лет назад, при ПДК 1500 мг/кг, фактическое содержание в корме было до 9000 мг/кг. Возможно, этот показатель связан с высокими дозами внесения азотных удобрений [5]. Так как меласса является побочным продуктом переработки сахарной свеклы, то её транспортировка на дальние расстояния, как и у свеклы, удорожает конечный продукт.

В последние годы исследования ученых направлены на разработку различных кормовых паток из зерновых культур, являющихся источником легкоперевариваемых углеводов (ЛПУ) [1, 4, 6–8]. Это объясняется тем, что недостаток (ЛПУ) в рационах крупного рогатого скота отрицательно сказывается на надоях молока и приросте массы. Зерновые культуры в больших количествах выращиваются по всей стране, хранение их не представляет проблем. Некоторые крупные животноводческие хозяйства имеют собственные поля для выращивания зерновых культур, т.е. транспортные затраты сведены к минимуму. Недостатком кормовой патоки является необходимость скармливать ее сразу после изготовления, либо хранить при температурах 4–6 °С, так как она служит питательной средой для развития микроорганизмов, в частности плесеней и грибов, которые делают патоку небезопасной. Это ведет к увеличению расходов

на производство молока и всей цепочки молочных продуктов.

Из опубликованных по результатам наших исследований работ [8, 9] известно, что в патоке из зернового сырья, получаемой по разработанной в СибНИТИП технологии, содержание сахаров составляло $17,0 \pm 2\%$. В ней мало белка и отсутствует клетчатка, необходимая животному для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в пищеварительном процессе.

Для повышения питательной ценности патоки можно использовать молочную сыворотку при производстве патоки и дополнить её белками и клетчаткой, используя пшеничные отруби [8–10]. При этом патока насыщается физиологически ценными пищевыми веществами.

Молочная сыворотка является отходом переработки молока. Известно, что она содержит 94% воды, 0,3% белка, 3–5% жира и имеет кислотность 5,5 рН единиц [11]. При этом нужно учитывать, что сыворотка хранится не более двух суток при температуре 6 °С [7].

Пшеничные отруби – побочный продукт мукомольной промышленности, содержащий физиологически ценные пищевые вещества: белки – 15%, углеводы – 16%, клетчатку – 43,6%. Они в незначительных количествах используются в рационах кормления животных.

Кормовая добавка в виде смеси патоки на основе молочной сыворотки и пшеничных отрубей может скармливаться сразу после получения, либо высушиваться для длительного хранения [10]. Важным аспектом научного обеспечения при разработке технологии производства кормовой добавки является обязательность использования принципов системы ХАССП [12]. Это является гарантом её качества и безопасности.

Исходя из изложенного, была поставлена цель обобщить опубликованные ранее результаты исследований, дополнив их новыми данными, в научные и технические аспекты создания технологии получения сухой кормовой добавки для кормления крупного рогатого скота, представив её в виде технологической схемы процесса получения кормовой добавки.

Материалы и методы исследования

Методы исследования предполагали на первом этапе изучение научной литературы, относящейся к рассматриваемой проблеме, и оценку различных способов её решения.

На основании данных, полученных на первом этапе, осуществили подбор материалов (сырья). Для разработки кормовой

добавки были использованы: зерно пшеницы сорта Новосибирская 31, 4-го класса (ГОСТ 52554-2006. Пшеница. Технические условия. Москва. Стандартинформ, 2006. Поправки ИУС № 3 2011 г. 12 с.), сыворотка молочная подсырная несоленая по ГОСТ 34352-2017. Сыворотка молочная – сырье. Технические условия. Москва. Стандартинформ, 2018. 7 с., являющаяся отходом производства сыра на ООО «Фабрика Фаворит» в Новосибирской области, отруби пшеничные по ГОСТ 7169-2017 Отруби пшеничные. Технические условия. Москва. Стандартинформ, 2018. 6 с, являющиеся отходом производства муки на Новосибирском мелькомбинате № 1.

