ISSN 1817–7204 (Print)
ISSN 1817–7239 (Online)
УДК 631.363:636.22/.28.053.086.3(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-1-85-92

Поступила в редакцию 14.06.2017
Received 14.06.2017

В. И. Передня[1], В. И. Хруцкий[1], А. А. Романович[2], А. В. Китун[2]

[1]Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, Минск, Беларусь
[2]Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНОБОБОВЫХ КОМПОНЕНТОВ В ЛЕГКОУСВОЯЕМЫЙ КОРМ ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ ТЕЛЯТ

Аннотация: Основным кормом телят молочного периода является цельное молоко. С целью уменьшения расхода цельного молока в ведущих западных странах используют заменители цельного молока. Имеющиеся попытки производить собственные заменители цельного молока не нашли пока широкого распространения из-за большого расхода сухого молока и отсутствия в Беларуси производства гидрогенезированного жира с добавками витаминов и микроэлементов. В последние годы начинают осваивать выпуск местных заменителей молока. Разработана инновационная технология получения заменителей цельного молока на основе использования местных зерно-бобово-масличных культур, в основу которой положена идея переработки их в легкоусвояемые жидкие корма на базе влаготепловой обработки зерновых компонентов с использованием энергии кавитации. Изготовлена специальная гидродинамическая установка, позволяющая получать прямо из зернофуража гомогенную массу, которая не расслаивается на фракции, хорошо поедается и легко усваивается животными. Определена допустимая температура переработки зернобобовых культур – не выше 80 °С. С целью уменьшения времени обработки водозерновой смеси и повышения производительности процесса была выдвинута гипотеза об использовании электромагнитного поля для подогрева движущейся по трубопроводу смеси. Проведенные исследования подтвердили эффективность использования электромагнитного поля. Влаготепловая обработка зернофуража посредством кавитации с использованием индукционного подогрева позволяет за кратковременный срок и при небольшой температуре получить легкоусвояемый корм с сохранением незаменимых аминокислот и витаминов. Разработанная инновационная технология и оборудования позволяет уменьшить расход цельного молока на 15–20 % при выращивании телят молочного периода.

Ключевые слова: телята молочного периода, заменитель цельного молока, легкоусвояемый корм, зернобобовые культуры, рапс, зернофураж, гидродинамическая установка, гомогенная масса, индуктор, кавитация, электромагнитное поле

Для цитирования: Исследование процесса переработки зернобобовых компонентов в легкоусвояемый корм для кормления телят / В. И. Передня, В. И. Хруцкий, А. А. Романович, А. В. Китун // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, № 1. – С. 85–92. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-1-85-92

V. I. Perednya[1], V. I. Khrutsky[1], A. A. Romanovich[2], A. V. Kitun[2]

[1]The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Mechanization of Agriculture, Minsk, Belarus
[2]The Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

STUDYING THE PROCESSING OF LEGUMINOUS COMPONENTS INTO EASYLY DIGESTIBLE FEED FOR CALVES

Abstract: The basic feed for calves during pre-weaning period is whole milk. In order to reduce consumption of whole milk in the leading Western countries, whole milk replacers are used. Attempts to produce local whole milk replacers have not yet found wide distribution due to the high consumption of dry milk and lack of production of hydrogenated fat with additives of vitamins and microelements in Belarus. In recent years, production process of local milk replacers has been started to develop. An innovative technology has been developed for production of whole milk replacers based on local grains, legumes and oil crops, taking the idea of processing them into easily digestible liquid feeds based on moisture-and-heat treatment of grain components using cavitation energy. A special hydrodynamic plant was designed, allowing to obtain a homogeneous mass right of the grain forage, which does not decompose into fractions, highly palatable and easily digested by animals. The allowable processing temperature of leguminous crops was determined to be 80 °C maximum. In order to reduce processing time of the water-and-grain mixture and increase process productivity, a hypothesis was put forward related to use of electromagnetic field for heating the mixture moving in pipeline. Studies have confirmed the efficiency of the electromagnetic field. Moisture-and-heat treatment of grain forage by cavitation using induction heating allows, in a short period of time and at a low temperature, to get easily digestible feed and preserve essential amino acids and vitamins. The developed innovative technology and equipment allows to reduce consumption of whole milk by 15–20% when growing calves during pre-weaning period.

