

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРЕРАБОТКИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

К. Я. Мотовилов, О. К. Мотовилов, В. В. Аксёнов

**НАНОБИОТЕХНОЛОГИИ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВЫХ ПАТОК
ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА**

Монография

Новосибирск 2015

УДК 633.2/.4.003:001.895+636:001.895

ББК 42.2:40.06

М 854

Авторы: *К. Я. Мотовилов*, д-р биол. наук, член-корр. РАН

О. К. Мотовилов, д-р техн. наук

В. В. Аксёнов, канд. хим. наук

Рецензенты: *С. Н. Хабаров*, акад. РАН

А. Ф. Алейников, д-р техн. наук, проф.

В. А. Реймер, д-р с.-х. наук, проф.

Мотовилов К. Я.

М 854

Нанобиотехнологии в производстве зерновых паток для животноводства: монография / РАН. СибНИТИП. Новосибирск: аграр. ун-т; К. Я. Мотовилов, О. К. Мотовилов, В. В. Аксёнов. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2015. – 134 с.

ISBN 978–5–94477–163–6

В монографии рассмотрены результаты научных исследований авторов и коллектива ученых СибНИТИП и НГАУ, полученные за последние 15 лет. Расшифрован механизм действия элементов нанобиотехнологий при переработке растительного крахмалосодержащего сырья на кормовые сахара и производстве экопродуктов животноводства.

Монография предназначена для научных сотрудников в области переработки зерновых крахмалоносов, для руководителей и специалистов аграрных предприятий, преподавателей вузов и всех, кто интересуется проблемами применения нанобиотехнологий в кормопроизводстве и животноводстве.

Утверждена и рекомендована к изданию ученым советом биолого-технологического факультета НГАУ (протокол № 3 от 28.04. 2015 г.) и ученым советом СибНИТИП (протокол № 1 от 31.03. 2015 г.).

УДК 633.2/.4.003:001.895+636:001.895

ББК 42.2:40.06

© РАН. СибНИТИП, 2015

© НГАУ, 2015

ISBN 978–5–94477–163–6

ВВЕДЕНИЕ

Президентом России В. В. Путиным в 2014 г. поставлена задача: «В ближайшие 4–5 лет мы должны полностью обеспечить свою независимость по всем видам продовольствия, а затем Россия должна стать крупнейшим в мире поставщиком продуктов питания».

Одной из главных проблем, стоящих перед работниками АПК в условиях рыночной экономики, является обеспечение населения необходимыми продуктами питания в соответствии с физиологическими потребностями, т.е. надо решить проблему продовольственной безопасности в стране. К сожалению, в настоящее время в Россию завозится более 50 % мяса и 40 % сухого молока. При ввозе 23–25 % продовольствия страна теряет продовольственную независимость.

Для увеличения производства животноводческой продукции необходимо наряду с созданием новых высокопродуктивных пород животных, совершенствованием кормовой базы и рационов питания изыскивать новые экологичные отечественные кормовые добавки и биологически активные вещества.

Максимальная реализация наследственного потенциала продуктивности сельскохозяйственных животных путем интенсификации обменных процессов открывает дополнительные возможности для увеличения выхода продукции без дополнительных затрат корма. Поэтому наряду с такими факторами, как повышение сохранности, улучшение качества кормов и рационов, оптимизация условий содержания, необходимо широкое применение в практике кормления животных новых кормовых добавок – регуляторов метаболизма биохимических процессов в организме. Эффект таких добавок обусловлен

их регулирующим влиянием на интенсивность процессов переваривания и биоконверсии питательных веществ корма, что создает возможность целенаправленного управления этими процессами.

За последние годы учеными СибНИТИП и НГАУ проведены глубокие системные исследования по биоконверсии различных видов зерновых крахмалоносов в кормовые патоки и их использованию в рационах крупного рогатого скота. Процессы деполимеризации зернового крахмалосодержащего сырья базируются на элементах нанобиотехнологий.

По данным отечественных и зарубежных авторов, использование сахаров в кормлении сельскохозяйственных животных оказывает положительное влияние на процессы пищеварения и повышает усвояемость кормов благодаря наличию в них легкоусвояемых форм углеводов моносахаров, крайне необходимых организму животных как основной источник энергии.

Целью настоящей работы является обобщение собственных исследований производства кормовых патоки из различных видов зерна, комплексная оценка влияния зерновых патоки на продуктивность и здоровье животных, а также обоснование рационов кормления с использованием зерновых патоки.

В разработку уникальной ресурсосберегающей экологически безопасной нанобиотехнологии деполимеризации зернового крахмалосодержащего сырья на кормовые сахара существенный вклад внесли ученые, конструкторы, руководители предприятий и общественных организаций:

Аксёнов Владимир Васильевич – зав. лабораторией биохимических технологий СибНИТИП, канд. хим. наук;

Мотовилов Олег Константинович – д-р техн. наук, директор СибНИТИП;

Адонин Александр Иванович – руководитель Сибирского филиала Общероссийского благотворительного фонда;

Порсев Евгений Георгиевич – д-р техн. наук, НГТУ;

Трусов Николай Алексеевич – главный конструктор;

Ивлев Борис Иванович – руководитель фонда поддержки науки и деятельности Новосибирской области;

Рамазанов Юрий Ахметович – директор ООО «Центр вихревых технологий»;

Шкиль Николай Алексеевич – д-р вет. наук, проф., зам. директора ИЭВСиДВ;

Широков Сергей Панкратович – генеральный директор ООО «Металлосервис»;

Бугаков Юрий Федорович – генеральный директор ОАО Племзавод «Ирмень»;

Пиденко Григорий Федорович – гл. зоотехник ОАО Племзавод «Ирмень»;

Пияшев Василий Сергеевич – конструктор;

Бахман Александр Яковлевич – директор ОАО «Крутишинское»;

Незамудинов Владимир Мустафович – предприниматель;

Лукьяненко Николай Иванович – директор ООО «Агроинновация».

Общее руководство осуществлял профессор кафедры стандартизации, метрологии и сертификации, член-корреспондент РАН К. Я. Мотовилов. Технология базируется на элементах нанобиотехнологий: ионизации, кавитации и ферментации. Разработка подтверждена 7 патентами. На продукцию разработана и утверждена техническая документация и проведено широкое внедрение в животноводческих хозяйствах Сибири.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Баланс азота в рубце (БАР). В рубце азот отделяется от поступившего с кормом протеина и преобразуется микробами в микробиальный белок. Баланс азота в рубце свидетельствует о недостатке или избытке в рубце азота для переваривания тех или иных кормов. Определяющим является баланс азота в рубце и в целом рационе.

Биоконверсия крахмала – гидролиз крахмала с применением амилолитических ферментов.

Гидролиз крахмала – каталитическая реакция деструкции полисахаридов крахмала с присоединением молекулы воды по месту разрыва глюкозидных связей.

Иониты – вещества, способные к ионному обмену. Подразделяются на катиониты и аниониты. Катиониты обладают способностью обменивать ионы водорода и другие положительные ионы (катионы) металлов. Аниониты способны обменивать гидроксильные ионы (или другие отрицательные ионы, содержащиеся в растворе).

Ионы – электрически заряженные частицы, образующиеся при потере или приобретении электронов, атомами или группой атомов. Положительно заряженные ионы называются катионами, отрицательно заряженные – анионами.

Ионизация – процесс, в результате которого вода приобретает большой отрицательный потенциал и становится низкомолекулярной.

Кавитация – процесс парообразования и последующей конденсации пузырьков пара в потоке жидкости, сопровождающийся гидравлическими ударами с образованием кавитационных пузырьков. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением, кавитационный пузырек схлопывается, образуя при этом ударную волну.

Клейстеризация крахмала – набухание и частичное растворение крахмальных зерен при нагревании в воде.

Крахмал – природный углевод, накапливаемый в клетках растений в виде крахмальных зерен. Общая формула $(C_6H_{10}O_5)_n H_2O$.

Крахмалопродукты – продукты, получаемые обработкой или переработкой крахмала. К этой группе относятся: модифицированные крахмалы, глюкоза, патоки, сиропы, мальтодекстрины и т. д.

Меласса – побочный продукт при производстве сахара, отделяемый при центрифугировании утфеля последней кристаллизации.

Метаболизм – обмен веществ.

Мониторинг – слежение за процессами, явлениями.

Нанобиотехнология – область науки на стыке биологии и нанотехнологии. Этот термин используют как в случаях применения нанотехнологических устройств и наноматериалов в биотехнологии, так и при использовании биологических молекул для нанотехнологических целей.

Нанотехнология – процесс создания новых веществ или материалов путем манипуляции атомов или частиц менее одной миллиардной доли метра (10^{-9} метра).

Наночастицы не биогенной природы (минералы) – могут быть носителями биомакромолекул, предназначенных для целевого воздействия на биологические объекты.

Обменная энергия (ОЭ) – доля общей, физиологически связанной энергии, которая используется в организме животного, если не учитывать энергию, выделяющуюся с калом, мочой и метаном. Это мера содержания энергии и энергетикой потребности животных. Измеряется обычно в мегаджоулях (МДж).

Осахаривание крахмала – заключительная стадия гидролиза крахмала с получением гидролизата заданного состава.

Патока – сахаристый продукт, получаемый осахариванием (гидролизом) крахмала (гл. обр. картофельного и маисового) разбавленными кислотами или ферментами с последующим фильтрованием и увариванием сиропа.

Разжижение крахмала – начальная стадия гидролиза крахмала с образованием декстринов, характеризующаяся резким снижением вязкости крахмального клейстера.

Сухое вещество (СВ) – часть корма, которая остаётся после высушивания до постоянной массы (при 105 °С). Количество сухого вещества в корме или рационе – важный комплексный показатель питательности и энергетической ценности кормов.

Сырая зола (СЗ) – минеральные вещества, которые остаются после сгорания корма (озоление при 550 °С).

Сырая клетчатка (СК) – нерастворимые в кислоте и щелочи инкрустирующие вещества (целлюлоза и др.). Сырую клетчатку могут использовать в больших количествах только жвачные животные. В рубце жвачных микроорганизмы (бактерии и простейшие) образуют преимущественно уксусную кислоту, необходимую корове для секреции молока и образования молочного жира.

Сырой протеин (СП) – характеризует содержание азота в корме, количество которого определяется умножением на 6,25 (протеин содержит в среднем 16% азота). Содержание сырого протеина является основой оценки питательности кормов для жвачных животных.

Ферменты – биологические катализаторы, ускоряющие биохимические реакции по превращению сложных питательных веществ в простые соединения: сахара, аминокислоты.

Ферментация – процесс расщепления органических веществ под действием ферментов.

Функционирование крахмала – разделение полисахаридов крахмала на амилазу и амилопектин.

Целлюлоза – полисахарид, главная составная часть клеточных оболочек всех высших растений, углеводов, полимер, белое твердое вещество, не растворимое в воде. Формула $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Экология – наука о взаимоотношениях живой и неживой природы.

1. НАНОБИОТЕХНОЛОГИИ

Термин «нанотехнология» впервые ввел японский ученый Норио Танигути в конце 60-х годов XX в. Под нанотехнологиями он предложил понимать процесс создания новых веществ или материалов путем манипуляции атомов или частиц менее одной миллиардной доли метра (10^{-9} метра).

Нанобиотехнология – это область науки на стыке биологии и нанотехнологии. Обычно этот термин используют при применении нанотехнологических устройств и наноматериалов в биотехнологии и при использовании биологических молекул для нанотехнологических целей. Размеры нанобиологических макромолекул (ДНК, РНК), ферментов, антител находятся в пределах диапазона наномасштаба. Наночастицы, которые представляют собой комплекс биогенных и не биогенных наноконструктивных элементов, являются по своей природе универсальными. Результаты разработок в области нанобиотехнологий нашли практическое применение в медицине, пищевой промышленности и т. д.

В настоящее время нанобиотехнология имеет пять направлений:

1. Измельчение продукта до наночастиц.

2. Изготовление различных нанодобавок.
3. Нанофильтрация для улучшения качества продукции.
4. Биосенсоры для контроля качества пищевых продуктов.
5. Пищевая упаковка нового поколения.

С развитием нанобиотехнологии открыто новое направление медицинской науки – молекулярная наномедицина, развитие которой тесно связано с революционными достижениями геномики и протеомики, позволяющими создать материалы с новыми свойствами на нанометрическом уровне.

Разработки ученых и описание функционирования генома человека, молекулярных механизмов клеточных процессов обеспечивают основу для существенного повышения информативности медицинской диагностики.

Следующим важнейшим направлением нанобиотехнологии является биомиметика. Живые организмы производят нанотехнологические операции на протяжении более 4 млрд лет. Живая клетка использует ДНК, РНК и белки, чтобы строить клеточные структуры нанометровых размеров. Именно этим свойством пользуются биометрические нанобиотехнологии при создании искусственных наноконструкций. Разработка этой проблемы существенно ускоряет создание наноконструкции из белка с использованием молекул ДНК и РНК.

За последние годы проводятся многочисленные исследования по изучению нанотехнологий применительно к биологическим наукам: микро- и макробиологическим. Проведение исследований в данном направлении является актуальным. Необходимо разрабатывать методологические вопросы по терминологии, систематизации нанотехнологий биологической направленности.

А. Эйнштейн еще в 1905 г. доказал, что молекула сахара равна 1 нм, а некоторые виды сахаропродуктов имеют

радиус от 7,2 до 100 нм. Такая форма сахаров позволяет активно взаимодействовать с мембранами биологических объектов и проникать внутрь клеток. Нарастание концентрации углеводов внутри биологических объектов имеет свои пределы, которые задаются физиологическими особенностями конкретных объектов и химическим составом внутриклеточной жидкости.

Перспективной является – разработка методов и способов привнесения искусственных наночастиц различных материалов в живые системы. Данная область представляет собой разработку различных технологий и транспортных средств, которые будут доставляться посредством этих технологий в необходимый орган живого организма.

Области применения современных нанотехнологий весьма многообразны и, несомненно, перспективны. В первую очередь это относится к целенаправленному созданию продуктов нового поколения на основе частиц высокой дисперсности и узкого фракционного состава.

Для создания наноструктур в каждой отдельной отрасли существуют различные возможности. Рекомендуются два основных принципа: от большого к малому, что означает последовательное уменьшение структурных размеров от макро до микро- и нанообластей; второй принцип – это построение наноструктур из атомов и молекул.

Если при уменьшении объёма какого-либо вещества до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество или это качество возникает в композиции из таких объектов, то эти образования следует отнести к наноматериалам, а технологии их получения – к нанотехнологиям.

Все природные материалы и системы построены из нанообъектов. Именно в интервале наноразмеров на мо-

лекулярном уровне природа программирует основные характеристики веществ, явлений и процессов.

Управляя размерами и формой наноструктур, таким материалам можно придавать совершенно новые функциональные свойства, резко отличающиеся от характеристик обычных материалов

Ведущие ученые мирового сообщества считают, что нанотехнология станет стратегическим направлением развития науки и техники, что потребует фундаментальной перестройки существующих производств, а также вызовет глубокие преобразования в организации охраны окружающей среды, окажет положительное влияние на жизнь, здоровье людей и безопасность продуктов питания в наступившем столетии.

Нобелевский лауреат Хорст Штормер заявил, что прорыв в будущее могут обеспечить нанотехнологии. Сочетание уже известных нам методов «от большого к малому» с самосборкой на атомном уровне создает огромное поле возможностей для работы с химическими и биологическими свойствами при использовании специально полученных искусственных структур.

Поэтому нанотехнологии в последние годы стали рассматриваться не только как наиболее обещающие ветви высокой технологии, но и как системообразующий фактор экономики XXI в., основанной на знаниях, а не на использовании природных ресурсов.

Таким образом, учитывая важность данной проблемы, необходимо расширить исследования в АПК по применению нанобиотехнологий с целью увеличения производства сельскохозяйственной продукции и улучшения её качества и экологической безопасности. Одной из таких проблем является обеспечение молочного животноводства кормовыми сахарами в соответствии с фи-

зиологическими потребностями с целью реализации их генетического потенциала продуктивности и увеличения производства молока в стране.

Нами была поставлена цель: получить легкоусвояемые углеводы – сахара из зернового крахмалосодержащего сырья. Для реализации поставленной цели мы использовали первое направление нанотехнологий «от большого к малому» – от полисахаридов до моносахаров: глюкозы и мальтозы.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕВОДОВ

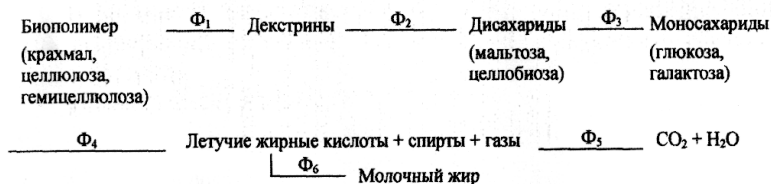
Углеводы являются важными органическими соединениями природного происхождения. В сухом веществе растений содержание составляет до 80%. Только растения способны осуществлять путем фотосинтеза полный синтез углеводов из CO_2 и воды. По мнению некоторых авторов, ежегодно на планете в результате фотосинтеза образуется более 40 млрд углеводов.

В организме животных углеводы играют доминирующую роль, выполняя различные функции. Они участвуют в большинстве биохимических процессов, являются предшественниками всех компонентов растений. Производные углеводов – мононуклеотиды – являются структурными компонентами нуклеиновых кислот, которые участвуют в передаче наследственных признаков и в биосинтезе белка. Следует также отметить, что такие производные углеводов, как гликозиды, определяют состав нуклеотидов и коэнзимов, например АТФ. Такие соединения как витамин С, гепарин, гиалоуроновая кислота являются углеводами или их производными. С полисахаридами связаны многие явления иммунитета, специфич-

ность тканей, групп крови и т.д. К трудноперевариваемым углеводам относятся целлюлоза, крахмал, инулин. К легко усвояемым углеводам относятся моносахара: глюкоза, фруктоза, дисахариды, лактоза, сахароза, мальтоза.

В пищеварительном тракте животных трудноперевариваемые углеводы гидролизуются под действием ферментов, которые выделяют микроорганизмы.

Общую схему ферментативного гидролиза углеводов можно представить следующим образом:



Лигнин – одеревеневшие стенки растительных клеток, в кормлении животных не нормируется, так как не имеет практического значения.

Целлюлоза – полимер с формулой $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Белое твердое вещество, не растворимое в воде, стойкое, не разрушается при нагревании до 200°C . Целлюлоза представляет собой длинные нити, содержащие 300–10 000 остатков глюкозы. Эти нити соединены между собой множеством водородных связей, что придает целлюлозе большую механическую прочность. Полисахарид – главная составная часть клеточных оболочек всех высших растений. Целлюлоза в клеточных стенках растений организована в микрофибриллы, представляющие собой паракристаллические комплексы из нескольких макромолекул, связанных между собой водородными связями. Между собой микрофибриллы связаны гликанами гемицеллюлозы и в меньшей степени – пектинами. При изучении поверхности растительных клеток в ос-

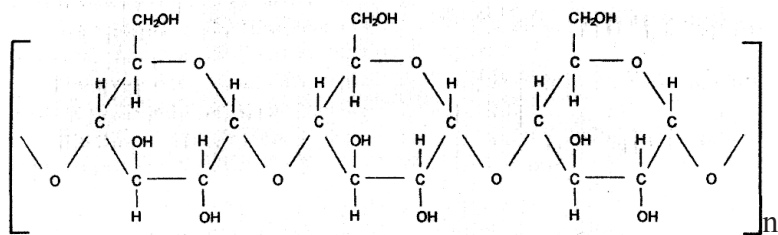
новании целлюлозных микрофибрилл можно наблюдать терминальные комплексы размером около 30 нм.

В животноводстве труднопереваримые углеводы (целлюлозу и гемицеллюлозу) объединяют в одну группу и называют сырой клетчаткой.

Сырая клетчатка – соединение, которое в значительной степени определяет энергетическую ценность и питательность корма. На питательность сырой клетчатки влияет степень одревеснения, что вызывается содержанием лигнина, в особенности его нерастворимых форм, и степенью волокнистости целлюлозы. Сырая клетчатка в зависимости от фазы развития растений по-разному переваривается и усваивается в организме животных. В начальные периоды развития растений сырая клетчатка переваривается на 75–85 %, а в конце вегетации всего на 40–45 %. Обусловлено это тем, что лигнин превращается в нерастворимые формы, взаимодействует с целлюлозой, резко снижая переваримость клетчатки и других органических веществ. Клетчатка обеспечивает нормальное пищеварение в преджелудках и кишечнике. Недостаточное ее содержание сопровождается нарушением пищеварения и обмена веществ. Клетчатка обеспечивает нормализацию и равновесие микрофлоры кишечника, стимулирует моторную функцию пищеварительного тракта. Уровень клетчатки в сухом веществе рациона жвачных животных должен быть в пределах 15–25 %. При переваривании клетчатки образуются различные виды усвояемых углеводов (сахара, декстрины и т.д.), имеющих высокую энергетическую ценность. У моногастричных животных нет ферментов, способных расщеплять целлюлозу. Однако жвачные животные имеют в пищеварительном тракте микрофлору, которая способна расщеплять клетчатку до моносахаров, и затем

использовать их для производства продукции и поддержания жизненных функций животного.

Крахмал – синтезируется различными растениями в хлоропластах, под действием света при фотосинтезе. Это аморфный порошок белого цвета, не растворимый в холодной воде. В горячей воде набухает (растворяется), образуя коллоидный раствор – клейстер. В воде при добавлении кислот постепенно гидролизуется с образованием декстринов вплоть до глюкозы. При нагревании сухого крахмала до 200...250°C происходит частичное его разложение и получается смесь менее сложных, чем крахмал, полисахаридов (декстрины и т.д.). Физическое изменение позволяет получать крахмал с высокой способностью удерживать влагу, что, в свою очередь, придает конечному продукту желаемую консистенцию.



Крахмал используют для получения патоки, глюкозы, этанола. В пищевой промышленности его включают в состав колбас, майонеза, кетчупа и т.д. Наибольшее применение крахмал нашел в целлюлозо-бумажной промышленности. В животноводстве крахмал является основным источником энергии.

Крахмал состоит из биополимеров двух типов: амилозы и амилопектина. Молекулы амилозы являются полимером, имеющим линейное строение, в котором молекулы глюкозы соединены между собой α -1,4-гликозидной связью, первичная структура. В зависимости от вида

крахмала молекулы амилозы имеют молекулярную массу в пределах 50 000–2 000 000 Д.

Вторичная структура молекул амилозы имеет спиралевидное строение. Устойчивость вторичной структуры макромолекул амилозы обеспечивается внутримолекулярными водородными связями. Размер внутреннего диаметра канала спирали составляет 0,5 нм, и внутрь спирали амилозы могут входить некрупные молекулы, такие как молекулы воды, размер которых составляет 0,138 нм.

Молекулы амилопектина имеют разветвленное строение. Молекулярная масса амилопектина разных видов крахмалоносов находится в пределах 1 000 000–5 000 000 000 Д. Ветви амилопектина классифицируются в зависимости от их длины. Самые короткие ветви – А со степенью полимеризации до 15. Обычно эти ветви составляют наружную часть амилопектиновой грозди и связаны только с В-ветвями, они более длинные и составляют внутренние части амилопектиновой грозди.

Глюкоза. Моносахарид, формула $C_6H_{12}O_6$. Широко распространенный в природе углевод. Образует бесцветные кристаллы. Температура плавления 140 °С. Хорошо растворимые в воде. В растениях содержится как в свободном виде, так и в виде эфиров фосфорной кислоты. Её остаток входит в состав олигосахаридов (сахарозы, лактозы и других соединений), полисахаридов (крахмала, гликогена, сахарозы и др.), гликозидов и других производных.

Основные пути метаболизма глюкозы:

а) гликолиз и аэробное окисление до CO_2 и H_2O , в результате которых образуются АТФ и другие макроэргические соединения;

в) синтез олиго- и полисахаридов;

г) превращение в пентозы и другие простые сахара.

Молярная масса глюкозы 180 г/моль. Отсюда можно сделать вывод, что молекулярная формула глюкозы $C_6H_{12}O_6$.

Всасываемая глюкоза в основном используется как энергетический материал, так как возможности отложения её в организме весьма ограничены. В печени, в мышцах и других органах глюкоза депонируется в виде гликогена. Часть глюкозы в печени превращается в жир и откладывается в жировых депо.

Во всех тканях, пройдя стадию депонирования, глюкоза используется как источник энергии, т.е. окисления. Окисление глюкозы происходит как в аэробных, так и анаэробных условиях.

Глюкоза активируется, превращается в пировиноградную кислоту. В аэробных условиях пировиноградная кислота окисляется в цикле Кребса до диоксида углерода и воды с образованием АТФ. При полном окислении молекулы глюкозы образуется 38 молекул АТФ. В анаэробных условиях пировиноградная кислота превращается в молочную с выделением энергии. Таким образом, из молекулы глюкозы при отсутствии кислорода образуются две молекулы АТФ. Затем в печени из молочной кислоты синтезируются глюкоза и гликоген. Если же на этапе молочной кислоты возникают аэробные условия, то она превращается в пировиноградную кислоту, которая уже окисляется в цикле Кребса.