Зерно очищали от примесей, кондиционировали, обрабатывали инфракрасным излучением с целью его деструкции. Степень деструкции определяли по ГОСТ 29177-91 Зерно. Методы определения состояния (степени деструкции) крахмала. Москва. ИПК Издательство стандартов, 2004. Дата актуализации 01.01.2021. 7 с.

Для получения навесок зерна использовали весы SJ-6200CE.

Затраты электроэнергии определяли счетчиком СОЭ-5250-11ш, соответствующим требованиям ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», подраздел 7.5 ГОСТ 31819.21-2012 «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока Частные требования. Часть 21. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2».

Влажность зерна при кондиционировании, кормовой добавки сырой и сушеной определяли по ГОСТ 13586.5-2015 Зерно. Метод определения влажности. Москва. Стандартинформ, 2019. 19 с.

Общий сахар в патоке и кормовой добавке определяли по ГОСТ 26176-2019 Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. Москва. Стандартинформ, 2019. 16 с.

Содержание белковой фракции определяли на анализаторе Инфралюм ФТ-12.

Определение количества дрожжевых и плесневых грибов проводили согласно

ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. Москва. Стандартинформ, 2014, 17с. С поправкой, опубликованной в ИУС № 7, 2016 год.

ИК-обработанное зерно смешивали с молочной сывороткой в соотношении 1:5 в баке установки роторно-импульсного типа МАГ.

Смешивали пшеничные отруби и патоку до влажности 40% (патока – 1,0 кг / отруби – 0,65 кг), 50% (патока – 1,0 кг / отруби – 0,5 кг), 60% (патока – 1,0 кг / отруби – 0,39 кг).

Для определения статистически оптимальных параметров сушки, по плану полного двухфакторного эксперимента, сырую кормовую добавку сушили инфракрасным излучением при плотностях потока ИК 15,0; 17,5; 20,0 кВт/м², которые были установлены в наших предыдущих исследованиях [9, 10].

На основании результатов экспериментов разрабатывалась технологическая схема производства белково-углеводной кормовой добавки. Были изучены её безопасность и качество в соответствии с требованиями системы ХАССП.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования литературных источников установлено, что использование мелассы сахарной свеклы в качестве добавки к кормам нежелательно в связи с отрицательными последствиями для пищеварительной системы животного [1, 3, 5]. Более полезным является использование патоки из зерна пшеницы, ржи [1, 4, 6, 7]. Установлено также, что питательную ценность кормовой патоки можно увеличить за счет физиологически ценных пищевых веществ, заменив воду сывороткой молочной и добавив в патоку пшеничные отруби, получая белково-углеводную добавку [8–10]. Количественный состав физиологически ценных пищевых веществ рецептурных компонентов добавки представлен в табл. 1 [8–10].

Таблица 1

Количество физиологически ценных пищевых веществ рецептурных компонентов

Перечень пищевых веществ (БАВ)	Количество пищевых веществ, мас. %		
	Зерно (ИК) пшеницы	Сыворотка молочная	Отруби пшеничные
Углеводы (сахара)	66	3,5	16,0
Белок	13,9	0,8	15,5
Клетчатка	11,3	0	43,6
Итого	91,2	4,3	75,1

Результатами наших предыдущих исследований установлено [9, 10], что при обработке зерна ИК-излучением визуально наблюдалось изменение объемов частей зерна. По данным Д.С. Кочанова это объясняется тем, что поглощение влагой энергии ведет к быстрому нагреву зерна, испарению влаги и повышению давления внутри зерновки, что приводит к образованию внутренних напряжений вследствие неравномерности линейного расширения разных частей зерновки из-за её сложного строения и изменения плотности потока ИК-излучения по глубине. Процесс внутренней десорбции влаги приводит к образованию капиллярно-пористой структуры зерновки. ИК-облучение зерна вызывает значительное (до 98%) расщепление крахмала до сахаров, на 3–5% увеличивается количество щелочерастворимых белков, степень декстринизации крахмала при 150 °С составляет 56,4% при времени облучения 45 с и 54,6% при времени – 60 с [13, 14]. В наших исследованиях степень деструкции 47,457 мг/г сухого вещества крахмала установлена при плотности потока ИК-излучения 23 кВт/м² и продолжительности обработки 70 ± 5 с. По аналогии с данными, приведенными в [15], образующиеся декстрины из крахмала имеют свободные ковалентные связи, к которым легко присоединяются молекулы ферментов, что способствует ускорению и снижению энергозатрат при ферментативном гидролизе.