Национальная академия наук Беларуси

Keywords: calves of pre-weaning period, whole milk replacer, easily digestible feed, leguminous crops, rape, grain forage, hydrodynamic plant, homogeneous mass, inductor, cavitation, electromagnetic field

For citation: Perednya V. I., Khrutsky V. I., Romanovich A. A., Kitun A. V. Studying the processing of leguminous components into easily digestible feed for calves. *Vest*si *Natsyyanal'nay akadem*ii *navuk Belarus*i. *Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series,* 2018, vol. 56, no 3, pp. 85–92 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-1-85-92

Введение. Молоко, производимое на молочно-товарных фермах, может быть конкурентоспособным на мировом рынке только тогда, когда будет иметь высокое качество, относительно низкую стоимость и годовой удой от одной коровы не менее 6500 л.

Согласно зоотехническим исследованиям, потенциал молочной продуктивности коровы закладывается уже на этапе выращивания телят и зависит на 60 % и более от условий выращивания и кормления [1].

Основным кормом телят молочного периода в хозяйствах Беларуси является цельное молоко. В настоящее время на выпойку одного теленка расходуют 250–400 л цельного молока, а с учетом вторичных молочных продуктов (обрат, сыворотка и т.д.) в переводе на сухое вещество телятам скармливают в нашей стране около 12–16 % валового производства молочных продуктов [2]. В развитых странах с учетом вторичных молочных продуктов скармливают не более 6–8 %, заменив остальное количество заменителем [3].

Заменители цельного молока (ЗЦМ) в абсолютном большинстве хозяйств страны закупают иностранного производства. В последние годы в Беларуси начинают осваивать выпуск местных заменителей молока. Основой всех выпускаемых ЗЦМ является обезжиренное сухое молоко (СОМ), которое обогащается различными добавками с целью повышения его питательности. Так, заменитель, производимый на АО «Экмол» (ССК-2), содержит в своем составе 48 % сухого молока и около 17 % гидрогенизированного жира с добавками витаминов и микроэлементов [2]. Однако указанный заменитель не нашел широкого распространения из-за недостатка необходимого количества сухого обезжиренного молока и гидрогенизированных жиров.

Состав коровьего молока в настоящее время изучен достаточно подробно, основными компонентами которого в сухом веществе являются: жир (32 %), протеин (26 %), минералы (6 %), лактоза (38 %). Подробно изучено количество макро- и микроэлементов, а также витаминов. Известно, что молоко коров образуется из кормовых компонентов, основу которых составляют травянистые и концентрированные корма [4].

В зернах злаковых и бобовых культур содержится большое количество белков, жиров, углеводов, но перевариваемость их без углубленной переработки не высока. Белки в зерне и бобах откладываются в значительных количествах в специализированных субклеточных формах – алейроновых зернах, окруженных единой мембраной и содержащих кристаллические белковые тела [5].

Зерна злаковых культур наряду с белками содержат 45–60 % крахмала, усвоение которого у животных происходит медленно. Как показывают исследования [6], усвояемость крахмала необработанного зерна колеблется в пределах 60–80 % в зависимости от вида культур и животных. Температурная обработка зерна приводит к разрыву химических связей крахмала на молекулярном уровне и переводит его в более простые соединения (декстрины и сахара), особенно при наличии воды, т.е. происходит желатинизация крахмала.

Рапс включает в своем составе полезные вещества, белки и жиры, но и содержит токсичные вещества, такие как глюкозинолаты и их производные[1]. Глюкозинолаты являются сложными органическими соединениями, включающими глюкозу и аглюкон. Под воздействием фермента мирозиназы глюкозиналаты гидролизируются с образованием циклических соединений – нитрилов, отрицательно влияющих на функцию щитовидной железы, печени и пищеварительного тракта животных. Из многочисленных исследований известно, что при воздействии температуры на зерно рапса и продукты его переработки гидролиз глюкозинолатов не происходит из-за инактивации фермента мирозиназы.

[1] Использование семян рапса и продуктов их переработки в кормлении сельскохозяйственных животных : рекомендации / В. М. Голушко [и др.] ; Науч.-практ. центр Нац. акад.наук Беларуси по животноводству. – Жодино : [б. и.], 2012. – 16 с.