Глюкоза используется для синтеза лактозы, липидов, гликогена, аминокислот, жирных кислот.

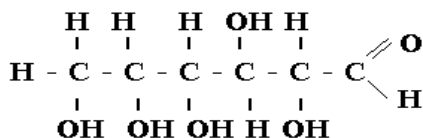
У жвачных животных углеводы кормов в большей части превращаются, сбраживаются в преджелудках до образования летучих жирных кислот: уксусной, пропионовой и масляной, которые всасываются в кровь. Затем в организме уксусная, пропионовая и масляная кислоты

используются для образования липидов и кетоновых тел; уксусная, масляная и пропионовая кислоты окисляются в тканях органов с образованием АТФ, диоксида углерода и воды.

Для установления структурной формулы молекулы глюкозы необходимо знать её химические свойства. Экспериментально доказано, что один моль глюкозы реагирует с пятью молями уксусной кислоты с образованием сложного эфира. Это означает, что в молекуле глюкозы имеется пять гидроксильных групп. Так как глюкоза с аммиачным раствором оксида серебра даёт реакцию серебряного зеркала, то в её молекуле должна быть также альдегидная группа.

Опытным путём также доказано, что глюкоза имеет неразветвлённую углеродную цепь.

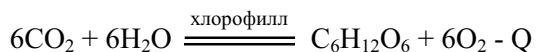
На основании этих данных строение молекулы глюкозы можно выразить следующим образом:



Как видно из структурной формулы, глюкоза является одновременно многоатомным спиртом и альдегидом, т.е. альдегидоспиртом.

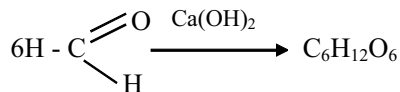
В организме человека и животных глюкоза содержится в мышцах, в крови и в небольших количествах во всех клетках.

В природе глюкоза наряду с другими углеводами образуется в результате фотосинтеза:

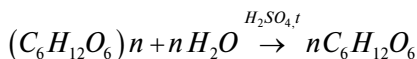


В процессе этой реакции аккумулируется энергия Солнца.

Первый синтез простейших углеводов из формальдегида в присутствии гидроксида кальция был произведён А. М. Бутлеровым в 1861 г.



На производстве глюкозу получают путём гидролиза крахмала в присутствии серной кислоты:



Глюкоза является ценным питательным продуктом. В организме животных она подвергается сложным биохимическим превращениям, в результате которых энергия освобождается и используется в обменных процессах животных.

3. БИОЛОГИЯ ПИЩЕВАРЕНИЯ

3.1. Желудочное пищеварение у жвачных животных

Растительные корма, которыми питаются жвачные животные, по питательности и химическому составу менее ценны. Они богаты трудноперевариваемой клетчаткой. Чтобы получить достаточное количество питательных веществ, жвачные животные должны поедать растительные корма в больших объемах. Поэтому особенностью организма жвачных является наличие в пищеварительном тракте вместительных преджелудков. Емкость рубца у взрослого крупного рогатого скота от 100 до 300 л.

У новорожденных телят рубец не функционирует. Молоко переходит из пищевода по пищеводному жело-

бу прямо в сычуг, минуя рубец. При медленной выпойке молока желоб смыкается полностью, образуя трубку, служащую продолжением пищевода. При быстрой выпойке молока желоб смыкается не полностью, и молоко частично попадает в рубец, где может задерживаться, загнивать и вызывать расстройство пищеварения.

В преджелудках под влиянием микрофлоры (симбионтное пищеварение) и ферментов самого корма (аутолитическое пищеварение) происходят сложные пищеварительные и обменные процессы.

В рубце имеются три группы микроорганизмов: бактерии, простейшие и грибки. Бактерии представлены целлюлозолитическими, молочно-кислыми, стрептококками. Всего выделено около 20 видов бактерий. В 1 г содержимого рубца насчитывается от 1 до 10 млрд бактерий. Простейшие рубца включают до 120 видов. В 1 г содержимого рубца их около 1 млн. Инфузории механически расщепляют и разлагают клетчатку, используя ее для своего питания и делая доступной действию ферментов. Грибки также играют важную роль в рубцовом пищеварении.

Количество и видовой состав микроорганизмов в рубце у жвачных животных зависят от ряда факторов, причем условия кормления играют первостепенную роль. При каждой смене рациона меняется и микрофлора рубца, поэтому для жвачных животных особое значение имеет постепенный переход от одного рациона к другому, чтобы дать возможность микрофлоре приспособиться к характеру корма.

В преджелудках перевариваются белки, углеводы и жиры. В кормах содержатся в основном клетчатка, крахмал и сахара. Под влиянием ферментов, выделяемых микроорганизмами, эти углеводы перевариваются до

глюкозы. Основная масса глюкозы и сахаридов в рубце подвергается брожению. При этом образуются летучие жирные кислоты, преимущественно уксусная, пропионовая и масляная, а также газы: углекислый, метан и др. За сутки в рубце образуется до 4 л летучих жирных кислот.

Соотношение их зависит от состава рациона (табл. 1). Почти полностью они всасываются в преджелудках и служат источником энергии, а также используются для синтеза жира и глюкозы в организме. Небольшая часть углеводов расходуется на образование внутриклеточных полисахаридов (гликогена) рубцовых бактерий и инфузорий. При поступлении в сычуг микроорганизмы под влиянием соляной кислоты погибают. В кишечнике под воздействием амилолитических ферментов они перевариваются до глюкозы, которая всасывается в кровь. Если на 1 кг массы животного с кормом поступает 5 г и более легкопереваримых углеводов, то часть образующейся глюкозы может всасываться в кровь в рубце.

Таблица 1

Соотношение летучих жирных кислот в содержимом рубца лактирующих коров, %

Рацион	Уксусная	Пропионовая	Масляная
Концентратный	59,6	16,6	28,8
Сочный	58,9	24,8	16,3
Сенной	66,5	28,0	5,5

В рубце подвергается гидролизу и другим превращениям 40–80% поступившего с кормом белка. Под влиянием протеолитических ферментов микроорганизмов белки корма расщепляются до пептидов, аминокислот, а затем до аммиака. Бактерии используют аминокислоты и аммиак для синтеза белка собственного тела. Считают, что в рубце за сутки может синтезироваться от 100 до 450 г микробного белка. В дальнейшем бактерии и инфузории

вместе с содержимым рубца поступают в сычуг и кишечник, где погибают и перевариваются до аминокислот. Считают, что за счет белка микроорганизмов жвачные могут удовлетворять до 20–30% потребности белка.

В рубце у жвачных животных микроорганизмы синтезируют аминокислоты, в том числе и незаменимые.

Микроорганизмы рубца могут использовать небелковые азотистые вещества (карбамид и др.). Под воздействием фермента уреазы, продуцируемой бактериями, мочевины распадается. Образуется аммиак, азот которого бактерии используют для синтеза белка своего тела.

В процессе жизнедеятельности микроорганизмы рубца синтезируют витамины группы В (рибофлавин, тиамин, никотиновую, фолиевую и пантотеновую кислоты, биотин, пиридоксин, цианокобаламин), а также жирорастворимый витамин К.

Независимо от поступления этих витаминов с кормом, после переваривания микроорганизмов в тонком отделе кишечника и всасывания освободившихся витаминов последние оказываются в распоряжении организма и могут быть использованы им для удовлетворения потребностей в витаминах. Так, например, *Proteus vulgaris* и *Aerobacter aerogenes* в состоянии одновременно синтезировать тиамин, рибофлавин, амид никотиновой кислоты, пиридоксин, пантотеновую кислоту, биотин, фолиевую кислоту, инозит и парааминобензойную кислоту. К синтезу витаминов группы В с широким спектром относятся также *Escherichia coli*, *Lactobacillus* и *Clostridium*. Витамин К синтезируют *Bacterium bifidus*, *proteus* и *Bac. subtilis*. Потребителями витаминов в рубце являются, прежде всего, *Streptococcus faecalis*, некоторые виды *Clostridium* и ряд других микроорганизмов. О роли рубцовой флоры в обмене витаминов группы В жвачных животных имеется много данных. Объем синтеза вита-

минов группы В в рубце и его доминирующее положение зависят от таких факторов, как состав корма, объём веществ в стенке рубца, обмен веществ бактериальных клеток и др. В целом биосинтез витаминов В и К в рубце достаточно интенсивен и в основном не зависит от поступления этих витаминов с кормом.

Под влиянием липолитических ферментов микроорганизмов в рубце жиры корма гидролизуются до глицерина и жирных кислот, а затем в стенке рубца синтезируются вновь.

Пищеварение в тонком кишечнике

Содержимое желудка, поступив в двенадцатиперстную кишку, подвергается действию поджелудочного и кишечного соков и желчи.

Сок поджелудочной железы – это прозрачная бесцветная жидкость щелочной реакции (рН 7,2–8,0). Содержит ферменты, участвующие в переваривании белков, углеводов и липидов. К протеолитическим ферментам относятся трипсин, химотрипсин, карбоксиполипептидаза, дипептидаза и эластаза. Эти ферменты расщепляют белки до аминокислот. Группа амилалитических ферментов представлена:

- 1) амилазой, расщепляющей крахмал и гликоген до мальтозы;
- 2) глюкозидазой, расщепляющей мальтозу на две молекулы глюкозы;
- 3) галактозидазой, расщепляющей молочный сахар на глюкозу и галактозу;
- 4) фруктофуридазой, расщепляющей сахарозу на глюкозу и фруктозу.

Поджелудочная липаза расщепляет жир на глицерин и жирные кислоты, а нуклеаза – нуклеиновые кислоты на мононуклеотиды и фосфорную кислоту.

Секреторная деятельность поджелудочной железы регулируется нервной системой и гуморально.

Желчь вырабатывается клетками печени. У сельскохозяйственных животных она образуется и поступает в просвет двенадцатиперстной кишки непрерывно в течение 6–8 ч после приема корма. В сутки у крупного рогатого скота выделяется 7,0–9,5 л желчи, у лошади – 6,0–8,0, у свиньи – 2,4–3,8 л, у овцы – 300–400 мл.

Различают два вида желчи: печеночную и пузырную. Печеночная желчь жидкая, прозрачная, светло-желтого цвета; пузырная более густая, темного цвета.

В состав желчи входят желчные пигменты – билирубин и биливердин и желчные кислоты – холевая, литохолевая и дезоксихолевая.

Роль желчи в процессах пищеварения и всасывания значительна и многообразна. Щелочи желчи эмульгируют жиры, что способствует перевариванию жиров. Сама желчь усиливает действие липаз поджелудочного и кишечного соков. Нейтрализует кислое содержимое желудка, поступившее в двенадцатиперстную кишку, и тем самым прекращает действие пепсина, разрушительно действующего на трипсин. Следовательно, желчь косвенно влияет на ферментативное расщепление белков; способствует растворению жирных кислот, что облегчает их всасывание; стимулирует перистальтику кишечника. Кроме того, она обладает бактерицидным действием, подавляя гнилостные процессы в кишечнике.

В пищеварении, протекающем в тонком кишечнике, участвует кишечный сок, вырабатываемый либеркюновыми и бруннеровыми железами слизистой оболочки кишечника. Это бесцветная жидкость, в которой взвешены комочки, состоящие из слизи, холестерина, эпителия, и бактерии.

В кишечном соке содержатся ферменты, завершающие переваривание питательных веществ корма. Протеолитические ферменты (аминополипептидаза и дипептидазы) расщепляют полипептиды и дипептиды до аминокислот. На углеводы действуют мальтаза, глюкозидаза, фруктофуридаза, галактозидаза, превращающие дисахариды в моносахариды.

В кишечном соке имеются два липолитических фермента: липаза и фосфолипаза. Кроме того, в нем содержатся энтеропептидаза (энтерокиназа), активирующая трипсиноген, а также щелочная фосфатаза, обеспечивающая фосфорилирование углеводов, аминокислот и их всасывание.

Процесс пищеварения в тонком кишечнике состоит из трех последовательных этапов:

- 1) полостное пищеварение;
- 2) мембранное (пристеночное) пищеварение;
- 3) всасывание.

Полостное пищеварение происходит в полости кишечника, а пристеночное – на мембранах кишечных клеток, через которые и осуществляется всасывание аминокислот, глюкозы, глицерина и жирных кислот.

В результате переваривания питательных веществ корма и смешивания его с пищеварительными соками содержимое тонкого кишечника приобретает вид однородной жидкой массы, которую называют химусом. Общее количество химуса очень велико: у крупного рогатого скота – 150 л, у лошадей – 190, у свиней – 50, у овец – 15–20 л. На долю пищеварительных соков в химусе приходится 3/4 его объема.

Пищеварение в толстых кишках

Из тонких кишок невсосавшаяся часть химуса переходит через сфинктер в слепую и ободочную кишки.

У травоядных и всеядных животных в содержимом толстого отдела кишечника еще довольно много питательных веществ. Например, в слепой и ободочной кишках переваривается до 40–50 % всей принесенной с химусом клетчатки, до 39 – белка и до 24 % углеводов. Слепая кишка – это как бы второй желудок.

В толстом кишечнике жвачных сбраживается и всасывается в кровь 15–20 % глюкозы из клетчатки корма, что составляет около 30 % всей переваривающейся в пищеварительном тракте клетчатки.

Пищеварение в толстом отделе кишечника происходит главным образом под действием ферментов пищеварительных соков, принесенных с химусом из тонких кишок. Слизистая оболочка толстого кишечника тоже выделяет небольшое количество пищеварительного сока, богатого слизью, но бедного ферментами. В толстых кишках имеется богатая бактериальная флора, вызывающая сбраживание углеводов с образованием летучих жирных кислот.

Под влиянием гнилостных бактерий в толстых кишках происходит разрушение невсосавшихся аминокислот и других продуктов переваривания белков. При этом образуется ряд ядовитых для организма соединений: скатол, индол, фенол и другие, которые, всасываясь в кровь, способны вызвать интоксикацию (отравление) организма. Эти вещества затем обезвреживаются в печени.

Толстые кишки являются органами выделения. Через их стенки удаляются из организма минеральные и некоторые другие вещества. В нижних отделах толстого кишечника происходит сгущение поступившего в них содержимого в результате всасывания воды и формируется кал.

Корова ежедневно выбрасывает в среднем около 40 кг кала, овца – около 3 кг, лошадь при кормлении сеном – 16–17 кг, а при кормлении овсом и сеном – 9–10 кг.

Двигательные явления в кишечнике

Движения кишечника происходят в результате координированных сокращений круговых и продольных мышечных волокон. Различают три типа кишечных движений: перистальтические, маятникообразные и сегментирующие.

Перистальтические движения состоят в том, что выше пищевого кома образуется за счет сокращения круговых волокон кольцевой перехват, а ниже его за счет сокращения продольных волокон – расширение кишки. Благодаря таким сокращениям корм выжимается из суженного участка в расширенный и передвигается по направлению от двенадцатиперстной кишки к толстой. При антиперистальтике, наблюдаемой в толстом кишечнике, химус перемещается в краниальном направлении.

При маятникообразных движениях сокращаются продольные мышцы, что вызывает укорочение и расширение кишки. Кишечная петля при этом перемещается то в одну, то в другую сторону, напоминая движение маятника. Эти сокращения обеспечивают постоянное движение и перемешивание химуса.

Сегментирующие сокращения характеризуются ритмическим образованием нераспространяющихся колец сужения. При этих сокращениях обеспечивается дробление химуса на отдельные порции и его перемешивание.

Двигательные процессы в кишечнике регулируются центральной нервной системой. По блуждающим нервам поступают импульсы, которые усиливают движения кишок, а по симпатическим – тормозящие импульсы. Кроме того, кишечник обладает автоматизмом, который проявляется в способности мышечных волокон ритмически сокращаться при отсутствии раздражения извне.

У крупного рогатого скота корм в пищеварительном тракте пребывает 2–3 суток. Отдельные частицы грубого

корма могут задерживаться в преджелудках до 12 суток. У лошади корм переваривается 10–100 ч, у свиньи – 24–36.

3.2. Превращение и использование питательных веществ кормов жвачными животными

Пищеварительный аппарат жвачных животных в процессе эволюционного развития приспособился к переработке большого количества объемистых кормов (грубых и сочных), которые по химическому составу и питательности менее ценны по сравнению с другими группами кормов. Объемистые корма труднее перевариваются в желудочно-кишечном тракте и хуже используются организмом. Поэтому для переработки больших количеств таких кормов у травоядных с простым желудком (например, лошади) эту функцию выполняют слепая и ободочная кишки, а у жвачных (овцы, крупный рогатый скот и др.) – преджелудки: рубец, сетка и книжка, из которых основное значение принадлежит рубцу. От функционального состояния преджелудков зависит не только переваривание питательных веществ кормов, но и течение обменных процессов в организме. В превращении питательных веществ корма решающая роль принадлежит микроорганизмам, которые населяют преджелудки. Благодаря разнообразной по видовому составу микрофлоре и ее многочисленности в рубце происходит переваривание и сбраживание основных питательных веществ – протеинов, углеводов, жиров и создаются условия для эффективного усвоения в последующих отделах пищеварительного тракта. В сложном желудке жвачных переваривается от 50 до 85 % сухого вещества, или до 70 % энергии корма, 95 % – легкоферментируемых углеводов, 60 – клетчатки, от 60 до 80 % – протеина корма. В зависимости от состава рациона в рубце коровы содержится от 4 до 7 кг бактериальной массы, составляющей около 10 % содержимого рубца. В результате

бактериального воздействия протеины кормов растительного происхождения превращаются в полноценный белок животного происхождения (бактериальный), происходит видоизменение и пополнение аминокислотного состава корма, увеличивается количество общего азота, доступного для усвоения.

Благодаря бактериальной ферментации, в рубце образуются летучие жирные кислоты (ЛЖК), аминокислоты, аммиак, пептиды, диоксид углерода, метан, а также другие конечные и промежуточные продукты обмена. Микроорганизмы рубца не только превращают в усвояемую для животного-хозяина форму некоторые питательные вещества корма, но и осуществляют синтез ряда жизненно важных веществ: аминокислот, витаминов, в частности витаминов группы В и витамина К, а также липидов и др. Немаловажное значение в дальнейшем переваривании, усвоении и обмене питательных веществ имеют и последующие отделы пищеварительного тракта жвачных животных. Особенности пищеварительных процессов у жвачных и образующиеся при этом метаболиты оказывают существенное влияние на течение обменных процессов в их организме, на состояние здоровья и продуктивность. Одной из важнейших функций пищеварения жвачных является превращение и использование питательных веществ корма или рациона.

3.3. Создание оптимальных условий для жизнедеятельности населяющей микрофлоры рубца

В рациональном использовании питательных веществ рационов, в интенсивности и уровне синтеза микробиального белка первостепенное значение имеют условия, создаваемые для развития полезной микрофлоры в преджелудках жвачных животных.

Таблица 2

Виды бактерий, населяющие преджелудки крупного рогатого скота, овец и коз, и их функции

Вид бактерий	Название	Функция	Встречается в большом количестве
Лактобациллы	<i>Lactobacillus acidophilus brevis, bifidus buchneri, casei fermenti, lactis plantarum</i>	Переваривание крахмала и дисахаридов	У телят при потреблении больших количеств сена и концентратов
Стрептококки	<i>Streptococcus bovis faecalis liquefaciens</i>	Переваривание крахмала и дисахаридов	При кормлении зерном, при переводе на кормление травой, после скармливания глюकोзы и крахмала
Бактероиды	<i>Bacteroides amylophilus succinogenes ruminicola amylogenes</i>	Переваривание целлюлозы, целлобиозы и других сахаров	При скармливании корма с высоким содержанием целлюлозы
Целлюлозорасщепляющие бактерии	<i>Ruminococcus flavefaciens Ruminobacterium</i>	Переваривание целлюлозы, целлобиозы и других сахаров	То же
Клостридии	<i>Clostridium perfringens longisporum butyracum</i>	То же	
Селеномонады	<i>Selenomonas ruminantium selenomonas tiparipitans</i>	Переваривание дисахаридов и моносахаридов	» »

Микрофлора, населяющая преджелудки жвачных, представлена многочисленными микроорганизмами, составляющими комплекс существ в основном трёх групп: бактерий, простейших одноклеточных – инфузорий и организмы типа дрожжей. Рубцовую микрофлору и фауну в основном представляют бактерии (10^8 – 10^{11} в 1 мл рубцовой жидкости). Бактерий насчитывается около 900 видов (табл. 2). Важнейшей функцией бактерий является переваривание клетчатки кормов рациона, которая мало доступна для моногастричных животных. Известно, что животные не вырабатывают ферменты, которые могли бы расщепить клетчатку на составляющие её молекулы глюкозы.

Бактерии рубца выделяют ферменты, при помощи которых они расщепляют клетчатку до сахаров и используют их в качестве источника энергии. Сбраживая сахара, бактерии выделяют в полость рубца уксусную, пропионовую, масляную кислоты. Летучие жирные кислоты (ЛЖК) всасываются в кровь, используются организмом в качестве источника энергии и для образования жира молока, белков тканей организма. Бактерии могут синтезировать белки своего тела из небелковых азотистых веществ корма, а также из синтетических азотистых веществ (СAB).

Эта функция бактерий позволяет жвачным использовать различный по качеству протеин корма, в отличие от моногастричных животных. Таким образом, уровень протеинового питания жвачных может быть повышен за счёт образования белка из небелковых соединений. Сухое вещество бактерий состоит главным образом из белков. Бактерии могут синтезировать белки своего тела из аммиака и простых соединений углерода, используя соли аммония и амиды, а также мочевины.

В рубцовой жидкости свыше 30 видов свободноживущих инфузорий. В 1 мл содержимого рубца взрослого

животного насчитывается от 80 тыс. до 2 млн инфузорий. Масса инфузорий составляет 1/20 массы рубца, а их азот – 10–20% общего азота содержимого рубца. Длительность жизни инфузорий от 6 до 54 ч, за сутки они дают 4–5 поколений. В преджелудках жвачных происходит непрерывный процесс отмирания старых и появления новых инфузорий.

На популяцию микроорганизмов в рубце оказывают влияние состав и структура рационов, способ кормления, физиологическое состояние животных, их возраст и многие другие факторы. Состав рациона оказывает большое влияние на количество и видовой состав инфузорий. Самые многочисленные и разнообразные их виды установлены при сенном типе кормления и, наоборот, самые малочисленные и однообразные – при концентратном. Преобладание в рационе соломы вызывает уменьшение числа и видов инфузорий, а при недостаточном кормлении и голодании количество инфузорий в преджелудках жвачных резко уменьшается. Очень важно, чтобы между составом рациона и составом микрофлоры преджелудков было соответствие, так как нарушение его может не только снизить использование азотистых веществ, но и продуктивность животных, и привести к патологическим последствиям. Оптимальное количество протеина в рационе весьма благоприятно влияет на состав популяции микробов и ее активность.

Постоянное скармливание определенного рациона жвачным животным приводит к образованию соответствующей по количеству и составу популяции микроорганизмов. При смене рациона резко меняется соотношение различных видов микробов в популяции. Полное обновление микрофлоры в соответствии с новым составом рациона происходит через 10–20 суток. В этот период пере-

варивание и использование питательных веществ, в том числе и протеина, ухудшается. Поэтому состав рациона для жвачных должен быть по возможности постоянным, а смену его рекомендуется проводить постепенно, в течение 10–20 суток. Рубцовые микроорганизмы выделяют определенное количество протеолитических ферментов в виде протеаз и пептидаз, активность которых зависит от состава рациона.

Прямой источник энергии для анаэробных микроорганизмов, которые осуществляют процессы распада и синтеза в рубце, – аденозинтрифосфорная (АТФ) кислота. Рост микроорганизмов пропорционален количеству АТФ, образующейся при ферментации, а не количеству сбраживаемого субстрата. Как известно, при сбраживании легкоферментируемых углеводов в рубце образуются летучие жирные кислоты – уксусная, пропионовая, масляная и др., которые обеспечивают синтез значительного количества АТФ и служат основным источником биологически доступной энергии. Принято считать, что на каждый моль АТФ, доступный микроорганизмам, синтезируется около 10 г сухого вещества клеточного материала. Это указывает на ограничение синтезирующей способности рубцовых микроорганизмов количеством доступной АТФ, а также на зависимость общей продукции микробной протоплазмы от углеродного материала. На каждые 100 г подвергшихся сбраживанию углеводов ассимилируется 1,1 г микробиального азота.