Ферментативным гидролизом зерна в среде молочной сыворотки была получена патока, содержащая 20,8 ± 0,2% сахаров. В результате смешивания патоки с пшеничными отрубями получена сырая кормовая добавка, содержащая физиологически ценные пищевые вещества: сахара, белки и клетчатку. Варианты сырой кормовой добавки сушили инфракрасным излучением до влажности 9 ± 1%. Статистической обработкой результатов сушки установлена достоверная на уровне 0,05 зависимость содержания сахаров в кормовой добавке от её влажности (W, %) и плотности потока ИК-излучения (E, кВт/м²), с областью максимальных значений для сахаров – 30 ± 0,4% при плотности потока ИК 17,5 кВт/м². Содержание белка при этом составило 18 ± 0,4%, клетчатки 7 ± 0,2%. Содержание сахаров в кормовой добавке от исходной влажности и плотности потока ИК излучения выражается через регрессионное уравнение:

$$\text{Сахара, \%} = -267,6224 + 3,8963 W + 22,5119 E - 0,0414W^2 - 0,6875 E^2 + 0,0262 WE.$$

Анализируя регрессионное уравнение, можно заключить, что факторы плотность

потока, влажность и их парное действие оказывают положительное влияние на содержание сахаров, о чем свидетельствует знак «+» перед линейными коэффициентами этих членов уравнения. Уравнение регрессии достоверно. Расчетный уровень доверительной значимости ($p = 0,023$) значения критерия Фишера $F = 3,97$ ($F_f > F_t$). Величина коэффициента регрессии ($R = 0,865$) свидетельствует о тесной связи между плотностью потока ИК-излучения и влажностью кормовой добавки, образованной смесью патоки и отрубей [10].

Установлено, что максимальное содержание сахаров 30 ± 0,5% в кормовой добавке соответствует смеси с соотношением патока – 1,0 кг / отруби – 0,5 кг при сушке с плотностью потока ИК-излучения 17,5 ± 0,5 кВт/м². Изменением соотношения патоки и отрубей можно получать кормовую добавку с нужной влажностью и нужным содержанием сахаров в зависимости от конкретных требований при кормлении КРС. При выборе технологических режимов нужно учитывать, что чем больше доля патоки, тем выше содержание сахаров.

Как показывают наши предыдущие исследования [10], безопасность и качество готовой кормовой добавки гарантируется выполнением требований системы ХАССП [12] на всех этапах технологического процесса.

Важным аспектом в технологии производства кормовой патоки является микробиологическая загрязненность сырья и полуфабрикатов. Микробиологическими исследованиями выявлено при ИК-облучении зерна снижение загрязненности МАФАНМ с $1,8 \times 10^4$ до $1,0 \times 10^2$, дрожжами порядка 10^2 , а плесневые грибы не обнаружены, т.е. можно предполагать получение продукта (патоки) безопасного в отношении указанных микроорганизмов.