Национальная академия наук Беларуси

В мировой практике известно много способов и технологий обработки зернового сырья с целью повышения его усвояемости. Для телят молочного периода, у которых ещё не сформировался многокамерный желудок, лучше использовать зерно после его влаготепловой обработки. Оно способствует улучшению вкусовых качеств, повышению доступности для усвоения углеводного комплекса, снижению затрат энергии молодого организма на переваривание питательных веществ отдельного корма. Воздействие тепла и влаги на зерно злаковых и бобовых культур вызывает в нем биохимические процессы, в результате которых происходит расщепление, декстринизация и желатинизация крахмала, денатурация белков. Может произойти соединение сахаров с лизином, которое не усваивается животным. В процессе обработки зерна крахмал гидролизуется до мальтозы, дающей при присоединении воды две молекулы глюкозы. Кроме того, в качестве промежуточного продукта образуются полисахариды с разной молекулярной массой – декстрины. В зависимости от степени гидролиза их молекулярная масса понижается и они все больше приближаются к сахарам [8].

Цель работы – исследование процесса переработки зерновых компонентов в легкоусвояемые корма, которые можно использовать для кормления телят молочного периода.

Основная часть. РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству» разработали технологию приготовления жидких легкоусвояемых кормов на базе местных зерновых культур в сочетании с другими обогатительными добавками и витаминно-минеральным комплексом для скармливания телятам после 30-дневного возраста [8]. В основу технологии приготовления жидких легкоусвояемых кормов положена идея влаготепловой обработки зернофуража на специальной гидродинамической установке, которая позволяет прямо из зерновых компонентов получить однородную гомогенную мелкодисперсную массу[2].

Разработанная установка влаготепловой обработки кормовых компонентов с использованием гидродинамической установки, функционирующая на основе кавитации, позволяет решить ряд проблем в сложном процессе совершенствования технологии кормления телят (рис. 1).

Кавитация (лат. *cavitas* – пустота) – это образование в капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью (так называемых кавитационных пузырьков, или каверн).

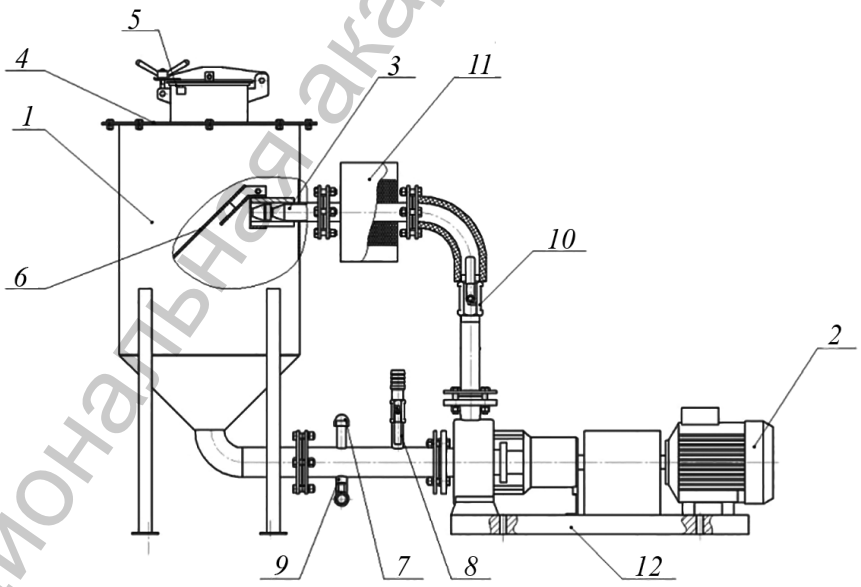

Рис. 1. Схема экспериментальной установки: *1* – емкость; *2* – электронасос; *3* – патрубок; *4* – крышка; *5* – люк; *6* – решето; *7* – термодатчик; *8*, *9* – патрубки; *10* – кран; *11* – устройство индукционного нагрева; *12* – рама

Fig. 1. Layout of the experimental plant: *1* – capacity; *2* – electric pump; *3* – branch pipe; *4* – cover; *5* – hatch; *6* – sieve; *7* – thermal sensor; *8, 9* – branch pipes; *10* – valve; *11* – induction heating device; *12* – frame

[2] Устройство для приготовления жидких зерновых кормов : полез.модель BY 3419 / В. И. Передня, А. Д. Селезнев, В. И. Хруцкий, С. Н. Пилюк, А. А. Передня. – Опубл. 30.04.2007.