Наиболее эффективным источником энергии для процессов бактериального синтеза принято считать легкоферментируемые углеводы – моносахариды и крахмал. Из данных углеводов лучше используется крахмал, так как при сбраживании он постепенно освобождает необходимую для микроорганизмов энергию. Однако избыточное

количество крахмала или сахара (моно- и дисахаридов) может тормозить биосинтез в рубце. Поэтому считается наиболее целесообразным содержание в рационе жвачных легкоферментируемых углеводов не более 2–3 г на 1 кг живой массы животного и соотношение крахмала к сахару в пределах 1–2 : 1, а оптимальный показатель рН в рубце для бактериального биосинтеза 6,5–6,7.

Процессы превращения в рубце протеинов корма в бактериальный белок были изучены многими исследователями. Однако определить степень перехода растительных протеинов в бактериальные белки довольно сложно из-за трудности в отличии бактериального белка от растительного. Несмотря на это, в настоящее время установлено, что роль микробиального азота в удовлетворении потребности животного в белке очень значительна и составляет от 30–40% потребности организма жвачных в азоте. В связи с этим очень важное значение для организма животного имеет биологическая ценность и переваримость микробного белка.

При анализе бактерий, полученных непосредственно из рубцового содержимого, было установлено, что содержание в них белкового азота составило около 65% от общего количества азота, и данная величина мало изменяется при различном кормлении. Содержание азота в простейших оказалось меньше, чем в бактериях, что связано с наличием в простейших большого количества полисахаридов. Изучая аминокислотный состав бактерий и простейших, установили, что гидролизаты белка простейших содержат больше лизина, лейцина, изолейцина и фенилаланина, а гидролизаты белка бактерий – метионина и валина. Хотя биологическая ценность белка простейших незначительно больше белка бактерий, но более высокая истинная переваримость простейших

обеспечивает и более полное использование их белка. Так, было установлено, что коэффициент переваримости азотистых веществ высушенных бактерий составил 71 %, а биологическая ценность белков – 81 %, тогда как простейших – соответственно 91 и 80 %. В связи с этим следует отметить, что на величину популяции простейших в рубце существенное влияние оказывает характер кормления, поэтому приведенные данные представляют определённый интерес в связи с возможностью регуляции аминокислотного состава микробиальной массы, которая поступает из преджелудков в сычуг. Данный вывод имеет большое практическое значение в повышении биологической ценности протеинового питания жвачных животных.

Отмечая огромную роль населяющей микрофлоры преджелудков в процессах превращения питательных веществ у жвачных, следует остановиться на оптимальных условиях, которые необходимо создать для жизнедеятельности бактерий и инфузорий рубцового содержимого

В настоящее время установлено, что значительная часть потребленного с кормами протеина не подвергается ферментации в рубце и проходит неизменной в нижележащие отделы пищеварительного тракта, однако определенное количество белка синтезируется рубцовой микрофлорой из простых азотистых веществ – из продуктов распада белков корма и небелковых источников азота. Многолетними исследованиями в различных лабораториях установлено наличие у жвачных бактериального синтеза белка, а также то, что жвачные в связи со спецификой белкового обмена не нуждаются в поступлении с кормами незаменимых аминокислот в такой мере, как моногастричные животные, так как, используя аммиак, углерод, минеральные вещества, в частности серу, а так-

же органические кислоты, бактерии рубца синтезируют аминокислоты и строят белок собственного тела.

Конкуренция за использование азота между целлюлозолитическими и амилолитическими группами бактерий – один из важнейших факторов, который вызывает снижение переваримости клетчатки при введении в рацион крахмала. Предпочтительное использование аммиака в качестве источника азота объясняет благоприятное влияние рационов, содержащих САВ, на переваримость азота у жвачных.

Исследованиями установлено, что из азота аммиака образуется до 50–65% бактериального азота и от 31 до 55% азота простейших. Простейшие в основном удовлетворяют свою потребность в азоте, захватывая и переваривая бактерии, а также активно поглощая свободные аминокислоты, пуриновые и пиримидиновые основания.

Усвоение аммиака бактериями рубца возможно при наличии соответствующего углеродного каркаса. Хорошо известно, что для синтеза белка клетки используют углерод углеводовных источников энергии. Включение двуокиси углерода в аминокислоты и использование углерода ацетата при синтезе аминокислот указывают на то, что некоторые продукты рубцовой ферментации могут быть использованы как предшественники для построения необходимой углеродной цепочки. В этом отношении значительный интерес представляют данные об использовании двуокиси углерода, образующейся в рубце, для синтеза аминокислот и бактериального белка. Двуокись углерода имеет определенное значение для роста многих рубцовых бактерий. Для биосинтеза аминокислот могут быть и другие промежуточные и конечные продукты сбраживания углеводов – глюкоза, ацетат, пропионат и др. Ацетат, по-видимому, основной источник углерода

для биосинтеза аминокислот. Глюкоза также интенсивно используется для синтеза аминокислот.

В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал, вскрывающий причину зависимости между составом рациона и соотношением продуктов рубцовой ферментации, которые, в свою очередь, играют решающую роль в направлении обмена веществ, повышении продуктивности и состояния здоровья животных. При этом большое значение имеет постоянство биологической среды в рубце, которое обусловлено рядом факторов: избирательной всасывающей способностью стенки рубца и обратным проникновением метаболитов через стенку в рубцовую среду; усилением активности микроорганизмов, приспособительной реакцией слюнных желез к изменению рН среды в рубце. В создании постоянства химического состава содержимого рубца участвует не только принятый корм, но и собственные ресурсы организма. Участие организма обратно пропорционально питательности корма, а путем изменения состава рациона можно регулировать образование в рубце отдельных предшественников для синтеза составных частей тела и таким образом влиять на продуктивность животных.

Одним из важных показателей, характеризующих процессы, протекающие в рубце, является рН рубцовой жидкости, от которой зависит активность микроорганизмов рубца, а в конечном счете – переваримость питательных веществ кормов, в частности клетчатки. Концентрация водородных ионов (рН) рубцового содержимого оказывает значительное влияние на метаболические процессы в рубце: на уровень и соотношение летучих жирных кислот. Исследованиями установлено, что при кормлении животных сеным рационом рН рубцовой жидкости колеблется в пределах 6,8–7,2, в жидкости пре-

обладает уксусная кислота, а введение в рацион кормов, богатых крахмалом, снижало рН до 5,6–6,0 и в содержимом рубца была обнаружена молочная кислота. Замена в рационе крахмалистых кормов изменяет бродильные процессы в рубце, и рН снижается, в рубцовой жидкости увеличивается содержание пропионовой и масляной кислот [66].

Концентрация водородных ионов играет большую роль в скорости всасывания из рубца основных продуктов переваривания корма. Установлено, что при рН больше 7,0 всасывание аммиака в рубце увеличивается. Это связано с тем, что в щелочной среде большинство ионов переходит в неионизированную форму, способную проникать через липидные слои рубцового эпителия. Кроме этого, величина рН рубцовой жидкости оказывает влияние на выделение мочевины со слюной. Поступление мочевины из крови в рубец обратно пропорционально величине рН рубцовой жидкости. Было установлено, что максимальное поступление мочевины из крови в рубец происходит при рН содержимого рубца 6,5–7,0.

3.4. Растворимость и расщепляемость протеина кормов

Снижение дефицита кормового белка – один из решающих факторов в реализации генетического потенциала высокопродуктивных животных. В процессе пищеварения питательные и биологически активные вещества извлекаются из кормов и используются животными для поддержания жизни, построения тканей, органов, регуляции обмена веществ и производства продукции.

Исследования последних лет убедительно показывают, что использование азота кормов жвачными животными в значительной мере обусловлено физико-химически-

ми характеристиками и в первую очередь растворимостью и расщепляемостью протеина. Нормирование питания жвачных по сырому или переваримому протеину без учета степени его распада не всегда соответствует истинным потребностям организма и ведет к перерасходу кормового протеина, удорожанию продукции и нарушениям обмена веществ в организме животных.

Растворимость – способность протеина рациона переходить в растворимое состояние под действием рубцовой жидкости. Расщепляемость – ферментативный процесс, характеризующий собой распад протеина в рубце жвачных до аминокислот и аммиака. Растворимость и расщепляемость протеинов рациона – факторы, определяющие эффективность его использования жвачными животными. При быстром разрушении поступающих в рубец протеинов образуется много аммиака, и микроорганизмы не в состоянии его усвоить, что обуславливает снижение уровня ретенции (удержания) азота белка в организме животного-хозяина. Так как от уровня использования азота корма зависит продуктивность животных, то исследования, направленные на уменьшение дезаминирования в рубце путем сокращения протеолиза, приобретают большое практическое значение. При избытке легкорастворимого протеина в рационе наблюдается повышение выделения азота с мочой вследствие неэффективного его использования в процессах микробного синтеза. Рационы с меньшей долей растворимого протеина увеличивают количество обменных аминокислот в кишечнике. На одинаковое отложение азота в теле требуется большее количество растворимого протеина, чем нерастворимого. Поэтому степень растворимости и расщепляемости протеина в рубце имеет важное значение при оценке кормов и их эффективном использовании жвачными животными.

Для жвачных животных основным источником протеина являются растительные корма, которые характеризуются сравнительно низкими величинами сохранения протеина от расщепления в рубце.

Таким образом, исследованиями отечественных и зарубежных учёных убедительно доказана необходимость обеспечения микрофлоры рубца жвачных животных сахарами. Имеющихся источников легкоусвояемых углеводов природного происхождения явно недостаточно. В связи с этим необходимо изыскать новые источники получения сахаров и разработки эффективных экологических технологий.

4. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

4.1. Гидромеханическое диспергирование

Общие сведения о гидромеханических диспергаторах

В различных отраслях промышленности зачастую необходимой стадией различных технологических процессов является получение двухфазных и многокомпонентных эмульсий (дисперсий, суспензий) – как концентрированных, так и разбавленных. Эта стадия называется диспергированием. Для диспергирования применяются аппараты различного типа, отличающиеся как по принципу действия, так и по конструктивному оформлению [1, 24, 28].

В промышленной практике для гидромеханического диспергирования наиболее часто применяются материалоемкие, энергоёмкие и низкопроизводительные диспергирующие аппараты, которые занимают большие

производственные площади. Интенсификация процессов диспергирования может быть достигнута применением гидромеханических диспергаторов, в которых реализуются нестационарные гидромеханические процессы [30, 34].

Повышение эффективности, совершенствование гидромеханических процессов и аппаратов в пищевой и смежных отраслях промышленности связывают с изучением сущности происходящих процессов. Проблемы создания и использования в промышленном производстве новых видов высокопроизводительного оборудования необходимо решать, применяя самые разные способы интенсификации процессов диспергирования: нестационарные течения, акустические колебания, вибрации и пульсации. В разрабатываемых для гидромеханических процессов аппаратах необходимо также использовать воздействие на реагирующие компоненты обрабатываемой жидкой среды такого мощного интенсифицирующего фактора, как кавитация [46, 47].

К таким аппаратам относятся аппараты с прерыванием потока обрабатываемой среды, и, в частности, наиболее эффективные из них – роторные. Их устройство и принцип работы позволяют использовать наряду с импульсной кавитацией такие способы воздействия на вещество, как значительные сдвиговые напряжения в радиальном зазоре между ротором и статором, турбулентные пульсации в рабочей камере, акустические (в том числе резонансные) колебания в полости ротора и рабочей камере аппарата.

В аппарате такого типа (для краткости будем называть его роторно-импульсным) наиболее эффективно реализуются нестационарные гидромеханические процессы (включая кавитацию), которые, в свою очередь, интенсифицируют многие тепломассообменные процессы.

Роторно-импульсные аппараты применяются в качестве диспергаторов в тех же областях, что и гидромеханические, а также в пищевой промышленности для гомогенизации мороженого и майонеза; в химической и фармацевтической отраслях промышленности – для получения и последующей гомогенизации восковых, масляных и мыльных эмульсий, витаминных препаратов; в парфюмерной промышленности – для приготовления кремов. Этот ряд можно продолжить, но следует отметить, что многие варианты использования роторного аппарата до настоящего времени являются пробными, экспериментальными и до широкого применения в промышленности в силу многих причин дело еще не дошло [54].

Однако роторно-импульсные аппараты обладают значительными преимуществами перед другими гидромеханическими аппаратами-диспергаторами. Например, отличие таких аппаратов от гомогенизаторов высокого давления заключается в том, что кавитация в рабочей камере роторно-импульсного аппарата возбуждается при значительно меньших перепадах статического давления между входом и выходом аппарата. Кроме того, импульсный характер возникновения и развития кавитации в роторно-импульсном аппарате определяет простоту и эффективность управления этим процессом. Роторно-импульсные аппараты относятся к гидромеханическим преобразователям механической энергии в акустическую, кавитационную и энергию других видов, поэтому просты по конструкции и надежны в работе [58].

Большое значение имеет организация гидромеханического процесса в аппарате, так как многие массообменные процессы (диспергирование, эмульгирование, гомогенизация, растворение, выщелачивание, экстракция, абсорбция, кристаллизация и др.) при использовании

условий нестационарных потоков обрабатываемой среды протекают более интенсивно, чем при использовании традиционных методов.

Отечественные [54, 58] и зарубежные [76] исследователи интенсификацию процессов диспергирования связывают с применением ударных воздействий, интенсивного перемешивания со струйным движением жидкости, высоких тангенциальных напряжений, развиваемых вращающимися поверхностями, кавитации и других факторов на фоне уменьшения габаритов аппаратуры. Эти факторы используются в роторном аппарате, который является современным аппаратом химических производств и эффективно применяется для интенсификации гидромеханических и массообменных процессов.

Положительные результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний по применению роторно-импульсных аппаратов для интенсификации процессов свидетельствуют об их эффективности. Однако дальнейшее их совершенствование сдерживается недостаточным пониманием сущности происходящих в них физико-химических явлений. К числу вопросов, на которые еще не получены ясные ответы, относятся, в частности: взаимодействие возмущений давления с гетерогенной средой; динамика и кинематика кавитационных пузырьков в обрабатываемых жидких средах с большим газосодержанием; влияние температуры, статического давления и объемного газосодержания среды на интенсивность кавитационного режима диспергирования; определение резонансных параметров, оптимальных геометрических и режимных характеристик аппарата; взаимосвязь параметров нестационарных гидромеханических процессов в аппарате и импульсной кавитации в его рабочей камере; влияние параметров импульсной кави-

тации на ход технологических процессов; зависимость коэффициента местного гидравлического сопротивления системы «канал ротора – радиальный зазор между ротором и статором – канал статора» от времени; механизм и корректная модель процесса кавитационного диспергирования; влияние центробежных сил инерции на параметры нестационарного гидромеханического процесса. Решение этих вопросов позволит дать конкретные рекомендации по расчету аппарата на оптимальный режим работы, по определению путей управления физико-химическими и технологическими процессами, по разработке аппаратов для интенсификации гидромеханических и тепломассообменных процессов в нестационарных потоках гетерогенных сред при импульсном возбуждении кавитации.

4.2. Диспергаторы с периодическим прерыванием потока

В процессах диспергирования реализуются различные режимы течения обрабатываемой среды – от ламинарного до турбулентного, от стационарного до нестационарного. Существует большое число процессов, которые в значительной степени интенсифицируются лишь благодаря нестационарности потока обрабатываемой среды. Как станет ясно из дальнейшего изложения, наиболее эффективны следующие нестационарные потоки: разгонные и (в большей мере) тормозные, высокочастотные, резонансные и кавитационные [55].

Кавитация – разрыв сплошности капельной жидкости, образование в ней полостей (кавитационных пузырьков), заполненных смесью газа и пара. Кавитация возникает в тех местах жидкости, где давление ниже определенного критического значения, приближенно

равного для реальной жидкости давлению насыщенных паров данной жидкости при данной температуре.

Известны два вида кавитации: гидродинамическая, когда сплошность жидкости нарушается при понижении давления по линии движения пузырька, и акустическая, возникающая вследствие воздействия акустических волн высокой интенсивности. Кавитация является сложным, недостаточно изученным нестационарным гидромеханическим процессом, сопровождаемым физико-химическими процессами, такими как: люминесценция, искрообразование; ударные волны давления, скорости и температуры; микропотоки и кумулятивные микроструйки, нагревание и ионизация газа в кавитационном пузырьке. Такое обилие вторичных эффектов позволяет эффективно использовать кавитацию в технологических процессах, в биологических, медицинских и других исследованиях.

В роторно-импульсном аппарате кавитация развивается вследствие периодического прерывания потока обрабатываемой среды. Прерывистый характер течения обрабатываемой среды вызывает повышение или понижение давления в ней. При достаточной величине разрежения (понижения давления) в обрабатываемой среде возникает гидродинамическая кавитация, акустические же колебания генерируются при любой интенсивности нестационарного прерывистого потока. Следовательно, в аппарате реализуются кавитационный и акустический способы воздействия на ход технологического процесса.

В последние 60 лет наблюдается рост публикаций, посвященных проблемам нестационарных гидромеханических процессов, в частности кавитации. Она интересна не только как сложное явление, но и как мощный физический фактор интенсификации многих химико-тех-

нологических процессов, таких как диспергирование, эмульгирование, гомогенизация, растворение, очистка. По мнению большинства исследователей, именно кавитация и явления, ее сопровождающие, ответственны за ускорение этих процессов, обсуждаются теоретические вопросы захлопывания кавитационных пузырьков с учетом эффектов неустойчивости межфазных поверхностей и образования микроструй при несимметричном коллапсе пузырьков. Основное внимание уделено положительному действию кавитации на такие процессы, как приготовление эмульсий, сверление твердых материалов с применением абразивных растворов, очистка поверхностей, интенсификация химических реакций. Отмечено, что аналитическое описание и предсказание кавитационных эффектов является сложной проблемой, не решенной до настоящего времени [62].

Для гомогенизации высоковязких эмульсий предназначено роторное устройство, особенности конструкции которого позволяют использовать положительное действие гидромеханической кавитации и высоких сдвиговых напряжений на технологический процесс.

Кавитация и акустические течения отмечены как наиболее существенные факторы в процессах диспергирования загрязняющих компонентов и последующей очистки различных материалов при помощи нестационарных потоков.

Обзор акустических и гидромеханических аппаратов, применяемых для интенсификации химико-технологических процессов, в том числе для приготовления многокомпонентных эмульсий и суспензий, представлен в данной работе. Эффективное проведение указанных процессов возможно при использовании положительных последствий нестационарных и кавитационных потоков.

Разработаны способы повышения эффективности нестационарного кавитационного воздействия на обрабатываемые среды. К ним относятся совместное действие возмущений давления разных частот, наложение на волну давления электрогидравлического эффекта. Моделирование стадий расширения и захлопывания единичной кавитационной полости проведено на основе уравнений динамики кавитационного пузырька, но решение уравнения динамики кавитационного пузырька на стадии его захлопывания провести до конца не удалось из-за возникновения эффекта «бесконечного захлопывания», возникающего, когда уравнение перестает адекватно описывать происходящий гидромеханический процесс [73].

Результатами дисперсионного анализа порошков железа, меди и хрома до кавитационной обработки и после нее, проведенного на электронном микроскопе, подтверждена невысокая скорость кавитационного диспергирования металлов. Это можно объяснить механизмом диспергирования, заключающимся в том, что разрушение происходит под влиянием микроударных воздействий путем последовательного, постепенного скалывания мельчайших выступов и поверхностных неоднородностей. Установлено, что наиболее эффективным является начальный этап кавитационного воздействия.

Существует точка зрения, что кавитация в пленке жидкости играет решающую роль в процессе диспергирования (распыливания) жидкости с подведением энергии колебаний через газовую фазу.

Успешное использование энергии нестационарных потоков для диспергирования порошковых материалов в процессе очистки основано на кавитации. Кавитационная очистка является одним из новых направлений нестационарной кавитационной жидкостной технологии [31].

Если кавитационная очистка невозможна без использования рабочей жидкости, в которой и развивается кавитация, то процесс получения мелкодисперсных порошковых припоев может проводиться в отсутствие жидкой фазы – кавитация в этом случае возбуждается в самом обрабатываемом материале (расплавленном припое).

Гидромеханические аппараты для диспергирования, кроме достоинств (простота конструкции, изготовления и обслуживания, надежность и экономичность), имеют и недостаток: их применение для эмульгирования высоковязких веществ малоэффективно. Этот недостаток можно устранить, используя перегретый пар, который выполняет две функции: снижает вязкость обрабатываемой среды и интенсифицирует диспергирование благодаря паровой кавитации.

Эксперименты по выщелачиванию природной соли NaCl из обогащенной руды показали, что важнейшим фактором воздействия на технологический процесс является кавитация.

В гидроструйной технологии интенсивность кавитационной эрозии максимальна при определенных параметрах течения обрабатываемой среды [62]. Получены положительные результаты исследования мойки в кавитирующей жидкости. Установлено, что на долю кавитации приходится до 70 % разрушенных загрязнений.

При изучении эффективности процесса эмульгирования в проточно-кавитационном смесителе результаты экспериментального исследования влияния формы кавитатора, установленного в смесителе, на интенсивность процесса эмульгирования показали, что целесообразно применять кавитаторы в форме цилиндра.

В работах многих авторов представлены результаты экспериментального исследования нестационарного ка-

витационного течения горячей жидкости через сужение в трубопроводе. Высокая температура существенно снижала порог возбуждения кавитации. В результате экспериментов установлено, что особенно велики пульсации давления в режиме развитой кавитации, когда кавитационная полость имеет размер порядка характерного размера течения.

Большинство теоретических исследований кавитации касаются одиночного пузырька. Однако имеется небольшое количество работ, посвященных проблемам динамики группы кавитационных пузырьков. Например, в работе [46] рассмотрена динамика кластера газовых пузырьков в идеальной несжимаемой жидкости. Линеаризацией интеграла Коши-Лагранжа получены характеристические уравнения для радиального движения пузырьков. Установлено, что нижняя собственная частота кластера много ниже собственной частоты изолированного кавитационного пузырька. Данный результат очевиден априори, так как из теории колебаний следует, что с увеличением линейных размеров колеблющегося объема его собственная частота уменьшается. Следует заметить, что в работе остались невыясненными вопросы, связанные с влиянием степени стесненности пузырьков в кластере на интенсивность кавитации.

Чрезвычайно важный для технологической практики применения кавитации факт установлен японскими исследователями, а именно: экспериментально обнаружено, что твердость различных материалов (алюминий, медь, железо, никель) в условиях ударной нагрузки при схлопывании кавитационных пузырьков на порядок больше твердости при статической нагрузке. Этот результат дает основание утверждать, что кавитационная эрозия технологических аппаратов может оказаться значительно

меньше ожидаемой. Указано, что понимание механизмов кавитации остается недостаточно глубоким, аналитические и теоретические методы практически отсутствуют, за исключением небольшого числа случаев изучения развития пузырьков в поле давления.

Рассмотрим работы, посвященные применению нестационарных (необязательно – кавитационных) потоков обрабатываемой среды для интенсификации технологических процессов, в частности, процессов смешения и диспергирования.

Процесс диспергирования может быть проведен за счет преобразования кинетической энергии высоконапорной струи в энергию колебаний, расходуемую на разбиение смеси компонентов на совокупность мелких частиц. На примере получения водотопливной эмульсии в поле нестационарной высоконапорной струи рассмотрен процесс диспергирования.

В системах гидравлического привода традиционно используются минеральные масла, полученные при переработке нефти. Отмечены их недостатки и рассмотрена альтернативная возможность применения других жидкостей с лучшими свойствами: эфиров, масляных эмульсий, растворов гликолей и др. Эмульсии на масляной основе дешевле масла и полностью его заменяют (при достаточной степени дисперсности в системах гидравлического привода). Эмульгирование рекомендуется проводить в нестационарном гидродинамическом поле [31].

Процесс смешения двух сред различной вязкости и устройство для него – коаксиальный трубчатый статический смеситель. Благодаря реализации нестационарного режима процесс смешения интенсифицируется. В работе рассмотрены проблемы интенсификации процессов смешения высоковязких жидкостей в нестационарных

потоках, разработана методика определения эффективности применения смесительно-диспергирующих аппаратов, работающих в нестационарном режиме. Для интенсификации процесса смешения используются кольцевые лопаточные завихрители и кольцевые турбулизаторы, работающие в нестационарном режиме. Интенсификация нестационарного процесса смешения химических реагентов в емкостном аппарате возможна с помощью предварительной гомогенизации входных потоков в статическом смесителе, последовательно соединенном с аппаратом. Интенсификация процессов химической технологии может быть проведена при помощи нестационарных эжекционных струйных течений не только жидкости, но и газа.

Пульсационные аппараты с нестационарными течениями обрабатываемой среды наиболее эффективны в резонансном режиме. Стремление к резонансному режиму вполне оправданно, так как резонанс позволяет достигать значительных амплитуд колебаний и вследствие этого интенсификации гидромеханических и теплообменных процессов. Однако при этом необходимо уметь рассчитывать параметры резонансного режима, иначе реализация такого режима затруднена. Результаты исследования процесса перемешивания жидкостей нестационарными потоками показали, что нестационарность потока является существенным интенсифицирующим фактором процесса.

Перейдем теперь к обзору тех работ, которые посвящены изучению собственно нестационарных гидромеханических процессов – основных свойств и характеристик нестационарных потоков.