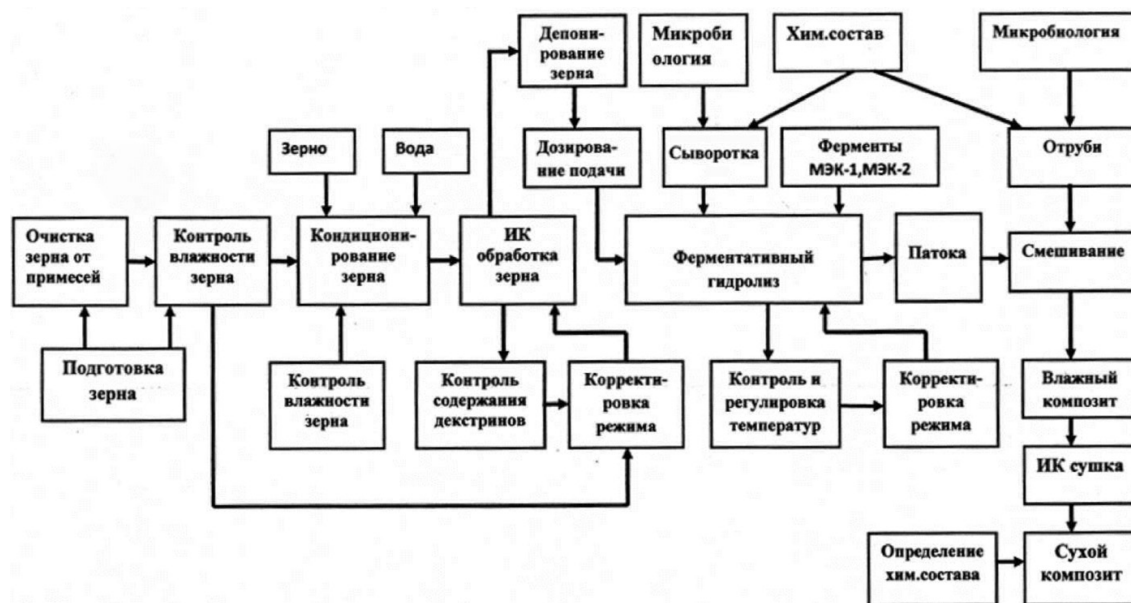
Данные микробиологических исследований кормовой добавки приведены в табл. 2. МАФАНМ, дрожжи в сухой кормовой добавке, полученной ИК-сушкой при плотностях потока ИК излучения $E = 20$ кВт/м² и 17 кВт/м², находятся в пределах допуска по ТР ТС 021/2011. Плесени не растут, БГКП и Salmonella не обнаружены [16]. Это делает её безопасной при хранении и кормлении животных.

Причиной гибели исследованных микроорганизмов, вероятно, является потеря потенциальной энергии цитоплазмы клеток вследствие раздражающего импульсного воздействия ИК-излучения, которое приводит к необратимому сжатию клеток и уменьшению потенциальной энергии, что согласуется с условием равновесия Гиббса для термодинамической системы.

Таблица 2

Данные микробиологических исследований кормовой добавки

Образец	МАФАНМ (КОЕ/г)	БГКП в 0,1	Salmonella в 25 г	Плесени (КОЕ/г)	Дрожжи (КОЕ/г)
Кормовая добавка сушеная при плотности ИК потока $E = 20 \text{ кВт/м}^2$	$4,04 \times 10^4$	–	Не обнаружено	Нет роста	$2,09 \times 10^2$
Кормовая добавка сушеная при плотности ИК потока $E = 17 \text{ кВт/м}^2$	$6,09 \times 10^4$	–	Не обнаружено	Нет роста	$4,00 \times 10^1$



Технологическая схема процесса получения кормовой добавки

На терморезистентность некоторых микроорганизмов существенно влияют различные факторы, способствующие или активному развитию, или состоянию покоя. Последнее чаще наступает при высушивании и сопровождается резким снижением ферментативной активности, от которой зависит устойчивость к неблагоприятным условиям существования [16].

Результатом обобщения научных и технических аспектов исследований является представленная на рисунке технологическая схема всех этапов процесса получения кормовой добавки.

Заключение

Проведенные исследования показали, что зерновые культуры (пшеница) являются наиболее полезными при разработке кормовых добавок для крупного рогатого скота.

Использование молочной сывораки и отрубей, являющихся отходами переработки молока и зерна пшеницы, позволяет повысить физиологическую ценность кор-

мовых добавок. В сухой кормовой добавке содержание сахаров составляет $30 \pm 0,5\%$ для смеси с соотношением патока – 1,0 кг / отруби – 0,5 кг.