Национальная академия наук Беларуси

Кавитационные пузырьки образуются в тех местах, где давление в жидкости становится ниже некоторого критического значения, которое в реальной жидкости приблизительно равно давлению насыщенного пара этой жидкости при данной температуре. Если понижение давления происходит вследствие больших местных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то кавитация называется гидродинамической, а если вследствие прохождения акустических волн – акустической. Поскольку в реальной жидкости всегда присутствуют мельчайшие пузырьки газа или пара, то, двигаясь с потоком и попадая в область давления, они теряют устойчивость и приобретают способность к неограниченному росту – это и есть гидродинамическая кавитация. После перехода в зону повышенного давления и исчерпывания кинетической энергии расширяющейся жидкости рост пузырька прекращается, и он начинает сокращаться. Если пузырек содержит достаточный объем газа, то по достижении им минимального радиуса он восстанавливается и совершает несколько циклов затухающих колебаний, а если газа недостаточно, то пузырек захлопывается в первом периоде жизни. Если подобное явление происходит вблизи обтекаемого тела, например, в трубе с местным сужением ее диаметра, то создается довольно четко ограниченная «кавитационная зона», заполненная движущимися пузырьками. Сокращение кавитационного пузырька происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом, своего рода гидродинамическим ударом [9].

Как показали исследования, использование кавитации позволяет получать однородную (гомогенную) массу, которая не расслаивается на фракции на протяжении длительного периода времени. Более того, одновременное нагревание и перемешивание ингредиентов, содержащих в своем составе большое количество жиров, жироподобных веществ, жировые шарики которых в диаметре превышают 6 мкм, позволяет достичь мелкодисперсного однородного состава влажной смеси [10]. Этому способствует процесс кавитации, а продукты, полученные при обработке белково-жирового сырья растительного происхождения на гидродинамической установке, дают возможность после смешивания их с водой получать высокопитательные влажные кормосмеси или заменители цельного молока, необходимые при выращивании телят.

Ценность такого оборудования заключается еще и в том, что в одном агрегате происходит измельчение или доизмельчение зернофуража, его тепловая обработка и смешивание с водой до образования эмульсии необходимой влажности или растительного молока. По степени гомогенности такая эмульсия, или растительное молоко, практически не расслаивается на фракции и сохраняет однородный состав в течение длительного времени. Использование гидродинамической установки для умеренной влаготепловой обработки сухой кормовой смеси при температуре 75–80 °С по сравнению с экструдированием значительно снижает разрушение незаменимых аминокислот и витаминов (особенно К, С, B_1, B_3). Кроме того, обработка зерна и добавленных ингредиентов происходит в закрытом пространстве в водной среде с минимальным доступом кислорода, что предупреждает окисление жиров и, как следствие, жирорастворимых витаминов (А, D и Е). С технологической точки зрения, при разбавлении полученной массы водой достигается получение гомогенного корма с содержанием всех питательных и биологически активных веществ в соответствии с рецептурой. Благодаря кавитации и температуре происходят и некоторые качественные изменения в составе питательных веществ (табл. 1). К ним можно отнести следующие: стерилизацию полученного материала, инактивацию ингибиторов, глюкозиналатов, алколоидов, мирозиназы и патогенной микрофлоры, снижение антипитательных веществ. Также происходит желатинизация крахмала с расщеплением части его до моносахоров, что достигается при достаточном количестве горячей воды [11].

Как видно из табл. 1, содержание питательных веществ в зерносмеси и после обработки в агрегате влаготепловой обработки в основном осталось почти неизменным, за исключением сахара и клетчатки. Вероятно, в результате воздействия температуры, влаги и времени на клетчатку и белки зерна произошел распад части белка на более простые составляющие.

Уровень протеина в полученной пасте почти остался на прежнем уровне, но, как показали исследования, изменился его состав. Увеличилось количество незаменимых аминокислот, таких как лизин (на 40,5 %), треонин (на 38 %), метионин (на 48,9 %) и др.

Национальная академия наук Беларуси

Кроме минеральных и органических веществ в зерносмеси и пасте было определено и содержание отдельных витаминов. Витаминный состав при приготовлении заменителей цельного молока подвержен наиболее широким колебаниям, поэтому сохранность витаминов в заменителе цельного молока является одним из факторов, обеспечивающих полноценность данного продукта.

Исследования по определению допустимой температуры переработки зернобобовых культур показали нецелесообразность обработки их при температуре выше 80 °С (табл. 2) [8].