В силу сложности рассматриваемых нестационарных гидромеханических процессов следует ожидать трудно-

стей при изучении их основных закономерностей. Подтверждением этого является, например, работа, в которой рассмотрены современные численные методы гидродинамики как инструмент для решения инженерных проблем при расчете химико-технологических процессов. Использование таких методов позволяет скорее и лучше понять (с помощью моделирования) изучаемую проблему. В качестве особенно полезных приложений численных методов назван анализ работы аппаратов со сложной гидродинамической картиной течений.

В некоторых исследованиях рассмотрена структура нестационарных потоков в технологических аппаратах с механическими и гидродинамическими пульсаторами. Особое внимание уделено режиму больших скоростей, как наиболее эффективному, по мнению авторов.

Экспериментальная работа касается проблем периодического нестационарного ламинарного потока при расхождении линий тока. Рассматривается пульсирующий ламинарный поток, создаваемый периодическими движениями поршня. Работа имеет скорее академический характер, чем прикладной, поскольку в процессах химической технологии чаще реализуются не ламинарные, а турбулентные потоки обрабатываемых сред.

В рамках решения нелинейных нестационарных задач теории кавитационных течений идеальной жидкости предлагается специфический метод решения нестационарных задач теории потенциала для областей со свободными границами (для кавитационного струйного обтекания тел) [25].

О моделировании нестационарных гидромеханических процессов идет речь во многих работах, подходе же к проблеме различен: в статье рассмотрены модели многокомпонентных сред; сформулированы условия, при

которых из модели многоскоростных взаимодействующих континуумов следует модель турбулентного перемешивания. Предложены уравнения, описывающие для каждого компонента генерацию, диссипацию и диффузию турбулентности. Для смесей изотермического и политропных газов приведены аналитические решения для структуры волн разрежения и ударных волн. Некоторые особенности моделирования гидродинамических процессов рассмотрены в статье [33]: изучена возможность применения к гидродинамическим процессам (стационарным и нестационарным) модели локальных возмущений элементарных струй потока сплошной жидкой среды. Рассмотрены возможные случаи перехода элементарных струй в некоторое возбужденное состояние при сообщении ей избыточной энергии и определены значения относительной избыточной энергии, необходимой для изменения прямолинейного движения струи.

В литературе рассмотрены вопросы теории нестационарных гидромеханических процессов, а также на этой основе физические методы интенсификации процессов химической технологии, наиболее важным из которых признана кавитация. Некоторые авторы уделяют основное внимание моделированию и оптимизации, анализу и проектированию основных процессов химических производств, включая нестационарные гидромеханические и тепломассообменные. Сюда же можно отнести и объемный труд, где изложены основы гидравлики и гидромеханики неоднородных систем [55, 59, 63].

Некоторыми авторами представлен анализ взаимозависимости конструкций аппаратов химических производств и технологических параметров оборудования и параметров работы (режимных параметров) этого оборудования. Исследована гидродинамика обрабатываемых жидких сред в рабочих органах оборудования.

При исследовании колебаний жидкости при импульсном возбуждении резервуара (в рамках разработки методов расчета процессов тепломассопереноса) установлено, что существенно эффективнее возбуждать саму жидкость, а не резервуар. Реализован гидравлический подход к решению проблем стационарных и нестационарных гидромеханических процессов.

Работа посвящена течениям несжимаемой жидкости. Приведены соотношения, описывающие различные течения; рассмотрены коэффициенты сопротивления трения и местные сопротивления для различных элементов трубопроводов – представлен теоретический и практический анализ. Коэффициенты гидравлического сопротивления для стационарных и нестационарных течений считаются одинаковыми. Представлены результаты реализации попытки численных расчетов гидравлических сопротивлений в нестационарном случае: приведены зависимости для потерь напора в случае нестационарного течения в цилиндрической трубе в виде уравнений для касательного напряжения трения у стенки. Проверка полученных представлений была выполнена в случае разгонного течения в трубе из состояния покоя. Необходимо заметить, что проблема нестационарного местного гидравлического сопротивления здесь также не рассматривалась в силу ее сложности.

В обзоре [33], касающемся процессов образования капель и пузырьков, определяющих процессы тепло- и массопереноса, рассмотрены основные методы диспергирования жидкостей и газов под действием силы тяжести или в центробежном поле с помощью отдельных отверстий, перфорированных пластин или эжекторов. Однако данных по кавитационному диспергированию представлено недостаточно.

В рамках математической модели процесса нестационарного кавитационного диспергирования применительно к проточно-кавитационному смесителю получено уравнение, связывающее в явном виде размер наибольших капель эмульсии с основными параметрами кавитационных пузырьков: средний размер, концентрация, распределение по размерам, давление в зоне схлопывания. Модель имеет эмпирический, феноменологический характер и к аппаратам других типов не применима. Математическая модель диспергирования с учетом кавитации разработана для другого аппарата – центробежной форсунки.

Закономерности дробления жидких частиц в диспергаторах дросселирования исследованы на экспериментальной установке, реализующей систему «кольцевое сопло – кольцевая впадина», изучены закономерности получения эмульсии типа «масло – вода».

Особенностью нестационарных потоков обрабатываемых сред в роторных гидромеханических диспергаторах (роторных аппаратах с периодическим прерыванием потока обрабатываемой среды) является многообразие их форм (кавитационные, бескавитационные, резонансные, нерезонансные, колеблющиеся, периодические, непериодические, аperiodические и другие потоки), а при кавитационном течении (наиболее предпочтительном при гидромеханическом диспергировании) – ещё и многообразие способов возбуждения кавитационного режима течения (акустическое, гидродинамическое, смешанное, импульсное, резонансное, гармоническое, высокочастотное, низкочастотное). В связи с таким многообразием гидромеханических ситуаций корректное исследование гидродинамики потоков и процесса гидромеханического диспергирования в роторных гидромеханических диспергаторах является весьма непростой задачей.

К роторным аппаратам с модуляцией (прерыванием) потока относятся устройства, состоящие из ротора и статора с перфорированными боковыми стенками, причем поток обрабатываемой среды модулируется во времени (точнее сказать, модулируются расход, среднерасходная мгновенная скорость, локальная скорость, ускорения и другие параметры потока). Прерывание потока осуществляется за счет периодического изменения взаимного расположения каналов ротора и статора – их периодического совмещения и перекрытия.

Роторные аппараты эффективно применяют в процессах растворения, диспергирования, приготовления высокодисперсных пигментов, диспергирования газа в жидкости, выщелачивания, эмульгирования и т. д.

Рассмотрим более подробно применение роторных аппаратов с периодическим прерыванием потока обрабатываемой среды, соблюдая при этом терминологию (в названиях аппаратов), принятую в обсуждаемых работах.

В обзоре оборудования для эмульгирования несмешивающихся жидкостей отмечена низкая эффективность существующих диспергирующих аппаратов. Как наиболее перспективные выделены аппараты типа ротор – статор.

При исследовании процесса непрерывного эмульгирования в смесителях роторного типа определяли влияние времени пребывания обрабатываемой среды в зоне диспергирования и производительности аппарата на дисперсность эмульсии. Дисперсной фазой служило парафиновое масло, а дисперсионной средой – водный раствор эмульгатора. Установлено, что влияние объемной производительности и времени пребывания в зоне диспергирования на дисперсность смеси может быть описано экспоненциальной функцией в широком интервале изменения указанных параметров. Найденные зависимости

не являются обобщающими, поскольку эксперименты были проведены лишь с определенными варьируемыми параметрами и для определенной дисперсной системы.

Возможно применение низкочастотных колебаний, генерируемых в гидродинамических роторно-пульсационных аппаратах, для интенсификации диффузионных процессов извлечения жидкостей из полимерных веществ с высокоразвитой удельной поверхностью. Существенная интенсификация процессов связана с тем, что в поле низкочастотных колебаний возрастает эффективность таких вторичных явлений, как кавитация и мелко-масштабные турбулентные пульсации обрабатываемой жидкой среды.

Разнообразные конструктивные решения роторных аппаратов с прерыванием потока обрабатываемой среды имеют патентную защиту. Из их числа остановимся лишь на некоторых.

Принцип действия и устройства РПА и ротационного массообменного аппарата аналогичны принципу действия и устройству сирены аксиального типа: ротор и статор выполнены в виде дисков, расположенных один за другим, имеющих щелевые отверстия, а обрабатываемая среда течет параллельно оси вращения.

Несколько отличается от указанных устройств аппарат, ротор и статор которого состоят из набора коаксиально расположенных желобов, обращенных один к другому.

Интенсифицирующую способность роторных аппаратов можно увеличить за счет дополнительных винтовых лопастей в роторе либо за счет рифленой поверхности ротора и статора.

Аппараты, рассмотренные в работах, предлагается использовать для проведения процессов в гетерогенных средах для взаимодействия жидкости с жидкостью, жидкости с газом, жидкости с порошком.

Большое внимание диспергирующим аппаратам роторного типа уделяется и за рубежом, где они используются для получения эмульсий и дисперсий.

Кроме роторных аппаратов с радиальным направлением потока известны устройства с аксиальным направлением: устройство содержит корпус, аксиальные статор и ротор в виде дисков с зубьями. Зубья статора и ротора имеют треугольную форму. Аппарат применяется для диспергирования смесей.

В технике сверхтонкого измельчения необходима окружная скорость ротора-измельчителя 250–300 м/с, а в существующих аппаратах не достигается и 140 м/с. Сказанное справедливо для процесса «сухого» измельчения. Заметим, что если перейти к «мокрому» измельчению, т.е. к диспергированию, то скорость ротора может быть существенно снижена за счет использования в роторном аппарате прерывистых течений и кавитации. В роторном тонкослойном аппарате осуществляют концентрирование продуктов; получены уравнения для расчета минимального числа Рейнольдса и времени пребывания обрабатываемой среды в аппарате.

Роторно-пульсационные аппараты применяются в процессах эмульгирования; разработан метод расчета роторно-пульсационного эмульгатора на основе анализа турбулентного течения жидкости в зазоре между ротором и статором.

При расчете среднего диаметра капель используют представления о локально-изотропном характере турбулентности в роторно-пленочном эмульгаторе с учетом радиального потока в зазоре между ротором и статором. Повышение эффективности работы аппарата возможно с увеличением скорости потока и радиальной скорости течения.

Проблеме интенсификации технологических процессов при помощи пульсационных аппаратов уделяется значительное внимание.

Основной принцип создания резонансной пульсационной аппаратуры – отыскание и поддержание резонансного режима колебаний, когда частота внешних воздействий совпадает с собственной частотой колебаний неоднородной среды.

Смеситель-диспергатор применяется, как следует из названия, для смешения и диспергирования и состоит из статора, ротора и крыльчатки. Среда обрабатывается в зазоре между статором и ротором. Эффективность обработки увеличивается за счет увеличения высоты статора, что относится к неожиданным и неочевидным результатам.

Таким образом, в настоящее время существует множество различных конструктивных решений для гидродинамического диспергирования. Нами разработан лабораторный аппарат с прерыванием потока обрабатываемой среды на основе механоакустического гомогенизатора.

Этот процесс можно использовать для деполимеризации сложных углеводов до моносахаров.

4.3. Использование гидромеханического диспергирования в пищевой промышленности

Одной из перспективных технологий, обеспечивающих значительную интенсификацию производственных процессов, является кавитационная обработка пищевого сырья.

По способу возбуждения кавитации все процессы можно условно разделить на периодическое воздействие (акустическая кавитация), однократное воздействие (гидродинамическая кавитация в потоке, лазерная кавитация, электрогидравлический взрыв, механический

(гидравлический) удар и др.) и смешанное воздействие (гидродинамические сирены, свистки, роторные аппараты различной конструкции).

Акустическая кавитация – процесс образования, роста периодических пульсаций и последующего схлопывания газового пузырька в жидкости под воздействием периодически изменяющегося давления. Частота пульсаций давления в жидкости может быть различной – от десятков герц до десятков мегагерц. При низких частотах (10–500 Гц) используются, как правило, электромагнитные или механические преобразователи. В частотном диапазоне 5–50 кГц используются магнитострикционные излучатели, работающие в резонансном режиме. На более высоких звуковых частотах используются пьезоэлектрические излучатели. Общим для акустических способов создания кавитации является то, что кавитация возбуждается и развивается в одной выделенной области жидкости, называемой кавитационной областью, или кавитационным облаком.

Таким образом, воздействие на элемент объема газожидкостной среды осуществляется многократно, что приводит к постепенным изменениям ее свойств (газонасыщенность, размер пузырьков, температура).

Кавитация в потоке жидкости наблюдается в том случае, когда происходит быстрое изменение скорости потока. Изменение скорости влечет за собой изменение давления в жидкости, которое приводит к росту и последующему схлопыванию газовых пузырьков. Основным отличием от акустической кавитации является однократное воздействие на исходный микропузырек («зародыш» кавитации), поэтому резонансные методы накопления энергии газовым пузырьком в этом случае не реализуются. Динамика кавитационного процесса не изменяется и определяется свойством жидкости и характером течения.

Возбуждение кавитации однократным воздействием представляет совокупность методов сообщения энергии газовому пузырьку при единичном акте физического воздействия на неподвижную жидкость. При этом пузырек может создаваться или в процессе воздействия (лазерный импульс, электрогидравлический взрыв), или вводится в жидкость специально (поршневое воздействие при механическом ударе).

Смешанные методы возбуждения кавитации – возбуждение пульсаций давления в потоке жидкости с использованием периодического изменения скорости потока жидкости, осуществляемого механическими устройствами различной конструкции.

Благодаря простоте конструкции, большой мощности и производительности такие аппараты применяются во многих технологических процессах, связанных с массообменом. Наибольшее распространение получили роторные гидродинамические аппараты. Большое значение имеет организация гидромеханического процесса в аппарате, так как многие массообменные процессы химической технологии (диспергирование, эмульгирование, гомогенизация, растворение, выщелачивание, экстракция, абсорбция, кристаллизация и др.) при использовании условий колеблющихся потоков обрабатываемой среды протекают более интенсивно.

В настоящее время практическое применение имеет акустическая (ультразвуковая) кавитация. Она широко применяется в некоторых производственных процессах, например для ускорения химических реакций эмульгирования. Резонирующие пузырьки действуют как смеситель, увеличивая площадь контакта между двумя жидкостями.

Подвергая исследуемую жидкость высоким статистическим давлениям, можно получить более однородные

образцы вследствие растворения части присутствующих в них микропузырьков. В настоящее время разработан ряд акустических генераторов, нашедших широкое применение в народном хозяйстве. Использование энергии кавитации находит применение в перерабатывающих предприятиях мукомольной, хлебопекарной, комбикормовой, мясоперерабатывающей и молочной промышленности.

В хлебопекарной промышленности перед загрузкой емкостей тестом для хлебобулочных изделий масло дробят на капли с помощью кавитационных форсунок, что позволяет сократить его расход в 2–3 раза.

В мукомольном производстве кавитационная обработка воды используется для увлажнения зерна, что резко сокращает время его подготовки к помолу.

Технология кавитационной обработки воды и рассолов на Вологодском мясокомбинате способствует исключению из полученных продуктов неорганических влагоудерживающих и цветостабилизирующих добавок.

Использование такой воды, кроме всего прочего, снижает бактериальную обсемененность фарша в 200–500 раз, значительно улучшая качество мясных изделий.

Ведутся работы по использованию энергии кавитации по таким направлениям, как предпосевная обработка семян, низкотемпературная экстракция полезных веществ из сырья растительного и животного происхождения и др.

На базе Московской государственной технологической академии разработана технология плодоовощных нестерилизуемых паст закусочных острых с использованием гидроимпульсного кавитационного диспергирования. Кроме того, работы по применению кавитационных технологий в консервной промышленности ведутся в Краснодарском НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.

Исходя из вышесказанного, гидродинамическое диспергирование с использованием процесса кавитации для производства сахаров из крахмалосодержащего сырья в животноводстве является перспективным направлением [57].

4.4. Ферментативные процессы переработки крахмалосодержащего сырья

Процесс ферментативного гидролиза крахмала – это реакции, с одной стороны, являющиеся диффузионно контролируруемыми, с другой – идущие с изменением фазовых состояний субстрата и вязкости среды, поэтому в этих процессах немаловажную роль играет способ перемешивания среды. Процессы перемешивания в жидкой фазе делятся на следующие основные виды:

- 1) механическое перемешивание;
- 2) перемешивание с использованием звуковых и ультразвуковых гидродинамических колебаний;
- 3) пневматическое перемешивание;
- 4) перемешивание с использованием магнитного поля;
- 5) циркуляционное перемешивание;
- 6) пульсационное перемешивание;
- 7) перемешивание в потоке путём создания искусственной турбулентности.

В крахмалопаточной промышленности перемешивающие устройства используются очень широко, начиная со стадии подготовки растворов неосновных реагентов и растворов ферментов до стадии очистки крахмальных сиропов. Однако наиболее важными, ключевыми перемешивающими устройствами являются аппараты, где идут процессы ферментативного гидролиза крахмалов, – ферментёры.

4.4.1. Технологические требования к ферментёрам

При рассмотрении всего многообразия ферментационных аппаратов (ферментёров) можно сделать вывод, что в них протекают разнообразные реакции, сопровождаемые различными процессами: тепловыми, массообменными, гидродинамическими. В таких аппаратах должны создаваться оптимальные условия для прохождения биохимических процессов, в связи чем ферментёры оборудуют типовыми конструктивными элементами: мешалками, теплообменниками, контактными устройствами, отбойниками и т. д. Ферментёры представляют собой комплексные аппараты, включающие набор конструктивных элементов, большинство которых используются для проведения и контроля технологических операций, не связанных с биохимическими превращениями перерабатываемых веществ. Количество таких конструктивных сочетаний, следовательно, и типов ферментёров, может быть достаточно большим, что объясняется многообразием и сложностью проводимых биохимических реакций.

Ферментёр любой конструкции должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- эффективный подвод реагентов и ферментов к субстрату;
- отвод продуктов взаимодействия из зон реакции;
- оптимальные технологические параметры в каждой точке рабочего объема ферментера;
- эффективный массо- и энергоперенос ко всему объему аппарата;
- высокий уровень автоматизации и контроля за процессом;
- техника безопасности и комфортные условия труда.

Для выполнения этих требований ферментёр должен быть снабжен следующими системами:

- подачи жидких (сыпучих) субстратов в аппарат;

- ввода и вывода газовых потоков;
- эффективного перемешивания реакционной среды;
- нагрева и охлаждения;
- пеногашения;
- вывода жидких (сыпучих) продуктов;
- контроля и регулирования заданных технологических параметров;
- экстренного сброса давления и температуры.

Всю совокупность данных, получаемых инструментальными методами, можно условно разделить на две основные группы: первая – физические и физико-химические; вторая – биолого-химические.

К первой группе относятся:

- вводимая мощность на перемешивание или число оборотов мешалки (n);
- вязкость реакционной массы (μ);
- рН и температура реакционной среды (T);
- скорость перемешивания реакционной массы в аппарате (n^1);
- давление в аппарате (P);
- давление пара в рубашке ферментера (p).

Ко второй группе относятся:

- содержание белка, жиров, воды, неорганических и других примесей в крахмале;
- вид, концентрация и активность ферментных препаратов;
- состав и содержание углеводов в реакционной среде;
- содержание остаточного крахмала;
- содержание примесных веществ в патоке.

Белковые вещества, имеющиеся в исходном нативном крахмале в виде примесей, а также вводимые ферменты обладают свойствами ПАВ. Поэтому процессы ферментативного гидролиза могут сопровождаться обильным пенообразованием.

Пенообразование значительно осложняет ведение биохимических процессов по нескольким причинам:

- уменьшается коэффициент заполнения реактора;
- увеличиваются потери продукта и ферментов;
- повышается вероятность постороннего бактериального загрязнения;
- увеличивается степень загрязнения окружающей среды;
- повышается аэрирование реакционной среды, что снижает активность ферментов;
- создаются благоприятные условия для развития нежелательной бакфлоры в рабочих помещениях.

В связи с тем, что все промышленные крахмалы загрязнены белком от 0,5 до 3,5%, а в отдельных случаях и выше, в ферментерах необходимо задействовать устройства активного пеногашения.

Физические методы пеногашения:

- акустический (звуковые и ультразвуковые колебания);
- тепловой;
- электрический (импульсное электрическое поле);
- гидродинамический.

Физико-химические:

- животные и растительные жиры;
- кремний-органические соединения;
- органические и полиэфирные соединения.

Механические:

- изменение конфигурации мешалки;
- варьирование числа оборотов мешалки, уровня ее погружения;
- изменение конфигурации ферментера.

Технологические:

- снижение скорости вращения мешалки;
- вывод пены.

По своей эффективности наиболее предпочтительны физические методы пеногашения, в связи с тем, что при применении других методов необходимо значительно менять сам ферментер, либо ухудшать условия протекания технологического процесса, как, например, уменьшение скорости вращения мешалки.

При выводе пены теряется часть продукции и ферментов, увеличивается вероятность внешнего микробиологического загрязнения.

Основными недостатками применяемых в настоящее время ферментёров являются:

- неравномерные по всему объему ферментёра условия перемешивания реакционной среды;
- неэффективный массо- и энергоперенос по всему объёму ферментера;
- существенные различия массо- и энергообменных характеристик по зонам аппарата;
- тепловая и диффузионная неравномерность в объеме аппарата;
- образование застойных зон;
- неравномерное распределение по объему аппаратов вкладываемой механической и тепловой энергий;
- пониженные качественные характеристики целевого продукта;
- низкая удельная производительность по целевому продукту;
- значительные энергозатраты.

В связи с этим в промышленных технологических схемах наблюдается большое разнообразие ферментёров, различающихся как конструктивно, так и по принципу работы. Проведенные лабораторные и полупромышленные исследования по влиянию различных способов перемешивания на эффективность ферментативного гидролиза различных

типов крахмалов показало, что в особовязких средах при фазовых переходах возможно использование ферментёров с газовихревым способом перемешивания [15].

Принцип работы. В биореакторе перемешивание крахмальной суспензии осуществляется путем создания квазистационарного вращательного движения, генерируемого закрученным потоком газа типа «торнадо», который генерируется вентиляторным колесом над поверхностью среды.

Благодаря такой закрутке газоздушной смеси между вентилятором и жидкой средой за счёт трения на границе раздела фаз и разницы давления на периферии ферментёра и в центре происходит движение реакционной суспензии в виде вихревого кольца, вращающегося относительно оси ёмкости с одновременным нисходящим движением жидкости на периферии ёмкости и восходящим в приосевой зоне.

Аэрирующий газ взаимодействует с перемешиваемой суспензией только через свободную её поверхность, не смешиваясь с ней. В результате этого обеспечивается интенсификация межфазного массообмена за счет высокой скорости движения аэрирующего газа и равномерное перемешивание суспензии без застойных зон. В связи с чем снижается травмируемость ферментов благодаря исключению механической мешалки. Газовый вихрь стабилизирует уровень фазы в биореакторе вследствие разрушающего действия вихря на пену.

Биореактор позволяет начинать работу при минимальном заполнении (10–15%) и путем непрерывного добавления среды в процессе работы завершить его при максимальном заполнении.

Это свойство биореактора дает возможность сократить, а в ряде случаев исключить линию биореакторов меньшего объёма для запуска аппарата большего объёма.

4.5. Обоснование выбора способа перемешивания водно-крахмальных суспензий

Для сравнительной оценки эффективности используемых в промышленности ферментеров следует рассмотреть наиболее распространенные в биотехнологической промышленности перемешивающие устройства и аппараты.

При проведении биохимических процессов широко применяются два основных способа перемешивания:

1) перемешивание механическим устройством, помещенным в жидкую реакционную среду;

2) перемешивание за счёт продувки газа через жидкую реакционную среду – аэрлифтное перемешивание.

Классическими ферментерами, широко применяемыми в крахмалопаточной и микробиологической промышленности, являются вертикальные аппараты с многоярусной, якорной или турбинной мешалками.

К недостаткам такого типа реакторов относятся:

- невысокая скорость перемешивания в аппарате;
- высокие энергозатраты;
- образование застойных зон в реакторе;
- создание в местах соприкосновения мешалки и среды больших механических напряжений, что приводит к местным температурным перегревам и вызывает денатурацию ферментов;
- заполнение ферментера для эффективной работы механической мешалки должно быть не менее 50% от его объема.

Ферментёры горизонтального типа имеют те же недостатки, что и вертикальные, за исключением первой позиции. Однако в этом случае появляется проблема синхронизации работы мешалок и увеличивается вероятность их поломок.

Основные недостатки механического перемешивания:

1. Неравномерный массообмен, образование застойных зон, вследствие чего ферменты подводятся к исходным соединениям неравномерно, так же неравномерно происходит отвод из реакционной зоны продуктов реакции, что уменьшает скорость и эффективность биоконверсии крахмалосодержащего сырья.

2. На поверхности мешалок вследствие трения возникают микрзоны локальных перегревов, что приводит к дезактивации ферментов вследствие их температурной денатурации.