Установлено, что ИК-облучение плотностью потока 23 кВт/м^2 в течение 70 ± 5 с влияет на структуру зерна, а сушка кормовой добавки при плотности потока $17,5 \pm 0,5 \text{ кВт/м}^2$ не только снижает влажность до $9 \pm 1,0\%$, но и численность микроорганизмов порчи кормовой добавки, в которые входят плесневые грибы и дрожжи, делая её безопасной при хранении и кормлении животных.

Качество и безопасность кормовой добавки напрямую зависит от использования в технологии её изготовления принципов системы ХАССП. При этом хранение сухой кормовой добавки не представляет проблемы.

Результатом обобщения научных и технических аспектов исследований является технологическая схема всех этапов процесса получения кормовой добавки.

Исследования проводились в лабораториях института переработки сельскохозяйственной продукции (СибНИТИП) СФНЦА РАН.

Список литературы

1. Савиных П.А., Казаков В.А., Чернятьев И.А., Герасимова С.П. Применение глюкозосодержащих кормов для получения животноводческой продукции // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. № 20. С. 329–333.
2. Казачкова Н.М., Картекенова Р.В. Интенсивность роста и мясная продуктивность бычков при скармливании смесей сахаросодержащих компонентов различными способами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (40). С. 129–132.
3. Бабенко Е. Меласса в кормлении животных [Электронный ресурс]. URL: <https://soft-agro.com/korovy/melassa-v-kormleniizhivotnix.html> (дата обращения: 02.09.2021).
4. Перевозчиков А.В. Влияние зерновой патоки на продуктивные и воспроизводительные показатели скота холмогорской породы: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук. Ижевск, 2020. 19 с.
5. Патока в рационе коров [Электронный ресурс]. URL: <https://direct.farm/post/patoka-v-ratsione-korov-/3026> (дата обращения: 02.09.2021).
6. Приловская Е.И. Эффективность использования в кормлении коров кормового продукта «Патока зерновая» // Зоотехническая наука Беларуси. 2019. Т. 54. № 2. С. 46–45.
7. Истомин А.С., Адушинов Д.С., Волков И.В. Корм для сельскохозяйственных животных // Патент РФ № 2480022. Патентообладатель Истомин А.С. 2013. Бюл. № 12.
8. Волончук С.К., Науменко И.В., Резепин А.И. Компьютерное моделирование состава белково-углеводного композита // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 4. С. 21–24.
9. Волончук С.К., Науменко И.В., Резепин А.И., Веремейчик Л.Ж. Получение сухого белково-углеводного композита кормового назначения с использованием творожной сыворотки // Сборник материалов XVI Междунар. науч.-практич. конф. Пища. Экология. Качество. Барнаул. 2019. Т. 1. С. 166–169.
10. Мотовилов К.Я., Волончук С.К., Науменко И.В., Резепин А.И. Технология производства сухого белково-углеводного композита кормового назначения с использованием вторичного сырья // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 72–75. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10415.
11. Родионова К.И. Переработка безбелковой молочной сыворотки // Тезисы доклада на конференции. Волгоград: Изд-во Волгоградский государственный технический университет. 2019. С. 305–306.
12. GMP+B2 Производство кормовых ингредиентов В 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gmpplus.org/media/h0ph5pph/gmp-b2-ru-20180701.pdf> (дата обращения: 02.09.2021).
13. Кочанов Д.С. Научное обеспечение процесса микронизации зерновых культур и разработка технологии производства комбикормов из микронизированного зерна: автореф. дис... канд. техн. наук. Воронеж, 2014. 24 с.
14. Березовикова И.П., Влощинский П.Е. Обоснование режимов микронизации зерна пшеницы для производства цельнозерновых продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 3. С. 5–8.
15. Bychkov A.L., Ryabchikova E.I., Korolev K.G., Lomovsky O.I. Ultrastructural changes of cell walls under intense mechanical treatment of selective plant raw material. Biomass and Bioenergy. 2012. Vol. 47. P. 260–267.
16. Волончук С.К., Чекрыга Г.П., Науменко И.В., Веремейчик Л.Ж. Влияние инфракрасного излучения на безопасность белково-углеводного композита // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 3–6.