Таблица 1. **Содержание питательных веществ и аминокислот в зерносмеси и полученной сухой пасте, %**

Table 1. **Level of nutrients and amino acids in grain mix and obtained dry paste, %**

Показатель	Зерносмесь до обработки	Паста	%
Органическое вещество	969,0	968,6	99,9
Азот	43,6	42,2	96,7
Протеин	272,0	266,0	97,7
Сахар	49,2	75,1	152,6
Клетчатка	121,7	58,8	48,3
Жир	131,6	131,6	100,0
БЭВ	319,9	363,4	113,6
ЗОЛ	31,0	31,4	101,3
Лизин	14,8	20,8	140,5
Гистидин	9,2	12,4	134,7
Аргинин	25,1	32,2	128,3
Треонин	10,0	13,8	138,0
Аланин	8,3	10,6	127,7
Валин	10,5	14,8	140,9
Метионин	9,6	14,3	148,9
Изолейцин	9,9	13,6	137,3
Лейцин	16,9	21,3	126,0
Фенилаланин	12,1	16,8	138,8

Таблица 2. **Содержание витаминов в необработанном и обработанном зарнофураже, %**

Table 2. **Level of vitamins in treated and untreated grain forage, %**

Показатель	Температура нагрева, °С			
	20	70	80	90
Витамин А	100	95	92	90
Витамин B_1	100	98	95	91
Витамин B_2	100	98	96	93
Витамин B_5	100	94	91	89

Установки для приготовления заменителей молока на основе кавитации изготавливают несколько производителей: гомельское предприятие «Техмаш» выпускает установки серии ТЕК–СМ, фирма «Юрле» – УПК–45Ф, «Гомельагросервис» – УПЗМ–0,9, их техническая характеристика представлена в табл. 3 [10, 11][3].

Как видно из табл. 3, процесс измельчения и нагрева осуществляется медленно (50–60 мин).

[3] Способ получения пищевого белка из растительного сырья: пат. RU2007927 / О. И. Квасенков, А. Ф. Загибалов, Н. И. Бабков, Г. И. Касьянов, Э. В. Соломахина.– Опубл. 28.02.1994 ; Способ производства соевого молока : пат RU 2142712 / П. А. Никулин, Т. Т. Фещенко, А. Г. Радионов. – Опубл. 20.12.1999.

Национальная академия наук Беларуси

Таблица 3. **Установки для приготовления заменителей молока на основе кавитации**

Table 3. **Plants for milk replacers preparation based on cavitation**

Показатель	Марка оборудования				
	ТЕК-2 СМ	ТЕК-3 СМ	ТЕК-4 СМ	УПК-45Ф	УПЗМ-0,9
Производительность, кг/ч	300	450	960	1200	900
Температура обработки, °С	До 105	До 105	До 105	До 85	До 80
Длительность цикла переработки, мин	60	60	60	50	40
Мощность электродвигателя, кВт	15	22	45	45	22
Удельный расход энергии, кВт·ч/кг	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03
Масса, кг	400	600	900	1100	700
Удельная металлоемкость, кг/кг	1,3	1,3	0,9	0,9	0,8

С целью уменьшения времени обработки водозерновой смеси и повышения производительности установки была выдвинута гипотеза об использовании электромагнитного поля для подогрева движущейся по трубопроводу смеси [12–18], которая широко используется в учебных процессах и исследованиях[4]. Проведенные исследования подтвердили эффективность использования электромагнитного поля, что видно на рис. 2 [19].

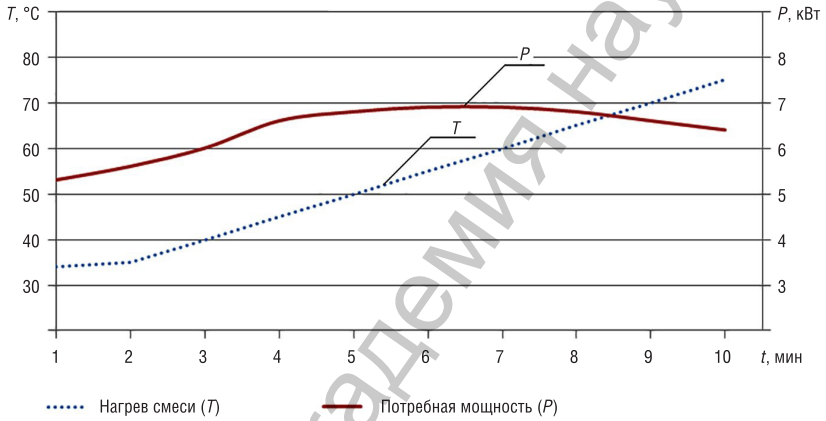

Рис. 2. Зависимость потребной мощности (*P*) и температуры нагрева смеси (*T*) от времени воздействия (*t*)

Fig. 2. Correlation of required power *(P)* and mixture heating temperature *(T)* with the exposure time *(t)*

Как видно на рис. 2, переработка зернобобовой смеси в пасту происходит в 2,5–3 раза быстрее при воздействии на нее электромагнитным полем, которое создается установленным на трубопроводе индуктором.