3. Высокая энергоемкость.

4. Небольшая надежность и низкая эффективность при работе с особо вязкими средами.

Недостатки аэрлифтных биореакторов:

1. Невозможность работы с особо вязкими средами или со средами, вязкость которых меняется в ходе процесса.

2. Низкая интенсивность при перемешивании вязких и высококонцентрированных сред.

3. Обильное пенообразование, приводящее к дезактивации ферментов и не позволяющее использовать весь объем ферментера.

4. Удорожание процессов биоконверсии из-за необходимости тщательной очистки барботируемых газов.

На практике часто применяются различные комбинации указанных способов перемешивания. Конструктивные различия биореакторов определяются в основном способами подвода энергии и ввода аэрирующей среды.

К 1-й группе относятся широко распространенные барботажные и эрлифтные ферментеры. Перемешивание среды в них происходит за счет хорошо организованной эрлифтной циркуляции жидкости.

Принцип работы этих аппаратов заключается в непрерывной циркуляции ферментируемой среды, содер-

жащей субстрат и ферменты, за счет разности плотностей аэрированной и дегазированной жидкостей.

К преимуществам таких аппаратов относятся простота конструкции (полая колонна) и малые удельные энергозатраты. Однако применение таких биореакторов для процессов ферментативного гидролиза крахмало-содержащего сырья неэффективно вследствие слабой турбулизации среды и низкой скорости массопередачи. К более эффективным биореакторам относятся аппараты 2-й и 3-й группы. В таких аппаратах достигается относительно высокая скорость процессов массопередачи ($K_L = 1000 - 2000 \text{ ч}^{-1}$) и хорошая структура перемешивающих потоков. Основной недостаток реакторов такого типа – высокие энергозатраты на перемешивание, неустойчивая малоэффективная работа с особовязкими средами или со средами с меняющейся вязкостью.

Для интенсификации массообмена в ферментерах используются традиционные способы, основанные на повышении объемного коэффициента массопередачи за счет увеличения скорости перемешивания и изменения парциального давления газов.

Другой путь развития технологии суспензионного ферментативного гидролиза – это организация эффективных турбулентных потоков в реакционной массе и гидродинамическое совершенствование биореакторов. Одним из направлений является использование закрученных потоков жидкости и газов, что удалось реализовать в газовихревом реакторе (ГВР) ЗАО «Саяны» [27]. Закрученный поток в осесимметричном сосуде относится к группе пространственных течений в поле центробежных массовых сил. Он характеризуется соизмеримым отношением трех составляющих скорости (осевой, тангенциальной, радиальной), наличием поперечного и продольного градиентов давления, значительными турбулентными пульсациями.

В ферментёрах с механическим перемешиванием быстро вращающаяся мешалка небольшого масштаба генерирует в основном микровихри, которые имеют малую дальность распространения и диссипируют в непосредственной близости от места ввода энергии, образуя зону микроперемешивания (зоны мешалки). Связь зоны микроперемешивания с окружающей (периферийной) зоной осуществляется за счет крупномасштабного перемешивания вихрями большого масштаба, дальность распространения которых должна быть соизмерима с размерами аппарата.

Активное и стабилизирующее влияние центробежной силы потоков на турбулентность позволяет в первом приближении сформулировать требования к биореактору с «идеальной» гидродинамикой.

1. Зона микроперемешивания (зона мешалки) должна быть равномерно распределена по всему объему ферментера.

2. Интенсивность микроперемешивания (концентрация вихрей малого масштаба) в процессе ферментативного гидролиза управляется концентрацией лимитирующего продукта реакции.

Вследствие трения верхнего газовоздушного слоя, закрученного вращающимся активатором реактора, о свободную поверхность жидкой среды в ГВР одновременно возникает вращательное движение суспензии.

Вихревое перемешивание суспензии представляет собой квази стационарный процесс, обеспечивающий перемешивание без застойных зон.

Интенсивный газовый вихрь над поверхностью жидкости создает избыточное давление у стенки ферментёра и разрежение в районе центральной оси реактора. Такое распределение статистического давления в газовой среде

также обеспечивает эффективное перемешивание без застойных зон.

Таким образом, перемешивание реакционной среды в ферментёре осуществляется путем создания в жидкой среде трёхмерного движения типа «вращающегося вихревого кольца». Движение генерируется аэрирующим газовым вихрем за счет перепада давления над поверхностью жидкой реакционной среды силы трения воздушного потока о поверхность суспензии. В реакционной жидкой среде создаются три вектора движения:

- в горизонтальной плоскости;
- в вертикальной плоскости;
- радиальная составляющая.

Основные преимущества ГВР по сравнению с классическими механическими и эрлифтными способами перемешивания:

1. Высокая скорость массообмена ($K_L = 6\,000 - 8\,000 \text{ ч}^{-1}$), которая превышает классические в 4–8 раз.

2. Низкие удельные энергозатраты, которые составляют 0,3 Вт на 1 л перемешиваемой массы, что в 10–12 раз меньше, чем ферментеров с механическими способами перемешивания.

3. Возможность эффективного перемешивания обовязких жидкостей или сред с меняющейся в ходе процесса вязкостью.

4. Устойчивая работа без изменения характеристик перемешивания при уровне заполнения ферментера от 10 до 90% общего объема.

Специалистами различных фирм разработаны технологии производства кормовых паток и серия машин и оборудования.

В настоящее время рынок насыщен оборудованием для приготовления жидких, влажных и пастообразных

кормов. Среди них Животновод-6, КИП-0,6, УРВА-250, УПК-1,5, ТЕК-СМ, ЭРА-К, МРИЯ. Но на самом деле перечисленные установки разрабатывались задолго до появления самой технологии получения зерновой патоки. Они создавались для получения влажных мешанок, пастообразных кормов, каши и т. п.

С появлением технологии получения зерновой патоки многие производители оборудования по приготовлению влажных кормов пытаются сделать маркетинговый ход и представить свои установки как пригодные для получения зерновой патоки, естественно, с целью извлечения прибыли.

Покупателю оборудования необходимо понимать, что он приобретает не просто аппарат для варки кормов или смеситель, а ферментер, в котором протекает сложный микробиологический процесс деструкции крахмала. При этом оборудование должно обеспечивать не только возможность процесса ферментации, но и оставаться точным, надежным, высокотехнологичным и простым в обслуживании.

По мнению авторов, оборудование, предназначенное для производства зерновой патоки, должно решать несколько задач. Одна из них – это нагрев воды и поддержание температуры в заданном диапазоне. Для этой цели в установках типа Фермер 60–1200, АПХ-50, УЖК-500 (1 000) и большинстве других, представленных на рынке, применён роторно-пульсационный аппарат (РПА) с кавитационной решёткой. Нагрев основан на эффекте выделения дополнительного количества тепла и происходит при структурном преобразовании воды, проходящей через кавитационную решётку. Аппарат создаёт большое количество воздушных пузырьков, многократно увеличивая поверхностный слой воды, обеспечивая выход до-

полнительного количества тепла. Чем больше пузырьков, тем больше выход тепла.

К сожалению, процесс обратим, пузырьки через 5–10 минут исчезают, и жидкость восстанавливается с забором тепла, т.е. сколько тепла дополнительно выделяется на решётке, столько же возвращается. Дальнейший нагрев идёт за счёт гидродинамического трения. Кроме того, нагрев с помощью РПА приводит к локальному перегреву, что снижает активность ферментного препарата и разрушает биологически активные компоненты (витамины, ферменты, белки) перерабатываемого сырья. Таким образом, РПА работает как обычный измельчитель, прогоняя зерно через кавитационную решётку и дробя его. Это большой минус, т.к. образующиеся при кавитации пузырьки содержат горячий насыщенный кислородом, химически агрессивный газ. Он вызывает эрозию материалов, с которыми соприкасается жидкость, что разрушает поверхности рабочего органа РПА. Их как бы разъедает. Кроме того, в фуражном зерне, являющемся основным сырьем для переработки, допускается содержание минеральной примеси, включая песок и щебень до 1%, что усиливает разрушение вследствие абразивного износа.

Замена рабочего органа РПА требуется каждые 6 месяцев эксплуатации, а его стоимость составляет не менее 30% стоимости всей установки. Это приводит к серьезным эксплуатационным расходам, а также к систематическим перебоям в работе установки и нарушению рационов животных, что вызывает периодическое снижение продуктивности.

Тем не менее, на сегодняшний день большинство установок для приготовления зерновой патоки, представленных на рынке, по-прежнему используют тот же принцип гомогенизации со всеми вытекающими для потреби-

телей последствиями. Это ведёт к дискредитации самой идеи применения ферментативного гидролиза для получения сахаросодержащего корма в условиях хозяйства.

Специалисты «Сибагромаш» разработали вариант оборудования для получения сахаросодержащего корма, где нагрев сырья осуществляется за счёт водяной рубашки с ТЭНом, что позволяет отказаться от низкоэффективного процесса кавитации. В качестве измельчающего перемешивающего устройства применяется модифицированный центробежный насос марки СМ80–50–200/4, предназначенный для откачки сточных вод, изготовленный из высокопрочных материалов, устойчивых к абразивному износу. Это значительно повышает надежность и продолжительность периода эксплуатации установки.

В целом процесс ферментативного гидролиза по данной технологии разбит на две фазы: фаза нагрева и гомогенизации зерновой суспензии и фаза ферментации в отдельном агрегате. В этом случае нагрев воды, доизмельчение сырья, разжижение крахмала с вводом ферментов происходят в течение 1,5–2 часов в гомогенизаторе. При этом потребляемая мощность ТЭНа составляет 15 кВт, а мощность активаторов 11 кВт на 1000 л объёма. Дальнейший процесс осахаривания крахмала не требует таких мощностей, достаточно 4 кВт насосного агрегата, чтобы в течение 3,5–4 часов закончить процесс ферментации в отдельном агрегате – смесителе.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПОЛИСАХАРИДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЯЕМЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Технологии переработки крахмалов на сахаристые крахмалопродукты с целью их интенсификации развиваются по пути варьирования и модификации катализаторов от минеральных кислот до ферментных препаратов. В то же время недостаточно внимания уделялось интенсификации процессов гидролиза крахмалов путем воздействия на них электрофизическими, гидродинамическими и другими видами обработки, которые в последнее время получили распространение в химических технологиях.

Использование различных физических воздействий позволяет в значительной степени ускорять биохимические реакции и получать результаты, недостижимые при применении традиционных технологий [7].

Интенсификация производственных процессов с помощью физических и биохимических воздействий направлена на повышение их экономической эффективности в результате целенаправленного влияния на производительность оборудования, сокращения трудовых, материальных и энергетических затрат, улучшения показателей качества продукции.

Физические воздействия: механические, гидродинамические, акустические, электромагнитные и другие – с точки зрения термодинамики являются энергетическими, приводящими к изменению свойств и состояния систем. В связи с этим задачи, решаемые в процессе интенсификации, можно рассматривать как аналог задач оптимального управления.

Типичные целевые функции интенсификации биохимических процессов при физических воздействиях:

- сокращение продолжительности лимитирующих стадий процесса;
- сокращение энергозатрат;
- увеличение производительности и КПД технических средств;
- улучшение качества продукции;
- получение продукции с составом и свойствами, недостижимыми при использовании традиционных технологий;
- уменьшение габаритов аппаратов и их числа, расхода материалов на их изготовление;
- экономия сырья и реагентов;
- исключение отдельных технологических операций;
- возможность проведения совершенно новых процессов;
- улучшение экономических и эргономических характеристик оборудования;
- ведение непрерывных процессов.

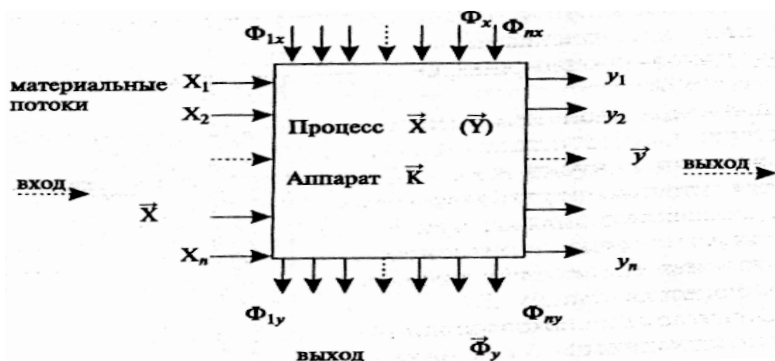


Рис. 1. Принципиальная схема модели интенсификации технологического процесса

В технологическом аппарате производятся преобразования физико-химических свойств веществ входных потоков в требуемые свойства веществ выходных потоков (рис. 1). Эти преобразования представляют собой технологические операции, состоящие из ряда процессов, осуществляемых при определенных воздействиях: механохимические – МХ; тепловые – Т; гидродинамические – Г; акустические – А; электромагнитные – ЭМ.

Биохимический вид воздействия (БХ) можно выделить отдельно.

Химические и биохимические процессы представляются наиболее трудными для интенсификации, поскольку протекают на атомно-молекулярном уровне. Однако помимо интегральных эффектов, связанных с увеличением констант скорости реакции при нагреве и общей интенсификации, обусловленной ускорением транспорта реагирующих веществ для гетерогенных реакций, возможно влияние энергетических воздействий на элементарные акты реакций и обеспечение межмолекулярной и внутримолекулярной селективности возбуждения в результате физических воздействий.

В общем случае при выборе вида физического воздействия с целью интенсификации технологического процесса в первом приближении можно руководствоваться следующим правилом: по мере перехода от процессов на макроскопических уровнях к процессам на микроскопических уровнях необходимое физическое воздействие должно быть тех же уровней.

Таким образом, для механических процессов и физическое воздействие должно иметь механическую природу, а для химических и биохимических – в виде отдельных квантов.

Биохимический вид воздействия в основном будет работать на микроскопических уровнях. Однако многие

технологические процессы одновременно протекают на обоих уровнях, в связи с этим интенсифицирующее физическое воздействие в этих случаях должно быть двухуровневым или комбинированным.

На рисунке 2 приведена качественная диаграмма влияния вида воздействия: акустического (А) или электромагнитного (ЭМ) – на три группы процессов. За степень интенсификации принято отношение скорости (или выхода) технологического процесса с воздействием к скорости (или выходу) без него.

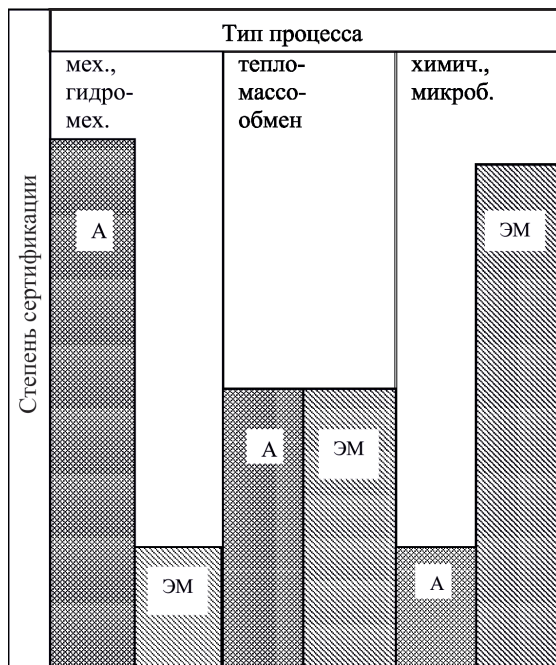


Рис. 2. Сравнительная диаграмма степени интенсификации технологических процессов при акустическом (А) и электромагнитном (ЭМ) воздействиях

С целью интенсификации процессов биоконверсии крахмалосодержащего сырья был предложен системный подход, включающий предварительные стадии обработки:

- реакционной среды (воды) (рис. 3);
- субстрата (нативного крахмала) (рис. 4);
- катализаторов (ферментов);
- водно-крахмальной суспензии (рис. 5).

Целесообразна также предварительная обработка воды, которая, с одной стороны, является средой, в которой идут все биохимические массо- и энергообменные процессы, а с другой – агентом, который непосредственно участвует в процессах гидролиза реакционной среды, каковой в нашем случае является вода.

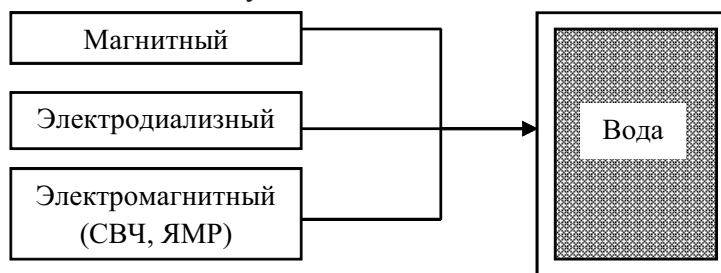


Рис. 3. Методы предварительной обработки реакционной среды (воды)

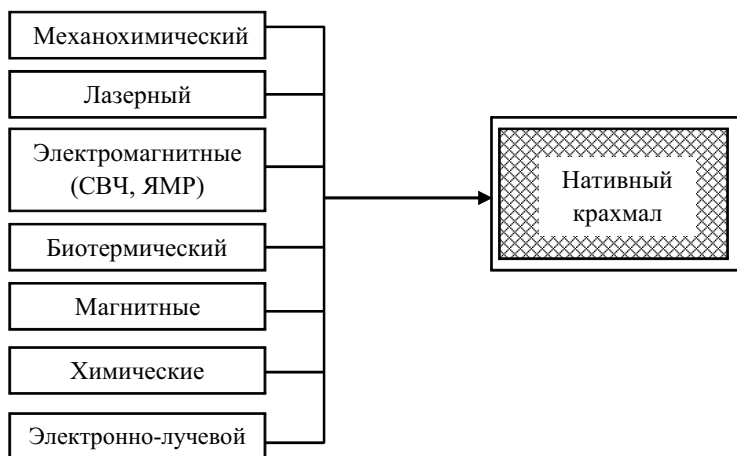


Рис. 4. Методы предварительной обработки субстрата (нативного крахмала)

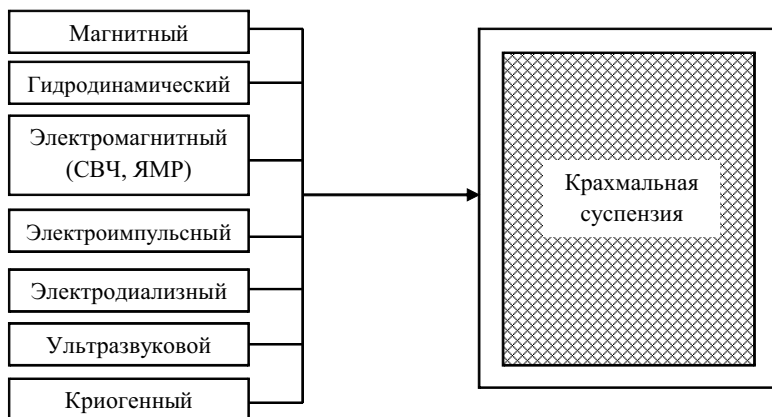


Рис. 5. Методы предварительной обработки крахмальной суспензии

Из вышеперечисленных способов обработки водно-крахмальных суспензий наиболее технологичным и экономически обоснованными, на наш взгляд, является гидродинамический электрофизический или электродиализный способ обработки реакционных масс или реакционной среды (воды).

Любой процесс биоконверсии крахмалосодержащего сырья начинается со стадии клейстеризации желатинизации, которая на наш взгляд, является одной из самых сложных и определяет прохождение и эффективность последующих стадий.

Биоконверсия крахмалов связана с различными структурно-механическими и биохимическими процессами. При этом пользуются различными машинами и аппаратами, применяемыми для грубого и тонкого помола сырья, смесителями-гидролизаторами и др. По нашему предположению, процессы, происходящие в гидроакустическом диспергаторе, генерирующем кавитационные явления, могут заменить другие методы обработки и упростить набор технологических процедур, используемых в настоящее время для переработки крахмалосодержащего

сырья, что приведет к снижению времени биоконверсии сырья и уменьшению металлоемкости технологического оборудования, а может быть и к исключению некоторых технологических операций.

В мировой практике встречаются сведения о применении роторно-пульсационных гидроакустических аппаратов в химико-фармацевтической промышленности для ускорения химических реакций [28, 29]. В пищевой промышленности гомогенизаторы широко используются для получения майонезов, сливочного масла, плавленого сыра, молока и молочных продуктов [35].

Внедрение комплексной безотходной переработки зерна является одной из приоритетных задач агропромышленного комплекса России. Задача это сложная и многоуровневая. Начать, на наш взгляд, следует с организации инновационных технологий по биоконверсии зерновых крахмалоносов на углеводные патоки кормового и пищевого назначения.

Известно, что в России в рационах всех видов животных наблюдается устойчивый дефицит сахаров. Решить эту проблему могла бы программа организации переработки зерна на кормовые сахаросодержащие добавки.

Для повышения эффективности технологических процессов переработки зернового сырья на кормовые цели кавитационная обработка дает заметный эффект. Описано использование механоакустических аппаратов при обработке ржаного зернового сырья на стадии приготовления замеса.

В мировой и отечественной практике комбикормового производства существуют различные способы и технологии обработки зернового сырья с целью повышения его питательной ценности. По литературным данным, усвояемость нативного крахмала в природных зерновых

комплексах не превышает 25% [13]. В связи с этим одной из задач разрабатываемых технологий является перевод зернового крахмала в биодоступную форму для усвоения животными.

В практике применяется ряд технологий, позволяющих повысить усвояемость зерновых кормов (рис. 6). Наиболее распространенными являются:

- замачивание зерна (с проращиванием, измельчением или без них);

- поджаривание зерна (с увлажнением и проращиванием или без них);

- экструдирование;

- пропаривание и плющение;

- «взрыв» в кипящем слое;

- микронизация;

- экструзия;

- экспандирование (кондиционирование под давлением).

Эти технологии обладают рядом существенных недостатков. Практически все они идут при высокой температуре, в результате чего биологически активные компоненты зерна инактивируются – это витамины, ферменты, белки. Так, например, проращивание зерна требует на отдельных стадиях температуры 180°C, термоэкструдирование кратковременно ведут при 350...600°C. Высокие температуры наблюдаются при пропаривании, экспандировании, экструзии и плющении зерна [51].

Энергозатраты по этим технологиям также значительные. Так, например, при плющении требуется предварительное увлажнение зерна паром, на что расходуется 700 кг/ч пара на 1 т зерна, при экспандировании затраты на 1 т зерна достигают 150 кВт · ч.

Но самое главное – все эти способы обработки зерна не дают полного превращения крахмала в легкоперевариваемые углеводы (ЛПУ), т. е. не обеспечивается полная биодоступность зерна.

При замачивании и запаривании зерна количество сахаров увеличивается только на 5–7%, при осолаживании и экструзии менее 50% имеющегося в зерне крахмала проходит стадию желатинизации. Экструдирование зерна приводит к повышению перевариваемости сухого вещества только на 2,1%, органического – на 1,9%, сырого протеина – на 4,5%, сырого жира – на 3,8%. Все перечисленные технологии не объединены в единый технологический процесс и не имеют базового обеспечения надежными техническими средствами.

В связи с вышеизложенным, в животноводческой отрасли остро назрела необходимость создания таких технологий, которые позволяли бы перерабатывать имеющееся в хозяйствах зерно на продукцию, содержащую значительное количество сахаров определённого состава и делать это технологичным, малозатратным экологически безопасным способом.

6. ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОТРЕБНОСТИ ЖВАЧНЫХ ЖИВОТНЫХ В САХАРАХ

Одним из условий увеличения продукции животноводческой отрасли и достижения генетического потенциала продуктивности животных является полноценное сбалансированное кормление.

В затратах на производство продукции животноводства стоимость кормов составляет 65–70%, поэтому их рациональное и сбалансированное использование важно

для снижения себестоимости продукции и повышения рентабельности этой отрасли.

Современное состояние кормопроизводства и кормоприготовления во многих российских хозяйствах не в полной мере удовлетворяет потребностям эффективного и научно обоснованного ведения животноводческой отрасли. Особенно важно полноценное сбалансированное кормление для высокопродуктивных животных.

В настоящее время научными учреждениями страны разработаны детализированные нормы, в которых необходимо учитывать 25–30 показателей в зависимости от индивидуальных особенностей животного, уровня его продуктивности и условий содержания.

Детализированные нормы учитывают потребности животных по следующим элементам питания: энергетическим кормовым единицам, обменной энергии, сухому веществу, сырому протеину, переваримому протеину, лизину, метионину + цистину, легкоусвояемым углеводам (сахарам), крахмалу, клетчатке, сырому жиру, кальцию, фосфору, калию, натрию, сере, хлору, магнию, железу, меди, цинку, марганцу, кобальту, йоду, селену, каротину, витаминам А (ретинолу), Д (кальциферолу), Е (токоферолу), В₁ (рибофлавину), В₃ (пантотеновой кислоте), В₄ (холину), В₅ (РР, никотиновой кислоте), В₆ (пиридоксину), В₁₂ (цианкобаламину).