Выводы

1. Разработана инновационная технология получения заменителей цельного молока на основе использования местных зерно-бобово-маслиничных культур, в основу которой положена идея переработки их в легкоусвояемые жидкие корма на базе влаготепловой обработки зерновых компонентов с использованием энергии кавитации. Изготовлена специальная гидродинамическая установка, позволяющая получать прямо из зернофуража гомогенную массу, которая не расслаивается на фракции.

2. Использование кавитации и электромагнитного поля при влаготепловой обработки зернофуража позволяет получать мелкодисперсную однородную массу, которая содержит увеличенное количество сахаров (от 49,2 до 75,1 г/кг).

3. Для сохранения количества витаминов целесообразно температурный режим переработки зернофуража ограничить величиной не более 75 °С.

[4] Установки индукционного нагрева : учеб. пособие / А. Е. Слухоцкий [и др.] ; под ред. А. Е. Слухоцкого. – Л. : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 325 с.; Лыков А. В. Теория теплопроводности : учеб. пособие. – М. : Высш. шк., 1967. – 599 с.; Демирчян К. С., Чечурин В. Л. Машинные расчеты электромагнитных полей : учеб. пособие. – М. : Высш. шк., 1986. – 240 с.; Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1981. – 417 с.

Национальная академия наук Беларуси

Список использованных источников

1. *Шейко, И. П.* Перспективы развития молочного скотоводства в Республике Беларусь / И. П. Шейко // Новые направления развития технологий и технических средств в молочном животноводстве : материалы XIII Междунар. симп. по вопр. машин. доения с.-х. животных, Гомель, 27–29 июня 2006 г. / Ин-т механизации сел. хоз-ва Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т животноводства Нац. акад. наук Беларуси, Гомельагрокомплект ; ред. С. Н. Федорова. – Минск, 2006. – С. 13–17.

2. Заменители цельного молока из местных источников питательных веществ / В. М. Голушко [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. / Ин-т животноводства Нац. акад. наук Беларуси. – Жодино, 2006. – Т. 41. – С. 159–164.

3. *Кормановский, Л. П.* Научное обоснование разработки и применения автоматизированных точных технологий в животноводстве / Л. П. Кормановский // Сб. науч. тр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т механизации животноводства. – Подольск, 2006. – Т. 16, ч. 2. – С. 3–9.

4. *Передня, В. И.* Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки молока / В. И. Передня, В. А. Шаршунов, А. В. Китун. – Минск : Мисанта, 2016. – 975 с.

5. *Лазарев, Ю.* Легкопереваримые углеводы в кормлении коров / Ю. Лазарев, И. Кузмин // Кормление с.-х. животных и кормопроизводство. – 2006. – № 10. – С. 41–42.

6. Технология и оборудование для производства комбикормов : в 2 ч. / В. А. Шаршунов [и др.]. – Минск : Мисанта, 2014. – Ч. 2 : Технологическое оборудование комбикормовых предприятий. – 815 с.

7. *Гавриленко, С. А.* Оптимизация процесса экспандирования фуражного зерна ржи на экспандере с регулируемой предматричной камерой и электрическим нагревом корпуса шнека / С. А. Гавриленко, С. И. Козлов // Научный поиск молодежи XXI века : материалы VIII Междунар. науч. конф. студентов и магистрантов, Горки 23–25 окт. 2006 г. / Белорус. гос. с.-х. акад. ; редкол.: Д. А. Романьков [и др.]. – Горки, 2006. – Ч. 1. – С. 218–220.

8. *Азаренко, В. В.* Технология приготовления заменителя цельного молока на основе зерновых компонентов / В. В. Азаренко, И. И. Горячев, В. И. Передня // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2008. – № 2. – С. 96–100.

9. Смородов, Е. А. Физика и химия кавитации / Е. А. Смородов, Р. Н. Галиахметов, М. А. Ильгамов. – М. : Наука, 2008. – 226 с.

10. *Романович, А. А.* Снижение энергоемкости гидродинамической обработки консервированного зернофуража с дозированной раздачей в составе кормосмеси : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.20.01 / А. А. Романович ; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – Минск, 2014. – 22 с.