В кормлении высокопродуктивных жвачных животных важны все компоненты питания, однако особая роль принадлежит белку (протеинам) и сахарам. Сахаропротеиновое соотношение в рационах животных может колебаться в широких пределах и составляет 1,1–1,7:1,0 по молекулярной массе.

Если потребность в протеине в большинстве животноводческих хозяйств удовлетворяется почти полностью, то дефицит легкоусвояемых углеводов (сахаров)

носит устойчивый характер и в большинстве российских хозяйств составляет 35–40%, дохода в отдельных хозяйствах до 70%.

Годовая потребность в сахарах в целом по РФ, по мнению экспертов, составляет более 1 млн и будет возрастать с увеличением молочной продуктивности животных и увеличением поголовья (рис. 7).

Традиционными источниками ЛПУ являются:

- корнеклубнеплоды (сахарная и кормовая свекла, картофель, морковь, турнепс и т.д.);
- сахарная меласса (побочный продукт сахароперерабатывающей промышленности);
- гидролизные патоки (побочный продукт целлюлозно-бумажной промышленности).

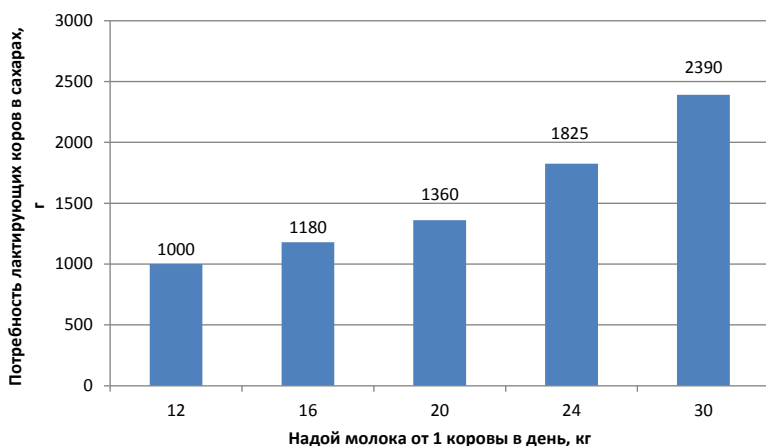


Рис. 7. Потребность лактирующих коров в сахарах, г на голову в сутки

Таким образом, имеющиеся источники кормовых сахаров не могут в полной мере способствовать ликвидации устойчивого дефицита углеводов в рационах животных и не отвечают современным требованиям, предъявляемым к технологиям кормления, что побудило к поиску

новых технологий получения легкоусвояемых углеводов из зернового сырья.

На одну корову в год необходимо от 3 до 7 сахарной свеклы с содержанием сахаров 14–16% в зависимости от продуктивности животного (рис. 8). Выращивание этой культуры связано с высокими энергетическими и трудовыми затратами. Кроме того, в процессе хранения сахарной свеклы содержание сахаров в ней ежедневно снижается на 0,1% и через 100 дней хранения их количество стремится к нулю.

Следует отметить, что все корнеклубнеплоды имеют особенность аккумулировать нитраты, которые в организме животных превращаются в нитриты и далее в нитрозамины. Нитритионы в количестве 1 мг блокируют образование гемоглобина, а нитрозамины являются канцерогенными соединениями и вызывают раковые заболевания. Хранение корнеклубнеплодов требует значительных площадей, часто они хранятся под открытым небом, что приводит к сильной микробиологической обсеменённости этих кормов и снижению их качества и безопасности.

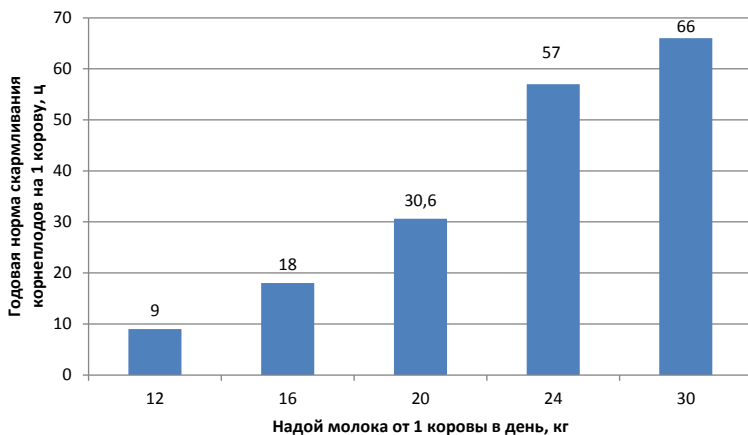


Рис. 8. Рекомендуемая годовая норма скармливания корнеплодов при различной продуктивности коров

Источники сахарной мелассы, являющейся отходами сахароперерабатывающей промышленности, сосредоточены главным образом в европейской части России. За Уралом такие производства практически отсутствуют. Транспортировка мелассы связана со значительными транспортными расходами и другими издержками по её доставке (железнодорожные тупики, паронагревательные установки и т. д.). В 1 кг сахарной мелассы содержится 1,7–8,6 г нитратов, что неблагоприятно сказывается на здоровье животных.

Гидролизные сахара, являясь побочным продуктом целлюлозоперерабатывающей промышленности, практически не используются, и их производство приближено к крупным ЦБК. В связи с тем, что при обработке древесины используются сильные минеральные кислоты, с экологической точки зрения этот источник углеводов малопригоден, кроме того, он содержит продукты дальнейшего превращения глюкозы: фурфурол, метилфурфурол, являющиеся токсичными соединениями. Содержание углеводов в гидролизных патоках не превышает 10%, что делает их транспортировку на большие расстояния нецелесообразной.

Иногда в развитых странах практикуют использование кристаллических сахаров и глюкозы. В РФ собственное производство кристаллической глюкозы отсутствует, а стоимость импортной глюкозы составляет 75–180 руб/кг. Кроме того, внесение углеводов в кристаллическом виде нерентабельно.

В мировой и отечественной практике комбикормового производства существуют различные способы и технологии обработки зернового сырья с целью повышения его питательной ценности.

По литературным данным, усвояемость нативного крахмала в природных зерновых комплексах не превы-

шает 65 %. В связи с этим одной из задач технологий является перевод зернового крахмала в биодоступную для усвоения животными форму.

В практике применяется ряд технологий, позволяющих повысить усвояемость крахмала:

- замачивание зерна (с проращиванием, измельчением или без них);
- поджаривание зерна (с увлажнением и проращиванием или без них);
- экструдирование;
- пропаривание и плющение;
- «взрыв» в кипящем слое
- микронизация;
- экструзия;
- экспандирование (кондиционирование под давлением).

Эти технологии обладают рядом существенных недостатков. Практически все они идут при высокой температуре, в результате чего биологически активные компоненты зерна частично или полностью инактивируются (витамины, ферменты) и денатурируются белки.

Энергозатраты по этим технологиям также значительны. Так, например, при плющении зерна требуется предварительное его увлажнение паром, на что расходуется 700 кг/ч пара на 1 т зерна, при экспандировании затраты на 1 т зерна достигают 150 кВт · ч.

Но самое главное – все перечисленные способы обработки зерна дают незначительные превращения крахмала в легко перевариваемые углеводы. При замачивании и запаривании количество сахаров увеличивается на 5–7%, при осолаживании и экструзии менее 50% имеющегося в зерне крахмала проходит стадию желатинизации. Экструдирование зерна приводит к повышению переварива-

емости сухого вещества только на 2,1 %, органического – на 1,9 %, сырого протеина на 4,5 %, сырого жира на 3,8 %. Все эти технологии не объединены в единый технологический процесс и не имеют базового обеспечения надёжными техническими средствами.

В связи с вышеизложенным, в животноводческой отрасли остро назрела необходимость создания таких технологий, которые позволяли бы перерабатывать имеющееся в хозяйствах зерно на продукцию, содержащую значительные количества сахаров, и делать это технологичным, малозатратным и экологически безопасным способом.

Как уже говорилось, в настоящее время дефицит сахаров в рационах крупного рогатого скота составляет 35–70 %. Недостаток легкоусвояемых углеводов снижает переваримость клетчатки, т.к. микрофлора рубца их недополучает.

По современным данным, микрофлора рубца насчитывает более 60 видов бактерий и инфузорий. В 1 мл содержимого рубца их количество достигает порядка 10^8 – 10^{11} . Величина эта зависит от состава рациона и подвержена значительным колебаниям. Основные продукты обмена бактерий – органические кислоты, водород, диоксид углерода и метан.

Фауна рубца жвачных животных представлена простейшими, в частности инфузориями, численность которых достигает примерно 1 млн в 1 мл рубцового содержимого. Оптимальное условие для существования инфузорий – поедание животными богатого клетчаткой корма.

Бактериям и простейшим для осуществления жизненных функций и синтеза сложных веществ, входящих в состав их тела, необходимы усвояемые углеводы, водород, кислород, азот и доступная энергия, источниками которых служат высокомолекулярные вещества расти-

тельных кормов. Переваривая эти сложные высокомолекулярные продукты своими ферментами для себя, микроорганизмы оставляют в содержимом рубца разрушенные структурные образования тканей растений, содержащие частично гидролизованные органические соединения, и конечные продукты собственного обмена веществ.

Не использованные микроорганизмами, но значительно преобразованные питательные вещества перемещаются в нижележащие отделы желудочно-кишечного тракта и перевариваются в нём пищеварительными ферментами. Конечные продукты обмена микрофлоры всасываются в желудочно-кишечном тракте и используются в качестве промежуточных продуктов обмена веществ. При этом потери энергии и отдельных элементов питания в процессе преобразования корма в рубце могут быть весьма существенными, что следует учитывать при организации рационального кормления. Иначе животные не реализуют свой генетический потенциал продуктивности. В среднем удой коров в Сибири составляет 3,5–4,0 тыс. кг, т.е. генетический потенциал реализуется на 35–40%.

В зависимости от удоя животные должны получать в сутки от 1,0 до 3,0 кг сахаров.

Таким образом, анализ литературных источников свидетельствует о том, что ферментативное воздействие в газовыхревых аппаратах позволит эффективнее использовать эту технологию при переработке зерна на сахара.

7. НАНОБИОТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КОРМОВЫЕ ПАТОКИ

Нами разработана концептуальная модель и запатентована принципиально новая, не имеющая аналогов в мире, нанобиотехнология глубокой переработки зерновых крахмалоносов на кормовые сахаропродукты.

В классических технологиях производства пищевых паток используются кислоты – серная или соляная, что делает этот процесс экологически не безопасным. В связи с этим нами для исключения из технологического процесса химии был научно обоснован оптимальный (4,0–5,0) рН ионизированный раствор.

Впервые в России для деполимеризации крахмала на сахара применена триада процессов комплексного воздействия: кавитации, ионизации и ферментации, что позволило значительно сократить время деполимеризации крахмала до сахаров, снизить затраты и получать экологичную продукцию без использования минеральных и органических кислот (рис. 9).

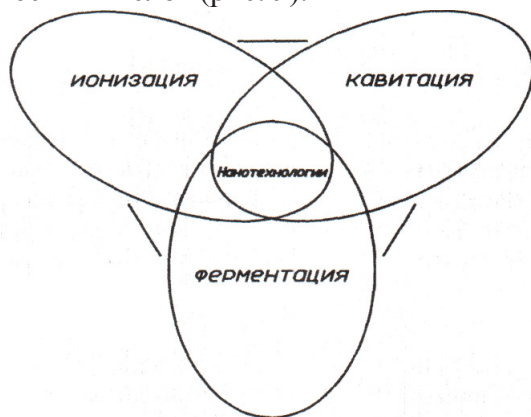


Рис. 9. Концептуальная модель триады процессов переработки зерна на кормовые сахара

Предложены и обоснованы с фундаментальных позиций с использованием элементов нанотехнологий направленные способы биоконверсии крахмалосодержащего сырья в условиях физических воздействий с получением углеводов заданного состава.

Ионизация. Поскольку в классических технологиях для создания рН среды в необходимых пределах используются концентрированные кислоты, чтобы получить экологически чистый продукт, нами была применена ионизация и получен раствор рН 4,0–4,5 на установке собственной конструкции. В результате вода приобретает большой отрицательный потенциал и становится низкомолекулярной.

Самым надёжным способом получения ионизированной воды является электролиз, в результате которого можно получать воду с заданными характеристиками и свойствами. Для этой цели используют ионизаторы воды, которые позволяют получать воду двух видов: щелочную и кислотную. Для нормальной работы ферментов необходима кислотная вода с рН 4,5–5,0. Активированная ионизированная вода с рН 4,5–5,0 имеет положительный окислительно-восстановительный потенциал и низкомолекулярную структуру.

Значимость воды в нашей жизни имеет большое значение. В организме человека, животных около 70–75% воды. Она служит основным поставщиком энергии, питательных и биологически активных веществ, выводит из организма отходы жизнедеятельности, обеспечивает гидратацию клеток и поддерживает их нормальные электрические свойства.

Наиболее значимым показателем, характеризующим свойства воды, является окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), обеспечивающий жизнеде-

тельность любого организма, т.е. реакции, связанные с передачей или присоединением электронов. Энергия, выделяемая в ходе этих реакций, расходуется на поддержание жизнедеятельности организма и регенерацию клеток. В норме ОВП обычной внутренней среды организма находится в пределах от -50 до -100 милливольт. ОВП обычной питьевой воды всегда больше нуля и обычно находится в пределах от $+100$ до $+400$ мВ.

Если употребляемая вода имеет ОВП выше, чем ОВП внутренней среды организма, происходит дополнительный расход энергии на преобразование этой воды в соответствии с необходимыми организму показателями. Причём это изменение происходит за счёт затрат электрической энергии клеточных мембран.

Вода с отрицательным ОВП (ионизированная щелочная вода), являясь самым мощным антиоксидантом, восстанавливает окислительно-восстановительный потенциал и тем самым укрепляет его защитные силы и нормализует функции жизненно важных органов животных.

ОВП воды из крана равен $+100...150$ мв., дистиллированной воды $+300...450$ мв., ОВП чистой воды в бутылках $+350...450$ мв.

Обычная вода, поступая в организм, отнимает электроны от клеток и тканей, которые состоят из воды на $70-80\%$. В результате этого биологические структуры организма (клеточные мембраны, нуклеиновые кислоты, органоиды клеток и др.) подвергаются окислительному разрушению, органы теряют свою функцию.

Если поступающая в организм вода имеет ОВП, близкий к значению внутренней среды организма, то электрическая энергия клеточных мембран (жизненная энергия организма) не расходуется на коррекцию актив-

ности электронов, вода тотчас же усваивается, поскольку обладает биологической совместимостью по этому параметру. Если вода имеет ОВП более отрицательный, чем ОВП внутренней среды организма, то она подпитывает его этой энергией, которая используется клетками как энергетический резерв антиоксидантной защиты организма от неблагоприятного влияния внешней среды.

7.1. Разработка технологической схемы и технических средств для биоконверсии зернового сырья в кормовые патоки

При получении кормовых сахаров из зернового сырья необходимо учитывать вид сырья, так как это оказывает существенное влияние на ход технологического процесса, на содержание сахаров в патоке и, как следствие, на качество и стоимость получаемых зерновых патоки.

Технология биоконверсии зерна на кормовые патоки включает следующие основные этапы: подготовка зерна (дробление или замачивание), подготовка воды (электродиализная обработка), желатинизация и ферментативное разжижение в условиях кавитационных воздействий, ферментативное осахаривание крахмалов в условиях газового перемешивания. Предлагаемая технология биотехнологической переработки зерновых крахмалосодержащих на углеводные кормовые добавки позволяет получать продукты с содержанием легкоусвояемых сахаров от 16 до 32 %.

Подготовка зерна заключается или в его измельчении до крупной дроблёнки, или в замачивании в воде в течение 8–12 часов при температуре 16...25 °С. Подготовка воды необходима в том случае, если в воде повышенное содержание ионов Fe^{+3} , Cr^{+3} и т.п., повышенное содержание органических примесей, включая пестициды, а также для корректировки pH водной среды.

Далее измельчённое (замоченное) зерно порциями вносят в роторно-пульсационный аппарат (РПА) с подготовленной водой, имеющей рН 4,5–5,5. Соотношение между зерном и водой зависит от вида сырья и находится в диапазоне зерно : вода 1–1,5 : 3.

В РПА смесь обрабатывается до 4 часов в зависимости от вида сырья. В ходе такой обработки водно-зерновая суспензия разогревается и гомогенизируется. Ферментативная биоконверсия зерновых крахмалов в условиях кавитационных воздействий способствует ускоренной эрозии крахмальных гранул. При нагревании зерновой суспензии идёт желатинизация крахмала, в результате чего вязкость реакционной массы значительно повышается.

Температура стадии желатинизации поддерживается в пределах 55...70 °С. Для разжижения добавляют мультиэнзимные композиции (МЭК-1). После разжижения горячую смесь перемещают в газовыхревой ферментер и добавляют МЭК-2 с целью осахаривания крахмала. Продолжительность стадии осахаривания до 4 часов, температура стадии осахаривания 60...65 °С. Общая продолжительность процесса составляет 7–8 часов и зависит от типа зернового сырья и его объёма. В результате такой обработки из любого зернового сырья можно получать однородные смеси, содержащие легкоперевариваемые углеводы: глюкозу и мальтозу. Составы некоторых крахмалосодержащих гидролизатов представлены в табл. 3.

Нами впервые предложен способ биоконверсии любого зернового сырья на кормовые углеводные добавки [64–66]. Разработаны кавитационные установки, которые в совокупности с известными машинами (дробилки, шнеки, насосы и т.д.) составляют технологическую линию по получению патоки [38]. Типоразмерный ряд данных технологических линий имеет производительность от 100 кг до

12 т готовой продукции в сутки [12–20]. Это позволяет использовать данные линии как для мелких фермерских хозяйств, так и для крупных животноводческих комплексов.

Переработку крахмалосодержащего сырья на продукцию, содержащую сахара, можно вести без стадии выделения крахмала (рис. 10).

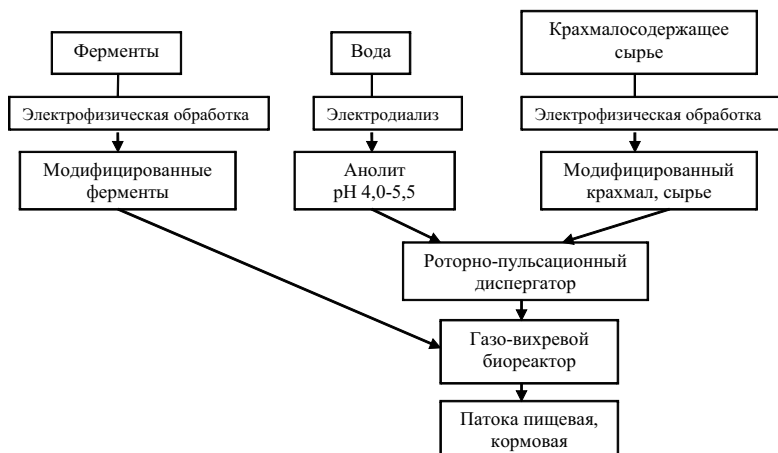


Рис. 10. Принципиальная блок-схема получения пищевых и кормовых паток в условиях электрофизических воздействий

Поскольку зерновые крахмалопродукты являются сложными биохимическими системами, было уместно провести направленную деградацию крахмалосодержащих субстратов с использованием эффективного дезинтегрирующего устройства, каким является роторно-пульсационный дезинтегратор (РПД).

Как уже говорилось, во многих российских предприятиях животноводческого профиля имеется несбалансированность рационов для многих видов животных, в первую очередь для крупного рогатого скота, по легкоперевариваемым углеводам. Так, только в Новосибирской области дефицит их, по мнению экспертов, составляет приблизительно 18000 т в год. Поэтому, на наш

взгляд, целесообразно разрабатывать технологию биоконверсии наиболее распространенного местного крахмалосодержащего сырья на кормовые патоки: фуражной пшеницы, ржи, ячменя, тритикале. С целью уменьшения энерго- и ресурсозатрат биоконверсию крахмалосодержащего сырья предлагается проводить непосредственно из цельного или дробленого зерна.

Результаты исследований по биоконверсии различных местных зерновых крахмалоносов на углеводные кормовые добавки в условиях нанобиотехнологических воздействий приведены в табл. 4.

Показано, что зависимость глубины биоконверсии крахмала от степени измельчения зерна для ржаных крахмалопродуктов непрямая. Наиболее хорошо поддается биоконверсии дробленое зерно, а хуже из рассмотренных вариантов – ржаная мука. Известно, что во ржи повышенное содержание пентозанов (до 17%), которые при гидратации дают вязкие гетерогенные суспензии. При повышении степени измельчения сырья до фракции муки значительно увеличивается поверхность, на которой идет гидратация сырья, и в первоначальный момент образуются вязкие суспензии, в которых скорость ферментативных реакций понижена. Это особенно заметно в начальный период реакции, когда при использовании муки процент биоконверсии крахмала ниже в 3–5 раз, чем при использовании цельного или дробленого зерна.

По мере прохождения биоконверсии вязкость раствора понижается, скорость ферментативного гидролиза увеличивается, и общий процент биоконверсии ржаной муки приближается к таковым для цельного зерна (см. табл. 3, № 20–24, № 5–8). Анализ полученных данных показал, что наиболее подходящая степень измельчения для технологии биоконверсии крахмалосодержащего сы-

Таблица 3

**Биоконверсия ржаного крахмалосодержащего сырья
на УКД в РПД**

Время обработки, ч	Цельное зерно		Дробленое зерно		Мука		Отруби	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	6,2	33,0	10,29	29,25	3,4	15,93	1,2	21,98
2	8,4	44,2	10,8	44,43	4,8	22,48	2,1	30,53
3	10,1	52,8	14,6	60,23	7,7	36,07	3,2	33,13
5	15,8	81,9	22,8	93,68	13,8	64,64	4,9	56,64
7	17,2	87,1	22,9	92,80	18,3	85,01	7,1	79,64
10	18,4	88,8	23,2	93,25	18,6	87,12	7,4	83,97
12	19,5	91,4	23,0	91,69	18,7	87,60	7,6	85,50
15	20,1	93,1	23,1	90,83	18,4	86,21	7,7	86,63

Примечание. 1 – содержание сахаров, %; 2 – биоконверсия крахмала, %.

Таблица 4

**Биоконверсия крахмалосодержащего сырья на патоку
из тритикале**

Время обработки, ч	Цельное зерно		Дробленое зерно		Мука	
	1	2	1	2	1	2
1	2,6	13,72	2,9	15,31	3,9	18,27
2	3,8	20,06	4,4	23,23	5,7	26,70
3	5,1	26,81	5,6	29,44	8,4	39,35
5	9,9	51,79	10,2	53,35	14,2	66,52
7	14,6	75,42	15,3	79,03	19,0	89,00
10	17,8	87,07	17,2	88,10	19,3	90,41
15	19,1	93,43	19,2	96,17	19,5	91,35
20	19,6	96,32	19,7	96,81		

Примечание. 1 – содержание сахаров, %; 2 – биоконверсия крахмала, %.

рья является дробленое зерно, в котором рационально сочетается степень дисперсности сырья и вязкость получаемой суспензии.

В РПД удалось подвергнуть ферментативному гидролизу и ржаные отруби, когда под действием мультиэнзимных композиций, включающих амилолитиче-

ские и целлюлозолитические ферменты, общий процент биоконверсии крахмала и клетчатки достигал 83–85%. Таким образом, реализуется безотходная технология переработки зерна ржи на кормовые углеводобогатенные добавки. Известно, что рожь ограниченно используется при кормлении (до 5–7% от общего потребляемого количества кормов). Это связано с тем, что в состав ржи входит большое количество пентозанов, которые в желудке животных образуют очень вязкие массы, препятствующие нормальному протеканию жизненно важных физиологических процессов, а также антипитательные компоненты.

Мультиэнзимные композиции способствуют деполимеризации пентозанов, вязкость получаемых ржаных добавок значительно понижается, в результате кавитационной обработки зерна происходит инактивация антипитательных компонентов. Поэтому количество ржаных продуктов можно значительно увеличивать в рационе животных.

Биоконверсия крахмалосодержащего сырья из тритикале протекает иначе, чем у компонентов из ржаного сырья. Так, например, при биоконверсии цельного зерна тритикале через 1 час содержание сахаров составило 2,6% при биоконверсии крахмала 13,72%, тогда как при биоконверсии ржаного зерна за этот же временной промежуток содержание сахаров составило 6,2% при биоконверсии – 33,0. Эти различия сохраняются вплоть до времени обработки 7 часов, однако через 10 часов обработки содержание сахаров и процент биоконверсии крахмала практически выравниваются. Аналогичная картина наблюдается при биоконверсии дробленого зерна. Однако при гидролизе муки различия в общем проценте сахаров и степени биоконверсии практически нивелируются.