11. Исследование процесса переработки зернофуража в легкоусвояемый корм / М. Бакач [и др.] // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза : XXII Междунар. науч. конф., Фаленты, 20–21 сент. 2016 г. / Ин-т технол. и естеств. наук в Фалентах ; под науч. ред. В. Романюка. – Варшава, 2016. – С. 15–19.

12. *Немков, В. С.* Теория и расчет устройства индукционного нагрева / В. С. Немков, В. Б. Демидович. – Л. : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 279 с.

13. *Брицын, Н. Л.* Нагрев в электрическом поле высокой частоты / Н. Л. Брицын ; под общ. ред. А. А. Фогеля. – 3-е изд., испр. и доп. – М. ; Л. : Машиностроение, 1965. – 94 с.

14. *Лозинский, М. Г.* Поверхностная закалка и индукционный нагрев стали / М. Г. Лозинский. – М. : Машгиз, 1949. – 460 с.

15. *Немков, В. С.* Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В. С. Немков, В. Б. Демидович. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 280 с.

16. *Слухоцкий, А. Е.* Индукторы для индукционного нагрева / А. Е. Слухоцкий, С. Е. Рыскин. – Л. : Энергия, Ленингр. отд-ние, 1974. – 264 с.

17. *Нейман, Л. Р.* Поверхностный эффект в ферромагнитных телах / Л. Р. Нейман. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1949. – 190 с.

18. *Кувалдин, А. Б.* Индукционный нагрев ферромагнитной стали / А. Б. Кувалдин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 198 с.

19. *Передня, В. И.* Легкоусвояемый корм для кормления телят / В. И. Передня, А. А. Романович // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза : XXIII междунар. науч. конф., Фаленты, 19–20 сент. 2017 г. / Ин-т технол. и естеств. наук в Фалентах ; науч. ред. В. Романюк. – Варшава, 2017. – С. 141–146.

References

1. Sheiko I. P. Prospects for the development of dairy cattle breeding in the Republic of Belarus. *Novye napravleniya razvitiya tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv v molochnom zhivotnovodstve: materialy XIII Mezhdunarodnogo simpoziuma po voprosam mashinnogo doeniya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh, Gomel', 27–29 iyunya 2006 g.* [New directions in the development of technologies and technical means in dairy cattle breeding: materials of the XIII International symposium on the issues of machine milking of farm animals, Gomel, June 27–29, 2006]. Minsk, 2006, pp. 13–17 (in Russian).

2. Golushko V. M., Goryachev I .I., Perednya V. I., Pilyuk S. N. Whole milk substitutes from local sources of nutrients. *Zootekhnicheskaya nauka Belarusi: sbornik nauchnykh rudov= Zootechnic Science of Belarus: a collection of scientific papers*. Zhodino, 2006, vol. 41, pp. 159–164 (in Russian).

3. Kormanovskii L. P. Scientific substantiation of the development and application of automated precision technologies in animal husbandry. *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva* [Collection of scientific works of the All-Russian Research Institute of Mechanization of Animal Husbandry]. Podol'sk, 2006, vol. 16, pt. 2, pp. 3–9 (in Russian).

4. Perednya V. I., Sharshunov V. A., Kitun A. V. Technologies and equipment for cows milking and primary milk treatment. Minsk, MisantaPubl., 2016. 975 p. (in Russian).

Национальная академия наук Беларуси

5. Lazarev Yu., Kuzmin I. Easily digestible carbohydrates in cows feeding. *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo = Feeding of agricultural animals and feed production*, 2006, no. 10, pp. 41–42 (in Russian).

6. Sharshunov V. A., Rukshan L. V., Ponomarenko Yu. A., Chervyakov A. V. *Technology and equipment for fodder production. Part 2. Technological equipment for feed mills*. Minsk, MisantaPubl., 2014. 815 p. (in Russian).

7. Gavrilenko S. A., Kozlov S. I.Optimization of the expansion of feed grain of rye on the expander with an adjustable pre-matrix chamber and electric heating of a screw body. *Nauchnyi poisk molodezhi XXI veka: materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i magistrantov, Gorki 23–25 oktyabrya 2006 g.* [Scientific search of the youth of the XXI century: materials of the VIII International scientific conference of students and master's students, Gorki, October 23–25, 2006]. Gorki, 2006, pt. 1, pp. 218–220 (in Russian).

8. Azarenko V. V., Goryachev I. I., Perednya V. I. Preparing tecnology of the whole milk substitute from grain components. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2008, no. 2, pp. 96–100 (in Russian).

9. Smorodov E. A., Galiakhmetov R. N., Il'gamov M. A. *Physics and chemistry of cavitation*. Moscow, Nauka Publ., 2008. 226 p. (in Russian).

10. Romanovich A. A. *Reduction of energy intensity of hydrodynamic treatment of canned feed grain with the dispensed distribution in feed mixture. Abstract of doctoral thesis in engineering.* Minsk, 2014. 22 p. (in Russian).

11. Bakach M., Bashko Yu., Perednya V., Kuvshinov A., Romanovich A. Study of grain forage processing into highly digestible fodder. *Problemy intensifikatsii zhivotnovodstva s uchetom okhrany okruzhayushchei sredy i proizvodstva al'ternativnykh istochnikov energii, v tom chisel biogaza : XXII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya, Falenty, 20–21 sentyabrya 2016 g.* [Problems of livestock intensification taking into account environmental protection and production of alternative energy sources, including biogas: XXII International Scientific Conference, Falenta, September 20–21, 2016]. Warsaw, 2016, pp. 15–19 (in Russian).

12. Nemkov V. S., Demidovich V. B. *Theory and calculation of the induction heating device*. Leningrad, Energoizdat Publ., Leningradskoeotdelenie,1988. 279 p. (in Russian).

13. Britsyn N. L., Fogel' A. A. (ed.). *Heating in the electric field of high frequency*. 3nd ed. Moscow, Leningrad, Mashinostroenie Publ., 94 p. (in Russian).

14. Lozinskii M. G. *Surface hardening and induction heating of steel*. Moscow, MashgizPubl., 1949. 460 p. (in Russian).

15. Nemkov V. S., Demidovich V. B. Theory and calculation of induction heating devices. Leningrad, Energoatomizdat Publ., Leningradskoeotdelenie,1988. 280 p. (in Russian).

16. Slukhotskii A. E., Ryskin S. E. *Inductors for induction heating*. Leningrad, EnergiyaPubl., Leningradskoeotdelenie, 1974. 264 p. (in Russian).

17. Neiman L. R. *Surface effect in ferromagnetic bodies*. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1949. 190 p. (in Russian).

18. Kuvaldin A. B. *Induction heating of ferromagnetic steel*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 198 p. (in Russian).

19. Perednya V. I., Romanovich A. A. Highly digestible fodder for calves feeding. *Problemy intensifikatsii zhivotnovodstva s uchetom okhrany okruzhayushchei sredy i proizvodstva al'ternativnykh istochnikov energii, v tom chsle biogaza: XXIII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya, Falenty, 19–20 sentyabrya 2017 g.* [Problems of livestock intensification taking into account environmental protection and production of alternative energy sources, including biogas: XXIII International scientific conference, Falenta, September 19–20, 2017]. Warsaw, 2017, pp. 141–146 (in Russian).

Информация об авторах

Передня Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 200007, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belagromech@tut.by

Хруцкий Владимир Иванович – научный сотрудник, Научно-практический центр Национальной академии наук по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 200007, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belagromech@tut.by

Романович Анастасия Андреевна – кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель, Белорусский государственный аграрный технический университет (пр. Независимости, 99, 220023, Минск, Республика Беларусь). E-mail: rektorat@batu.edu.by

Китун Антон Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации животноводческих ферм, Белорусский государственный аграрный технический университет (пр. Независимости, 99, 220023, Минск, Республика Беларусь). E-mail: rektorat@batu.edu.by

Information about the authors

Perednya Vladimir I. – D. Sc. (Engineering), Professor. The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Mechanization of Agriculture (1 Knorina Str., Minsk 220049, Republic of Belarus). E-mail: belagromech@tut.by

Khrutsky Vladimir I. – the Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Mechanization of Agriculture (1 Knorina Str., Minsk 220049, Republic of Belarus). E-mail: belagromech@tut.by

Romanovich Anastasia A. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor. The Belarusian State Agrarian Technical University (99 Nezavisimosti Ave., Minsk 220023, Republic of Belarus). E-mail: rektorat@batu.edu.by

Kitun Anton Vladimirovich – D. Sc. (Engineering), Professor. The Belarusian State Agrarian Technical University (99 Nezavisimosti Ave., Minsk 220023, Republic of Belarus). E-mail: rektorat@batu.edu.by

Национальная академия наук Беларуси