Биоконверсия пшеничных крахмалосодержащих образцов протекает аналогично ржаным продуктам, однако в связи с большим содержанием крахмала в исходном сырье общее содержание сахаров несколько выше, чем в ржаном сырье, однако степень биоконверсии крахмала находится на одном уровне.

Таким образом, в результате гидродинамических и ультразвуковых воздействий, реализуемых в роторно-пульсационном диспергаторе, успешно проходит ферментативный гидролиз различного крахмалосодержащего сырья с получением кормовых добавок, содержащих значительное количество легкоперевариваемых углеводов: глюкозу и мальтозу.

Проведен химический анализ зерновых гидролизатов, который показал в них значительное количество сахаров. Это позволило предложить их в качестве углеводсодержащей добавки к основному рациону крупного рогатого скота. Разработаны ТУ и ТИ, изданы и утверждены [20, 21].

Данная углеводная добавка содержит также активные амилолитические ферменты, которые повышают общую перевариваемость кормов, увеличивают иммунитет, снижают подверженность животных стрессам и уменьшают их падеж.

Эффективность биоконверсии крахмалосодержащих зерен зависит от степени измельчения зерна и времени переработки. Известно, что рожь имеет высокий уровень содержания пентозанов (до 17%), которые при гидратации дают вязкие гетерогенные суспензии. При повышении степени измельчения сырья, например, до фракции муки, значительно увеличивается поверхность, на которой идет гидратация сырья, и в первоначальный момент образуются особо вязкие суспензии, в которых скорость фер-

ментативных реакций снижена. Это особенно заметно в начальный период реакции, когда при использовании муки биоконверсия крахмала ниже в 2–3 раза, чем при использовании цельного или дроблёного зерна. По мере прохождения ферментативного гидролиза вязкость раствора понижается, и общий процент биоконверсии ржаной муки приближается к дроблёному зерну.

В ферментативную биоконверсию в условиях кавитационных воздействия с получением кормовых паток можно вовлечь также отходы мукомольного производства – отруби.

Для получения углеводных кормовых добавок требуется технологическая схема биоконверсии зернового сырья, основанная на передовых разработках технических средств.

В РПА одновременно с гомогенизацией зерна идёт нагревание суспензии и осуществляется самая трудная стадия гидролиза крахмала – стадия клейстеризации и затем разжижения крахмала.

В газовихревом ферменте проводится самая длительная стадия – стадия осахаривания.

Таким образом, общую схему биоконверсии зернового сырья на углеводные добавки целесообразно осуществлять поэтапно. Самые энергозатратные стадии: клейстеризацию и разжижение – осуществлять в РПА, а самую продолжительную – осахаривание – в газовихревом ферментере.

Нами показано, что использование в качестве реакционной среды анолита – кислой фракции электроактивированной воды (ЭАВ) – позволяет существенно снизить длительность гидролиза нативных крахмалов. В связи с этим было предложено использовать ЭАВ в качестве реакционной среды. Это позволяет снизить общую про-

должительность процесса до 6 часов, исключить соляную кислоту и уменьшить в среде содержание ионов железа, которые являются ингибиторами ферментативного гидролиза.

Технологические линии различной производительности по получению зерновых патоки были внедрены в некоторых хозяйствах Новосибирской, Томской областей, Алтайском, Красноярском краях, в Республике Татарстан.

7.2. Характеристика устройств, используемых при переработке зерна на кормовые патоки

В настоящее время для переработки зерна на легкоусвояемые сахара используются различные конструкции аппаратов.

1. Технология СибНИИП базируется на триаде процессов нанобиотехнологий: кавитации, ионизации и ферментации. При данной технологии исключается применение кислот, поэтому она является экологичной, для ускорения деполимеризации крахмала применяется гидродинамическая обработка зернового сырья в кислой фракции ЭАВ с использованием амилолитических ферментных композиций, окончательное осахаривание ведут в газовихревом ферментере.

2. По технологии, рекомендуемой фирмами «Сиббиофарм», заводом «Труд», «Торсион» (г. Омск) и другими – производят переработку зерна в одной ёмкости, прокачивая через модернизированный центробежный насос всю кормовую смесь. Кислотность гидромодуля регулируют минеральными или органическими кислотами. Окончательную стадию ферментации проводят в той же ёмкости. Полученная по данной технологии патока имеет повышенную влажность, а вместе с тем и более низкое содержание сахаров. Сахаров в этих жидких патоках от 9 до 12%.

На выход сахаров оказывают влияние время обработки и её интенсивность, вид крахмалоноса, величина фракции зерна, количество ферментов.

Испытания кормовой патоки, полученной по нашим технологиям из зерна пшеницы, проведены в ЗАО Племзавод «Ирмень» (с 2005 г.) и других хозяйствах Сибири.

Нами предлагается широкий типоразмерный ряд технологических средств для получения паток (рис. 11, табл. 5).

Таблица 5

Технические и экономические показатели линий по получению зерновой патоки

Название линии*	Рабочий объем, л	Производительность в смену, л	Заграта эл. энергии на 1 л УКД, руб. (без зерна)	Себестоимость** 1 л УКД, руб. (без зерна)	Потребность в зерне в смену, кг	Потребность в воде в смену, л
ЛПХ-60	60	300	0,100	3,74 (2,41)	100	200
Фермерская-250	250	500	0,112	3,21 (1,85)	170	330
УПКП-1000	1 000	1 000	0,176	2,99 (1,59)	350	650
УПКП-2000	2 000	2 000	0,176	2,99 (1,59)	700	1300
УПКП-3000	3 000	6 000	0,031	1,85 (0,38)	2200	3800

* УПКП – установка по производству кормовых паток; ЛПКП – линия по производству кормовых паток;

** Стоимость зерна 4 000 руб/т.

ЛПХ – установка по производству кормовой патоки для личного подсобного хозяйства.

1. Установка для личных подсобных хозяйств позволяет получать до 300 л патоки, это позволяет обеспечить до 50 голов крупного рогатого скота.

Технологии производства кормовых сахаров из зернового сырья

Типоразмерный ряд технологических линий



Технологическая линия на 1000л.
(до 1000 голов КРС)

ЛПХ (60л, до 50 голов КРС)



Фермерская установка
(250л, до 200 голов КРС)

Технологическая линия на 2000л
(до 2000 голов КРС) ЗАО ПЗ
«Ирмень» Новосибирская обл.

Преимущества:

1. Использование любого зернового сырья, зерносмесей, отходов элеваторов
2. Содержание углеводов от 16 до 25%
3. Окупаемость менее года
4. Широкий типоразмерный ряд

2. Повышение содержания белка, жира, лактозы.

4. Улучшение качества продукции

6. Нормализация обмена веществ

8. Повышение рентабельности производства продукции на 14-17%.

Золотая медаль 2008

Экономический эффект от внедрения технологии В НСО составит 600 млн. руб./год

по России 42 млрд. руб./год

1. Увеличение молочной продуктивности коров на 10-15%.
3. Снижение раскормки комбикормов на 10-15%.
5. Повышение мясного статуса у животных.
7. Увеличение продуктивного долголетия.

Рис. 11. Типоразмерный ряд установок для получения кормовых патоки из зерна

2. Фермерская установка на 250 л позволяет получать до 1000 л кормовой патоки, что обеспечивает сахарами 200 коров. Технологическая линия на 1000 л дает возможность наработки до 4000 л кормовой патоки, что позволяет обеспечить стадо поголовьем до 1000 голов.

3. Технологическая линия на 2000 л позволяет получать до 8000 л патоки в сутки и обеспечивать до 2000 коров.

4. Технологическая линия последней модификации с использованием кавитационных установок и газовых ферментеров представляет единый технологический автоматизированный комплекс. Имеются две базовые модификации, определяемые объемом ферментера и емкостью рециркуляции. Предназначены для больших животноводческих комплексов на 2000–6000 голов.

При круглосуточной работе на этой технологической линии можно производить от 10000 до 30000 л кормовой патоки.

8. ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖИВОТНЫХ ПРИ ВВЕДЕНИИ В РАЦИОН КОРМОВОЙ ПАТОКИ

Наиболее перспективным путём восполнения дефицита сахаров в рационах животных, особенно в климатических условиях Сибирского рациона, является глюкозо-мальтозная кормовая патока, полученная по технологии СибНИТИП путём переработки зернового крахмалосодержащего сырья [2, 3, 6].

В хозяйствах Сибирского федерального округа с 2004 по 2014 гг. проводилось внедрение кормовой патоки в кормовой рацион крупного рогатого скота. Для этого проведён ряд опытов по кормлению лактирующих коров производственного стада и молодняка. В результате мно-

голетних опытов по кормлению кормовой патокой было выявлено в среднем повышение молочной продуктивности на 20–23 %, увеличение лактозы на 15–17 %, молочного жира на 9–10 % (табл. 6).

Испытания патоки из зерна ржи при кормлении лактирующих коров с годовым удоем 4500 кг в СПХК «Морские нивы» показали, что использование патоки в рационах лактирующих коров приводит к увеличению удоя с 13,7 кг в контроле до 14,9 кг в опытной группе, т.е. на 8,7 %, а в пересчете на молоко 3,5 % жирности – на 15,9 %. При этом затраты корма снижаются на 8,2 %.

Таблица 6

**Продуктивность лактирующих коров
в среднем за несколько лет**

Показатель	Контрольная группа, n=200	Опытная группа, n=200
Средний суточный удой, кг	2,01±1,3	23,2±1,1
Жир, %	3,52±0,12	3,81±0,20
Белок, %	3,32±0,11	3,61±0,08
Лактоза, %	4,60±0,09	5,22±0,07

* P≤0,05; ** P≤0,01; *** P≤0,001.

Скармливание патоки из ржи приводит к повышению содержанию глюкозы в крови животных на 16 % (табл. 7).

Таблица 7

Результаты испытаний УКД из ржи в СПХК «Морские нивы»

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Количество голов в группе	48	48
Получено молока, кг	27 619	30 038
В пересчете на 3,5 % молоко	29 197	33 852
К контролю, %	-	115,9
Потреблено кормов, к.ед.	32 590,4	32 741,5
Затраты к.ед. на 1 кг молока	1,18	1,09
Содержание жира в молоке, %	3,7	3,9

В 2005–2007 гг. проводились широкие производственные испытания патоки в ЗАО Племзавод «Ирмень» на высокопродуктивных коровах с удоем 7 500 кг в год. Результаты апробации патоки, полученной из зерна пшеницы, приведены в табл. 8.

Установлено, что скормливание лактирующим коровам патоки из пшеницы способствовало повышению жирности молока, а вместе с тем и увеличению на 15,1 % выхода молока 3,5 % жирности. При реализации молока в перерасчете на молоко 3,5 % жирности получено дополнительно 719,1 тыс. руб. дохода.

Таблица 8

**Результаты апробации патоки из пшеницы
в ЗАО Племзавод «Ирмень»**

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Количество голов в группе	200	191
Продолжительность испытания, дней	102	102
Валовое производство молока, кг	510030	487050
Жирность молока, %	3,3	3,8
Валовое производство молока с 3,5 % жира	480857	528,797
Реализационная стоимость молока, руб/кг	15,0	15,0
Выручка от реализации, руб.	7212855	7931955
Разница в реализации, руб.	719100 (15,1%)	

Технологическая линия по биоконверсии зернового сырья на кормовые сахара в ЗАО Племзавод «Ирмень» работает и в настоящее время. Производительность около 10 т/сутки, что позволило сбалансировать рационы по сахарам для 2 500 голов крупного рогатого скота и довести молочную продуктивность на одну корову в среднем до 10 700 кг/год.

Таким образом, разработанная ресурсосберегающая экологичная технология переработки зерна ржи и пше-

ницы на глюкозо-мальтозные кормовые добавки позволяет восполнить в рационах лактирующих коров дефицит сахаров и является эффективным заменителем сахаросодержащих кормов из корнеклубнеплодов и кормовой патоки (мелассы).

Проведены испытания на безопасность патоки из зерна Новосибирской межобластной ветеринарной лабораторией, разработана и утверждена в установленном порядке нормативная документация. Детально изучены питательность и биохимические свойства и безопасность для скормливания углеводной добавки [11, 15, 16, 23].

На основании проведенных исследований и апробации новой технологии на производстве установлено, что в условиях рынка и постоянного повышения стоимости энергоресурсов наиболее целесообразно и эффективно для восполнения дефицита сахаров в рационах лактирующих коров скормливать патоки, получаемые из зерна ржи или пшеницы.

8.1. Биохимический контроль обмена веществ

В последние годы в хозяйствах с высокой молочной продуктивностью животных широкое распространение получили болезни, связанные с нарушением обмена веществ. Их возникновение и развитие связаны с дефицитом или избытком энергии, низкой усвояемостью питательных и биологически активных веществ в рационах, несбалансированностью сахаропротеинового соотношения в кормах.

Состояние обмена веществ в организме высокопродуктивных животных нарушается намного раньше появления клинических признаков и патолого-анатомических изменений в органах. Выявление субклинического течения нарушения обмена – основной этап в профилактике нарушений обмена веществ.

Для оптимального течения обменных процессов микро-, макроэлементы, белки, жиры, углеводы, биологически активные вещества должны поступать в организм животных в соответствии с потребностями, обусловленными их физиологическим состоянием и уровнем продуктивности.

Патобиохимические процессы, происходящие в организме животных при несбалансированности рационов по микро-, макроэлементам и питательным веществам, приводят к снижению неспецифической резистентности и являются основой проявления не только незаразных, но и инфекционных, инвазионных болезней.

Для оценки физиологического состояния организма животных используются показатели крови или сыворотки крови, характеризующие обмен веществ (общий белок, альбумины, мочевины, креатинин, глюкоза, калий, натрий, хлор, магний, кальций, фосфор, железо), функциональное состояние печени: билирубин, ферменты – аспартатаминотрансфераза (АСТ), аланинаминотрансфераза (АЛТ) и др.

Нарушение обмена белков, углеводов, липидов, макро- и микроэлементов приводит к накоплению недоокисленных промежуточных продуктов обмена, что ведет к возникновению ацидоза, кетоза, развивается дисфункция гипофиза надпочечников, щитовидной, половой и других желез внутренней секреции, вследствие чего нарушается гормональная регуляция обменных процессов.

Дефицит глюкозы приводит к нарушению энергетического обмена и процессов гликогенеза. Недостаток энергии в стадии интенсивной лактации, обусловленный дефицитом глюкозы, сопровождается торможением окислительных реакций. Организм начинает использовать запасы жира, при этом образуются свободные жирные кислоты и в дальнейшем – кетоновые тела.

Анализ результатов биохимических исследований показал, что в сыворотке крови у 90–100% животных опытной группы, получавших патоку, содержание фосфора, калия, железа, магния, белка, глюкозы, аланинаминотрансферазы, общего билирубина, щелочной фосфатазы, холестерина соответствует физиологической норме (11 показателей из 18 исследованных) (рис. 12, табл. 9).

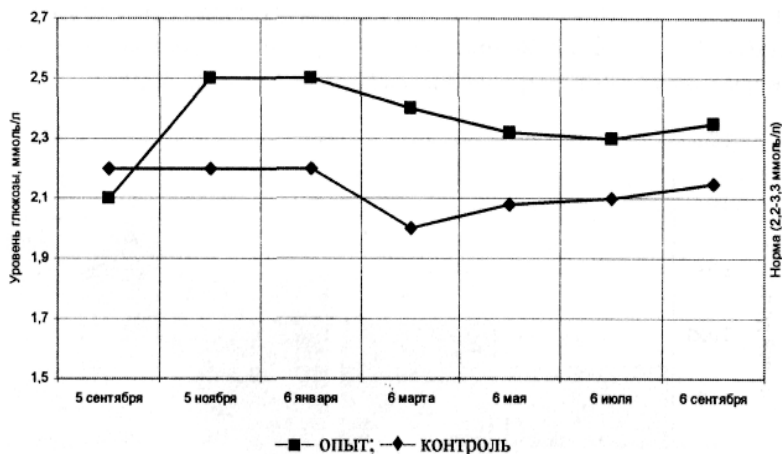


Рис. 12. Динамика уровня глюкозы в сыворотке крови коров

В контрольной группе животных эти показатели существенно отличаются от таковых опытной группы.

Так, содержание **глюкозы** у животных опытной группы соответствует норме у 90% животных, а в контрольной группе – только 50%, содержание **белка** в норме у 100% опытной животных и у 70% коров контрольной группы, содержание **фосфора** соответствует норме у 90% коров опытной группы и у 60% – контрольной.

Использование УКД в кормление лактирующих коров привело к улучшению биохимических показателей сыворотки крови: концентрация фосфора увеличи-

Таблица 9

Результаты биохимического исследования сыворотки крови

Показатель	Норма	Контрольная группа, n=10	Опытная группа, n=10
		в среднем	в среднем
Фосфор, ммоль/л	1,4–1,9	1,41±0,05	1,53±0,03*
Кальций, ммоль/л	2,5–3,13	2,25±0,12	2,94±0,09***
Натрий, ммоль/л	139–148	151,90±7,85	135,89±2,92
Калий, ммоль/л	4,1–4,9	4,43±0,11	4,36±0,05
Железо, мкмоль/л	18–46	29,92±0,53	32,91±0,50***
Хлориды, ммоль/л	95–108	101,80±4,12	100,82±5,10
Магний, ммоль/л	0,82–1,23	0,78±0,00	0,96±0,00***
Белок, г/л	61,6–86,0	84,87±1,33	82,39±0,83
Глюкоза, ммоль/л	2,22–3,33	2,17±0,04	2,50±0,11**
АСТ, Е/л	50,1–56,9	57,53±0,64	56,84±1,06
АЛТ, Е/л	27,8–35,4	33,39±0,79	33,02±0,67
Билирубин общий, мкмоль/л	0,7–14,0	8,56±1,31	7,96±1,09
Щелочная фосфатаза, Е/л	67–83	84,77±1,03	80,46±0,65**
Креатинин, мкмоль/л	37,1–65,4	70,0±0,9	67,2±1,8
Холестерин, ммоль/л	1,3–4,42	4,91±0,26	2,96±0,26***
Альбумин, г/л	25,8–39,7	28,8±3,18	28,8±3,21
Мочевина, ммоль/л	3,3–6,7	5,58±0,25	4,73±0,18**

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$.

лась на 0,12 ммоль/л ($P \leq 0,05$), кальция на 0,69 ммоль/л ($P \leq 0,001$), глюкозы на 0,3 ммоль/л ($P \leq 0,01$). Нормализовалась активность щелочной фосфатазы у 100% опытных животных. В сыворотки крови коров опытной группы снизилось содержание холестерина на 1,95 ммоль/л ($P \leq 0,001$) и мочевины на 0,85 ммоль/л ($P \leq 0,01$). Уровень железа в сыворотки крови коров опытной группы пришел в норму у 90% животных, в контрольной группе у 80% (табл. 10).

Таким образом, скармливание патоки благоприятно повлияло на состояние обмена веществ у коров опытной группы.

8.2. Продуктивные показатели роста молодняка при введении в рацион зерновой патоки

Таким образом, использование патоки в кормлении лактирующих коров способствует улучшению биохимических показателей сыворотки крови.

Для установления влияния кормовой патоки на показатели роста и развитие молодняка крупного рогатого скота были проведены эксперименты на телятах (В. Волков, Н. А. Шкиль).

В качестве опытной группы были взяты 20 животных (10 бычков и 10 тёлочек). Контрольная группа также состояла из 20 животных (по 10 тёлочек и бычков). Животные контрольной и опытной групп находились в общем телятнике, в обычных производственных условиях, в индивидуальных клетках. Основной рацион (ОР) состоял из 6 л цельного молока для тёлочек, 6 л заменителя цельного молока для бычков, 1,5 кг дроблёной зерносмеси (овес, пшеница, ячмень). Сочные и грубые корма (сенаж, сено) скармливали вволю.

Опытной группе дополнительно к основному рациону в течение 51 дня (с месячного возраста до перевода в общую группу) вводили сухую патоку. Первые 6 дней кормления добавкой были адаптационные. Добавка скармливалась в составе зерносмеси один раз в день.

Скармливание сухой кормовой добавки телятам оказало влияние на их рост и биохимический статус. Среднесуточный прирост живой массы в период опыта в экспериментальной группе составил 1138,0 г у тёлочек и 747,6 г у бычков, что на 19,8% ($P < 0,001$) и на 16,6% выше, чем в контрольной группе соответственно. Таким образом, дополнительный суточный прирост живой массы у опытной группы животных составил 225,3 г у тёлочек и 124,1 г – у бычков (табл. 10).

Влияние скармливания сухой патоки на показатели роста телят

Номер животного	Опытная группа				Контрольная группа					
	тёлки		бычки		тёлки		бычки			
	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта		
1	41,0	105,8	41,0	104,0	40,0	91,5	45,0	65,7		
2	28,0	92,6	40,8	94,0	41,0	87,0	46,5	87,6		
3	27,6	86,8	45,8	85,4	42,5	83,5	44,0	75,0		
4	42,0	99,8	46,2	84,0	39,0	88,0	42,5	79,7		
5	48,0	106,7	48,6	71,0	40,0	90,0	51,0	77,5		
6	46,0	89,8	41,8	69,0	38,0	78,5	45,0	69,8		
7	38,0	98,8	46,6	85,0	43,0	87,5	46,0	78,5		
8	38,0	98,7	46,6	80,0	40,2	93,5	44,0	75,6		
9	34,0	93,2	46,2	80,0	40,8	88,5	47,0	78,4		
10	39,0	89,8	47,5	80,0	41,0	83,0	43,0	84,2		
В среднем	38,2±2,1	96,2±2,2****	45,1±0,9	83,2±3,2*	40,6±0,5	87,1±1,4****	45,4±0,8	77,2±2,0*		
Среднесуточный прирост, г	1138,0±39,3****				747,6±74,2				912,7±27,9****	623,5±41,6

Результаты биохимического анализа сыворотки крови телят

Показатель	Норма	Опытная группа		Контрольная группа	
		тёлки	бычки	тёлки	бычки
Кальций, ммоль/л	2,1–2,8	2,4±0,07	2,2±0,07	2,2±0,07	2,1±0,07
Фосфор, ммоль/л	1,4–2,5	1,8±0,04	1,6±0,03	1,6±0,08	1,5±0,06
Натрий, ммоль/л	138–148	141,2±1,90	143,8±1,67	145,9±2,22	145,7±2,13
Калий, ммоль/л	4,0–5,8	4,3±0,13	4,3±0,09	4,0±0,14	4,2±0,12
Железо, мкмоль/л	22,7–28,9	24,4±0,43****	18,7±0,46****	27,5±0,82****	26,6±1,16****
Хлориды, ммоль/л	95–108	104,6±3,31	100,7±1,65	107,3±1,97	109,9±2,14
Магний, ммоль/л	0,7–1,2	1,2±0,09	1,4±0,06	2,3±2,29	2,2±0,32
Белок, г/л	61,6–82,2	52,7±1,86	48,4±2,68	50,7±1,88	45,2±1,07
Глюкоза, ммоль/л	2,3–4,1	2,1±0,08****	1,7±0,07****	0,5±0,07****	0,5±0,10****
АСТ, Е/л	0–56,9	5,7±0,79	2,8±0,67****	41,2±28,10	16,6±2,29****
АЛТ, Е/л	0–35,4	8,7±1,17*	32,9±13,19	32,9±13,23*	22,9±2,49
Билирубин общий, мкмоль/л	0,7–14,0	3,4±0,53****	4,0±0,62**	5,7±0,47****	5,7±0,47**
Креатинин, мкмоль/л	55,8–162,4	224,1±32,30	243,1±23,66	248,3±46,79	518,2±61,87
Холестерин, ммоль/л	1,6–5,0	1,9±0,07**	2,5±0,16**	3,6±0,49**	3,6±0,29**
Альбумин, г/л	27,5–39,4	88,8±1,55****	80,8±1,74****	26,0±1,71****	28,1±2,97****
Мочевина, мкмоль/л	2,8–8,8	20,3±1,27****	34,5±2,17****	7,4±0,55****	8,0±0,61****

* P < 0,1; ** P < 0,01; **** P < 0,001.

Результаты биохимического исследования сыворотки крови показали увеличение содержания глюкозы с 0,5 до 2,1 ммоль/л у тёлочек и до 1,7 ммоль/л у бычков. Также наблюдалась нормализация электролитного состава сыворотки крови (табл. 11).

Использование сухой углеводной добавки позволило получить дополнительный прирост в опытной группе животных у тёлочек 100 кг и 66,4 кг – у бычков, что в общем составило 166,5 кг. Общий расход кормовой добавки в опытный период составил 175 кг. Дополнительный доход при цене 1 кг живой массы 100 руб. составил 16 650 руб. При цене сухой углеводной кормовой добавки 15 руб/кг дополнительные затраты составили 2 625 руб., т.е. на 1 руб., вложенный в кормовую добавку, было получено на 6,3 руб. дополнительной продукции.

Таким образом, скормливание кормовой патоки в составе зерносмеси телятам в молочный период позволило увеличить среднесуточный прирост живой массы в среднем на 18,2%, повысить содержание глюкозы с 0,5 до 2,1 ммоль/л у тёлочек и до 1,7 ммоль/л у бычков, а также нормализовать электролитный состав сыворотки крови.

9. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Апробация новой нанобиотехнологии на производстве показала, что в условиях рынка и постоянного повышения стоимости энергоресурсов наиболее целесообразно и эффективно для восполнения дефицита сахаров в рационах лактирующих коров скормливать патоку, получаемую из зерна ржи или пшеницы.

Стоимость сахаров, полученных по нашей технологии, в 3 раза дешевле сахаров из корнеплодов. Окупае-

мость оборудования менее одного года. Внедрение новой технологии способствует повышению продуктивности, увеличению жирности молока, снижению себестоимости продукции и повышению рентабельности отраслей животноводства (рис. 12).

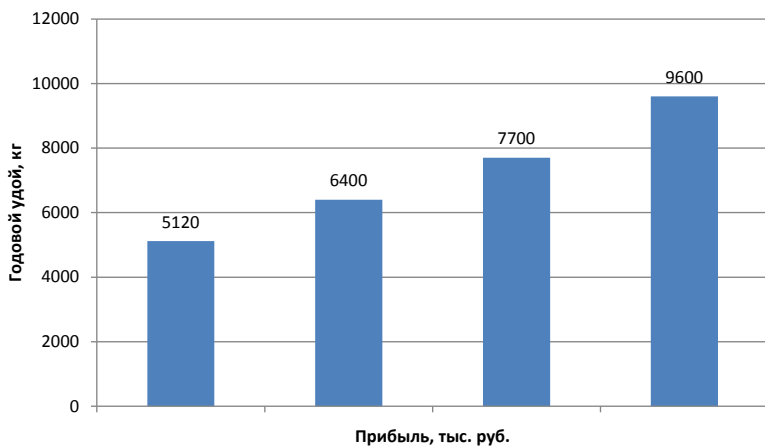


Рис. 12. Расчетная прибыль, полученная от внедрения кормовой добавки, тыс. руб. на 1 тыс. коров в год

Внедрение новой технологии производства кормовых паток из зернового сырья пшеницы, ржи и ячменя позволит увеличить производство продукции, обеспечить продовольственную безопасность, улучшить экономические показатели. Так, по комплексу показателей (повышение удоя коров, увеличение жирности молока и содержания в нём лактозы) это позволит ежегодно получать прибыль по Новосибирской области 600 млн руб., по СФО – более 5 млрд, а по России более 42 млрд руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании комплексных исследований коллектива учёных, конструкторов, руководителей предприятий и общественных организаций первые в России разработана концептуальная модель нанобиотехнологии производства сахаров из зернового сырья.

В разработке уникальной нанобиотехнологии приняли участие ученые ГНУ СибНИИП, НГАУ, ООО «Центр вихревых технологий», Общероссийского благотворительного фонда ресурсосберегающей экологичной технологии переработки зерновых крахмалоносов на кормовые патоки (глюкозо-мальтозные добавки). Эти разработки позволяют восполнить в рационах лактирующих коров дефицит сахаров и являются хорошим заменителем углеводосодержащих корнеклубнеплодов и кормовой мелассы, полученной на сахарных заводах.

Проведены испытания на безопасность патоки Новосибирской межобластной ветеринарной лабораторией. Разработана и утверждена в установленном порядке техническая документация (технические условия и технологические инструкции). Детально изучены питательность и биохимические свойства, безопасность для скармливания углеводной добавки животным.

В качестве источника сырья можно использовать зерно ржи, пшеницы, ячменя и тритикале фуражных кондиций и другие зерновые, а также зерновые смеси.

Для производства 1 кг кормового сахара требуется 2 кг зерна. Для сравнения: чтобы получить 1 кг сахара из свеклы кормовой, необходимо 10–12 кг корнеплодов. Себестоимость 1 кг корнеплодов составляет 2,20 руб., а 1 кг патоки, содержащей 25% сахара, всего 2,34 руб. Для получения 1 кг сахара из корнеплодов необходимые затра-

ты составляют 22–24 руб., из зерна пшеницы – 9,36 руб., что в 2,4 раза меньше.

Следует также отметить, что углеводная кормовая добавка сохраняет все питательные и биологически активные вещества, содержащиеся в зерне: белки, жиры, ферменты, макро- и микроэлементы, которые способствуют улучшению обмена веществ у животных. Об этом убедительно свидетельствуют результаты биохимических исследований сыворотки крови. Кровь – это зеркало обмена веществ. Скармливание кормовой патоки повышает в крови содержание глюкозы до физиологической нормы, что положительно сказывается на содержании жира в молоке. Выход молока с 3,5% жирностью в ЗАО Племзавод «Ирмень» составил 15,1–15,9% по сравнению с контролем.

Таким образом, разработана уникальная нанобиотехнология. Создана система машин и оборудования, проведены широкие производственные испытания новой технологии, окупаемость составила менее года. Кроме того, за счёт внедрения данной разработки можно на 25–30% увеличивать производство молока в России. Это реальный путь решения продовольственной программы в стране, а также продовольственной независимости по данному виду продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Авербух Ю.И.* Расчет дисперсности эмульсий, образующихся в роторно-статорном аппарате / Ю.И. Авербух, А. О. Никифоров, Н. М. Костин [и др.] // Журн. прикл. химии. – 1988. – Т. 61, № 2. – С. 433–434.

2. *Аксёнов В.В.* Глубокая переработка местного зернового крахмалосодержащего сырья на сахаристые крахмалопродукты кормового и пищевого назначения // Влияние приоритетного национального проекта – государственной программы «Развитие АПК» – на сельское хозяйство Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (28–31 октября 2008 г., КемГСХИ). – Кемерово, 2008. – С. 289–294.

3. *Аксёнов В.В.* Комплексная переработка растительного крахмалосодержащего сырья в России // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 5. – С. 213–218.

4. *Аксёнов В.В.* Переработка зерна ржи и пшеницы на кормовые углеводные добавки и их использование в рационах лактирующих коров // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 1. – С. 184–186.

5. *Аксёнов В.В.* Перспективы производства в Сибири сахаристых крахмалопродуктов из местного зернового сырья // Тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана и Киргизии». – Барнаул, 2005. – С. 511–514.

6. *Аксёнов В.В.* Системный подход к интенсификации процессов биоконверсии нативных крахмалов и крахмалосодержащего сырья. Сообщ. II. Проведение биоконверсии нативных крахмалов в электроактивированных водных растворах // Вестник КрасГАУ. – 2008 – № 10. – С. 18–20.

7. *Аксёнов В.В.* Системный подход к интенсификации процессов биоконверсии нативных крахмалов и крахмалосодержащего сырья. Сообщ. III. Проведение ферментативной биоконверсии зернового крахмалосодержащего сырья в условиях гидродинамических воздействий // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 1. – С. 26–28.

8. Аксёнов В. В. Автоматизация технологических линий получения углеводных кормовых добавок / В. В. Аксёнов, А. А. Зотов, В. Е. Зюбин, А. А. Лубков, А. Д. Петухов // Материалы V Междунар. юбил. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество». – Новосибирск, 2008. – С. 109–111.

9. Аксёнов В. В. Использование углеводных кормовых добавок в животноводстве / В. В. Аксёнов, А. В. Максименко, В. А. Волков // Тез. конф. «Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции». – Омск, 2006. – С. 156–157.

10. Аксёнов В. В. Использование углеводной кормовой добавки, полученной из зерна пшеницы и ржи в рационах лактирующих коров: метод. рекомендации / В. В. Аксёнов, Ю. Ф. Бугаков, Г. Ф. Пиденко, В. В. Краснов, К. Я. Мотовилов. – Новосибирск, 2006. – С. 24.

11. Аксёнов В. В. Переработка местного крахмалосодержащего сырья на обогащенные углеводами кормовые добавки / В. В. Аксёнов, В. А. Волков, В. М. Незамутдинов, Н. А. Трусов // Тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество» / РАСХН. Сиб. отд.-ние. ГНУ СибНИПТИП. – Новосибирск, 2004. – С. 328–330.

12. Аксёнов В. В. Влияние уровня содержания сахаров в рационах лактирующих коров на метаболизм азотосодержащих соединений / В. В. Аксёнов, Н. Д. Грибова, Д. В. Анисимов // Материалы V Междунар. юбил. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество». – Новосибирск, 2008. – С. 309–310.

13. Аксёнов В. В. Информационно-управляющая система автоматизации производства углеводных кормовых добавок / В. В. Аксёнов, А. А. Зотов, А. А. Лубков // Материалы V Междунар. юбил. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество». – Новосибирск, 2008. – С. 366–367.

14. Аксёнов В. В. Углеводные кормовые добавки и их влияние на здоровье лактирующих коров / В. В. Аксёнов, А. В. Максименко // Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы зоотехнической науки и практики как основа улучшения продуктивных качеств и здоровья сельскохозяйственных животных». – Ставрополь, 2007. – С. 302–304.

15. Аксёнов В. В. Эффективность использования кормовых углеводных добавок из зерновых крахмалоносов в рационах лактирующих коров / В. В. Аксёнов, А. В. Максименко // Материалы науч.-практ. конф. «Проблемы повышения эффективности производства животноводческой продукции». – Жодино, 2007. – С. 155–156.

16. Аксёнов В. В. Комплексная переработка зерновых крахмалоносов / В. В. Аксёнов, А. В. Максименко, В. А. Волков, Ю. Ф. Бугаков, Г. Ф. Пиденко // Тез. конф. «Достижения науки в реализации национального проекта развития АПК». – Курган, 2006. – С. 9–12.

17. Аксёнов В. В. Получение углеводных кормовых добавок в роторно-пульсационном аппарате / В. В. Аксёнов, А. В. Максименко, В. А. Волков, Н. А. Трусов // Тр. Междунар. конф. «Совершенствование технологий производства и переработки продукции животноводства». – Волгоград, 2005.

18. Аксёнов В. В. Перспективы использования углеводной кормовой добавки из зерновых крахмалоносов в животноводстве / В. В. Аксёнов, К. Я. Мотовилов, В. А. Волков // Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. «Современные технологические и селекционные аспекты развития животноводства России». – Дубровицы, 2005. – Т. 2. – С. 45–47.

19. Аксёнов В. В. Ферментативный гидролиз зерна пшеницы и пшеничной муки в роторно-пульсационном аппарате / В. В. Аксёнов, В. М. Незамутдинов, О. П. Кривошеина // Труды IV Междунар. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество» / РАСХН. Сиб. отд.-ние. ГНУ СибНИПТИП. – Новосибирск, 2004. – С. 152–154.

20. Аксёнов В. В. Корм сахаросодержащий из зерна пшеницы: ТУ 9296–014–23611999–06. / В. В. Аксёнов, В. С. Пияшев, В. А. Волков, Н. А. Шкиль – Новосибирск, 2006. – 12 с.

21. Аксёнов В. В. Углеводная кормовая добавка из ржи: ТУ 9296–010–23611999–05. / В. В. Аксёнов, Н. А. Трусов, В. С. Пияшев, В. А. Волков, В. Л. Малофеев. – Новосибирск, 2005. – 12 с.

22. Аксёнов В. В. Пути превращения углеводов в организме КРС / В. В. Аксёнов, В. И. Филатов // Материалы V Между-

нар. юбил. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество». – Новосибирск, 2008. – С. 205–206.

23. *Аксёнов В. В.* Опыт применения углеводных кормовых добавок в кормлении лактирующих коров / В. В. Аксёнов, Н. А. Шкиль, К. Я. Мотовилов // Ветеринария и кормление «Ветком» – М., 2008. – № 5. – С 24–25.

24. *Акуличев В. А.* Кавитация в криогенных и кипящих жидкостях. – М.: Наука, 1978. – 278 с.

25. *Амромин Э. Л.* Метод решения нелинейных нестационарных задач теории кавитационных течений идеальной жидкости // Журн. техн. физики. –1993. – Т. 63, № 4. – С. 194–199.

26. *Андреев Н. Р.* Прогнозные оценки развития крахмалопаточного производства / Н. Р. Андреев, Н. Д. Лукин, Л. А. Медведева // Пищевая промышленность. – 1999. – № 12. – С. 34–35.

27. *Аксёнов В. В.* Использование газовихревого реактора для ферментативной переработки растительного крахмалосодержащего сырья на сахаристые крахмалопродукты / В. В. Аксёнов, Н. Л. Лукьянчикова, Ю. А. Рамазанов, И. П. Косюк // Труды IV Междунар. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество»/ РАСХН. Сиб. отд-ние. ГНУ СибНИПТИП. – Новосибирск, 2004. – С. 11–13.

28. *Балабудкин М. А.* Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. – М.: Медицина, 1983. – С. 160.

29. *Балабышко А. М.* Эффективное применение роторных аппаратов для получения рабочих жидкостей гидросистем проходческой техники // Шахт. строительство. – 1990. – № 3. – С. 41–43.

30. *Балабышко А. М.* Роторный аппарат с модуляцией потока для получения высоковязких СОЖ / А. М. Балабышко, А. И. Зимин // Вестн. машиностроения. – 1990. – № 15. – С. 59–60.

31. *Башта Т. М.* Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта // Машиностроение. – М., 1971. – С. 44–46.

32. *Белоглазов И. Н.* О некоторых особенностях моделирования гидродинамических процессов / И. Н. Белоглазов,

Н. К. Белоглазов, М. И. Курочкина // Там же. – 1992. – Т. 65, № 5. – С. 1139–1146.

33. *Бронин Ф. А.* Современное состояние разработок по ультразвуковому оборудованию технологии для снятия заусенцев, диспергирования порошковых материалов и очистки во фреонах // Повышение эффективности технологических процессов в поле акустических колебаний. – М.: Металлургия, 1981. – С. 63–70.

34. *Бруякина Л. А.* Гидролизаты крахмала для получения низкокалорийных продуктов / Л. А. Бруякина, Л. А. Ананских, Н. П. Абакумова // Сахарная промышленность. – 1987. – № 3. – С. 51–52.

35. *Викторов П. И.* Методика и организация зоотехнических опытов / П. И. Викторов, В. К. Менькин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 112 с.

36. *Волков В. А.* Опыт применения углеводной кормовой добавки из зернового сырья в кормлении КРС / В. А. Волков, Н. Н. Шкиль // Сб. ст. регион. науч.-практ. конф. «Современные достижения в животноводстве». – 2011. – Вып. 13. – С. 12–16.

37. *Гомогенизатор* роторный: Патент РФ на полезную модель № 220205 от 27.08.2005 / В. С. Пияшев, Н. А. Трусов, В. В. Аксёнов.

38. *Грачева И. М.* Технология ферментативных препаратов / И. М. Грачева, А. Ю. Кривова – М.: Элевар, 2000. – 512 с.

39. *Грибова Н. Д.* Влияние углеводных кормовых добавок на экологические показатели молока и продуктивность лактирующих коров / Н. Д. Грибова, В. В. Аксёнов, Д. В. Анисимов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Пища. Экология. Качество». – Кемерово, 2009. – С. 84–86.

40. *Диксон М.* Механизм действия ферментов / М. Диксон, Э. Уэбб. // Ферменты. – М., 1961. – С. 297–357.

41. *Донченко А. С.* Полевые работы в Сибири в 2008 г.: метод. рекомендации. / А. С. Донченко, Н. И. Кашеваров, В. К. Калличкин [и др.]. – Новосибирск, 2008. – С. 264.

42. *Дурст Л.* Кормление сельскохозяйственных животных / Л. Дурст, М. Виттан. – Винница: Нова книга, 2003. – 384 с.

43. *Зимин А. И.* Кавитационная ректификация двухкомпонентных смесей. – М., 1995. – 20 с.

44. *Зимин А. И.* Технология переработки нейтрализованных сернокислых шламов в железоксидный пигмент // Пути и средства повышения экологической безопасности гальванических производств: тез. докл. науч.-техн. конф. – Ярославль, 1995. – С. 37–39.

45. *Зимин А. И.* Трансформация кинетической энергии потока жидкости в кавитационную и акустическую при импульсном возбуждении кавитации / А. И. Зимин, В. П. Ружицкий, В. Н. Старцев // Композиционные материалы и изделия из них под воздействием энергии различных видов: тез. докл. науч.-техн. конф. – М., 1995. – С. 26.

46. *Изучение* пищеварения у жвачных: метод. указания / Н. В. Курилов [и др.]; Всерос. науч.-исслед. ин-т физиологии и биохимии питания с.-х. животных. – Боровск, 1987. – 96 с.

47. *Кардышев Г. А.* Физические методы интенсификации процессов химической технологии. – М.: Химия, 1990. – 208 с.

48. *Коваленко Г. А.* Роторно-инерционный биореактор для гетерогенных биокаталитических процессов. I. Ферментативный гидролиз крахмала / Г. А. Коваленко, С. В. Сухамин, А. В. Симаков [и др.] // Биотехнология. – 2004. – № 1. – С. 83–90.

49. *Комбикорма* и кормовые добавки: справ. пособие / В. А. Шаршунов, Н. А. Попков, Ю. А. Пономаренко [и др.]. – Минск: Экоперспектива, 2002. – 440 с.

50. *Крахмал* и крахмалопродукты / под ред. Н. Г. Гулюка. – М.: Агропромиздат, 1985. – 279 с.

51. *Крахмалопаточная* промышленность // Пищевая промышленность в условиях рыночной экономики / под ред. Е. И. Сизенко. – М., 2002. – С. 347–368.

52. *Мачинский А. С.* Перспективы применения суперкавитационных аппаратов для интенсификации тепломассообменных процессов / А. С. Мачинский, А. Е. Колосов, В. Т. Сидяненко /IV Всесоюз. школа-семинар молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы теплофизики и физики гидрогазодинамики» (ноябрь, 1991): тез. докл. – Алушта, 1991. – С. 60.

53. *Мелихов А. А.* Кавитация как многомерная проблема теории необратимых процессов / А. А. Мелихов, Ф. М. Купи // Термодинамика необратимых процессов. – М.: Ин-т общ. и неорган. химии АН СССР, 1992. – С. 59–67.

54. *Мотовилов К. Я.* Научно-образовательный комплекс «Сибагροстандарт» (проблемы, пути развития и совершенствования) / К. Я. Мотовилов, Т. И. Бокова, Л. А. Осинцева, О. К. Мотовилов, Н. Н. Ланцева, И. А. Ленивкина, В. В. Аксёнов // Тез. конф. «Актуальные проблемы животноводства: наука, производство и образование». – Новосибирск, 2006. – С. 12–13, 30–31.

55. *Мотовилов О. К.* Гидромеханическое диспергирование и его использование при производстве специализированных продуктов питания и оценка их потребительских свойств: монография. – Новосибирск, 2011. – 240 с.

56. *Мошкина С. Б.* Переваримость клетчатки в рубце лактирующих коров / С. Б. Мошкина, В. Дрохнер, М. Тафай // Животноводство России. – 2005. – № 9. – С. 45–46.

57. *Новицкий Б. Г.* Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1983. – 191 с.

58. *Романенко В. Н.* Комплексное использование сырья в крахмалопаточном производстве / В. Н. Романенко, Н. И. Филиппова. – М.: Агропромиздат, 1985. – С. 160–174.

59. *Руководство по производству молока, выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота: отраслевой регламент* / А. М. Лапотко [и др.]; под ред. А. М. Лапотко. – Новосибирск: МОУП «Несв. укрупн. тип.им. С. Будного», 2006. – 368 с.

60. *Ряполов Б. С.* Применение кавитации в гидроструйной технологии / Б. С. Ряполов, А. А. Анциферов // Изв. вузов. Машиностроение. – 1993. – № 6. – С. 32–34.

61. *Силин М. А.* Жидкая зерновая патока и оборудование для производства. Электронный ресурс: <http://po-sibbiofarm.tiu.ru/a39137-zhidkaya-zernovaya-patoka.html>.

62. *Способ* получения глюкозно-мальтозо-аминокислотной кормовой добавки из зерна злаковых культур пшеницы и ржи: Патент РФ № 2346461 / К. Я. Мотовилов, О. К. Мотовилов, В. В. Аксёнов, 2009.

63. *Способ* получения сахаристых продуктов из зернового сырья: Патент РФ № 2285725 / В. В. Аксёнов, Е. Г. Порсев, В. М. Незамутдинов, К. Я. Мотовилов, 2006.

64. *Способ* получения сахаристых продуктов из ржаной и пшеничной муки: Патент РФ № 2340681 / В. В. Аксёнов, Е. Г. Порсев, К. Я. Мотовилов, 2008.

65. *Технология* крахмала и крахмалопродуктов / под ред. Н. Н. Трегубова. – М.: Пищевая промышленность, 1981. – С. 330–338.

66. *Установка* для производства кормовых углеводных добавок сельскохозяйственным животным: Патент РФ на полезную модель № 220423/ Н. А. Трусов, В. С. Пияшев, Н. В. Ньюшков, В. В. Аксёнов, 2005.

67. *Фиалкова Е. А.* Гомогенизация. Новый взгляд: монография – справочные. – СПб.: Гиору, 2006. – 392 с.

68. *Франк Р. И.* Полноценная углеводная добавка для жвачных животных / Р. И. Франк // Нивы Зауралья. – 2011. – № 4. – С. 8–11.

69. *Хотмирова О. В.* Рубцовое пищеварение у высокопродуктивных молочных коров в начале лактации при разном уровне клетчатки в рационе: автореф. дис. ... канд. биол. наук / О. В. Хотмирова. – Боровск, 2009. – 19 с.

70. *Эрнст Л. К.* Способ действия бактериальных целлюлаз рубца жвачных животных / Л. К. Эрнест, А. В. Болобова, А. А. Клесов // Весн. с.-х. науки. – 1985. – № 9. – С. 94–99.

71. *Юдаев В. Ф.* Исследование гидродинамического аппарата сиренного типа и его использование для интенсификации технологических процессов в гетерогенных системах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1970.

72. *Aksyonov V. V.* Preconditioning of native starches by electronic jet // Materials of XVI International starch convention Cracow. – Moscow – Cracow, 2008. – P. 106.

73. *Hall M.* Forage Quality Testing: Why, How, and Where / M. Hall, V. Isher // Agronomy Facts. – 1994. – Vol. 44. – P. 1–4.

74. *Hegges P.* Process intensification // Chem. Eng. (Gr. Britt.). – 1983. – N 394. – P. 13.

75. *Kaufman W.*, A. Orth. z. Tierfusioe, Tierern, Futter, 21, 1966, 100.

76. *Van Soest P.J.* Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. / P.J. Van Soest, R.H. Wine // 4 Determination of plant cell-wall constituents. J. Assoc. Anal. Chem. – 1968. – Vol. 50. – P. 50–55.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
1. НАНОБИОТЕХНОЛОГИИ	9
2. КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕВОДОВ.....	13
3. БИОЛОГИЯ ПИЩЕВАРЕНИЯ.....	20
3.1. Желудочное пищеварение у жвачных животных.....	20
3.2. Превращение и использование питательных веществ кормов жвачными животными.....	29
3.3. Создание оптимальных условий для жизнедеятельности населяющей микрофлоры рубца.....	30
3.4. Растворимость и расщепляемость протеина кормов...	39
4. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	41
4.1. Гидромеханическое диспергирование	41
4.2. Диспергаторы с периодическим прерыванием потока	45
4.3. Использование гидромеханического диспергирования в пищевой промышленности.....	60
4.4. Ферментативные процессы переработки крахмалосодержащего сырья.....	64
4.4.1. Технологические требования к ферментёрам....	65
4.5. Обоснование выбора способа перемешивания водно-крахмальных суспензий	70
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ДЕПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПОЛИСАХАРИДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЯЕМЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	78

6. ОБОСНОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОТРЕБНОСТИ ЖВАЧНЫХ ЖИВОТНЫХ В САХАРАХ	87
7. НАНОБИОТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КОРМОВЫЕ ПАТОКИ.....	95
7.1. Разработка технологической схемы и технических средств для биоконверсии зернового сырья в кормовые патоки	98
7.2. Характеристика устройств, используемых при переработке зерна на кормовые патоки	106
8. ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖИВОТНЫХ ПРИ ВВЕДЕНИИ В РАЦИОН КОРМОВОЙ ПАТОКИ ...	109
8.1. Биохимический контроль обмена веществ.....	112
8.2. Продуктивные показатели роста молодняка при введении в рацион зерновой патоки	116
9. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	123

Мотовилов Константин Яковлевич
Мотовилов Олег Константинович
Аксёнов Владимир Владимирович

**НАНОБИОТЕХНОЛОГИИ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВЫХ ПАТОК
ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА**

Монография

Редактор *Н. К. Крупина*
Компьютерная верстка *Т. А. Измайлова*

Подписано в печать 11 мая 2015 г. Формат 60 × 84^{1/16}.
Объем 6,3 уч.-изд. л., 8,4 усл. печ. л. Тираж 500 экз.
Изд. № 47. Заказ № 1337.

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru