

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Семенов Сергей Вячеславович

**СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЁМКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ**

Специальность 4.3.1. «Технологии, машины и оборудование для агропро-
мышленного комплекса»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Булатов Сергей Юрьевич

Княгинино – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1 Обзор технологий производства зерновой патоки	14
1.2 Обзор конструкций машин для производства зерновой патоки и их элементов	17
1.3 Краткий обзор научных работ по теме исследования.....	36
1.4 Выводы по главе	42
2 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ.....	43
2.1 Функционально-морфологическая схема установки	43
2.2 Анализ схемы установки для приготовления зерновой патоки.....	47
2.3 Расчет процесса нагрева воды в установке для приготовления патоки	50
2.4 Моделирование движения потока воды в пассивном дезинтеграторе	59
2.5 Выводы по разделу	77
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	78
3.1 Программа экспериментальных исследований	78
3.2 Методика экспериментальных исследований.....	78
3.2.1 Приборы и оборудование.....	78
3.2.2 Экспериментальная установка	80
3.2.3 Методика определения качества зерновой патоки.....	84
3.2.4 Методика определения удельных энергозатрат	86
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ	87
4.1 Результаты исследований нагрева воды.....	87

4.2 Оценка работы установки при приготовлении зерновой патоки по энергетическим показателям	92
4.3 Оценка работы установки по качественным показателям зерновой патоки	94
4.4 Оценка влияния истирающей решетки на показатели работы установки	100
4.5 Результаты производственных испытаний установки по приготовлению зерновой патоки.....	103
4.6 Выводы по главе	105
5. ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ	107
5.1 Особенности кормления КРС патокой	107
5.2 Рационы кормления	108
5.3 Расчет технико-экономических показателей	110
5.4 Энергетическая эффективность.....	112
5.5 Расчет технико-экономических показателей	113
5.6 Выводы по разделу.....	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	118
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ А	131
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ В	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	142
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	143
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	148
ПРИЛОЖЕНИЕ З	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 20230 года и Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы указывает на актуальность и важность проведения научных исследований, связанных с разработкой ресурсосберегающих технологий производства высококачественных кормов, кормовых добавок, созданию технологий переработки и хранения продукции АПК [80; 85].

Пшеница, рожь и ячмень являются важными зерновыми культурами, используемыми для продовольственных, технических и кормовых целей, и играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и являются основой мировой экономики.

Зерно злаковых культур, наряду с другими видами питательных веществ, содержит много крахмала, усвоение которого при кормлении животных происходит медленно, и при этом продуктивно используются только определенные формы в небольшом количестве. Усвояемость питательного потенциала крахмала не превышает 20-25% в зависимости от вида культур. Поэтому задача новых технологий переработки зерна состоит во внедрении таких способов обработки исходного сырья, которые позволили бы перевести крахмал в удобную для усвоения организмом животного форму. Это возможно при разрушении зерновой структуры крахмала на клеточном уровне, что способствует разрыву природных связей между отдельными составляющими частями и переводу его в более простые углеводы в виде декстринов и саха-

ров, то есть желатинизация или декстринизация крахмала на более простые составляющие [82]. Одним из методов перевода крахмала в простые сахара является технология приготовления зерновой кормовой патоки. Использование кормовых патонок, полученных из зерна, в рационе сельскохозяйственных животных – это эффективный и экономически выгодный способ сбалансировать сахаро-протеиновое отношение и устранить недостаток сахаров в питании крупно рогатого скота (КРС). Этот дефицит может достигать 40–70 %, что нарушает физиологические процессы в организме животных, замедляет развитие микрофлоры рубца, снижает перевариваемость питательных веществ и ведёт к проблемам с обменом веществ, снижению продуктивности, накоплению кетоновых тел и ухудшению репродуктивных функций [32; 59; 60; 63].

Применение жидкой зерновой патоки позволяет:

- 1) сбалансировать углеводно-протеиновое соотношение;
- 2) повысить поедаемость грубых кормов на 20–25 %;
- 3) уменьшить потребление комбикорма на 1–2 кг на корову в сутки;
- 4) уменьшить смертность среди молодняка;
- 5) повысить прирост живой массы у молодняка и животных на откорме на 25–40 %;
- 6) увеличить продуктивное долголетие;
- 7) повысить среднесуточные надои молока на 1–2 литра на корову;
- 8) уменьшить издержки производства в животноводстве [58; 59].

Для приготовления патоки из зерновых культур необходимы недорогие и высокотехнологичные установки с низким потреблением электроэнергии. На данный момент существует много похожих однотипных устройств, но их конструкция была разработана интуитивно, без применения науки, без ана-

лиза функциональных узлов установки и математического моделирования. Кроме того, на существующих установках возникают сложности при переработке твёрдых сортов зерна (ячмень и т.д.) – их приходится дополнительно предварительно измельчать, что усложняет процесс производства патоки и увеличивает её стоимость. Поэтому разработка новых моделей таких установок с параметрами и режимами работы, основанными на научных исследованиях и позволяющих осуществлять приготовление патоки без дополнительных предварительных операций, является важной и актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Изучением процессов приготовления зерновой патоки занимались В.В. Аксёнов, В.А. Волков, С.К. Волончук, Н.В. Донкова, А.Н. Зензеров, А.Н. Зернов, Н.А. Трусков, Ю.А. Цой, В.И. Шевченко, А.А. Шевцов и другие исследователи [5; 21; 24; 31; 47; 48; 51; 52; 57].

Анализируя научные работы, можно понять, что для оценки эффективности установки для приготовления зерновой патоки важно учитывать несколько параметров: сколько энергии тратится на нагревание и дробление, насколько качественно сварена патока и как быстро работает установка. Улучшая существующие модели установок для приготовления зерновой патоки и создавая новые, нужно сосредоточиться на увеличении скорости разрушения зерна, удешевлении стоимости установки, уменьшении энергозатрат и повышении долговечности рабочих элементов.

Цель исследования: повышение показателей энергоэффективности процесса приготовления зерновой патоки.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи исследования:

- разработать конструкцию установки для производства зерновой патоки;

- разработать теоретические предпосылки к обоснованию процесса нагрева воды в установке для приготовления зерновой патоки и конструкции дезинтегратора с истирающими поверхностями;
- выявить оптимальные параметры и режимы работы установки в процессе производства зерновой патоки;
- оценить экономическую и энергетическую эффективности разработанной установки.

Объект исследования: процесс приготовления зерновой патоки.

Предмет исследования: конструктивно-технологические параметры установки для производства зерновой патоки с дезинтегратором с пассивными истирающими поверхностями, ее энергетические и качественные показатели работы.

Научную новизну работы составляют:

- конструкция установки для приготовления зерновой патоки с дезинтегратором с пассивными истирающими поверхностями (патент на изобретение № 2760160 Российская Федерация);
- математические зависимости для описания нагрева воды в установке;
- результаты моделирования движения потока воды в дезинтеграторе с пассивными истирающими поверхностями;
- рациональные конструкционные и технологические параметры установки для приготовления зерновой патоки.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложены математические зависимости, позволяющие смоделировать процесс нагрева воды в установке в зависимости от ее конструктивно-технологических параметров, а также модели для определения показателей движения потока воды в дезинтеграторе с пассивными истирающими поверхностями;

Практическая значимость работы заключается в возможности использования установки для приготовления зерновой патоки в сельскохозяйствен-

ном производстве. Производственные испытания проведены в ООО ПЗ «Большемурашкинский» и отражены в приложении В.

Методология и методы исследования. В процессе написания диссертации применялись стандартные и специализированные методы, математическое моделирование, а также сертифицированное и современное вычислительное оборудование с программным обеспечением для обработки результатов экспериментов.

Исследование опиралось на следующие источники информации: нормативно-правовые акты, данные из работ упомянутых учёных, аналитические материалы российских и зарубежных научно-исследовательских институтов, а также данные с официальных сайтов Министерства сельского хозяйства РФ и образовательных учреждений, специализирующихся на решениях проблем развития сельского хозяйства.

Теоретические исследования построены на законах гидродинамики и теплотехники. Исследования проводились с использованием программы STAR-CCM+, предназначенной для численного моделирования в области гидравлики и газодинамики.

Достоверность основных положений работы подтверждаются совпадением теоретических и экспериментальных исследований, применением современного оборудования и программного обеспечения. Результаты исследований были опубликованы в периодической научной литературе и обсуждались на научных конференциях.

Основные положения, выносимые на защиту:

- конструкция установки для приготовления зерновой патоки с дезинтегратором с пассивными истирающими поверхностями;
- математические зависимости, описывающие нагрев воды в установке с обводным каналом при заданных значениях мощности насоса и диаметре обводного канала;
- результаты моделирования движения потока воды в дезинтеграторе с пассивными истирающими поверхностями;

- рациональные конструктивно-технологические параметры установки для приготовления зерновой патоки;
- модель, описывающая движение потока воды в дезинтеграторе с пассивными истирающими поверхностями установки в зависимости от изменяемых параметров;
- экономические и энергетические показатели эффективности установки для приготовления зерновой патоки, подтвержденные результатами производственных испытаний.

Апробация. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на V International Conference "AGRITECH V – 2021: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies" held in Krasnoyarsk-Volgograd, Russia / Tashkent-Buhara, Uzbekistan, June 16–19 2021; IV всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Актуальные направления развития техники и технологии в России и за рубежом – реалии, возможности, перспективы», Княгинино, НГИЭУ, 2021; II всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и технологии в современном мире», Княгинино, НГИЭУ, 2023; на XXVII Международная научно-практическая конференция (онлайн-формат) «Инновационная техника и цифровые технологии в животноводстве», Москва, 2023; на III всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и технологии в современном мире», Княгинино, НГИЭУ, 2024.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 9 печатных работах, в том числе 2 авторских, 1 публикация в изданиях, индексируемых в международных базах данных, 6 работ опубликовано в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, получен патент 2760160 на изобретение (приложение А).

Личный вклад автора в работу. Автор лично участвовал во всех этапах работы над диссертацией. Он проанализировал существующие технологии и оборудование для производства кормовой зерновой патоки, сформулировал проблему и задачи исследования, разработал установку для пригото-

ления зерновой патоки, теоретически обосновал её конструкцию и технологию работы, создал лабораторный образец установки, провел эксперименты для проверки теории и поиска оптимальных параметров работы установки, испытал установку в реальных условиях производства и оценил её экономическую и энергетическую эффективность.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 135 страницах машинописного текста, включая 95 наименований библиографических источников, 77 рисунков, 14 таблиц и 7 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Россия является одним из ведущих мировых производителей зерна. Так, общий объем собранного зерна в Российской Федерации за 2023 год составляет 142,6 млн.т. [86]. С учетом прогноза до 2025 года 60 млн. т зерна требуется для производства комбинированных кормов [95]. Кроме того, государством поддерживаются проекты, связанные с разработкой технологий и средств переработки сельскохозяйственной продукции [12; 85].

В России в силу высокой востребованности зерна как кормового элемента для сельскохозяйственных животных разрабатываются и широко применяются технологии его переработки. Наиболее популярными являются механические способы переработки зерна, такие, как измельчение, плющение, гранулирование, экструдирование и др. [39; 61; 62; 64; 70; 72; 81]. В настоящее время широкое распространение получили технологии, связанные с ферментацией зерновых, в результате которой получается зерновая патока – корм с высоким содержанием сахаров [6; 19; 22; 24; 27; 28; 31; 38; 45; 88; 90; 93]. В условиях проблемного состояния молочного и мясного животноводства в Центральной России, где зелёные корма при переходе на грубые или комбинированные могут вызвать стресс животных, что приводит к острому дефициту легкоусвояемых сахаров для КРС [41]. Это одна из причин несбалансированного питания. Развитие и внедрение этой технологии является актуальной и важной задачей для научных исследований. Российские ученые в ходе своих исследований выявили, что при включении в рацион лактирующих коров зерновой патоки возрастает жирность выдаваемого этими коровами молока более чем на треть процента, а также содержание лактозы на 0,44 %. Прирост массы телят возрастает в среднем на 14,5% в сутки [18; 32; 41]. Кроме того, в силу приятного запаха и вкуса такой патоки повышается поедаемость кормов [5; 37; 44; 77; 87].

Согласно существующей технологии, необходимо перемешать измельченное зерно с теплой водой и закваской на некоторое время [75; 94]. Разработанные технологии реализуются с помощью установок, одной из которых является установка жидких кормов (далее – УЖК) [84]. Функционирование данной установки можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 1.1 [17].

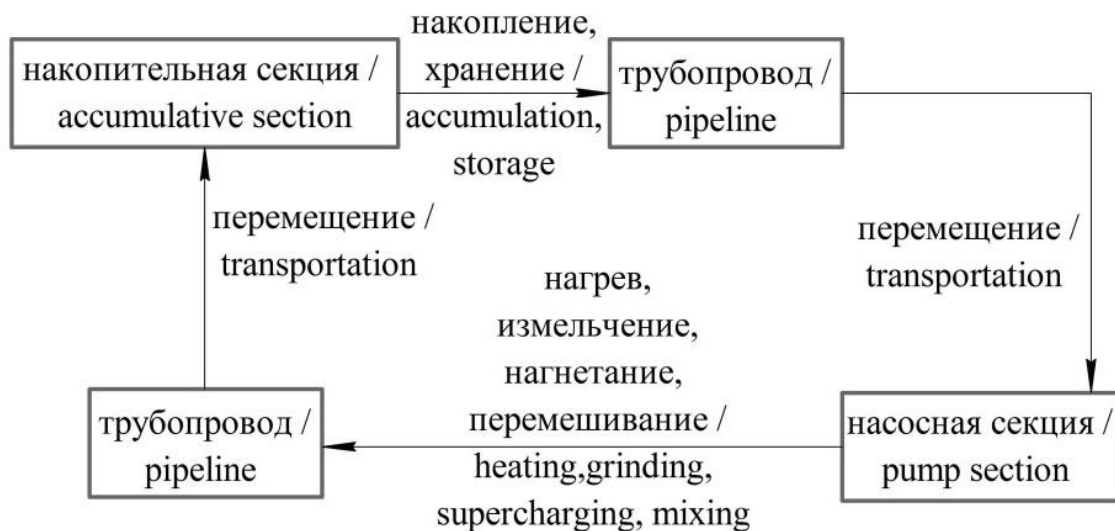


Рисунок 1.1 – Технология приготовления зерновой патоки

Установки подобного типа плохо справляются с нагревом водно-зерновой смеси и измельчением зерна. С целью интенсификации данных процессов в схеме установки предусматривают нагреватели и измельчители [54].

Работу таких усовершенствованных машин можно описать в виде схемы, представленной на рисунке 1.2 [17].

Данные решения усложняют конструкцию и приводят к повышению ее стоимости. При приготовлении зерновой патоки выполняется несколько задач: разогрев воды, измельчение зерна и процесс ферментации. Ферментация зерна требует длительного взаимодействия зерновой массы с ферментами на максимально большой площади зернового сырья в течении значительного времени при определенной температуре. Всё это является существенными

факторами при рассмотрении технологий такого преобразования.

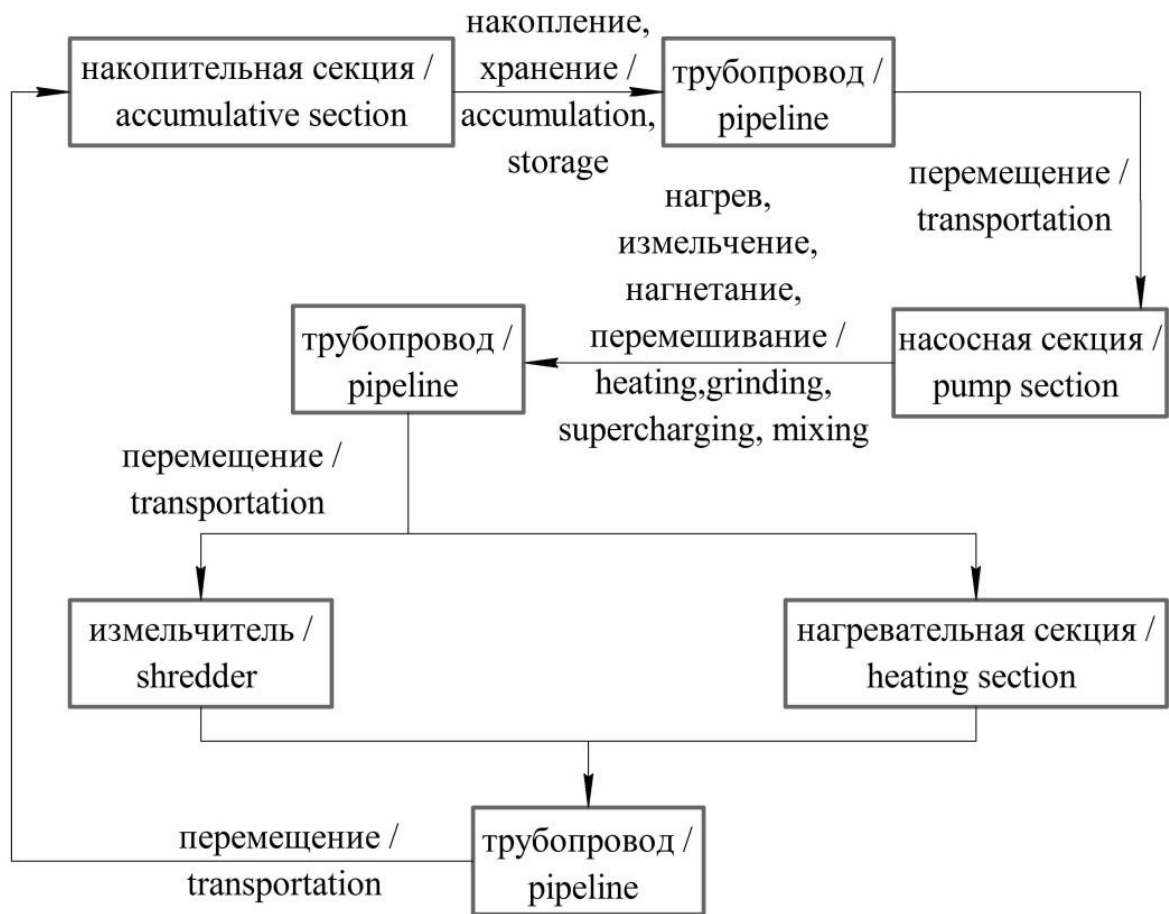


Рисунок 1.2 – Технология по патенту 2669297

На данный момент почти нет научных работ, посвящённых производству зерновой патоки, в которых бы объяснялось, как конструкция и технология приготовления влияют на работу оборудования, необходимого для этого процесса. На сегодняшний день практически отсутствуют научные исследования в области производства зерновой патоки с точки зрения обоснования конструкционных и технологических параметров оборудования для осуществления этого процесса. Рассмотренным устройствам присущи недостатки: сложность конструкции, большая продолжительность рабочего процесса приготовления, невысокая надёжность рабочих органов и дополнительные затраты на обслуживание, завышенная рыночная стоимость. В связи с этим задача этой работы заключается в разработке энергоэффективного оборудования для приготовления кормов с высоким содержанием сахаров в условиях предприятий из собствен-

ного сырья и научном обосновании его конструкционных и технологических параметров [79].

1.1 Обзор технологий производства зерновой патоки

Приготовление зерновой патоки из зерна злаковых культур построено на перемешивании, дроблении и кавитационной обработке материала, находящегося в циклическом обороте. Любая технология приготовления зерновой патоки включает в себя такие стандартные операции как [49]:

- предварительная обработка зерна;
- перемещение зерна в накопительный бункер;
- порционная загрузка в установку зерна с залитым необходимым количеством воды и с ферментом для получения патоки;
- движение жидкости с зерном по замкнутому водяному контуру установки с постепенным приближением от исходного состояния к требуемому качеству выходного продукта.

В работе [53] показано, что качество зерновой патоки кардинально зависит от предварительной обработки зерна, и здесь есть определенный исторический процесс развития этой технологии. На первом этапе предлагалось производить патоку из измельченного или плющенного зерна, подготовку которого осуществляют в молотковых дробилках, грануляторах или плющилках [70]. Существующий способ с предварительным измельчением зерна на специальных дробилках увеличивает количество применяемого оборудования, что приводит к повышенному расходу электрической энергии, что многократно увеличивает стоимость зерновой патоки.

В технологии [71] сотрудниками ГНУ НИИСХ Северо-Востока предложен способ производства зерновой патоки, когда подача зерна для раздробления зерновки происходит в вальцовой плющилке. В результате получаются зер-

на в виде хлопьев наименьшей толщины, значительно упрощающей их последующую обработку. Зерно, подвергшееся такой обработке, загружают в бак с водой и ферментом в необходимой пропорции. Вода должна быть нагрета до температуры (30–40) °С. Затем смесь, циркулирующая по замкнутому водяному контуру установки, измельчается и нагревается с помощью водяного насоса при каждом обороте. Через некоторое время на выходе образуется патока – смесь воды с ферментом и дробленным зерном кашеобразной формы [36]. В процессе циркуляции температура смеси за счёт гидродинамических эффектов самостоятельно повышается до 58–60°С, это оптимальная температура ферментации, приводящей к полезному преобразованию крахмала зерна в необходимый сахар. Таким образом, мы видим, что технология приготовления зерновой патоки включает в себя несколько этапов: предварительное дробление зерна или плющение; создание необходимой консистенции из обработанного зерна, воды и фермента в нужных пропорциях; круговращение смеси по замкнутому контуру с перемешиванием (диспергацией) и кавитационной обработкой до получения требуемых свойств патоки [10]. Авторы работы утверждают, что именно плющенное зерно обладает существенными преимуществами перед целым, либо дробленным, которые проявляются в лучшем перемешивании рабочей смеси, более легкими требованиями к элементам циркуляционного контура, ускорении процесса ферментации, снижении мощности, потребляемой технологическим оборудованием, повышении качества выходного продукта [53]. Процесс кавитации в циркуляционном контуре с плющенным зерном также становится более эффективным, что дополнительно повышает производительность технологии. В результате, заявленный в данной работе способ приготовления зерновой патоки повышает качество конечного продукта, ведет к снижению энергозатрат на производство кормов, что наиболее актуально для сельскохозяйственного оборудования, работающего зачастую в условиях дефицита электроэнергии, возможно от автономных источников электропитания. Для круговращения рабочей смеси необходим специальный насос, а собственный нагрев циркулирующей среды происходит в специальном устройстве – кавитаторе, встроенном в цир-

куляционный контур. Таким образом, в данной части раздела мы окончательно выявили и подтвердили основные этапы технологии приготовления зерновой патоки – начальная обработка зерна, приготовление рабочей смеси, круговращение по контуру с перемешиванием и кавитационной обработкой до получения требуемого продукта.

Исследователи активно разрабатывают новые подходы в этой сфере, в том числе методы первичной обработки зерна, которые, как было упомянуто ранее, значительно повышают эффективность всего процесса. В работе [55] предложено проводить начальную обработку зерна с помощью инфракрасного (ИК) излучения, под действием которого зерно, рассыпанное тонким слоем, уже через десятки секунд – вспучивается благодаря внутреннему нагреву и повышению давления за счет испарения внутренней воды [55]. Такой механизм также приводит к существенному ускорению приготовления патоки. Кроме того, здесь дополнительно производится бактерицидная обработка зёрен. Дальнейшие процедуры повторяются, как и в предыдущей технологии, обеспечивая тем самым выходной продукт требуемого качества с необходимой производительностью. Основным технологическим средством ускорения ферментации зерна является кавитационная обработка рабочей смеси [92], заключающаяся в воздействии пузырьков воздуха на предварительно обработанное зерно в ходе его циркуляционного обращения в технологической установке. В результате, в процессе циркуляции рабочей смеси происходит кавитационное дробление зёрен, смешение массы до однородной консистенции, и самонагрев рабочей среды до 60°C. Использование кавитатора для ускорения ферментации зерновой патоки, предлагается и описано, в частности, в работе [49].

Детально пропорции рабочей смеси и длительности её обработки описаны в работах [49], откуда следуют основные рекомендации специализирующихся компаний, например, для объема в 1000 литров, а именно:

- начальное количество воды в баке 650 литров,
- желательно нагреть воду до 45°C для ускорения ферментации,

- включить насос;
- постепенно засыпать зерновое сырье в объеме 350 кг в воду;
- одновременно внести фермент в количестве двух доз.
- бак закрыть и выполнять круговорот зернового сырья с водой насосом до достижения температуры 60–70°C;
- отключить установку, настоять смесь в баке не менее 30 минут;
- за 10–15 минут до выдачи смеси внести дополнительные компоненты: витамины, аминокислоты, микро- и макроэлементы,
- включить насос для финального перемешивания выходной смеси,
- осуществить выгрузку готовой патоки.

На основании проведенного анализа существующих технологий сделан вывод, что с целью получения качественной патоки при переработке различных видов злаковых требуются дополнительные операции воздействия на зерно, что ведет к усложнению технологического процесса, увеличению количества машин и оборудования в линии, и в итоге, значительному росту экономических и энергетических затрат. В работе предлагается сделать установку, которая сможет обеспечить приготовление зерновой патоки из любых зерновых культур находящимся в наличии у сельхозпроизводителя независимо от прочности зерновки при этом с минимальными экономическими и энергетическими затратами. В связи с этим проведен обзор конструкций существующих машин для приготовления зерновой патоки.

1.2 Обзор конструкций машин для производства зерновой патоки и их элементов

С целью обоснования энергоэффективной установки для приготовления зерновой патоки проведен анализ существующих технических средств.

Одной из самых простых схем машин для приготовления зерновой патоки является установка, описанная в патенте 2656962С1 [53] и изображенная на рисунке 1.3.

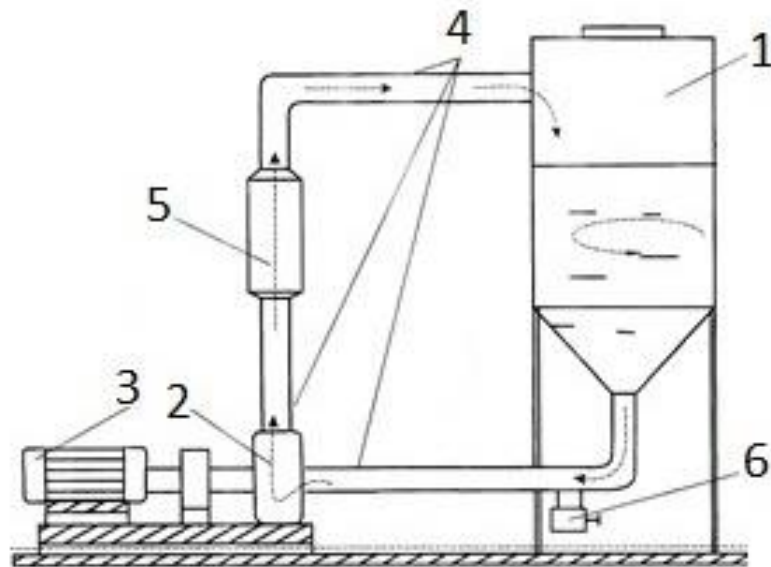


Рисунок 1.3 – Схема установки для приготовления зерновой патоки: 1 – накопительный бак; 2 – циркуляционный насос; 3 – электродвигатель; 4 – водяной контур; 5 – кавитатор и/или гомогенизатор; 6 – сливной кран

Технологический цикл приготовления зерновой патоки протекает следующим образом. Накопительный бак 1 заполняется необходимым количеством воды, предварительно нагретой до температуры 30... 40°С. Для циркуляции воды по водяному контуру 4 установки с помощью электродвигателя 3 включается циркуляционный насос 2. При подаче питания на электродвигатель насоса происходит постоянное круговращение водяной смеси в установке. В накопительный бак загружается целое или дроблёное зерно с ферментом, который циркулируя по замкнутому кругу установки, образует однородную механическую смесь воды с ферментом и дробленого или цельного зерна. Начинается процесс сбраживания (превращение крахмала, содержащегося в зёрнах, в легкоусвояемый сахар под воздействием фермента, растворённого в воде). Для повышения эффективности работы установки часто на

современных моделях дополнительно включается кавитатор и/или гомогенизатор 5 который размещается на водяном контуре установки. Постоянное движение водяной смеси с помощью циркуляционного насоса в установке, за счёт возникающих в насосе кавитационных процессов, разогревает жидкость до оптимальной температуры для ферментации (превращения крахмала зёрен в сахар с помощью фермента), которая составляет 58–60°C. При достижении температуры водяно-зерновой смеси 60°C циркуляционный насос выключается, сбраживание патоки продолжается без движения жидкости еще от 1 до 1,5 часов. После заданного времени из воды и измельчённого зерна получается готовый продукт – патока из злаковых культур. Патоку повторно перемешивают, включая циркуляционный насос установки, и выгружают через кран 6 для использования в качестве корма животным [36]. Достаточно подробное экспериментально-теоретическое исследование всего комплекса эффектов и процессов, протекающих в пульсационных аппаратах представлено в работе М. А. Промтова «Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика» [66]

Как показало исследование выше, процесс приготовления зерновой патоки, после создания рабочей смеси, построен на многократном циркулировании созданной композиции по замкнутому контуру с непрерывным перемешиванием и измельчением. Для ускорения технологического процесса по перемешиванию патоки в состав замкнутого гидравлического контура включают устройство, имеющее название гомогенизатор [68]. Гомогенизатор объединен с перекачивающим насосом и, как правило, одновременно производит операции диспергирования и гомогенизирования – то есть измельчение и перемешивание потока рабочей смеси, проходящего через него.

Устройство работает за счёт того, что поток взаимодействует с вращающимися частями особой формы. Это позволяет выполнять три функции гомогенизатора: перемещение, устранение неоднородных включений и смешивание. При этом под устранением понимается не воздействие на отдельные зёрна, а удаление крупных фрагментов, которые отличаются по структуре от

основной массы. Гомогенизатор также увеличивает давление потока рабочей среды на входе в систему циркуляции, что необходимо для достижения нужной эффективности производственного процесса [10].

Эффективность устройства оценивается параметром «степень гомогенизации», определяющим неоднородность плотности среды по сечению трубопровода. Степень гомогенизации у современных устройств достигает величины 80%.

Как показано на рисунке 1.4, гомогенизатор представляет собой ротор в виде шнека (далее шнек) с фрезерованными профилями, который вращается внутри такого же другого шнека большего диаметра, но неподвижного. Такое устройство, аналогичное привычной мясорубке, позволяет как перемешивать, так и измельчать проходящий поток рабочей среды.



Рисунок 1.4 – Конструктивная суть гомогенизатора

Подвижный шнек гомогенизатора может иметь совершенно различную форму, как, например, показанную на рисунке 1.5, где это уже не фрезерованные пазы в цилиндрической основе, а наклонные перфорированные плоскости.



Рисунок 1.5 – Наклонные перфорированные плоскости в виде вращающегося шнека

Подвижный шнек, соединенный с валом внешнего приводного электродвигателя, как показано на рисунке 1.6, обеспечивает напор рабочей среды в замкнутом контуре, создавая циркуляцию с требуемыми расходными характеристиками.



Рисунок 1.6 – Напорная система гомогенизатора

Современные гомогенизаторы обеспечивают параметры, указанные в таблице 1.1 в пересчете на воду.

Таблица 1.1 – Основные технические характеристики диспергатора

Наименование	5,5 *	7,5 **	11	15	22
Масса, кг, не более	42	58	65	75	89
Напряжение номинальное, В	380				
Мощность электродвигателя, кВт	5,5	7,5	11	15	22
Скорость вращения ротора, об./мин.	3000				
Подача (по воде), м ³ /ч, не менее	7	10	13	20	26
Напор, м вод. ст., не менее	20	25	32	34	40

В пищевой промышленности применяются специальные гигиеничные материалы как титан и нержавеющая сталь, обеспечивающие бактерицидную безопасность приготовления зерновой патоки, идущей на корм скоту [68].

В начале процесса приготовления патоки рабочая среда двухфазна - жидкость с отдельными зёрнами, с постепенным переходом к однофазной консистенции готового продукта. Поэтому фазы рабочей среды должны быть равномерно распределены в потоке при его любом фазовом состоянии.

На современном этапе широкое распространение получают роторно – пульсационные аппараты (РПА) гомогенизации, один из которых показан ниже на рисунке 1.7.

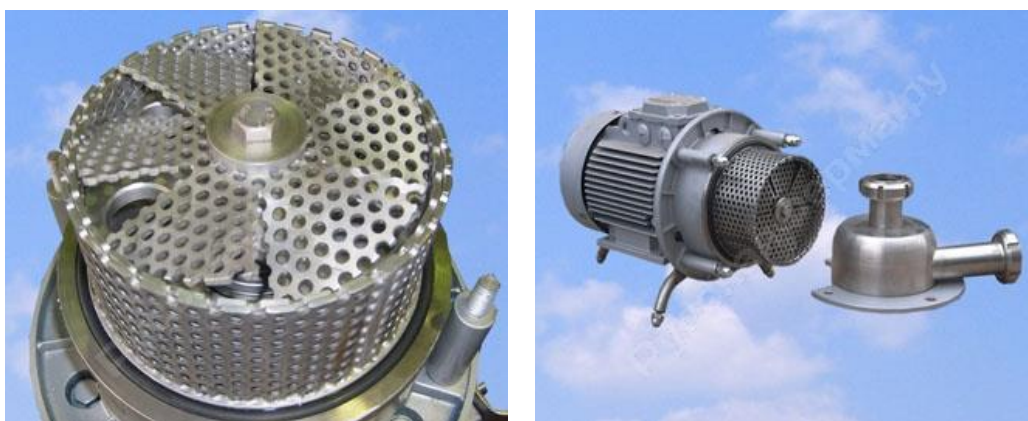


Рисунок 1.7 – РПА со снятой крышкой

В данном случае вращающийся ротор выполнен в виде перфорированного цилиндра, закрепленного на валу электродвигателя. Аналогичный перфорированный цилиндр выполняет роль неподвижного статора. Устройство в сборе с двигателем показано на правой части рисунка.

Такое устройство создает турбулентный поток, который с высокой скоростью движется по установке, образуя микроскопические вихревые потоки, которые равномерно распределяют и смешивают рабочую среду.

На вращающемся роторе появляются кавитационные явления, которые дополнительно влияют на поток рабочей жидкости. Из-за этого возникают ударные волны, которые перемешивают составляющие потока [68].

Некоторые конструктивные особенности гомогенизатора показаны ниже на рисунке 1.8, где виден профильный ротор, статор с фрезерованными пазами, устройства подачи и выхода потока из изделия.



Рисунок 1.8 – Конструкция гомогенизатора в сборе с двигателем

Наконец, общий вид современного гомогенизатора в сборе приведен на рисунке 1.9, где видна полная завершенность изделия для монтажа в технологическое оборудование производства зерновой патоки для исполнения своих функций, перемешивания, измельчения крупных фрагментов рабочей среды и создания напорного давления в замкнутом циркуляционном контуре [68].



Рисунок 1.9 – Технологическое устройство гомогенизатор

Данное устройство обладает следующими основными параметрами:

- Масса: 25 кг
- Габаритные размеры: 200x240x750 мм
- Мощность электродвигателя: 1,1 кВт
- Тип насоса: Гомогенизатор
- Диаметр выходного патрубка: DN25
- Диаметр входного патрубка: DN32
- Напряжение питания: 380 В

Страна-производитель: Россия

Гомогенизатор-диспергатор, описанный ранее, не способен эффективно обрабатывать рабочую среду на уровне размеров зёрен и их элементов путём простого размешивания. Гомогенизатор обрабатывает рабочую среду на уровне характерных размеров своих элементов – фрезерованных пазов, перфорированных отверстий, которые существенно превышают размеры единичного зерна. С другой стороны, для эффективной ферментации патоки взаимодействия её компонентов должно происходить на минимально возможном масштабе размером – в пределе на молекулярном уровне.

Поэтому в конструкцию оборудования для приготовления зерновой патоки нужно добавить ещё один элемент, чтобы повысить эффективность ферментации, то есть улучшить взаимодействие компонентов рабочей среды в

минимальном диапазоне. В современном оборудовании для приготовления патоки эту задачу выполняет кавитатор — устройство, которое обеспечивает эффективное взаимодействие зерна и ферментов в водной среде рабочей жидкости.

Кавитация — физический эффект образования пузырьков воздуха на гранях предметов, движущихся в жидкости с большой скоростью [35]. Например, на гребных винтах кораблей возникает кавитация, которая сильно вредит судостроению, потому что разрушает винты. Из-за этого приходится прилагать много усилий, чтобы защитить гребные винты от разрушения. Природа кавитации состоит в разрыве жидкости движущимся предметом. А схлопывающийся после своего кавитационного образования пузырек воздуха — выделяет ударную энергию, которая, в нашем случае, воздействует на элементы зерна в рабочей среде, что приводит к его измельчению с большей эффективностью, чем в любом гомогенизаторе. Причем, существенно, что кавитационное воздействие на зерно практически не зависит от размера зерна, и происходит вплоть до полного преобразования исходного раствора в гомогенную жидкость конечного продукта. Кроме движущихся частей кавитация возникает в неподвижном аппарате — кавитаторе, за счет быстрого изменения давления в потоке — расширения трубопровода. Такие пассивные кавитаторы, не требующие подвижных частей, весьма эффективны, и применяются, в частности в технологии приготовления зерновой патоки. Пример такого пассивного кавитатора показан на рисунке 1.10, где виден расширяющийся трубопровод справа от сферической турбулентной камеры. Именно на этом участке давление в потоке падает, в результате чего возникают пузырьки воздуха, продолжающие разрушение зерновых хлопьев постепенно в циркуляционном обороте до молекулярного уровня.

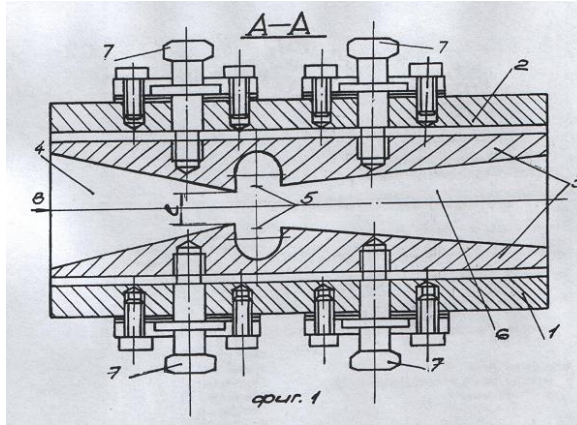


Рисунок 1.10 – Пассивный кавитатор Фьюсоник*

*Источник: [33]

При этом видно, что до турбулентной камеры сечение трубопровода сужается, что приводит к локальному повышению давления, которое преодолевается насосом гомогенизатора, находящимся левее кавитатора. Поток рабочей среды идет слева направо.

Процесс образования кавитационных пузырьков наглядно показан на рисунке 1.11, где приведена аналогичная структура трубы – сужение, и последующее расширение. В расширяющейся части возникают пузырьки при условии правильного расчета устройства, обеспечивающего снижение рабочего давления ниже характерного давления парообразования в данной жидкости при данной температуре [10].

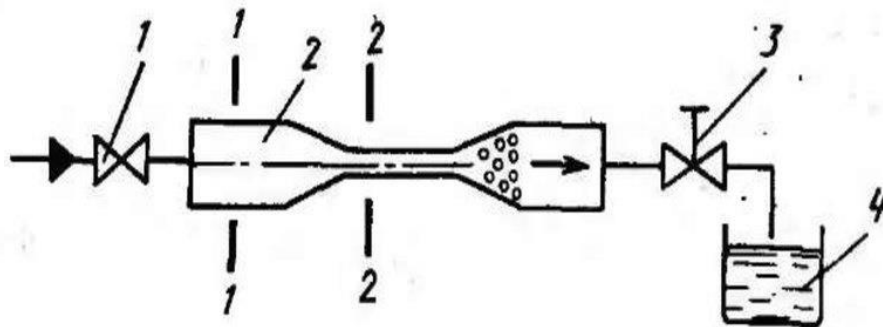


Рисунок 1.11 – образование кавитации

Существует бесчисленное множество конструкций кавитаторов, в том числе и пассивных, отличающихся устройством преград потоку, на которых возникают перепады давления движущегося потока среды, создающие кавитацию.

Один из вариантов показан на рисунке 1.12, где предложен последовательный ряд прямоугольных препятствий потоку с нарастающей шириной в правой части рисунка, каждое из которых создает свой кавитационный перепад давления.

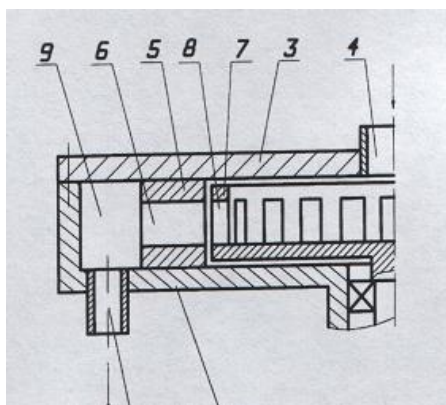


Рисунок 1.12 – Гидродинамический кавитатор с последовательными препятствиями

Самый простой кавитатор с конусными переходами сечения изображен на рисунке 1.13.

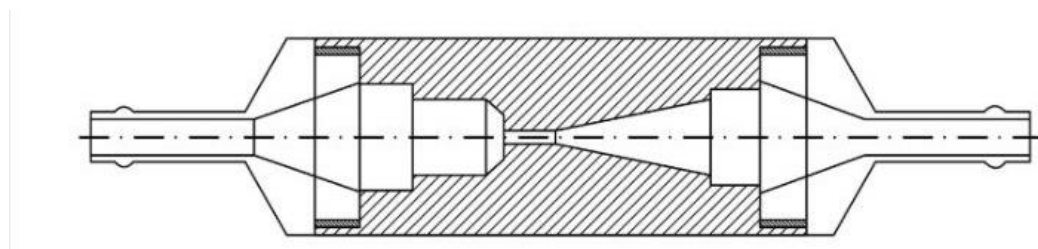


Рисунок 1.13 – Конусный кавитатор в разрезе

На рисунке 1.14 приведена конструкция кавитатора, который может быть вставлен в любой готовый трубопровод в виде его части, например на фланцевом соединении. Видно, что данная конструкция не нарушает внеш-

них габаритов трубопровода, а простое внутреннее устройство обеспечивает его эффективное использование в широком диапазоне применений.

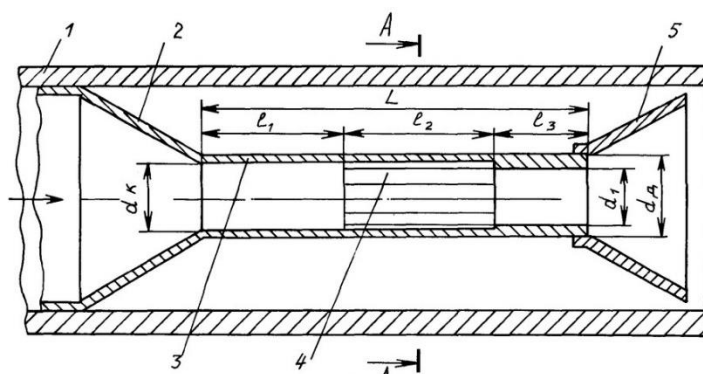


Рисунок 1.14 – Универсальный кавитатор широкого применения

Весьма перспективная для рассматриваемой технологии приготовления патоки конструкция кавитатора приведена на рисунке 1.15. Здесь выход потока со сбросом давления после сопла 2 происходит в большой объём приемной камеры, эквивалентной открытому пространству, что создает максимально возможный перепад давления на подающем сопле, что способствует эффективному проявлению кавитационного эффекта.

Чтобы сделать поток жидкости в статическом кавитаторе турбулентным, часто используют специальные детали винты, шнеки или тангенциальный ввод жидкости, которая подается в рабочую камеру по касательной, как показано на рисунке 1.16.

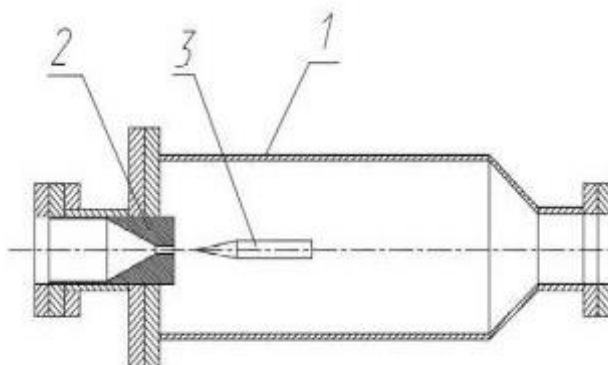


Рисунок 1.15 – Кавитатор в «открытое» пространство. 1 – корпус, 2 – сопло, 3 – регулирующая пластина

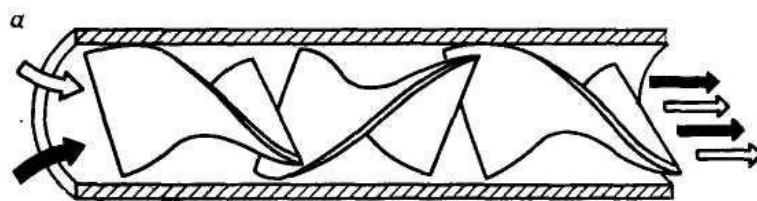


Рисунок 1.16 – Кавитатор – гидродинамический смеситель

Винтовые направляющие приводят к появлению сдвиговых усилий в потоке, срыву вихрей при обтекании потока жидкости спиральной навивки и к ее турбулизации [33]. Винтовые элементы усиливают кавитационные и вихревые эффекты в потоке. Другим эффективным средством кавитизации потока являются перегородки с фигурными отверстиями как показано на рисунке 1.17.

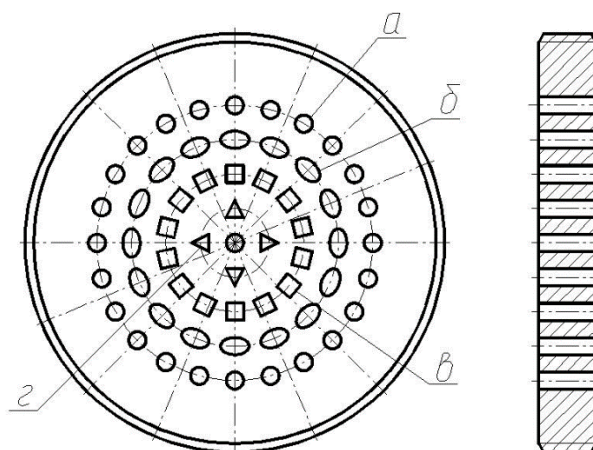


Рисунок 1.17 – Перегородки с каналами различной формы

При прохождении рабочего потока через отверстия возникают вихреобразования, отрывные течения и кавитация, которая воздействует на частицы рабочей среды и способствует интенсивному дроблению, гомогенизации, ферментации патоки в нашем рассматриваемом случае. На использовании кавитаторов построен ряд патентованных технологий обработки зерновых смесей, например [49].

Во всех случаях установка по приготовлению зерновой патоки, кроме прочего, включает в себя пассивный или активной кавитатор, создающий вы-

сокоинтенсивные гидродинамические и акустические колебания в жидкой рабочей среде с образованием кавитационных эффектов, что приводит к непрерывному измельчению материала зерна до молекулярного уровня, необходимого для ферментации кормовой патоки.

С небольшими изменениями существуют несколько серийно выпускаемых установок аналогичного состава, кратко описанных ниже.

Установка УЖК-500 [84] для приготовления жидкой зерновой патоки показана на рисунке 1.18.



Рисунок 1.18 – Установка УЖК-500

Установка предназначена для подготовки жидкой зерновой патоки в системах жидкого кормления. Оборудована диспергатором [36; 76]. Предлагается использование препарата-фермента «Полифермент» от компании ПО «Сиббиофарм». В ходе производства зерновой патоки происходит расщепление сложных органических соединений до простых, хорошо усваиваемых сахаров. Установка обеспечивает равномерное распределение компонентов патоки в объеме обрабатываемой смеси. Она может вносить в состав готовой зерновой патоки дополнительные компоненты – витамины, аминокислоты и другое.

Другая разновидность данного технологического оборудования – установка УПК [1], показана на рисунке 1.19.



Рисунок 1.19 – Установка УПК

Установка предназначена для быстрого приготовления легко усваиваемых жидких кормов из зерновых смесей. Состав оборудования аналогичен описанному выше – исходный накопительный бак, насос с гомогенизатором, кавитатор, замкнутый циркуляционный контур. Использование данной установки сокращает затраты энергетических, материальных и трудовых ресурсов за счет совмещения технологических процессов приготовления кормов. Установка относится к технологическому оборудованию периодического действия и обслуживается одним оператором. Объем готовой продукции – от 600 до 1500 кг в зависимости от модификации основной емкости. Время приготовления патоки (2÷4) часа также зависит от объема исходной массы. Установленная мощность не превышает 24 кВт для самого большого объема основной емкости. Питание установки производится от сети напряжением 380 В. Для установки оборудования необходимо помещение площадью не менее 12 м². Масса оборудования – не более 220 кг [1].

Не останавливаясь подробно, перечислим некоторые другие установки для приготовления зерновой патоки, обладающие аналогичным составом и технологией. Установка УЗП-1 [67] показана на рисунке 1.20.



Рисунок 1.20 – Установка приготовления патоки УЗП-1.

Установка для приготовления жидких кормов КИП-0.6 показана на рисунке 1.21 [1; 3; 46].



Рисунок 1.21–КИП-0.6

Объем бака – 700 литров. Остальные параметры – стандартные для данного вида технологического оборудования (температура, время приготовления, кавитатор, гомогенизатор).

Установка для приготовления жидких кормовых продуктов УРВА-250 показана на рисунке 1.22 [4].



Рисунок 1.22 – Установка УРВА-250

Наиболее современная автоматизированная установка ТЕК-СМ [83], реализующая тот же описанный выше принцип работы – показана на рисунке 1.23.

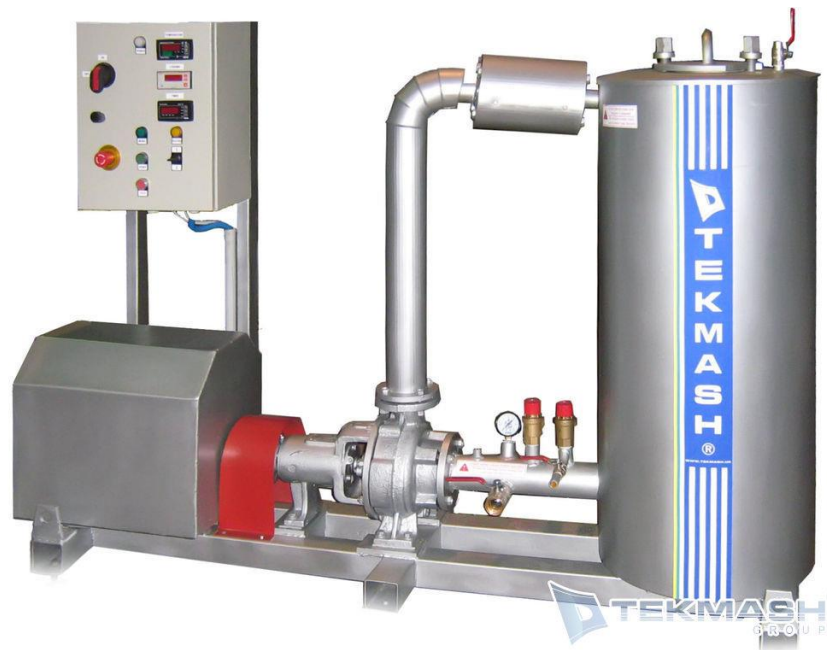


Рисунок 1.23 – Установка ТЕК-СМ

Здесь – насос с электрическим приводом, бункер для загрузки исходной смеси, гомогенизатор, гидродинамический кавитатор. Установка автоматизирована.

Все описанные выше установки для приготовления зерновой патоки повторяют один и тот же принцип работы: предварительная обработка зерна (или без неё), создание рабочей смеси с ферментами, круговращение смеси по замкнутому контуру с гомогенизацией и кавитационной обработкой до получения заданных свойств зерновой патоки [10].

Во время выполнения данной работы на рынке имеется многочисленное оборудование для приготовления жидких, влажных и пастообразных кормов, среди которых такие, как: Животновод-6, КИП – 0.6, УРВА-250, УПК-1.5, ТЕК-СМ и другие. Перечисленные технологические установки создавались задолго до появления технологии приготовления зерновой патоки путём ферментативного гидролиза зерновой смеси. Создавались они, как правило, для получения влажных и пастообразных кормов, каш различного состава и тому подобного. Однако применение данного технологического оборудования для приготовления зерновой патоки показало их достаточно высокую эффективность.

Отличия между установками могут состоять в типах насосов, электродвигателей, кавитаторов – пассивных в основном, в объеме рабочего бака.

Систематизировать указанные отличия можно по указанным конструктивным признакам для накопления статистики их эксплуатации и наработки на отказ в целях анализа и повышения надежности оборудования.

Опыт эксплуатации данного оборудования в рамках поставленной в данной работе задачи показывает следующее:

1. Вода разогревается совместно с зерном и превращается в кашеобразную патоку, которая демпфирует эффект кавитации, препятствуя распространению акустических колебаний.

2. Над эффективностью кавитационной обработки рабочей смеси еще необходимо думать специалистам с учетом его обратимости – после кавитатора температура смеси понижается за счет конденсации воздушных пузырьков, то есть нагрев в кавитаторе носит локальный характер.

3. Немаловажна также известная проблема кавитационной эрозии элементов кавитатора, которая ограничивает срок их эксплуатации. Эта пробле-

ма актуальна во многих областях техники, и её решение имеет фундаментальный характер.

4. Периодическая, довольно частая, замена кавитаторов, которые подвергаются кавитационной эрозии на уровне полугода создает большие проблемы для эксплуатации такого дорогостоящего оборудования. В этом смысле переход на другой источник нагрева рабочей смеси – например на прямой электронагрев потока для ускорения ферментации, с отказом от дорогостоящего кавитатора – может оказаться весьма актуальным при расширении масштабов использования данной технологии.

5. Предварительное плющение зерен до состояния хлопьев безусловно является прогрессивным предложением [36; 51], которое повышает эффективность и скорость ферментации по сравнению с использованием целого или дробленого зерна.

Исходя из сказанного можно предположить, что дальнейшее развитие данной технологии будет происходить как по направлению повышения надежности и срока службы кавитаторов, так и в части поиска новых источников нагрева циркулирующего потока с сохранением общего энергопотребления установкой на заданном уровне [10]. При анализе конструкций установок для приготовления патоки выделено две основные проблемы, связанные с нагревом воды и разрушением зерна. Обе эти операции требуют дополнительные затраты, как экономические (при создании и включении в конструкцию установки дополнительных нагревателей и измельчителей), так и энергетические (дополнительные затраты на нагрев воды и разрушение зерна). В связи с этим встает необходимость в разработке и исследовании энергоэффективной и недорогой установки для приготовления патоки из зерна в условиях сельскохозяйственных организаций.

1.3 Краткий обзор научных работ по теме исследования

В современном животноводстве существует проблема неполноценного питания крупного рогатого скота, что влияет на эффективность производства и рентабельность. В России затраты на корма составляют 65-70% от общей стоимости животноводческой продукции. Данная затратная часть, для повышения эффективности содержания крупного рогатого скота, приобретает особую актуальность в рациональном использовании имеющихся кормовых ресурсов. Важнейший компонент продуктивности жвачных животных – обеспечение их полноценным сбалансированным питанием [44]. Важную роль играют белки (протеины) и сахара. Соотношение между ними может варьироваться от 1:1,1 до 1:1,7 [41].

Несмотря на то, что потребность в протеине в большинстве случаев удовлетворяется, дефицит легкоусвояемых углеводов остаётся проблемой. Это негативно сказывается на продуктивности животных и качестве говядины.

Источниками восполнения дефицита сахаров могут являться корнеклубнеплоды, сахарная меласса и гидролизные патоки. Годовая потребность в сахарах для крупного рогатого скота в России превышает 1 млн тонн и будет увеличиваться с ростом поголовья и продуктивности животных [91]. Если же рассматривать концентрированные корма, то к основным углеводистым зернофуражным культурам, используемым в кормлении крупного рогатого скота, относятся: ячмень, пшеница, кукуруза, овёс, просо, сорго, среди основных питательных веществ у которых преобладают углеводы. При этом около двух третей от массы зерна приходится на крахмал. По сырой клетчатке показатели различаются в зависимости от вида культуры и варьируют от 2,2 % в кукурузе до 10 % в овсе, а в среднем этот показатель равен 6 % [87]. Стоит отметить недостаточную эффективность использования питательных веществ, заключённых внутри клеточных стенок из-за наличия относительно

высокого содержания в них клетчатки и других специфических углеводов, которые причисляются к группе некрахмалистых полисахаридов [25; 26; 38].

Одним из самых ранних и простых способов получения кормосмеси с высоким содержанием легкоусваиваемых углеводов (сахаров) служит переработка имеющегося в хозяйствах зерна малозатратными и экологически безопасными способами. Данную технологию предложил А.А. Аксенов [50]. Суть приготовления патоки сводится к тому, что загруженное и раздробленное зерно помещают в резервуар с водой в соотношении 1:3, под действием амилолитических ферментов и температуры происходит деструктуризация крахмала в сахара. Однако данная технология требует длительную выдержку до 28 часов, применения сложного и быстроизнашиваемого технологического оборудования (роторно-пульсационный аппарат) или больших удельных энергозатрат. Также С.К. Волончук и В.В. Аксёнов [10; 24] предложили проводить начальную обработку зерна с помощью инфракрасного (ИК) излучения, под действием которого зерно, рассыпанное тонким слоем, уже через десятки секунд – вспучивается благодаря внутреннему нагреву и повышению давления за счет испарения внутренней воды. Данная технология оказывает существенное влияние на снижение численности микроорганизмов порчи комбизита, в которые входят плесневые грибы и дрожжи, делая зерно безопасным для использования в кормлении животных, но имеет самым главным недостатком это дороговизна технологического оборудования для обработки зерна инфракрасным излучением.

В технологии выработки зерновой патоки машинами типа УЖК-1000, АПХ-50 или Фермер 60-1200 выявлены следующие недостатки: применение быстроизнашиваемого (в течении 6 месяцев эксплуатации) роторно-пульсационного аппарата в составе установки и высокое удельное энергопотребление [21].

В технологии, предложенной Ю.А. Цоем, предлагается использование установки приготовления зерновой патоки для приготовления жидких зерновых кормов при производстве заменителей цельного молока для телят и поросят [51]. Способ предлагает загрузить ранее дроблёное зерно люпина в бак

установки, смешать его с подогретой до 70°C водой в соотношении 1:2,5. Далее посредством включения водяного насоса установки увлажненное зерно по закольцованному кругу обрабатывается в течении 20 минут. Получаемый жидкий зерновой корм из люпина используется для кормления взрослых животных или перегружают в специализированный смеситель для получения заменителя цельного молока и, перемешивая корм с дополнительными компонентами в течении 10 минут получают готовый к использованию заменитель цельного молока. Данная технология интересна тем, что позволяет использовать установку для приготовления зерновой патоки не только для приготовления кормов взрослым животным, но и молодым телятам или пороссятам, находящимся на молочном кормлении через 10 дней после рождения.

В своем изобретении А.Н. Зензеров применяет в составе установки по приготовлению зерновой патоки водяной рубашки с ТЭНом, дополнительной ёмкости с гомогенизатором, расположенной на электронных весах [47]. Данная технология позволяет отказаться от процесса кавитации и повысить надежность конструкции, ускоряет время нагрева воды примерно на 40% [90, 93], но усложняет и удорожает саму конструкцию наличием нагревательной ленты. С точки зрения удельных затрат электроэнергии, в связи с ускорением процесса нагрева воды, расход электроэнергии для работы установки снижается. Однако для приготовления зерновой патоки требуется одновременное выполнение трех технологических операций: помол зерна; нагрев воды; разрушение крахмала на клеточном уровне до более простых декстринов и сахаров. При применении данной технологии требуется использование дробленого зерна, что требует применения зернодробилки и увеличения финансовых затрат. Включение в состав установки ТЭНа желательно только в климатических зонах с низкой температурой воздуха.

В изобретении А.А. Шевцова [52] предлагается использование в кормлении животных брикетированных зерновых добавок на основе зерновой патоки. Данная технология требует повышенного температурного режима до 110-115°C, применения дорогостоящего теплового насоса и отмечается

сложной технологией производства корма. Однако предлагаемая технология позволяет хранить полученные брикеты в течении 6 месяцев без признаков порчи и развития микрофлоры на поверхностях брикетов. Технологическое оборудование, необходимое для получения зерновых брикетов, ни малому или среднему сельхозпредприятию недостижимо в финансовом плане. Конечный продукт – зерновые брикеты получаются очень дорогими, что подтверждает необходимость удешевление стоимости, уменьшение энергозатрат установки для получения зерновой патоки.

Помимо представленных выше технологий и технических средств приготовления зерновой патоки существуют и другие конструктивные решения. В патенте [48] описана установка для производства кормовых углеводных добавок сельскохозяйственным животным. Емкость этой установки имеет возможность поворота на опорах, снабжена съемной крышкой с загрузочным люком, сливным патрубком и перемешивающим измельчающим устройством с приводом. В емкости имеется смотровое окно, рубашка с верхним и нижним ниппелями и датчик температуры. Опоры снабжены защелками для фиксации в определенных положениях. К недостаткам можно отнести отсутствие в системе ловушек, что при высокой твердости зерна и наличии в нем неотделяемых мелких камней и песчаных частиц приведет к ускоренному абразивному износу сопрягаемых поверхностей, а затем и резкому снижению эффективности установки.

Для приготовления кормовой патоки и эффективных легко усваиваемых жидких кормов (кормовых паст) из различных смесей продуктов растительного и животного происхождения, микроэлементов, белковых, жировых, витаминных и минеральных добавок, которые применяются для выращивания молодняка и добавочного питания взрослых сельскохозяйственных животных в подсобных, фермерских и коллективных хозяйствах авторами патента [39] предлагается комплекс для приготовления жидких кормов. Агрегат образует замкнутый циркуляционный контур, в состав которого входят: измельчители в виде насосов-диспергаторов, емкости для смешивания, система всасывающих и напор-

ных трубопроводов и ситовые ловушки. Комплекс предназначен для эксплуатации в закрытых отапливаемых помещениях в умеренном и холодном климате. Производительность комплекса по продукту составляет 3,5 т/смену. В комплексе используется водопроводная питьевая вода. Недостатком данного комплекса является наличие сложных систем соединения устройств в линии, что отрицательно влияет на надежность ее работы, кроме того, функциональные возможности линии ограничены, из-за того, что диспергатор может перерабатывать только предварительно измельченные растительные культуры.

Помимо перечисленных установок на рынке также можно встретить оборудование для приготовления жидких, влажных и пастообразных кормов, среди которых КИП - 0,6, УРВА-250, УПК-1,5, ТЕК-СМ, ЭРА-К, МРИЯ. Перечисленные установки, разрабатывались задолго до появления самой технологии получения зерновой патоки методом ферментативного гидролиза. Они создавались для получения влажных мешанок, пастообразных кормов, каши и т.п. Установки УПК-1,5 и ТЕК-СМ предназначены в основном для получения растительного молока методом кавитационно-кумулятивного воздействия на смесь воды и зернобобовых культур. КИП – 0,6 производится на Новосибирском опытно-экспериментальном заводе нестандартизированного оборудования – Сельмаш [65]. Предназначена для приготовления высокоусвояемых жидких кормов. Установка осуществляет однородное тонкое измельчение зерносмеси до получения киселеобразной массы для кормления молодняка. Объем бака 700 л, время цикла приготовления кормовой пасты 1,5 часа при температуре 52°C. Установка УРВА–250 позволяет получить высокобелковые добавки для выкармливания молодняка и взрослого поголовья скота и птицы в сельскохозяйственных предприятиях и фермерских хозяйствах [67]. В аппарате осуществляются следующие технологические процессы: измельчение продукта в воде; варка полученной суспензии под давлением с целью инактивации неусваиваемых веществ и растворения пищевых веществ и микроэлементов; охлаждение суспензии. Агрегат ЭРА-К предназначен для приготовления кормов в свиноводстве. Он позволяет приготовить

кормосмесь путем мелкодисперсного измельчения с одновременной термообработкой из нескольких видов сырья для заданного состава корма [1]. Кормоприготовительный агрегат серии АКГСМ «Мрия» предназначен для приготовления ферментированных гомогенных кормовых смесей из зерновых культур и комбикормов в водной среде при соотношении воды к зерновой смеси: для свиней 2:1, а при высокой клейковине 2,5:1, для КРС 3:1 [2]. При необходимости кормоприготовительная установка комплектуется раздатчиком на шасси КР-5.

В работе [8] сформированы направления по обоснованию конструкции установок для приготовления зерновой патоки, построению структурных схем технологических линий приготовления зерновой патоки и схем функционирования установок. Также предложены методика исследования рабочего процесса приготовления зерновой патоки, включающая необходимые элементы теоретических и экспериментальных исследований. Проведены исследования рабочего процесса дезинтегратора, которые показывают сокращения удельных энергозатрат на приготовлении патоки при применении предлагаемого дезинтегратора с 12 лопатками на 11,1% [9].

Проведенный анализ показал, что предлагаемая технология является относительно новой на рынке и весьма востребованной, позволяющей решить ряд проблем, связанных с кормлением животных и повысить их продуктивность. Представленные на сегодняшний день технические решения обладают рядом общих и частных недостатков.

Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы указывает на актуальность и важность проведения научных исследований, связанных с разработкой ресурсосберегающих технологий производства высококачественных кормов, кормовых добавок, созданию технологий переработки и хранения продукции АПК [85].

1.4 Выводы по главе

В результате проведенного анализа технологий производства зерновой патоки и оборудования для их реализации выделены две основные проблемы технологического процесса – значительные экономические и энергетические траты, связанные с необходимостью нагрева воды и разрушения зерна, которые требуют ввода дополнительных операций и машин для их реализации. Поэтому создание энергоэффективных и экономичных установок для этой технологии с минимальным количеством компонентов остаётся актуальной задачей. При этом совершенствование подобного оборудования должно быть направлено на получение качественного конечного продукта при высоких показателях производительности и минимальных экономических и энергозатратах.

2 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ

2.1 Функционально-морфологическая схема установки

Целью проводимого исследования является разработка установки для производства жидких ферментированных кормов, в нашем случае патоки из зерна злаков. При разработке такой установки важно учесть несколько критериев: сокращение затрат рабочего времени на выполнение технологических процессов; сокращение потребления электроэнергии и кормов на основе оптимизации режимов функционирования установки и исключения потерь; уменьшение стоимости установки с уменьшением площади помещений для размещения [12; 81]; повышение продуктивности животных на основе улучшений условий их кормления; повышения качества и сохранности продукции; устранение загрязнения окружающей среды отходами и выбросами; улучшение условий труда работников [40].

Проанализировав существующие технологии и конструкции машин, мы пришли к выводу, что необходимо разработать новую установку для производства жидких ферментированных кормов [17]. В связи с этим нами были определены ключевые факторы, влияющие на указанные критерии:

- I. конфигурация бака для смеси;
- II. простой гидропровод;
- III. место установки насосной станции;
- IV. наличие диспергатора;
- V. вход гидропривода в накопительную ёмкость для напорной подачи воды от насоса;
- VI. присутствие в составе нагревателя.

Эти факторы и их характеристики были сведены в морфологический ящик (Приложение Г).

На основании данных морфологического ящика, построена морфологическая матрица, которая представлена далее:

(a1 a2 a3 a4 a5 a6)

(b1 b2)

(v1 v2 v3)

(г1 г2 г3)

(д1 д2 д3)

(e1 e2)

Развернутая морфологическая матрица представлена в приложении Д. В ней отражено 648 возможных комбинаций.

При разработке конструкции установки для производства жидких ферментированных кормов важно учитывать несколько ключевых факторов: трубопроводы усложняют конструкцию и увеличивают теплопотери, поэтому их можно исключить, передав их функции измельчителю; расположение насосной секции должно быть ниже накопительной ёмкости, чтобы обеспечить заполнение насоса водой при запуске (вариант v1); форма накопительной ёмкости должна обеспечивать максимальный объём при минимальной боковой площади. Это позволит наиболее эффективно использовать пространство и материалы. Из рациональных соображений принимается вариант накопительной емкости в форме цилиндра с сужением в виде усеченного конуса (свойство a5 приложение Г); наличие измельчителя позволяет увеличить ресурс установки, ускорить процессы нагрева воды и измельчения зерна. Измельчитель должен быть оснащён пассивными рабочими органами для упрощения конструкции и снижения стоимости (вариант г2 приложение Г).

Практика показывает, что эффективным средством измельчения является установка в накопительной емкости перед выходным окном пластины или решетки. Данное решение позволяет не только ускорить процесс разби-

вания зерновок, а также снизить энергозатраты [75]. Исходя из этого, отверстие в накопительной емкости для напорной подачи воды от насоса логично расположить по варианту д1 (приложение Г). Нагревательный элемент при использовании установки в производственных помещениях нецелесообразен, и функцию по нагреву воды необходимо перенести на насосную секцию и измельчитель. Данное решение позволит упростить конструкцию и снизить себестоимость установки [17].

На основании этих соображений предлагается следующая комбинация параметров установки а5б2в1г2д1е1 (приложение Д): форма накопительной ёмкости — цилиндр с сужением в виде усечённого конуса; расположение насосной секции — ниже накопительной ёмкости; применение в конструкции центробежного насоса, который имеет простую конструкцию и может приспособляться к любой гидравлической сети; измельчитель — с пассивными рабочими органами; расположение отверстия в накопительной ёмкости для напорной подачи воды от насоса — по определённому варианту [42].

Эти параметры позволяют создать эффективную и экономичную установку для производства зерновой патоки.

На основании проведенного анализа разработана функционально-морфологическая схема установки для приготовления зерновой патоки (рисунок 2.1) [17].

Функционально-морфологическая схема на рисунке 2.1 показывает, что функцию F1 – накопление и хранение продукции, – выполняет накопительная емкость. Функции F2 (нагрев водно-зерновой смеси), F3 (измельчение зерна), F4 (перемешивание водно-зерновой смеси) распределены между насосной секцией и измельчителем. Для достижения главной функции F0 – получение зерновой патоки – задействовано минимальное количество структурных элементов, которые выполняют все функции с минимальными энергозатратами.

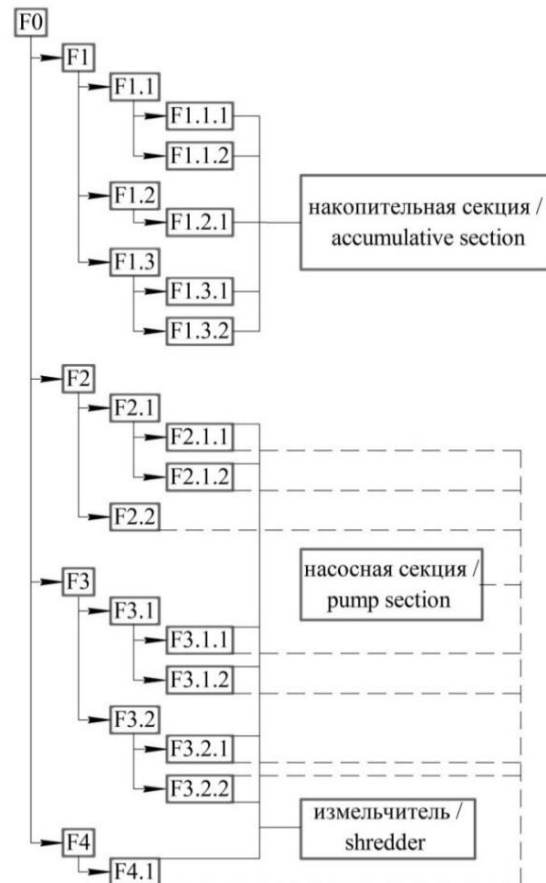


Рисунок 2.1 – Функционально-морфологическая схема установки для приготовления зерновой патоки: F0 – получение зерновой патоки наилучшего качества с минимальными энергозатратами; F1 – накопление и хранение продукции; F1.1 – минимальные потери тепла; F1.1.1 – максимальный объем; F1.1.2 – минимальная боковая площадь; F1.2 – выгрузка материала без остатка; F1.2.1 – забор материала из нижней точки; F1.3 – простота в изготовлении; F1.3.1 – использование простых геометрических фигур; F1.3.2 – применение распространенных дешевых способов изготовления; F2 – нагрев водно-зерновой смеси; F2.1 – эффект трения; F2.1.1 – трение между слоями водно-зерновой смеси; F2.1.2 – трение водно-зерновой смеси о поверхность установки; F2.2 – эффект кавитации; F3 – измельчение зерна; F3.1 – удар; F3.1.1 – удар зерновок друг о друга; F3.1.2 – удар зерновок о поверхность установки; F3.2 – истирание; F3.2.1 – истирание зерновок друг о друга; F3.2.2 – истирание зерновок о поверхность установки; F4 – перемешивание водно-зерновой смеси; F4.1 – свойство турбулентности

2.2 Анализ схемы установки для приготовления зерновой патоки

На основании проведенного анализа разработана схема установки для приготовления патоки в условиях хозяйства (рисунок 2.2). В ней можно выделить гидроконтур, систему управления (АСУ и СЭС) и систему нагрева. Установку представляем в виде сложной системы, которая состоит из нескольких связанных причинно-следственными связями подсистем. Каждой подсистеме необходимо установить цель ее функционирования. Например, гидроконтур предназначен для перемещения воды и смеси [13].

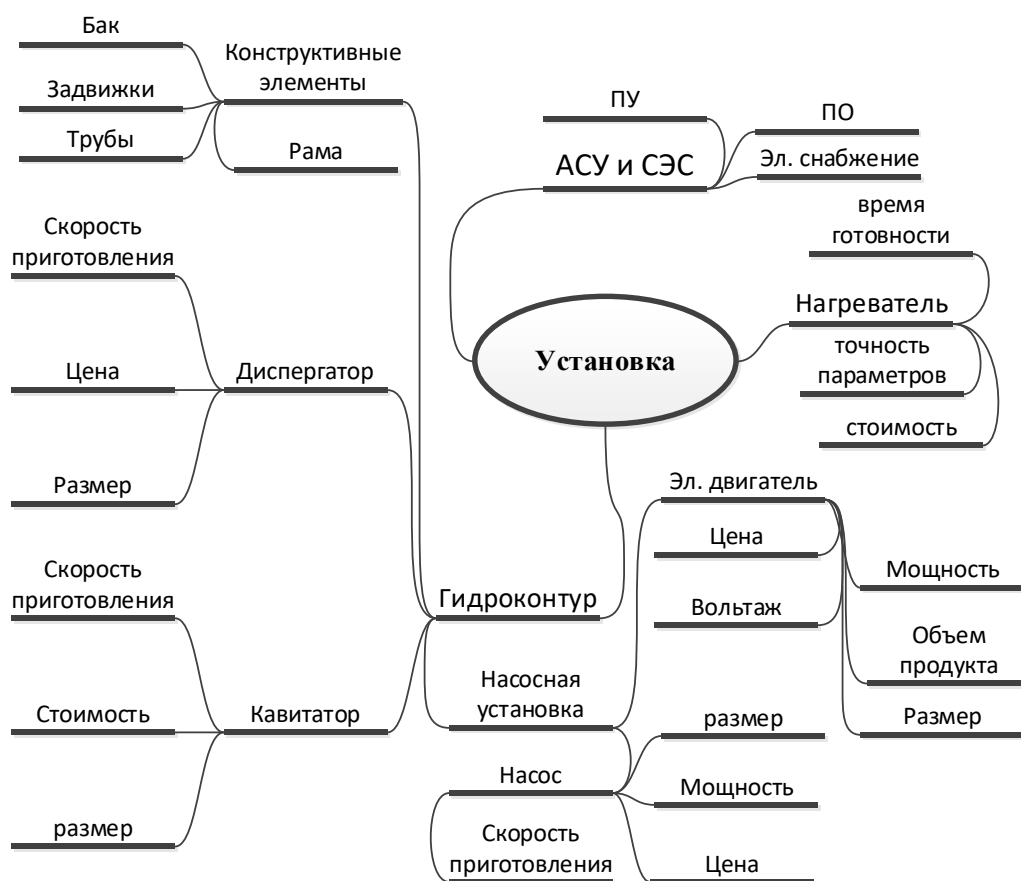


Рисунок 2.2 – Схема установки для приготовления зерновой патоки с выделением ее подсистем

С целью получения более объективной картины создадим ментальную модель установки с установлением причинно-следственных связей (рис. 2.3).

В разработанной диаграмме присутствуют как положительные, так и отрицательные эффекты [13]. Первый положительный контур приведен на рисунке 2.4. Он долговременный, и на его продолжительность влияет техническое совершенствование электронасоса. Оно может занимать несколько лет. При совершенствовании насоса увеличатся его эксплуатационные показатели, что в свою очередь приведет к прибыли.

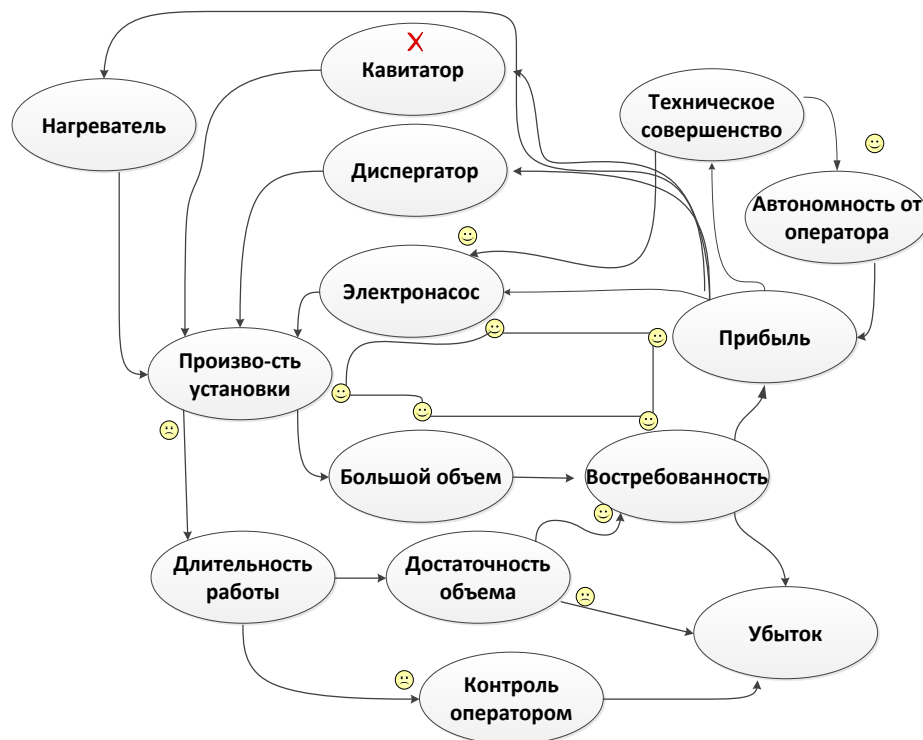


Рисунок 2.3 – Причинно-следственная диаграмма

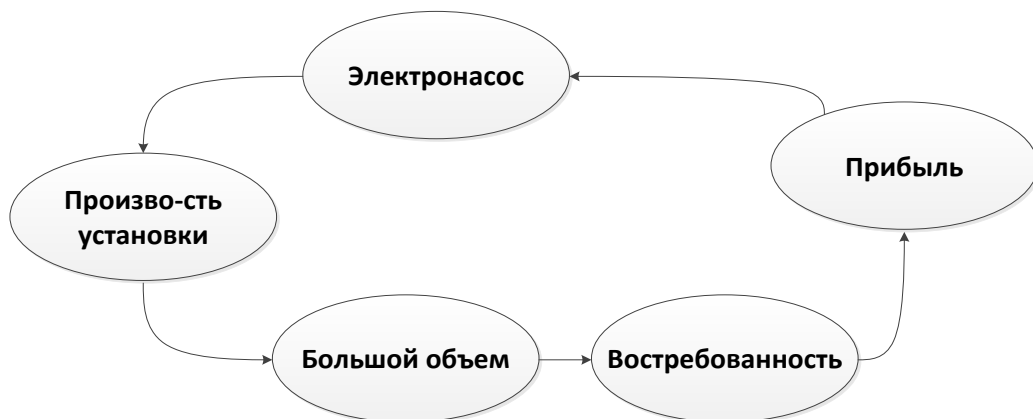


Рисунок 2.4 – Положительный контур

Также имеется отрицательный контур (рис. 2.5). Снижение производительности насоса приведет к увеличению длительности его работы, дополнительным затратам и снижению ресурса, что в итоге выразится в убытке.

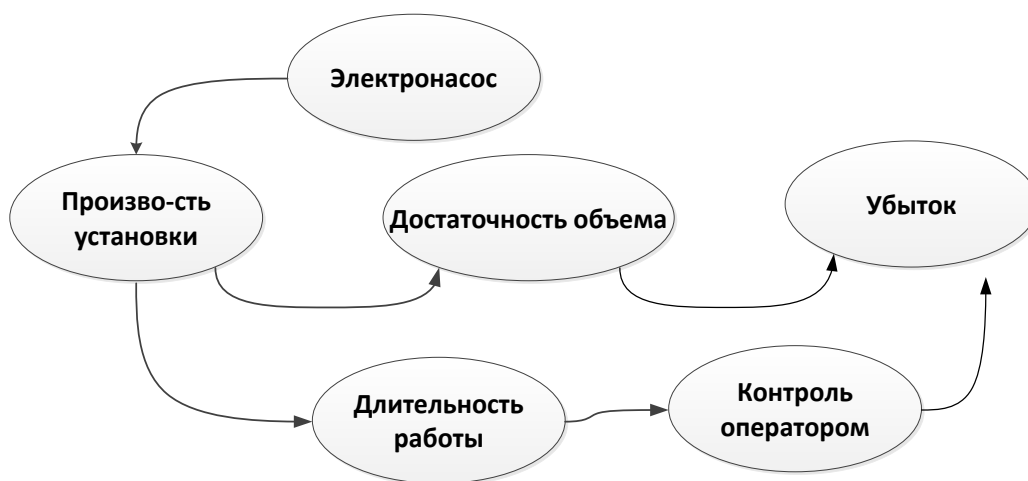


Рисунок 2.5 – Отрицательный контур

В диаграмме присутствуют и другие контуры, но они низшего порядка. Взаимодействие всех контуров между собой, их влияние друг на друга усложняют математическое описание рассматриваемой системы. Однако на основании рассмотренной диаграммы можно выделить главные элементы системы – диспергатор и насос. Однако, как показал анализ, диспергаторы значительно дороже и сложнее центробежного насоса, обладают более низкими напорными характеристиками. Поэтому упор при проектировании таких установок следует делать на центробежный насос [69].

На основании проведенного анализа функционально-морфологической схемы и причинно-следственной диаграммы разработана схема установки. Установка для производства патоки из зерна состоит из двух основных частей: накопительной и насосной. Накопительная секция выполнена в форме вертикального цилиндра, который внизу сужается [17]. Внутри насосной секции находится крыльчатка. Эта секция расположена под накопительной и соединена с ней через сужающуюся часть. Кроме того, обе секции соединены дополнительным каналом, который проходит вдоль боковой поверхности установки. Внутри этого канала есть поверхность, которая играет роль пас-

сивного дезинтегратора. Над отверстием дополнительного канала в накопительной секции установлена дополнительная истирающая решётка. С целью обоснования параметров конструкции проведены теоретические исследования.

2.3 Расчет процесса нагрева воды в установке для приготовления патоки

Первой стадией в процессе приготовления зерновой патоки является нагрев воды в установке до заданной температуры. Для изучения процесса нагрева воды в разработанной установке использована расчетная схема (рис. 2.6)

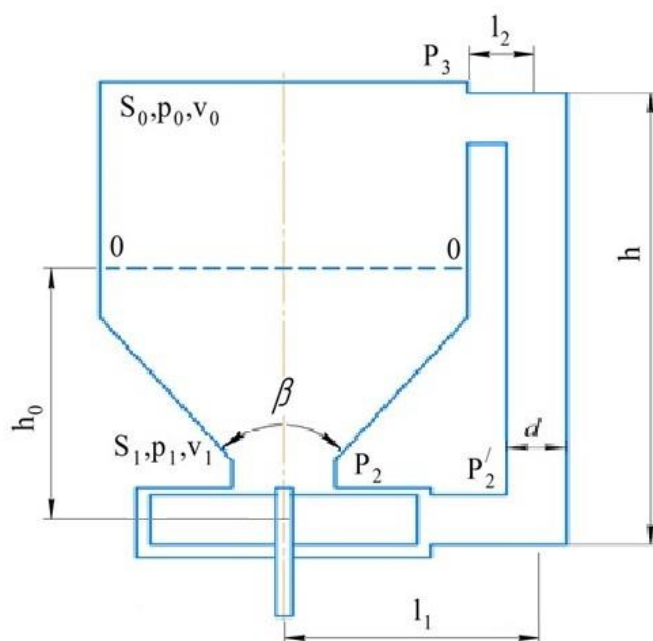


Рисунок 2.6 – Расчетная схема установки.

Составим уравнения Бернулли для составленной расчетной схемы [89].
Для участка входа-выхода из накопительной секции имеем:

$$h_0 + \frac{p_a}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} + \xi_1 \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g}, \quad (2.1)$$

где h_0 – уровень жидкости в баке, м; p_a – атмосферное давление, Па; p_1 – давление на выходе из бака, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; v_0 – скорость жидкости на входе в бак (при диаметре сечения D_0), м/с; v_1 – скорость на выходе из бака (при диаметре сечения D_1), м/с; ξ_1 – коэффициент сопротивления при сужении.

Коэффициент сопротивления при сужении вычисляется по формуле (2.2):

$$\xi_1 = 0,1 + \lambda(h_0 - 0,3)/D_0 = 0,1 + 0,17\lambda, \quad (2.2)$$

где D_0 – диаметр канала на выходе из водяного бака, м; λ – коэффициент сопротивления трения единицы длины трубы.

Для насоса уравнение Бернулли запишется в виде (2.3):

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + \Delta H = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g}, \quad (2.3)$$

где ΔH – прирост напора воды в насосе, определяющийся его расходно-напорной характеристикой, м; p_2 – давление на выходе из насоса (определяется из ΔH), Па;

Уравнение Бернулли для обводного канала имеет вид (2.4):

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} = \frac{v_3^2}{2g} + \xi_3 \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\rho g} + h_0, \quad (2.4)$$

где p_3 – давление на выходе из обводного канала, Па; v_3 – скорость на выходе из отводного канала (при диаметре сечения D_3), м/с; ξ_3 – коэффициент сопротивления отвода.

Коэффициент сопротивления отвода рассчитывается по выражению (2.5):

$$\xi_3 = 2\xi' + \lambda(h + l_1 + l_2)/D_2, \quad (2.5)$$

где D_2 – диаметр канала, м; $h = 1,4$ м; $l_1 = 0,6$ м; $l_2 = 0,8$ м;

Замкнутость цикла можно выразить через энергетический баланс в виде уравнения (2.6):

$$(\xi_0 + \xi_2) \frac{v_0^2}{2g} + \xi_1 \frac{v_1^2}{2g} + \xi_3 \frac{v_3^2}{2g} = \Delta H, \quad (2.6)$$

где ξ_0 – коэффициент сопротивление расширения канала в бак; ξ_2 – сопротивление решетки (определяется экспериментально).

Коэффициент сопротивление расширения канала в бак определяем по формуле (2.7):

$$\xi_0 = (1 - D_2^2/D_0^2)^2. \quad (2.7)$$

Также в гидравлическом контуре рассматриваемой установки имеются повороты на 90° . В этом случае в зависимости от степени шероховатости сопротивление колена составляет $\xi' = 1,2 - 1,8$ [29].

Уравнения сохранения массы для всех сечений контура имеют вид:

$$S_0 v_0 = S_1 v_1; S_1 v_1 = S_2 v_2; S_2 v_2 = S_3 v_3 \text{ или } (v_2 = v_3) \quad (2.8)$$

где S_0 , S_1 и S_3 – соответственно площади каналов в сечениях 0-0, 1-1 и 3-3, м².

Число Рейнольдса для рассматриваемого контура ($Re > 10^5$) высчитывается по формуле (2.9):

$$Re = \frac{\rho(T)vD}{\mu(T)} = \frac{4\rho(T)Q}{\pi\mu(T)D}, \quad (2.9)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости; Q – объёмный расход м³/ч;

Полный напор на входе в насос определяется по выражению:

$$H(Q) = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{Q^2}{2gS_1^2}. \quad (2.10)$$

Полезная мощность N_n насоса связана с приростом напора в насосе ΔH и описывается уравнением (2.11):

$$N_n = N\eta = \rho g \Delta H(Q)Q, \quad (2.11)$$

где N_n – полезная мощность насоса, кВт; N – полная мощность, кВт; η – КПД насоса.

Из (2.11) выразим величину ΔH :

$$\Delta H(Q) = N\eta(Q)/(\rho g Q) \quad (2.12)$$

Из закона сохранения энергии, полагая, что вся мощность насоса идет на нагрев жидкости и труб с баком, а также на теплоотдачу бака и труб окружающему воздуху путем свободной конвекции, не учитывая затрат на разгон жидкости, имеем дифференциальное уравнение:

$$N = Q_{\delta} \frac{dT}{dt} + \alpha S (T - T_k), \quad (2.13)$$

где Q_{δ} – количество теплоты, требуемое для нагрева бака и жидкости на 1 К, Дж/К; T и T_k – температура бака и окружающей среды, К; α – коэффициент теплоотдачи труб и бака, Вт/ (м²·К).

Количество теплоты Q_{δ} определяется по формуле:

$$Q_{\delta} = C_{ж} m_{ж} + C_c m_c, \quad (2.14)$$

где $C_{ж}$, C_c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С); $m_{ж}$, m_c – масса, кг.

Коэффициент теплоотдачи труб и бака вычисляется по выражению:

$$\alpha(T, D) = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_1 (D - \delta)} + \frac{1}{2\lambda} \ln \left(\frac{D}{D - \delta} \right) + \frac{1}{\alpha_2 D} \right), \quad (2.15)$$

где α_1 , α_2 – коэффициенты теплоотдачи от жидкости к стенке и от стенки к воздуху; λ – коэффициент теплопроводности материала труб и бака; δ – толщина стенки труб и бака.

Учитывая, что в начальный момент температура жидкости и бака равна комнатной, а коэффициенты теплоотдачи α постоянны, из уравнения (2.13) с учетом (2.14) и (2.15) получим зависимость, описывающую прирост температуры от времени работы насоса t :

$$\Delta T = \frac{N}{\alpha_{\delta} S_{\delta} + \alpha_m S_m} \left(1 - e^{-\frac{\alpha_{\delta} S_{\delta} + \alpha_m S_m}{Q_{\delta}} t} \right), \quad (2.16)$$

где S_{δ} – площадь боковой поверхности бака, м^2 ; S_m – площадь боковой поверхности 1 метра трубы, м^2 .

Площадь боковой поверхности бака и площадь боковой поверхности труб определяем по общеизвестным формулам:

$$S_{\delta} = \pi[0,5D_1 \cdot b + D_0(0,5b + h_2)], \quad (2.17)$$

$$S_T = \pi[D_2(l_1 + l_2 + h)], \quad (2.18)$$

где b – высота усечённого конуса; h_2 – высота бака;

С учетом излучения дифференциальное уравнение (2.13) примет вид:

$$N = Q_{\delta} \frac{dT}{dt} + (\alpha_{\delta} S_{\delta} + \alpha_m S_m)(T - T_{\kappa}) + K_0(\varepsilon_{\delta} S_{\delta} + \varepsilon_m S_m)(T^4 - T_{\kappa}^4), \quad (2.19)$$

где ε_{δ} и ε_m – степень черноты материала труб и бака, покрытых масляной краской; K_0 – константа излучения абсолютно черного тела.

Уравнение (2.19) решалось численно в среде Matlab. В качестве исходных данных принято следующее: насос марки 1СМ65-50-160/2, полная потребляемая мощность которого $N = 5,5$ кВт, расход $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, в качестве нагреваемой жидкости использовалась вода ($\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, $C_{\text{жс}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$), материал труб и бака – сталь массой $m = 21 \text{ кг}$ ($C_c = 460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$). Приняты следующие параметры конструкции $D_0 = 0,7 \text{ м}$ ($Re = 1,2 \cdot 10^4$), $D_1 = 0,065 \text{ м}$ ($Re = 1,4 \cdot 10^4$), $D_2 = 0,05 \text{ м}$ ($Re = 1,8 \cdot 10^5$), $\beta = 80^\circ$, $b = 0,39 \text{ м}$, $h = 0,7 \text{ м}$, $h_2 = 0,4 \text{ м}$, $h_0 = 0,42 \text{ м}$. Коэффициент сопротивления расширения канала в бак $\xi_0 = 0,99$. Объем нагреваемой жидкости составляет 100 л.

Для принятых параметров имеем оценку нагрева без учета конвекции:

$$\Delta T = 0,013 \cdot t. \quad (2.20)$$

В случае передачи тепла одной лишь конвекцией зависимость имеет вид:

$$\Delta T = 332(1 - e^{-3,86 \cdot 10^{-5} t}) \quad (2.21)$$

Сначала выяснили, как меняется коэффициент теплоотдачи полипропиленовых труб разного диаметра, когда нагревается вода. Полученные данные изобразили в виде графиков (рисунок 2.7)

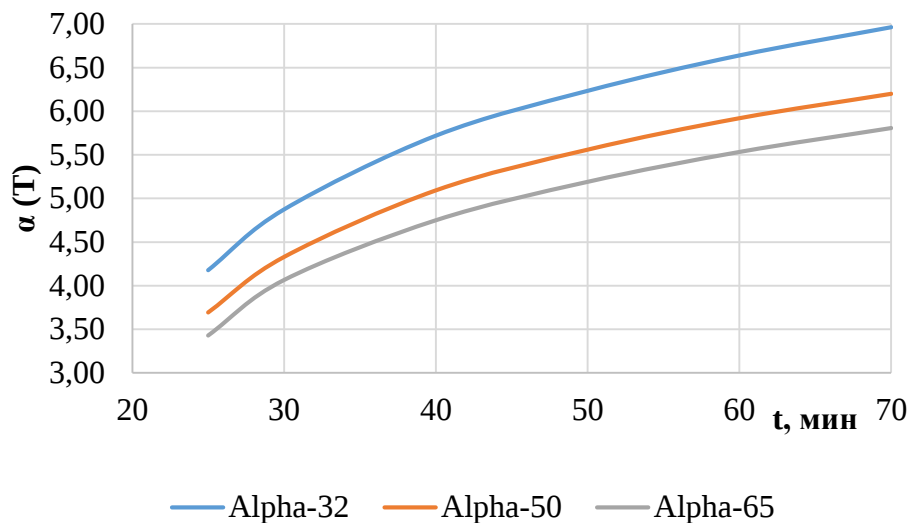


Рисунок 2.7 – Влияние диаметра труб и времени нагрева на коэффициент теплоотдачи полипропиленовых труб

Значения коэффициента теплоотдачи используется для расчета изменения температуры. Мы оценили, как конвекция и излучение влияют на повышение температуры при использовании полипропиленовых труб в установке диаметром 32 мм, 50 мм и 65 мм.

Для выбора материала при изготовлении гидравлического контура установки были рассмотрены характеристики по теплопроводности полипропилена и стали. Для полипропилена теплопроводность составляет 0,22 Вт/м °С, а для стали – 52 Вт/м °С. Выбор стали для изготовления гидравлического контура установки нецелесообразен в связи с меньшей теплопроводностью полипропилена в 200 раз.

Для определения изменения температуры воды в зависимости от диаметра обводного канала установки, на основании выведенного уравнения (2.21) решаем его численно в среде Matlab. На основании уравнения построены теоретические графики, представленные на рисунке 2.8.

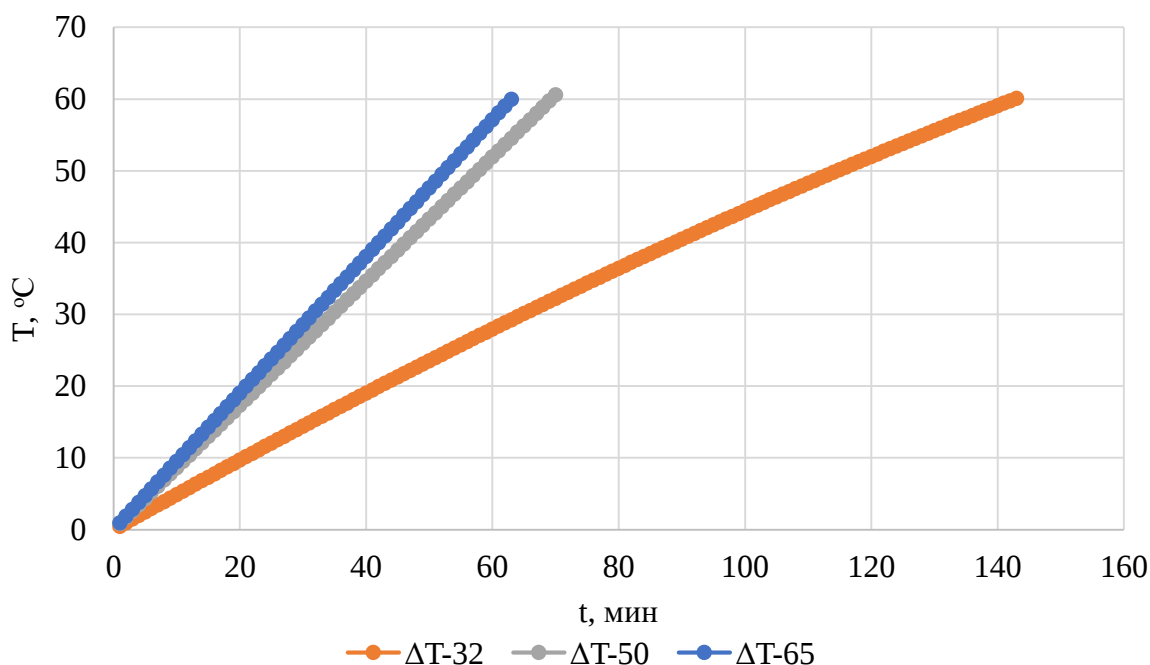


Рисунок 2.8 – Расчетный график нагрева воды в зависимости от внутреннего диаметра обводного канала

Таким образом, для рассмотренной схемы установки, нагрев 100 литров воды от 0 до необходимых 40°C занимает:

- для обводного канала диаметром 32 мм – 74 минуты;
- для обводного канала диаметром 50 мм – 45 минут;
- для обводного канала диаметром 65 мм – 42 минуты.

Разное время нагрева воды обусловлено разной работой электродвигателя привода насосной установки, которая объясняется разным давлением в обводном канале, следовательно, изменением сопротивления потока, изменением напора. При использовании в составе обводного канала трубы с диаметром 32 мм, электродвигатель водяного насоса не может выйти на заводские показатели по мощности в связи с повышенным гидравлическим сопро-

тивлением обводного канала. При использовании в составе обводного канала трубы с диаметром 50 мм, электродвигатель водяного насоса выходит на рабочие характеристики в связи с оптимальным гидравлическим сопротивлением обводного канала. Использование же обводного канала с применением трубы диаметром 65 мм показывает, что гидравлическое сопротивление обводного канала в трубе диаметром 50 мм оптимально, дальнейшее увеличение диаметра трубы не несет улучшения в работе установки.

По практической работе, вода в установку по приготовлению зерновой патоки заливается примерно с температурой 10-12 °С, поэтому расчетное время нагрева воды от 10 до 40 °С будет занимать:

- для обводного канала 32 мм – 69 минут;
- для обводного канала 50 мм – 35 минут;
- для обводного канала 65 мм – 31 минуту.

Изменение сопротивления трубы обводного канала влияет на энергетические показатели работы установки. При нагреве воды с применением трубы диаметром 32 мм расчетная потребляемая мощность, рассчитанная по выражению (2.19), составляет 3,9 кВт, 50 мм – 5,5 кВт, 65 мм – 6,5 кВт. (рисунок 2.9, а). На основании полученных расчетных значений определены удельные энергозатраты на нагрев воды (рисунок 2.9, б)

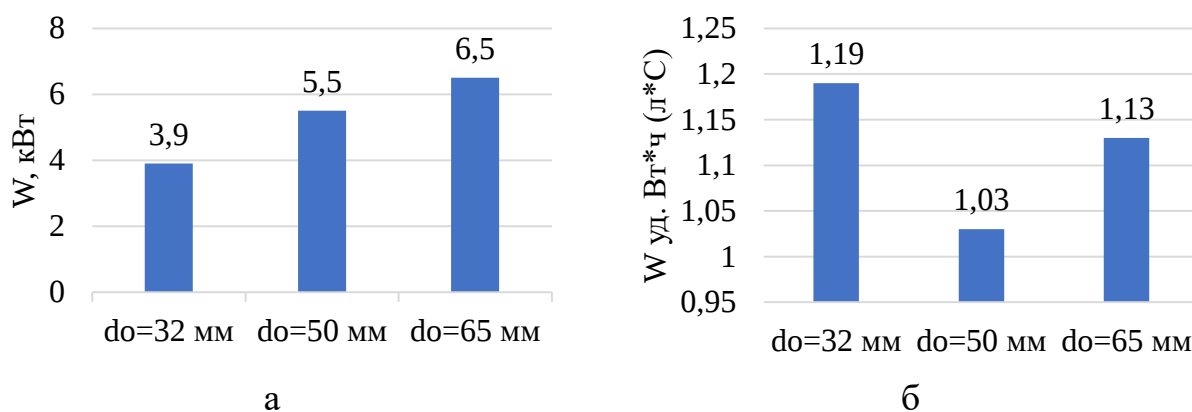


Рисунок 2.9 – Энергетические показатели установки

Оценивая нагрев воды в совокупности двух критериев (времени нагрева и удельных энергозатрат), можно определить рациональное значение диаметра трубы обводного канала – 50 мм.

2.4 Моделирование движения потока воды в пассивном дезинтеграторе

В установках по приготовлению зерновой патоки, для дополнительного разрушения твёрдых видов зерновых (ячмень и т.д.), используются кавитаторы, пассивные или активные дезинтеграторы либо предварительное измельчение зерна. В соответствии с рассматриваемой установкой для приготовления зерновой патоки с обводным каналом [56] предлагается включить в состав обводного канала установки пассивный дезинтегратор и проводить измельчение с применением пассивного дезинтегратора. На основании ранее проведенных исследований [17] предложена схема дезинтегратора с несколькими решетками, расположенными в обводном канале на заданном расстоянии относительно друг от друга под оптимальным углом.

Проведено моделирование течения потока воды для установки, схема которой изображена на рис. 2.10. Внизу корпуса 1 установки установлен насос 2, который перемещает жидкость. Насос также соединен с гидравлическим контуром установки с установленным в нём пассивным дезинтегратором 3 [56]. Под воздействием крыльчатки насоса 2 происходит нагрев жидкости. Также дополнительный нагрев жидкости происходит за счет трения ее потока о поверхности пассивного дезинтегратора 3, внутренний диаметр которого равен d мм, а длина – l мм.

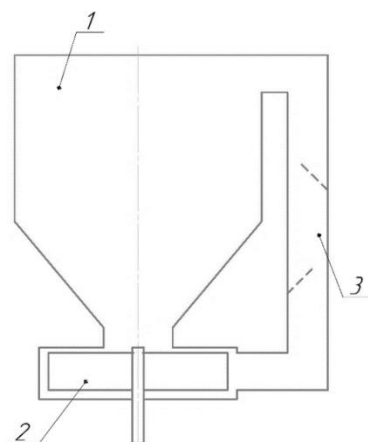


Рисунок 2.10 – Схема установки для приготовления зерновой патоки с пассивным дезинтегратором: 1 – корпус; 2 – насос; 3 – пассивный дезинтегратор

Пассивный дезинтегратор представляет собой перфорированную решётку, расположенную под некоторым углом в гидравлическом контуре установки. Мы провели моделирование движения воды непосредственно в измельчителе по схеме, изображенной на рис. 2.11.

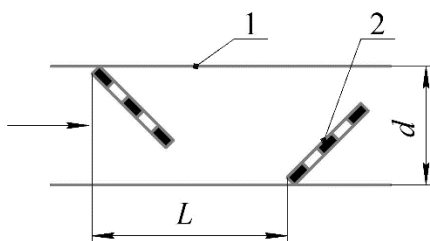


Рисунок 2.11 – Расчетная схема измельчителя: 1 – корпус; 2 – решетка

При моделировании мы рассматривали схему с двумя решётками. Это было обосновано следующими соображениями. Одна решетка перекрывает 60% поперечного сечения трубы, поэтому поток, движущийся в трубе, взаимодействует с решеткой не в полном объеме. Чтобы всё зерно, движущееся вместе с потоком, взаимодействовало с решеткой и разрушалось, предложена схема с двумя решётками. Причём решётки располагаются в противоположных концах относительно оси трубы. С увеличением количества решеток количество зерна, которое будет взаимодействовать с ними, очевидно, возрастет, и патока получится более однородной. Но увеличение количества решеток приведет также к росту сопротивления дезинтегратора, что скажется на скоро-

сти процесса нагрева воды. Поэтому было принято решение рассмотреть схему дезинтегратора именно с двумя решетками [11].

Моделирование проводилось в программе Star-CCM+ [43]. Задавались следующие условия: обтекание потоком воды двух решеток, расположенных на расстоянии L , равном 100 и 200 мм; диаметр трубы $d = 30$ мм (рис. 2.11); длина расчетного участка 1 м (рис. 2.10). Решётка дезинтегратора в виде перфорированной пластины толщиной 3 мм. Характеристики решётки задали, исходя из паспортных данных выпускаемых промышленностью стандартных перфорированных листов: расстояние между осями соседних отверстий решетки 14 мм, диаметр отверстий решетки 6 мм. Из паспорта насоса в программу вносился массовый расход $G=7$ кг/с. Давление на выходе из измельчителя задавалось равным 6 атмосферам. При моделировании использовалась k-w sst модель турбулентности [11] ($Re=3,4 \cdot 10^5$).

Исходное уравнение Бернулли для стационарного потока записывается:

$$\frac{V_{in}^2}{2g} + \frac{p_{in}}{\rho g} = \frac{V_{out}^2}{2g} + \frac{p_{out}}{\rho g} + \xi \frac{V_{out}^2}{2g} \quad (2.22)$$

Последнее слагаемое описывает гидродинамические потери, связанные с трением и наличием решеток.

$$\text{Относительный перепад давления вычислялся как } \frac{\Delta p}{p_{in}} \quad (2.23)$$

$$\text{сопротивление решетки } \xi = \frac{\Delta p + \rho[V_{in}^2 - V_{out}^2]/2}{(\rho V_{out}^2)/2} \quad (2.24)$$

Мощность тепловых потерь или затрачиваемая насосом мощность определялась из уравнения Бернулли:

$$W = (A - \Delta E_k) / \Delta t, \quad (2.25)$$

где работа сил давления $A = \Delta p S V_{in} \Delta t$

изменение кинетической энергии

$$\Delta E_k = (\rho[V_{in}^2 - V_{out}^2]/2) \cdot S \cdot V_{in} \Delta t \quad (2.26)$$

Т. о.

$$W = (\Delta p + \rho[V_{in}^2 - V_{out}^2]/2) \cdot S \cdot V_{in} \quad (2.27)$$

где V_{in} , V_{out} - скорости потока воды на входе и выходе трубы, ρ - плотность, S - площадь, $\Delta p = p_{in} - p_{out}$ - разность статических давлений на входе и выходе.

Анализ полей скоростей и линий тока жидкости в измельчителе показал, что скорости потока в обоих рассматриваемых случаях практически идентичны (рис. 2.12). При прохождении жидкости сквозь отверстия решёток и при огибании водой решёток наблюдается возрастание скорости до величины 23 м/с. В зарешётном пространстве наблюдается ярко выраженное турбулентное движение жидкости и значительное падение её скорости движения. Скорость прохождения через отверстия второй решётки в 1,5 раза выше, чем в первой. При увеличении расстояния между решётками со 100 до 200 мм наблюдается выравнивание потока в поперечном сечении измельчителя (рис. 2.13). Однако при этом скорость потока при подходе ко второй решётке ниже, чем при $L = 100$ мм (рис. 2.12). Разница в скоростях составляет около 2 м/с. Можно предположить, что зерновка с большей вероятностью разрушится в случае $L = 200$ мм, так как её скорость в этом случае при соударении с решёткой будет выше [7].

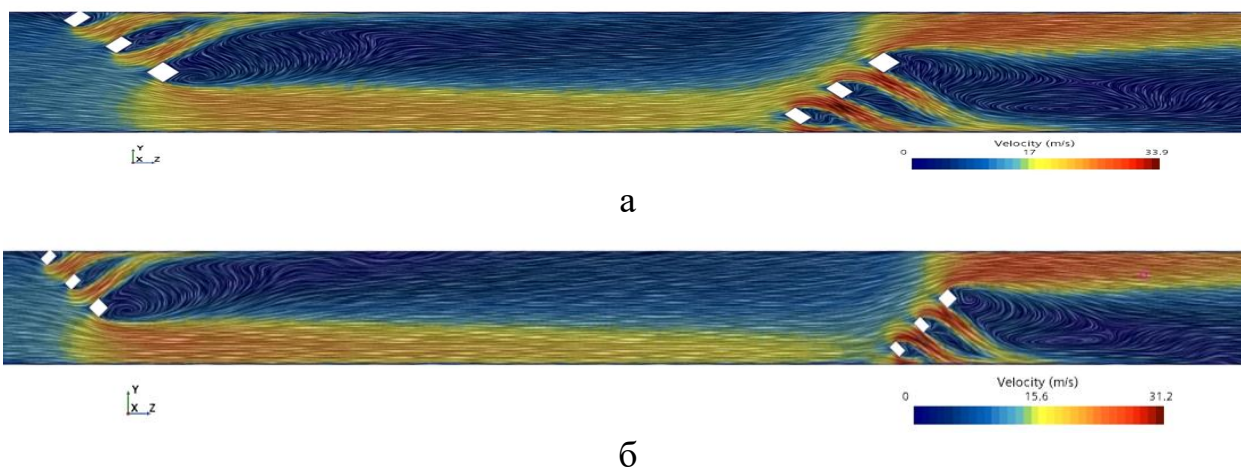


Рисунок 2.12 – Поля скорости в трубе с решетками на расстоянии L : а – 100 мм; б – 200 мм

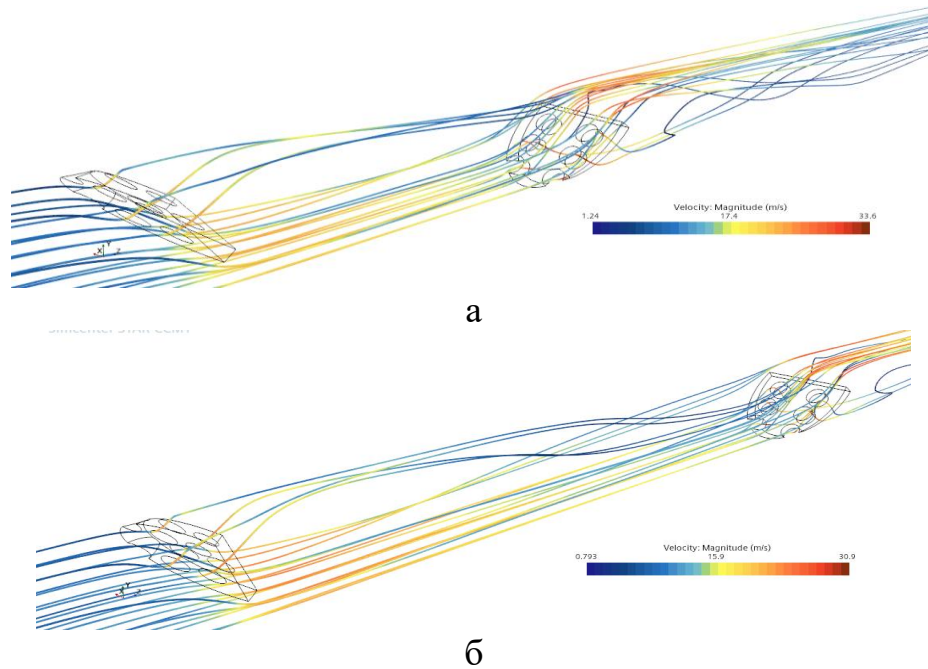


Рисунок 2.13 – Линии тока в трубе с решетками на расстоянии L : а – 100 мм; б – 200 мм

Анализ полей давления показывает, что первые решетки как при $L = 100$ мм, так и при $L = 200$ мм подвергаются большим нагрузкам, чем вторые решетки (рис. 2.14). В зарешетном пространстве наблюдается падение давления в 2...2,5 раза с постепенным его ростом по длине измельчителя вплоть до второй решетки.

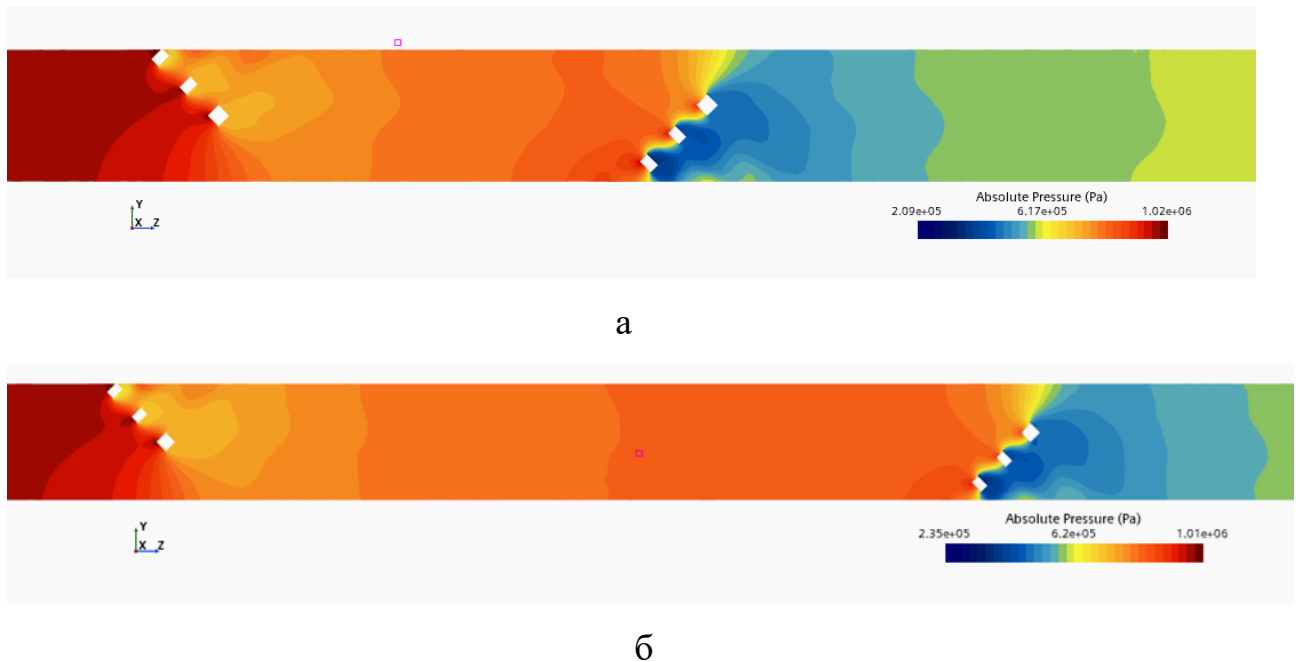


Рисунок 2.14 – Поля абсолютного давления в трубе с решетками на расстоянии L : а – 100 мм; б – 200 мм

Также были определены сопротивление и потери мощности потока в измельчителе. Результаты приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Влияние решеток на показатели движения воды в пассивном дезинтеграторе

Наименование показателя	Без реше- ток	Расстояние между решетками L, мм	
		100	200
Относительный перепад давления, %	20	39,5	38,3
Коэффициент сопротивления ξ	0,51	7,9	7,5
Потери мощности потока, кВт	0,17	2,75	2,6

Из таблицы 2.1 видно, что установка решеток влечет резкое увеличение коэффициента сопротивления и потерь мощности. С увеличением расстояния L на 100 мм данные показатели незначительно снижаются: коэффициент сопротивления с 7,9 до 7,5, потери мощности потока – с 2,75 до 2,6 кВт. Рассмотренная схема не может быть признанной эффективной в силу высоких сопротивлений и потерь мощности потока, увеличение расстояния между решетками также не может быть признано эффективным решением проблемы, так как размеры дезинтегратора ограничены габаритами установки.

Так как рассмотренная выше схема дезинтегратора оказалась неэффективной, разработана новая схема трубчатого измельчителя для установки по патенту № 2760160 С1 [56]. За счет воздействия крыльчатки 3 насоса, расположенного в корпусе 2, жидкость из накопительного бака 1 поступает в гидравлический контур 4, который в совокупности с цилиндрической решеткой 5 образует трубчатый дезинтегратор. В дезинтеграторе происходит нагрев воды и разрушение зерна, и в целом он предназначен для ускорения процесса разрушения зерна и улучшения однородности приготавливаемой патоки (рис. 2.15).

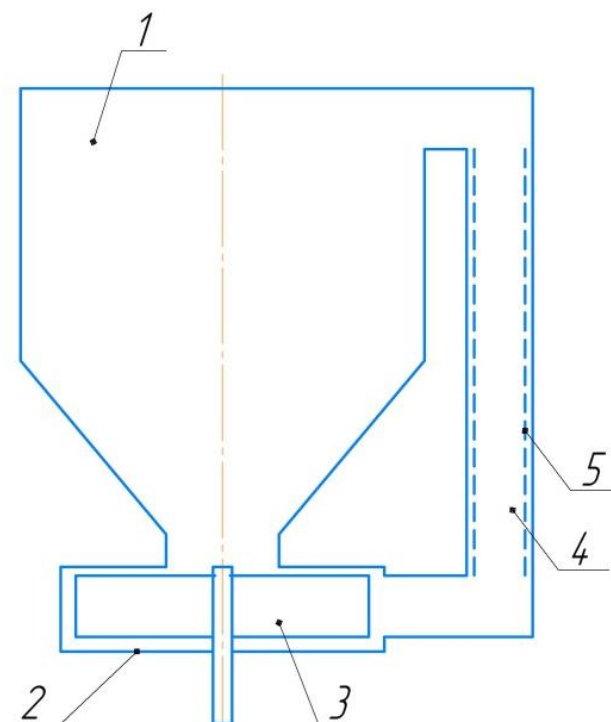


Рисунок 2.15 – Схема установки: 1 – бак; 2 – корпус насоса; 3 – крыльчатка насоса; 4 – гидравлический контур; 5 – трубный дезинтегратор

По сути, дезинтегратор представляет собой цилиндрическую решетку, установленную внутри трубы (рис.2.16). При расчетах принимали два диаметра трубы 30 и 50 мм, исходя из размеров выходного патрубка насоса и представленного на рынке сортамента труб и цилиндрических решеток. Также оценивалось влияние длины решетки. Выбраны три варианта: 100, 200 и 1000 мм. Максимальная длина решетки ограничена размерами установки для приготовления патоки и сортаментом цилиндрических решеток. Расстояние между центрами отверстий решетки задавались по паспортным данным: 14 мм по длине и 8 мм по диаметру решетки. Диаметр и толщина решетки также выбирались из паспортных данных и задавались равными 6 мм и 3 мм соответственно. В соответствии с характеристиками насоса учитывался массовый расход воды, который составлял 7 кг/с.

Расчет параметров движения воды в пассивном дезинтеграторе осуществлялся в программе Star-CCM+ [43], при этом принималась k-w sst модель турбулентности, при которой $Re=3,4 \cdot 10^5$.

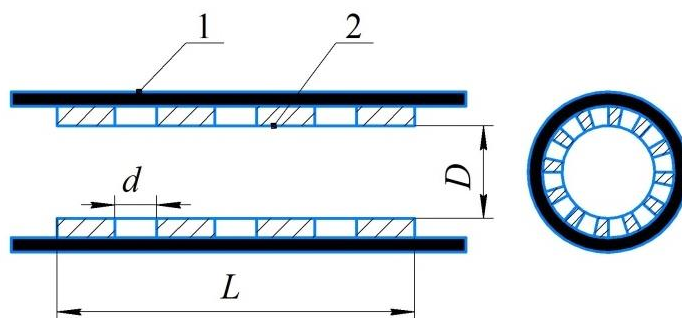


Рисунок 2.16 – Схема рассчитываемого пассивного измельчителя

В программе были определены относительный перепад давления $\frac{\Delta p}{p_{in}}$, сопротивление ξ измельчителя и мощность тепловых потерь [16]. Результаты расчетов представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчетов движения воды в дезинтеграторе

Показатель	D=30 мм, L=0 мм	D=50 мм, L=0 мм	D=30 мм, L=100 мм	D=50 мм, L=100 мм	D=30 мм, L=200 мм	D=50 мм, L=200 мм	D=50 мм, L=1000 мм
$\frac{\Delta p}{p_{in}}, \%$	20	0,7	22	1,3	25	1,5	2,4
ξ	0,51	0,35	1,74	0,64	2,0	0,7	0,7
W, кВт	0,17	0,005	0,58	0,009	0,68	0,01	0,022

Как видно из таблицы 2.5, дезинтегратор с диаметром 30 мм обладает существенно большими сопротивлениями, чем при D=50 мм. При этом влияние длины решетки при D=30 мм также выше, чем при D=50 мм. Сопротивление ξ без решетки при D=30 мм в 1,46 выше, чем при D=50 мм. В случае L=100 мм – в 2,7 раза, L=200 мм – в 2,9 раза. Для сравнения рассмотрена решетка длиной 1000мм. Видно, что ее сопротивление идентично решетке длиной 200 мм и составляет 0,7. Расчеты показали, что аналогичная картина прослеживается по таким показателям, как относительный перепад давления $\frac{\Delta p}{p_{in}}$ и мощность тепловых потерь. Отличие заключается в том, что с увеличе-

нием длины решетки до 1000 мм данные показатели продолжают расти (таблица 2.5).

По результатам расчетов видно, что дезинтегратор с диаметром 50 мм обладает меньшими сопротивлениями, в нем наблюдаются меньшие потери мощности и давления. На основании этого принято решение проанализировать движение воды в дезинтеграторе с диаметром 50 мм.

Анализ полей скорости потока показывает, что в зоне дезинтегратора происходит возрастание скорости (рис. 2.17, 2.18 и 2.19). При движении потока до решетки его скорость составляет около 3,5 м/с. В зоне решетки значение возрастает до 5,2...5,7 м/с в зависимости от длины решетки. Чем больше длина решетки, тем выше скорость. Это связано с тем, что с увеличением длины решетки скорость в пристеночной области снижается сильнее из-за турбулентности потока в отверстиях решетки. Одновременно с этим происходит сужение струи, что вызывает увеличение скорости в ее центральной части. Анализ движения потока в отверстиях решетки показывает, что поток ведет себя одинаково, независимо от длины решетки: в отверстиях образуются вихри потока, вызывающие его значительное торможение.

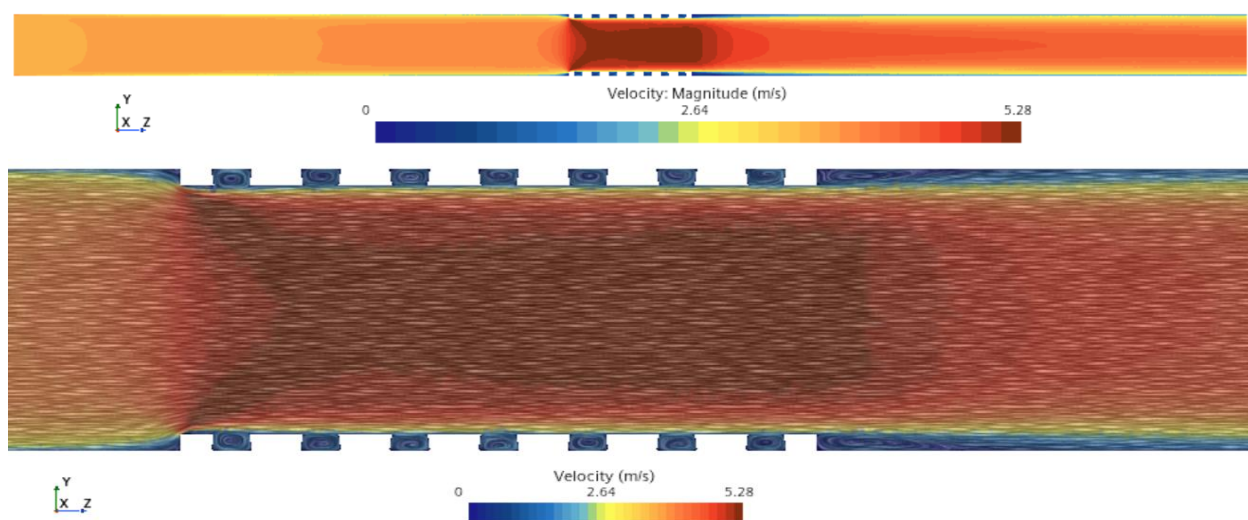


Рисунок 2.17 – Поля скорости в трубе с решеткой длиной 100 мм

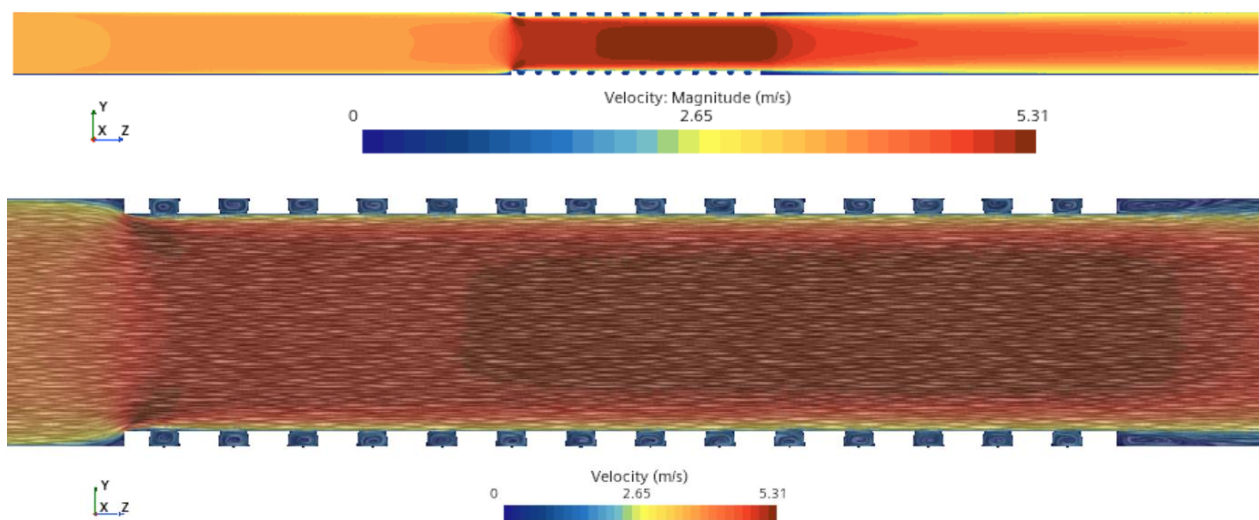


Рисунок 2.18 – Поля скорости в трубе с решеткой длиной 200 мм

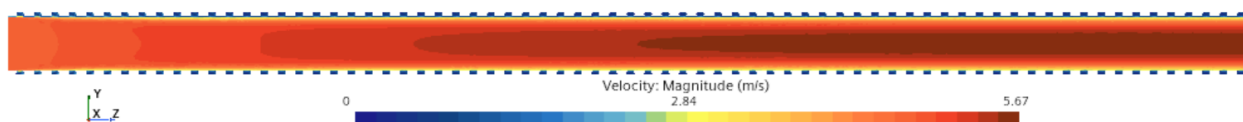


Рисунок 2.19 – Поля скорости в трубе с решеткой длиной 1000 мм

Так как согласно уравнению Бернулли скорость и давление взаимосвязаны, то с ростом скорости в измельчителе наблюдается падение давления (рис. 2.20, 2.21 и 2.22). В случае с решеткой длиной 100 мм из-за невыравненности потока наблюдается чередование зон высокого и низкого давления (рис. 2.20). При длине 200 мм и более поток более выровненный и изменение давления плавное (рис. 2.21 и 2.22). В целом перепад давления незначителен и не превышает 0,017 МПа.



Рисунок 2.20 – Поля абсолютного давления в трубе с решеткой длиной 100 мм



Рисунок 2.21 – Поля абсолютного давления в трубе с решеткой длиной 200 мм



Рисунок 2.22 – Поля абсолютного давления в трубе с решеткой длиной 1000 мм

Анализ поперечного сечения трубчатого измельчителя показывает, что в местах отверстий существует местное понижение давления, идет образование разрывов сплошности потока (рис. 2.23). Это приводит к возникновению эффекта кавитации, который позволяет ускорить разрушение зерна при приготовлении патоки.

Проведенное моделирование движения жидкости показало, что дезинтегратор с максимальным диаметром 50 мм обладает меньшими сопротивлениями, в нем наблюдаются меньшие потери мощности и давления. Причем длина решетки дезинтегратора оказывает незначительное влияние, но при этом с увеличением длины растет количество отверстий с зоной турбулентности и разрывом потока, повышающих шанс попадания в них зерна и его дополнительного разрушения.

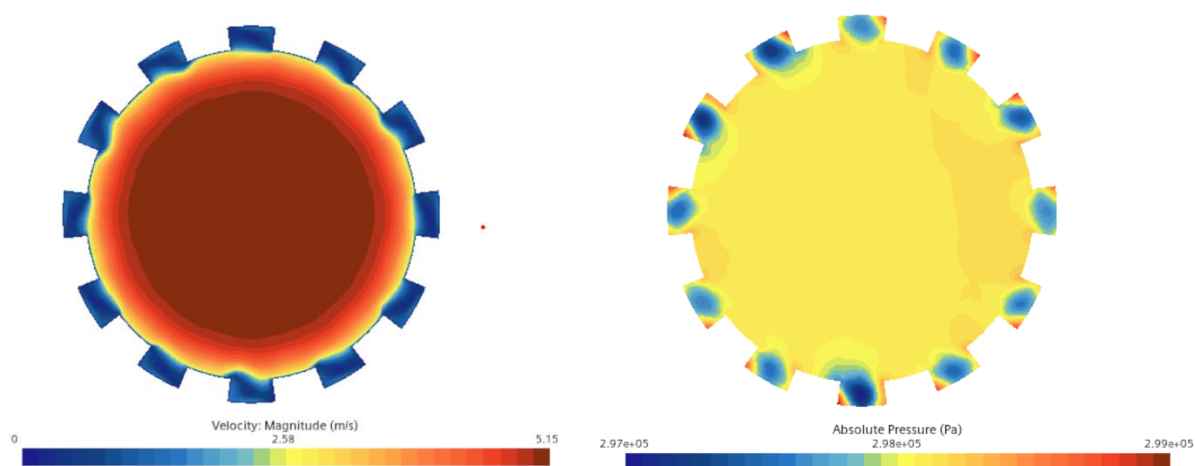


Рисунок 2.23 – Поперечное сечение трубчатого измельчителя с: а – полем скоростей; б – полем абсолютного давления

На основании проведенного моделирования можно рекомендовать выполнение трубчатого дезинтегратора с диаметром 50 мм (по внутренней плоскости) и максимально возможной длиной решетки. Предлагаемые решения позволят ускорить процесс разрушения зерна при приготовлении патоки с минимальным снижением рабочих показателей [16].

Далее провели моделирование в Star-CCM+ [43] обтекание потоком воды участка установки с двумя дезинтеграторами длиной в 1000 и 700 мм. Трубы имеют диаметры $D=50$ мм, длина вертикальной трубы $l=1$ м, горизонтальных 0,7 м и 0,65 м. Расстояние между центрами отверстий решетки 10 мм, по углу - 36° , диаметры 4, 6, 8 мм, толщина решетки 1,5 мм. Массовый расход брался $G=8,1$ кг/с, давление на выходе задавалось равным 1 атмосфере (на графиках показано избыточное давление), использовалась k-w sst модель турбулентности. ($Re=2,6 \cdot 10^5$).

Расчеты выполнялись по формулам 2.22-2.27, приведенным ранее [73].

Результаты расчетов приведены в таблице 2.3, а визуализация – на рисунках 2.24–2.31.

Таблица 2.3 – Сравнение измельчителя с различными решётками

	Без решетки	Решетка-(6) - 44 - 1000 мм	Решетка-(4)- 44 -1000 и 700 мм	Решетка-(6)- 44 -1000 и 700 мм	Решетка-(8)- 44 -1000 и 700 мм
Относит. перепад давления, %	34	7	44	44	26
Перепад давления, атм	1,6	0,1	0,8	0,8	1,06
Сопротивление ξ	10,8	0,5	5,5	5,5	7,0
Мощность потерь W , кВт	0,58	0,06	0,28	0,28	0,36

Анализ полей скорости потока на участках с поворотом на 90 градусов показывает, что в зоне поворота происходит возрастание скорости (рисунки 2.24, 2.25 и 2.26).

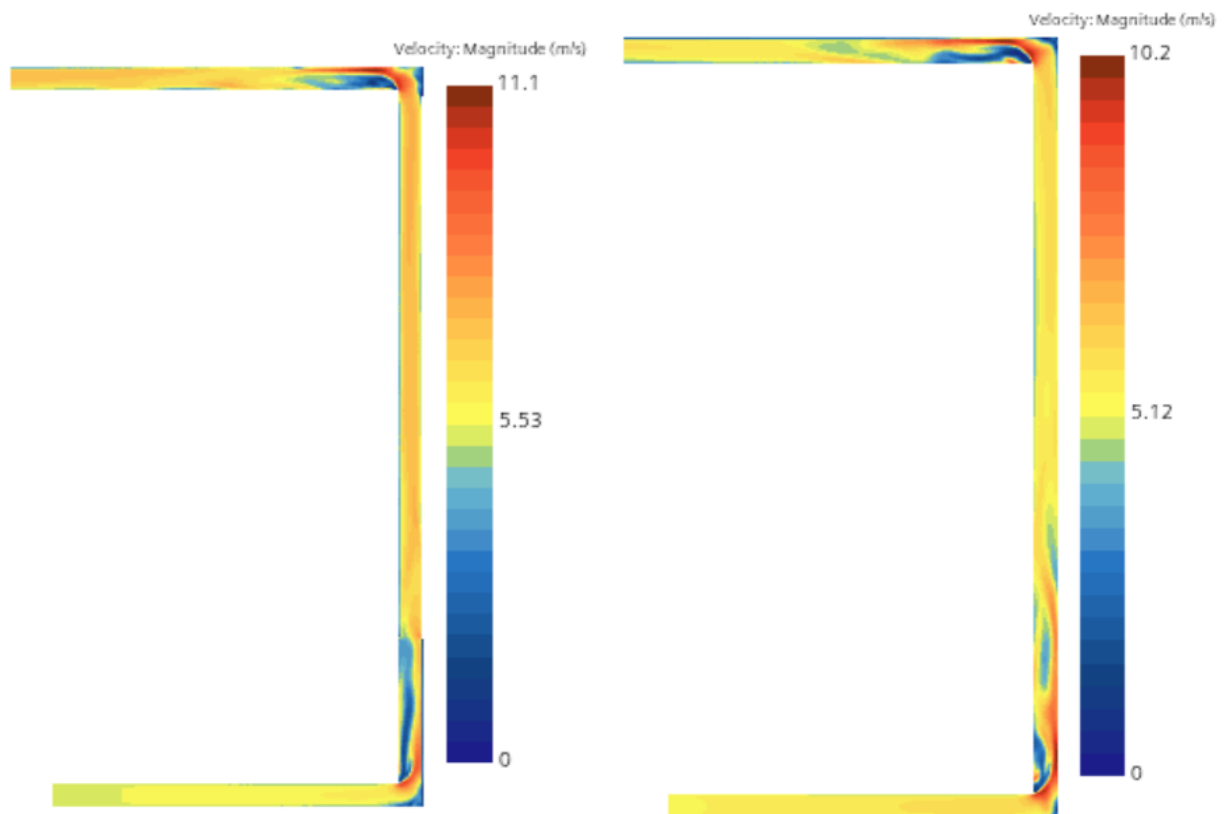
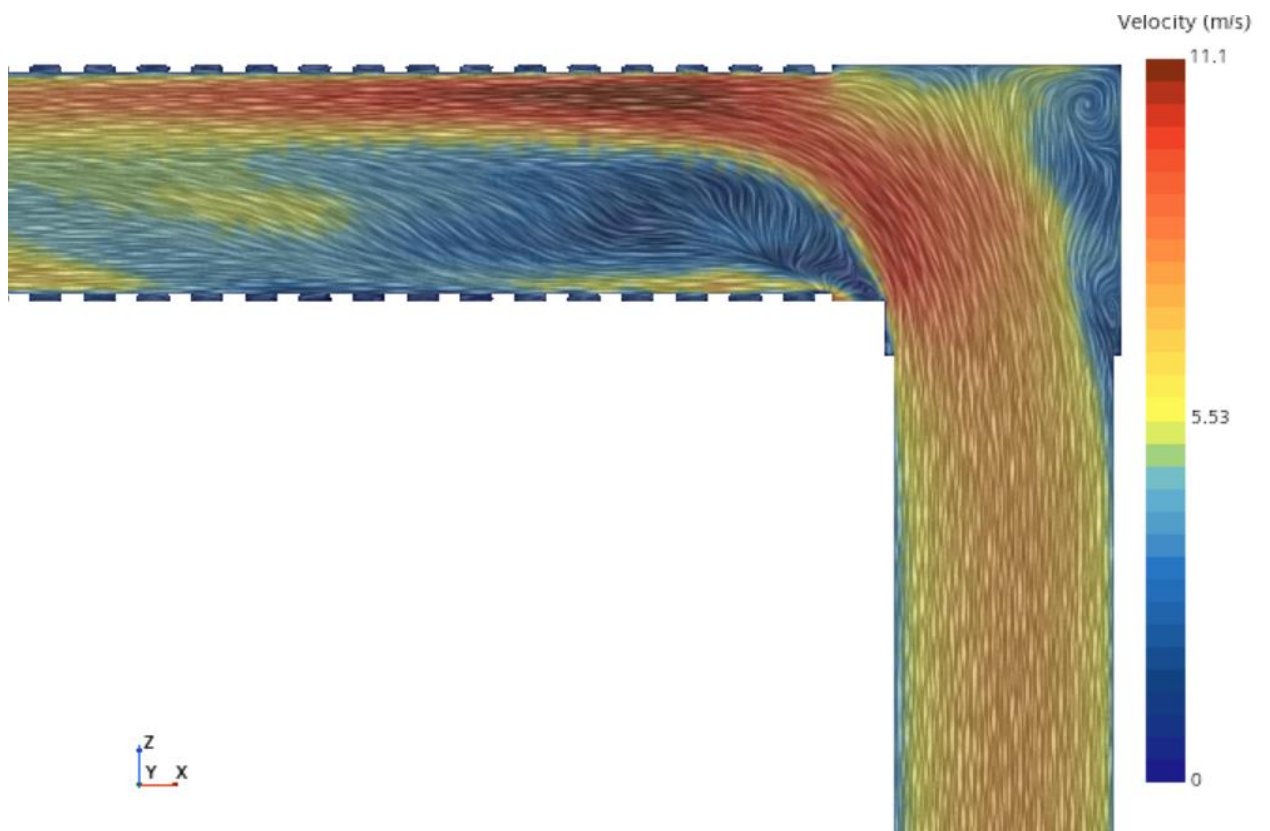


Рисунок 2.24 – Поля скорости в трубе с отверстиями 6 мм и без



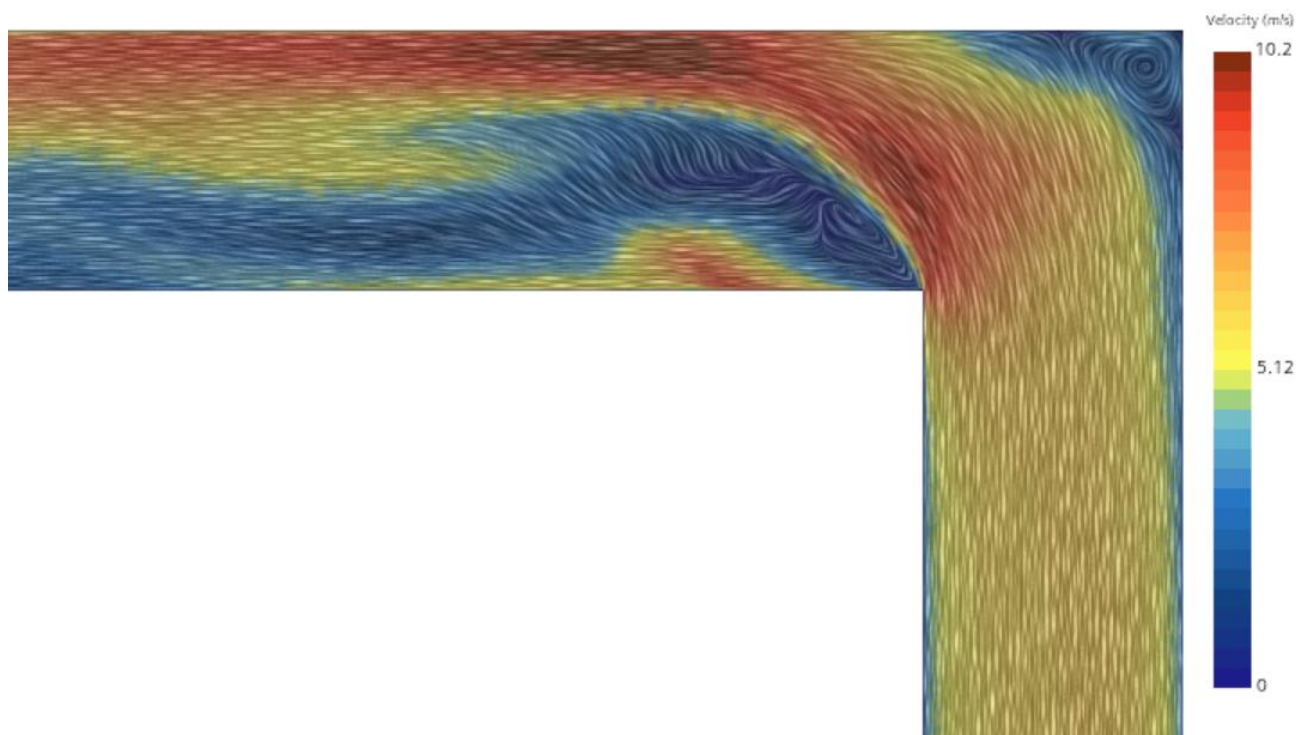
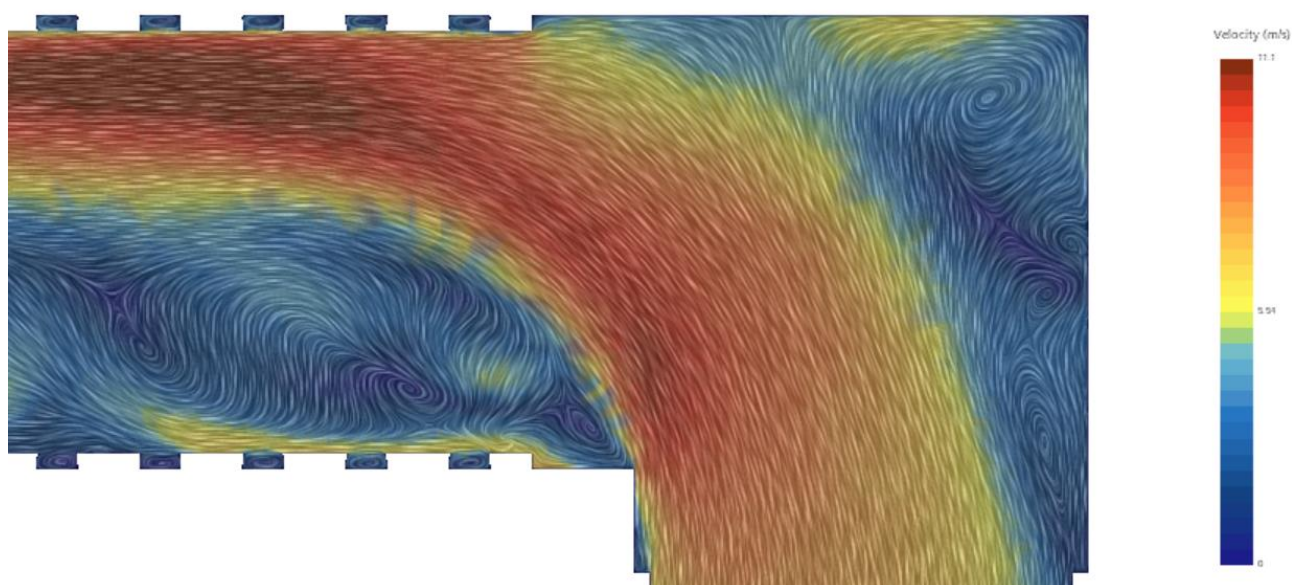


Рисунок 2.25 – Поля скорости в трубе с отверстиями 6 мм и без



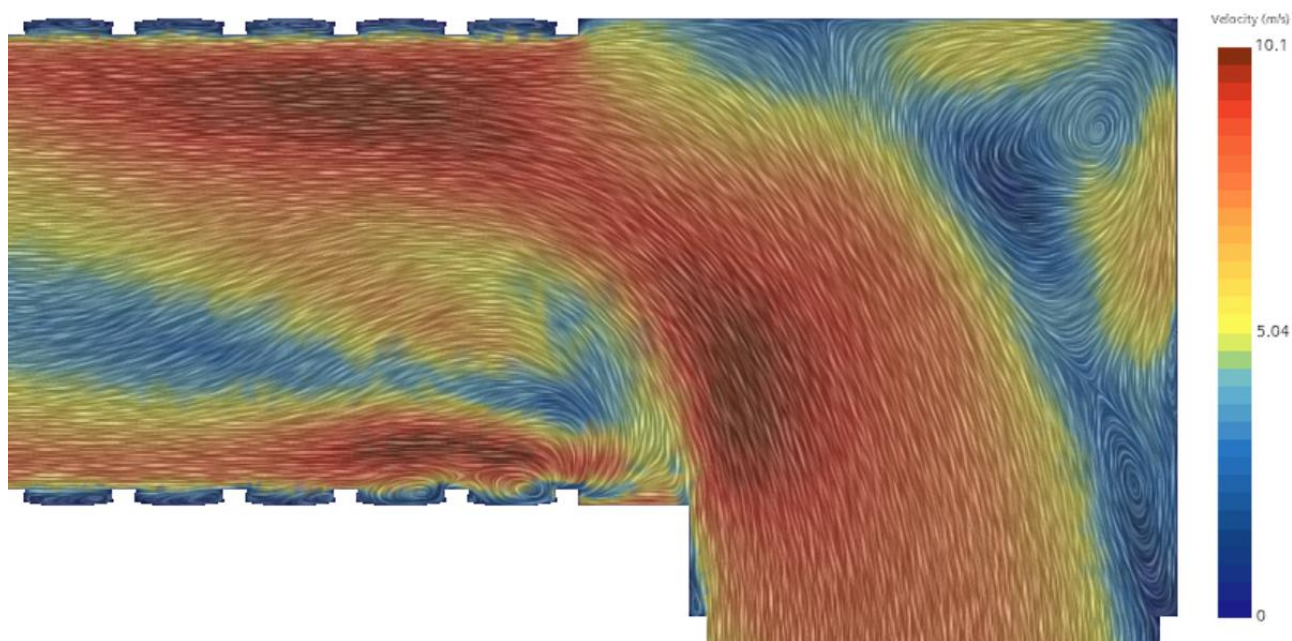


Рисунок 2.26 – Поля скорости в трубе с отверстиями 4 мм и 8 мм

При движении потока до поворота его скорость составляет около 3,5 м/с. В зоне решетки значение возрастает до 5,2...5,7 м/с в зависимости от диаметра отверстий в решетке. Чем больше диаметр отверстий в решетке, тем ниже скорость. Это связано с тем, что с увеличением диаметра отверстий решетки скорость в пристеночной области снижается сильнее из-за турбулентности потока в отверстиях решетки. Одновременно с этим происходит сужение струи, что вызывает увеличение скорости в ее центральной части [16].

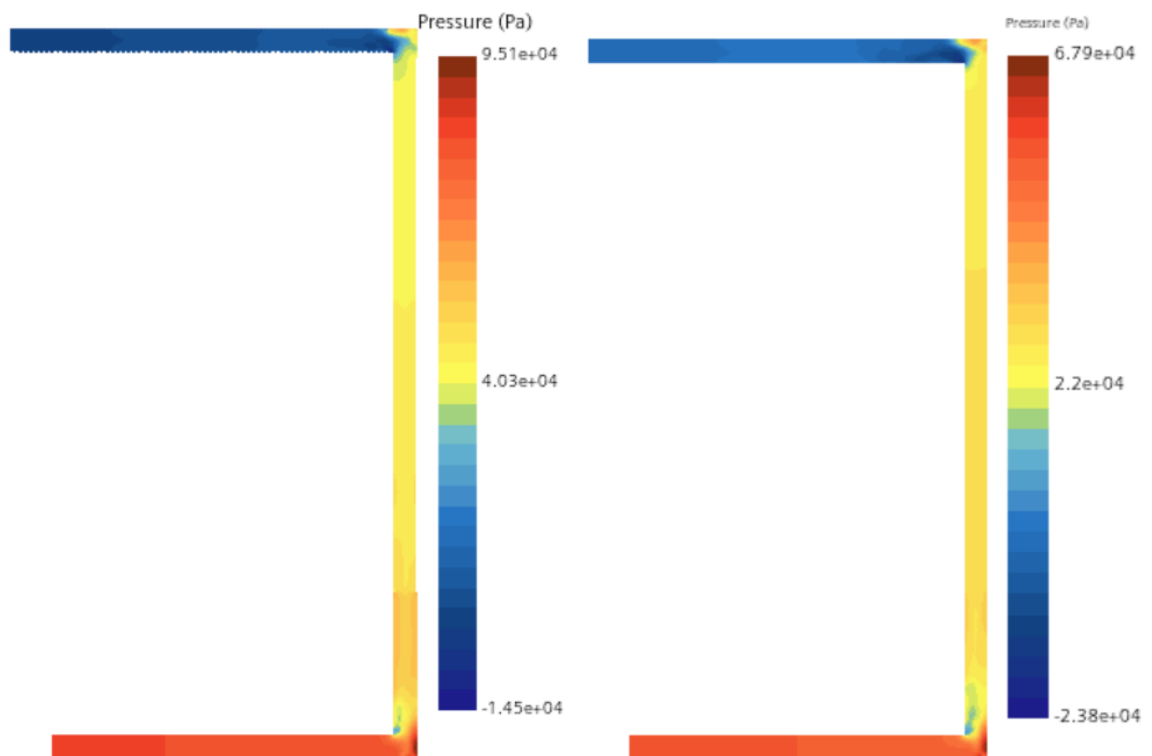


Рисунок 2.27 – Поля давления в трубе с отверстиями 6 мм и без

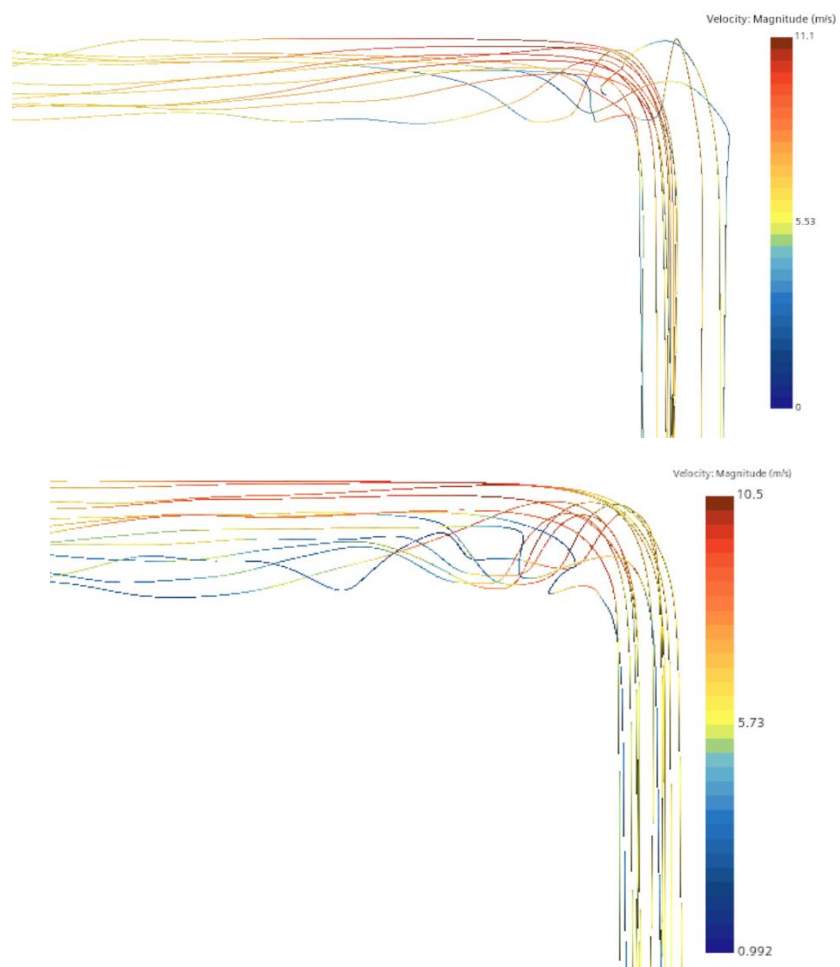


Рисунок 2.28 – Линии тока в трубе с отверстиями 6 мм и без

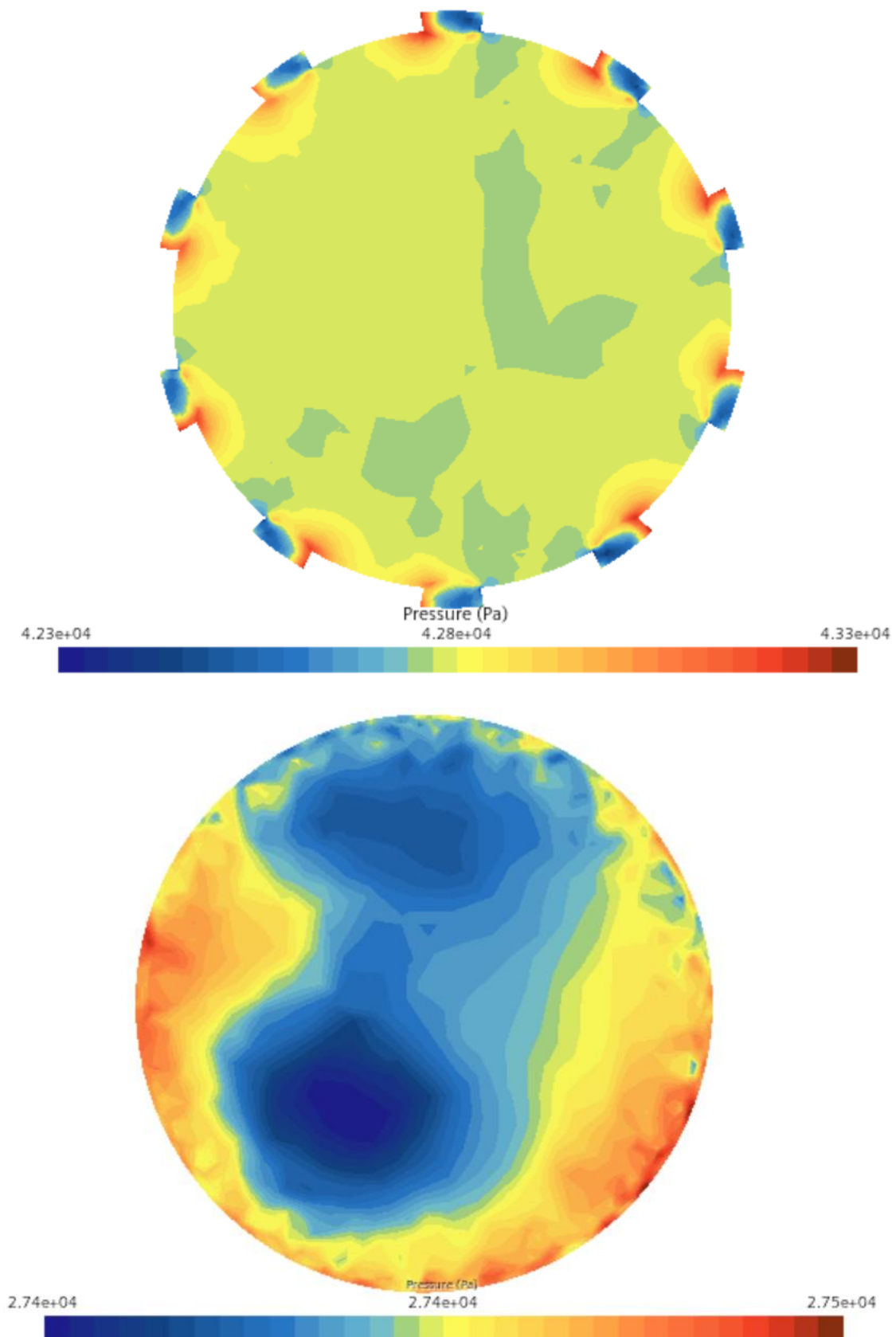


Рисунок 2.29 – Поля давления в сечении вертикальной трубы (посередине зоны с отверстиями) с отверстиями 6 мм и без

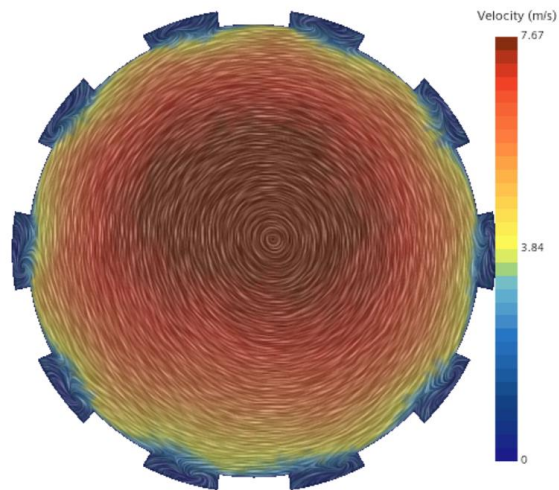


Рисунок 2.30 – Поля скорости в сечении вертикальной трубы (посередине зоны с отверстиями) с отверстиями 6 мм

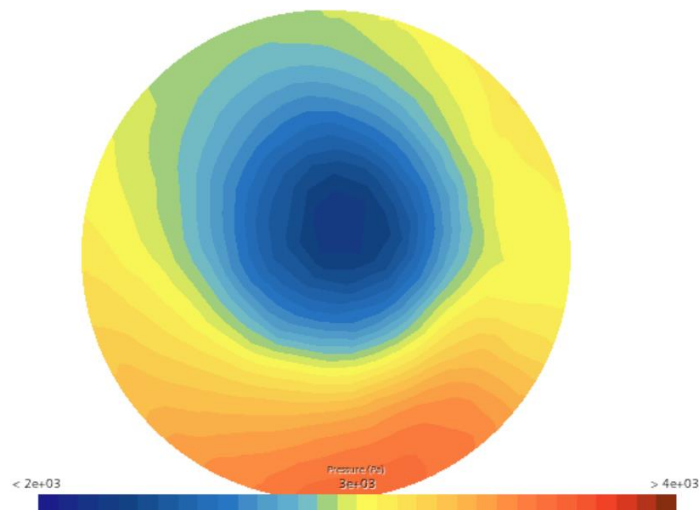
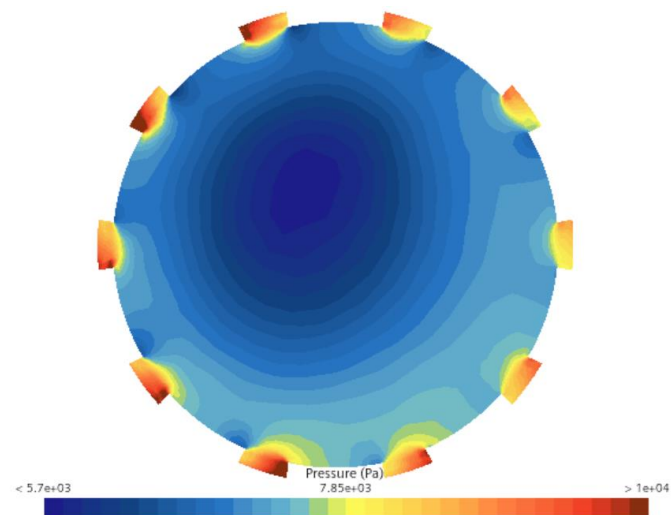


Рисунок 2.31 – Поля давления в сечении горизонтальной трубы (посередине зоны с отверстиями) с отверстиями 6 мм и без

Проведенное моделирование движения жидкости подтвердило, что измельчитель, расположенный по максимальной длине обводного канала с диаметром отверстий 6 мм, незначительно увеличивая нагрузку на электродвигатель насосной установки, не мешая производить перекачку жидкости. Потоки жидкости распределяются по всему диаметру трубы равномерно, что позволяет жидкости с зерном перемешиваться более интенсивно, при этом разрушение зерна происходит более интенсивно.

2.5 Выводы по разделу

На основании проведенного анализа функционально-морфологической схемы и причинно-следственной диаграммы разработан состав установки.

Получены аналитические выражения для расчета тепловых процессов в разработанной установке, по результатам которых выявлено, что для рассмотренной схемы установки нагрев 100 литров воды от 0 до 60 °С занимает 1,3 часа при отсутствии теплообмена с окружающей средой и 1,6 часа – в случае наличия теплообмена. При этом оптимальный диаметр трубы обводного канала составляет 50 мм.

На основании проведенного моделирования определены форма и размеры пассивного измельчителя – трубный измельчитель с внутренним диаметром 50 мм, отверстиями 6 мм с максимально возможной длинной решетки.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

В соответствии с задачами исследования определена программа экспериментальных исследований, включающая оценку по количественным и энергетическим и качественным показателям параметров элементов установки при нагреве воды и в процессе приготовления патоки; экономическую оценку процесса производства зерновой патоки.

3.2 Методика экспериментальных исследований

3.2.1 Приборы и оборудование

Перечень измерительных приборов и регистрирующей аппаратуры приведен в таблице 3.1.

Прибором FLUKE 317 определяли полную мощность, потребляемую электродвигателем установки в процессе нагрева воды и приготовления зерновой патоки (рис. 3.1, а).

Используя точные лабораторные ВК-300.01 и более простые платформенные весы ROMITECH SIBS 500-N осуществлялось взвешивание проб и навесок зерна.

Измерение температуры патоки осуществлялось с помощью датчиков, показания которых выводились на цифровое табло температурного реле-регулятора (рис. 3.1, в). С помощью счётчика СВК 15-3-8 проводили отмери-

вание необходимого количества воды при ее подаче в емкость установки.

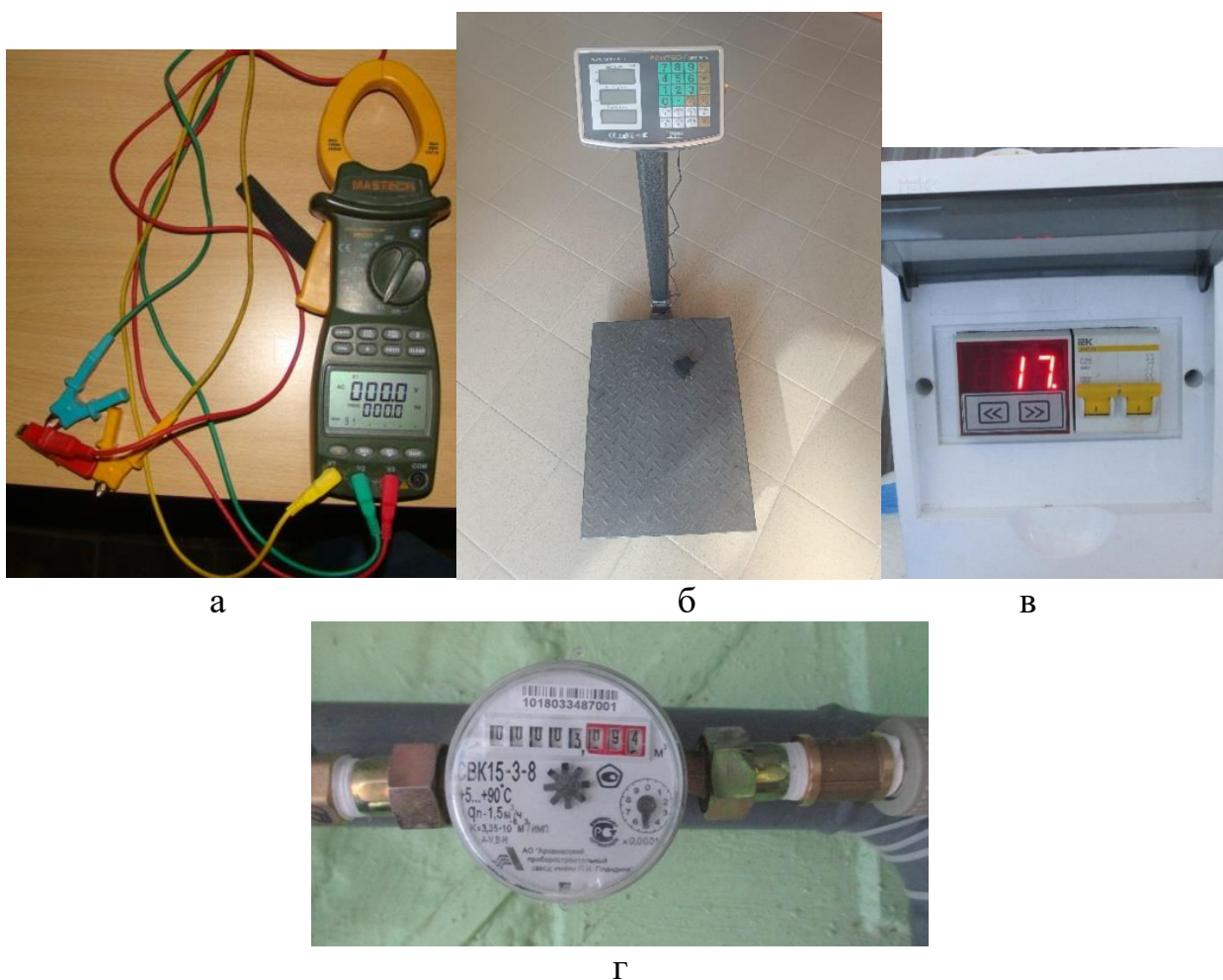


Рисунок 3.1 – Общий вид приборов и оборудования: а – токоизмерительные клещи FLUKE 317; б – платформенные весы ROMITECH SIBS 500-N; в – цифровое табло реле-регулятора температуры; г – счётчик воды СВК 15-3-8

Таблица 3.1 – Приборы и аппаратура, применяемые для экспериментальных исследований

Наименование	Марка	Назначение
платформенные весы	ROMITECH SIBS 500-N	Определение массы зерна
Счётчик воды	CBK 15-3-8	Определение объема воды
Датчик температуры		Регистрация температуры
Весы лабораторные	BK-300.01	Определение массы проб и остатков на ситах
Токоизмерительные клещи	FLUKE 317	Измерение мощности
Секундомер	Samsung	Регистрация времени опыта
GR с пакетом прикладных программ	Lenovo	Обработка и накопление научной информации

3.2.2 Экспериментальная установка

Общий вид установки для получения патоки из зерна злаковых культур представлен на рис. 3.2, а схема – на рис. 3.3.



Рисунок 3.2 – Установка для приготовления зерновой патоки

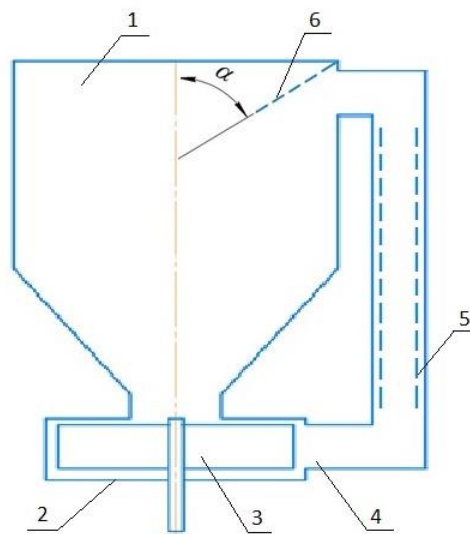


Рисунок 3.3 – Установка для получения патоки из зерна злаковых культур: 1 – накопительная секция; 2 – насосная секция; 3 – крыльчатка насосной секции; 4 – обводной канал, 5 – истирающая поверхность; 6 – решетка; α – угол наклона решетки

Установка для получения патоки из зерна злаковых культур состоит из накопительной секции 1, выполненной в виде вертикально ориентированного цилиндра, сужающегося в нижней части (рисунок 3.3). Под накопительной

секцией 1 соосно ей расположена насосная секция 2, выполненная в виде вертикально ориентированного цилиндра, внутри которого расположена крыльчатка 3. Накопительная и насосная секции сообщаются между собой через сужающуюся часть накопительной секции 1. Также они сообщены между собой как минимум одним обводным каналом 4, соединяющим боковые поверхности накопительной секции 1 и насосной секции 2. При этом сам обводной канал 4 внутри имеет истирающую поверхность 5, а над отверстием обводного канала накопительной секции на внутренней стороне боковой поверхности цилиндра возможна установка решетки (сита) 6 под углом 45 градусов относительно оси секций [56]. На рисунке 3.4 для наглядности представлена фотография трубчатого измельчителя.



Рисунок 2 – Общий вид трубчатого измельчителя

Устройство работает следующим образом: в накопительную секцию 1 подается вода, которая через нижнюю сужающуюся часть накопительной секции 1 поступает в насосную секцию 2, заполняя ее полностью, и в обводной канал 4, заполняя его частично. При включении насоса насосной секции 2 под действием крыльчатки 3 вода движется из накопительной секции 1 через ее нижнюю сужающуюся часть в обводной канал 4 и далее, ударяясь о решетку 6, вновь поступает в накопительную секцию 1. За счет трения слоев воды о поверхности крыльчатки 3 происходит нагрев воды. Также дополнительный нагрев воды происходит в обводном канале 4 за счет возникновения явления турбулентности, спровоцированного истирающей поверхностью 5,

расположенной внутри обводного канала 4, и дополнительного трения воды о решетку 6. Тем самым процесс нагрева воды ускоряется, а удельные энергозатраты на его осуществление снижаются по сравнению с аналогами. При достижении необходимой температуры воды в накопительную емкость 1 добавляют целое зерно и ферменты. Под действием крыльчатки 3 насосной секции 2 зерно водно-зерновой смеси частично разрушается. Наиболее интенсивное разрушение зерна происходит в обводном канале 4, когда оно попадает на истирающую поверхность 5. Дополнительное разрушение зерновок осуществляется при их соударении с решеткой 6, расположенной над отверстием обводного канала накопительной секции на внутренней стороне боковой поверхности цилиндра. Угол установки решетки относительно оси секций составляет 45 градусов, что обеспечивает наименьшее энергопотребление в процессе приготовления зерновой патоки [94]. Таким образом, процесс разрушения зерна ускоряется. Вследствие этого количество проходов водно-зерновой смеси через насос уменьшается, что ведет к увеличению ресурса крыльчатки и снижению затрат электроэнергии на приготовление зерновой патоки.

На первом этапе экспериментальных исследований проводилось подтверждение теоретических расчетов по нагреву воды с различными внутренними диаметрами обводного канала (32 мм, 50 мм или 65 мм). В накопительную секцию заливали 100 л воды, включали насос. По регулятору температуры фиксировали изменение температуры воды, и через каждый градус фиксировали потребляемую мощность. После опыта рассчитывали удельные энергозатраты на нагрев 1 л воды на 1 градус. При проведении экспериментов фиксировали в таблицу время нагрева до необходимой температуры датчиком TST81 и потребляемую электроэнергию клещами токоизмерительными FLUKE 317. Выбор наиболее рациональной конструкции проводили по критериям скорости нагрева и удельным энергозатратам [14].

На втором этапе экспериментальных исследований проходило

приготовление патоки в следующей последовательности. В накопительную емкость заливали 50 литров воды, включали насос и ждали, пока вода под действием лопаток насоса не нагреется до 40 градусов. Засыпали 25 кг зерна (ячменя, ржи либо пшеницы в зависимости от поставленных задач), добавляли ферменты МЭК. Через каждые 7,5 минут проводили фиксацию потребляемой мощности и отбор проб патоки до момента, пока смесь не нагревалась до 60 градусов. После этого установку выключали и проводили отбор финальной партии патоки. Далее установку промывали и проводили следующий опыт.

Оценку нагрева воды на установке с пассивным измельчителем осуществляли в 3 вариантах:

- 1) Исключительно насосом с утеплителем без измельчителя;
- 2) С измельчителем с диаметром отверстий 4 мм, 6 мм или 8 мм;
- 3) С измельчителем и дополнительной к истирающей решеткой в накопительной секции на выходе из обводного канала (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Дополнительная решетка пассивного измельчителя (решето)

Исследовали влияние на процесс нагрева воды в разработанной установке диаметров отверстий в истирающей поверхности. Устанавливали максимально и минимально возможные перфорированные трубы с диаметрами отверстий 4, 6 или 8 мм.

Угол установки пассивного измельчителя составлял 30 градусов. Данное значение было принято по результатам предыдущих исследований [94].

3.2.3 Методика определения качества зерновой патоки

Для определения эффективности работы предлагаемой установки в условиях научной лаборатории разработана методика, позволяющая оценить влияние конструкционных и режимных параметров на рабочий процесс приготовления зерновой патоки.

В ходе исследования рассмотрено влияние следующих факторов:

1. Вида исходного сырья (пшеница, рожь, ячмень);
2. Нагрева воды в установке в зависимости от применяемых диаметров труб обводного канала (32 мм, 50 мм или 63 мм).
3. Вида пассивного измельчителя в обводном канале установки (перфорированная труба 4, 6 или 8 мм);
4. Наличия или отсутствия дополнительного измельчителя в накопительной секции (решетка);
5. Времени протекания процесса приготовления или количество циклов.

При различных комбинациях данных факторов и фиксированном объёме 75 литров готового продукта на выходе определение качественных показателей зерновой патоки заключалось в следующем. В предварительно нагретую до температуры 40 °С воду объёмом 50 литров засыпали зерно массой 25 кг и добавляли 80 г фермента. С данного момента начинался отсчёт времени процесса ферментации. Каждые 7,5 мин, пока рабочая масса в ёмкости не нагреется до 60 градусов, из накопительного бака мерным стаканом объёмом 1 литр бралась проба. Одновременно с забором проб регистрировали потребляемую мощность, используя токоизмерительные клещи.

Пробу выливали на сито с отверстиями диаметром 0,5 мм и интенсивно перемешивали кисточкой, чтобы удалить лишнюю воду. Получившуюся массу засыпали в полиэтиленовый пакет, который маркировали (см. рис. 3.5). Всего получалось от трёх до пяти таких пакетов, прежде чем рабочая масса достигала 60 градусов.



Рисунок 3.5 – Пакеты с пробами зерновой патоки

После этого выключали насос и давали зерновой патоке в течение часа полностью приготовиться.

Для выполнения исследования по определению целых зерен в зерновой патоке отбирали навеску по 100 г из каждого пакета и просеивали через сито. Пробы с зерновой патокой представляют собой кашеобразную консистенцию, поэтому её аккуратно промывали, чтобы не исказить результаты. Исследованиям подвергались отдельные зерна, поэтому после промывки считали целые зёрна. Эти показатели регистрировали.

По полученным данным строили гистограммы распределения частиц, характеризующие качество патоки, и делали вывод о качестве продукта и его пригодности для кормления сельскохозяйственных животных [78].

3.2.4 Методика определения удельных энергозатрат

Для оценки качества работы установки используют два показателя удельных энергозатрат: удельные энергозатраты, отнесенные к единице объёма воды и градусу Цельсия (3.1), а также удельные энергозатраты, отнесенные к единице объёма рабочей смеси (3.2). Первый показатель служит для определения эффективности нагрева воды, второй – частично определяет совершенство разработанной установки.

При определении средней потребляемой мощности применялись токоизмерительные клещи FLUKE 317. Процесс замера осуществлялся через равные промежутки времени при нагреве воды 5 мин, рабочей смеси – 7,5 мин.

$$q_w = \frac{P \cdot \tau}{V_w \cdot \Delta T}; \quad (3.1)$$

$$q_v = \frac{P \cdot \tau}{V}, \quad (3.2)$$

где P – средняя потребляемая мощность, кВт;

τ – время процесса, с;

V_w, V – объём воды и рабочей смеси соответственно, л.;

ΔT – температура нагрева, °С.

Первый показатель служит для определения эффективности нагрева воды, второй – определяет совершенство разработанной установки.

При определении средней потребляемой мощности применялись токоизмерительные клещи FLUKE 317. Процесс замера осуществлялся через равные промежутки времени при нагреве воды 5 мин, рабочей смеси – 7,5 мин.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ

4.1 Результаты исследований нагрева воды

Анализируя проведенные экспериментальные исследования по нагреву воды в установке по приготовлению зерновой патоки с различными диаметрами обводного канала, можно утверждать, что при использовании обводного канала диаметром 50 мм, вода нагревается быстрее. Нагрев воды происходит быстрее в 1,56 раза (рисунок 4.1). Использование обводного канала диаметром 65 мм разницы относительно диаметра 50 мм, не имеет [74].

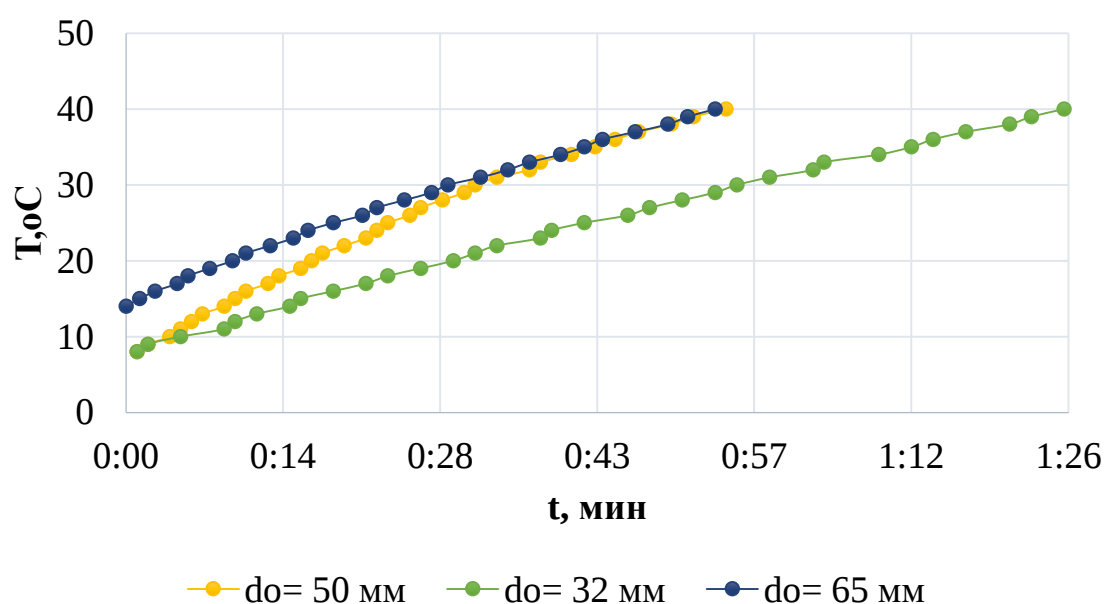


Рисунок 4.1 – График нагрева воды в установке для приготовления патоки без пассивного измельчителя

При рассмотрении результатов исследований видно, что потребляемая мощность электродвигателя пропорционально возрастает, при $d = 32$ мм со-

ставляет 3,9 кВт, при $d = 50$ мм – 6,3 кВт, а при $d = 65$ мм – 7,0 кВт (рисунок 4.2). С точки зрения энергоэффективности лучше использовать вариант исполнения обводного канала с внутренним диаметром 50 мм. В этом случае удельные энергозатраты на 10% ниже, чем при $d = 32$ мм и при $d = 65$ мм (рисунок 4.3).

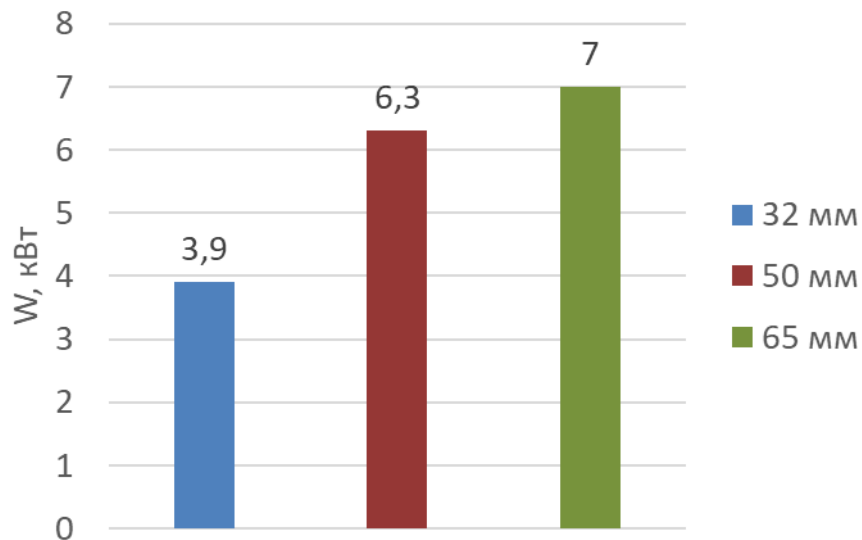


Рисунок 4.2 – Влияние диаметра обводного канала на потребляемую мощность электродвигателя

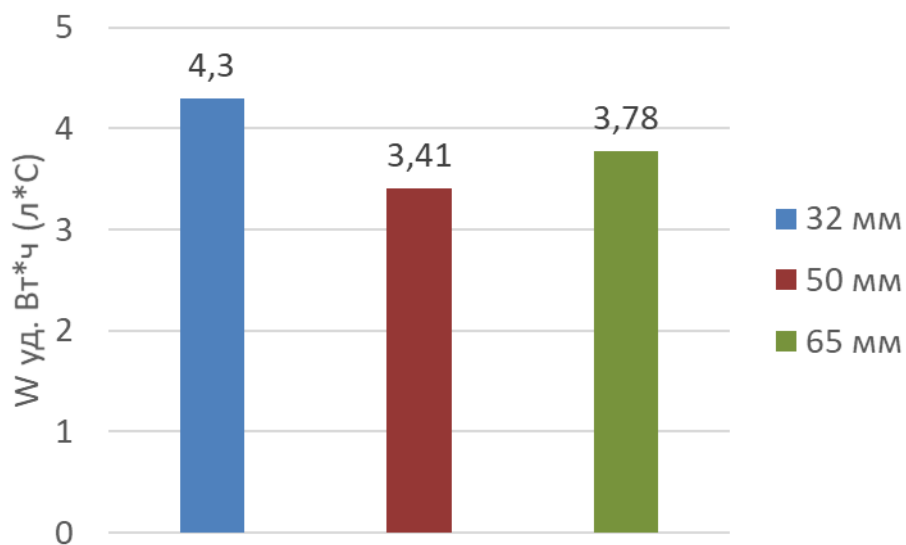


Рисунок 4.3 – Влияние диаметра обводного канала на удельные энергозатраты

Основываясь на предыдущих результатах, было решено создать и исследовать обводной канал с трубчатым измельчителем внутренним диаметром 50 мм. Были изготовлены три версии трубчатого измельчителя с диаметрами отверстий 4, 6 и 8 мм. Элементы цилиндрической решетки измельчителя, которые монтируются в обводной канал установки, представлены на рисунке 4.4

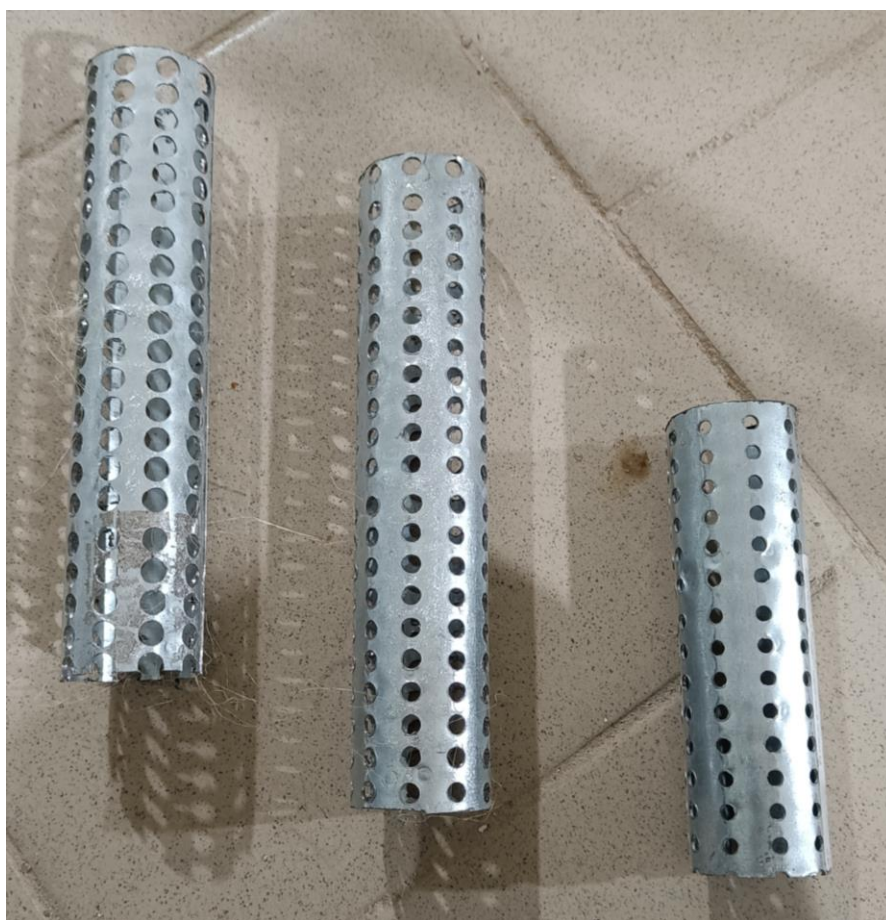


Рисунок 4.4 – Элементы цилиндрической решетки трубчатого измельчителя с диаметрами отверстий 8, 6 и 4 мм

Анализ данных показал, что увеличение диаметра отверстий с 4 до 6 мм ускорило нагрев: время нагрева 50 литров воды с 12 до 30 °С сократилось с 32 до 26 минут. Однако дальнейшее увеличение диаметра отверстий до 8 мм привело к незначительному увеличению времени нагрева из-за резкого

роста турбулентности и увеличения сопротивления трубчатого измельчителя (см. рисунок 4.5).

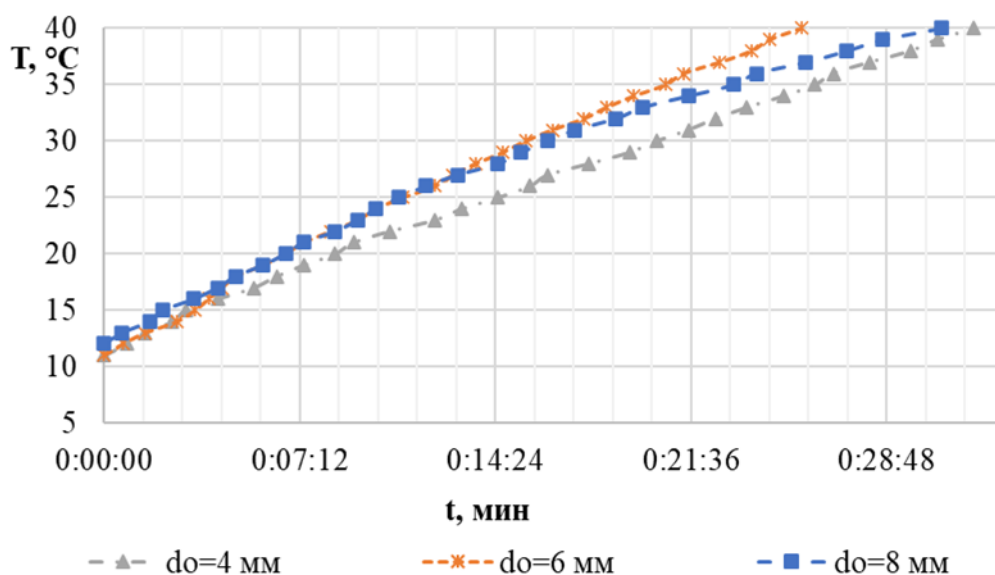


Рисунок 4.5 – Влияние диаметра отверстий пассивного измельчителя на нагрев воды в установке для приготовления патоки

Увеличение диаметра отверстий измельчителя также влияет на энергопотребление установки. При работе установки для нагрева воды с помощью трубчатого измельчителя с диаметром отверстий 6 мм, мощность, потребляемая электродвигателем, увеличивается с 4,9 до 6,8 кВт. Если же увеличить диаметр отверстий до 8 мм, то мощность возрастёт незначительно и составит 7 кВт (рисунок 4.6). Таким образом, можно сделать вывод, что удельные энергозатраты растут с увеличением диаметра отверстий трубчатого измельчителя (рисунок 4.7).

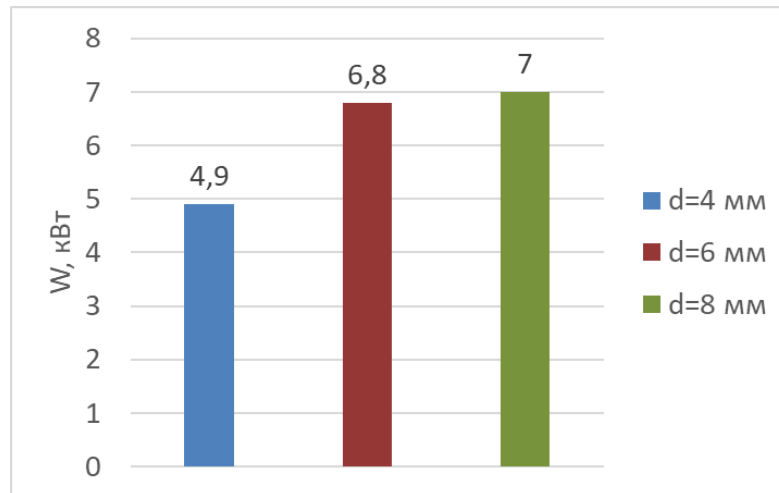


Рисунок 4.6 – Влияние диаметра отверстий трубчатого измельчителя на потребляемую мощность электродвигателя при нагреве воды

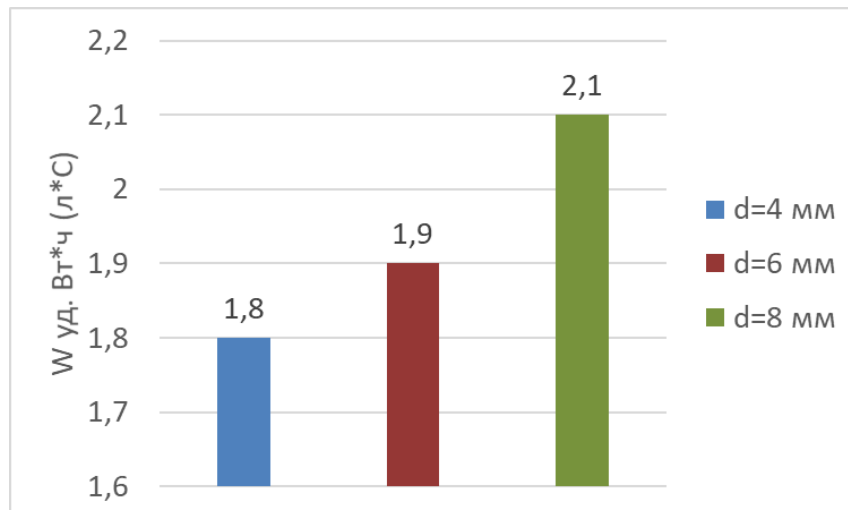


Рисунок 4.7 – Влияние диаметра отверстий трубчатого измельчителя на удельные энергозатраты при нагреве воды

Анализируя нагрев воды по совокупности двух параметров – времени нагрева и удельным энергозатратам, можно сделать вывод, что оптимальный диаметр отверстий трубчатого измельчителя составляет 6 мм.

4.2 Оценка работы установки при приготовлении зерновой патоки по энергетическим показателям

При оценке работы установки по энергетическим показателям видно, что потребляемая мощность варьировалась от 3,3 до 5,6 кВт, а её среднее значение составило 4,4 кВт (рисунок 4.8). Учитывая время приготовления патоки, объём патоки, полученный за рассматриваемый период, и мощность электродвигателя, были рассчитаны удельные энергозатраты при производстве патоки из пшеницы без пассивного измельчителя, которые составили 38,8 Вт·ч/л.

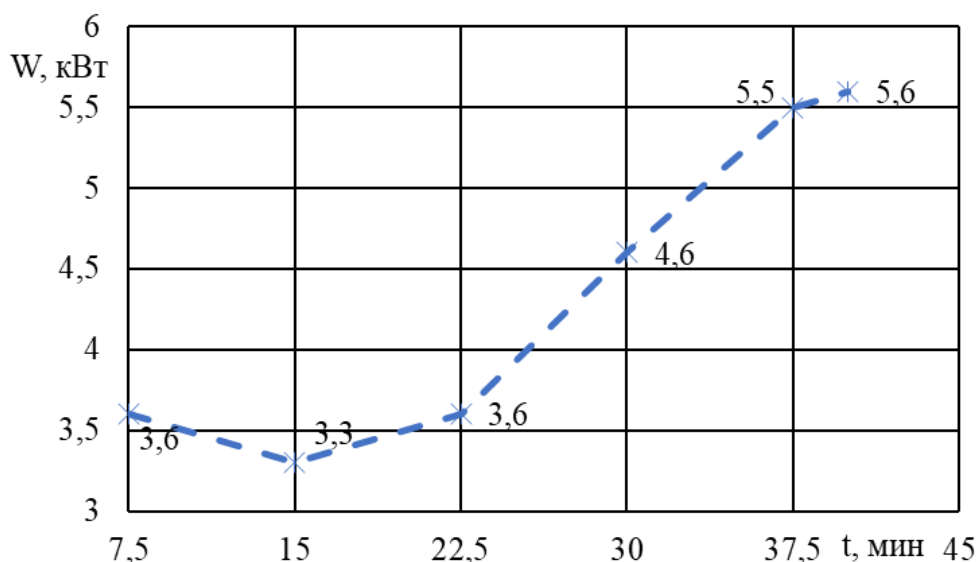


Рисунок 4.8 – Изменение потребляемой мощности при приготовлении патоки из зерна пшеницы без пассивного измельчителя

Энергетическая оценка проводилась через удельные энергозатраты. Результаты энергетической оценки при приготовлении патоки из пшеницы, ржи и ячменя сведены в одном графике (рисунки 4.9 и 4.10) для удобства восприятия и анализа. Сравнение энергетических показателей работы показало, что средняя потребляемая мощность электродвигателя выше при приготовлении патоки из зерна пшеницы, чем из зерна ржи и ячменя. Это объясняется тем, что зерно пшеницы мягче зерна ржи и ячменя и разбивается быстрее. Кроме того, в зерне пше-

ницы содержится больше крахмала, чем в зерне ржи и ячменя, что приводит к более резкому возрастанию вязкости водно-зерновой смеси пшеничной патоки по сравнению с другими. При использовании цилиндрической решётки с отверстиями диаметром 4 и 6 мм разница в потребляемой мощности составила 8,7–8,9 %. В случае приготовления патоки с применением решётки, диаметр отверстий которой составлял 8 мм, разница в значениях потребляемой мощности выросла с 4,7 до 5,9 кВт и составила 19,7 % (рисунок 4.9). Такой резкий рост разницы в потребляемой мощности объясняется благоприятными условиями разрушения зерновок. Общая тенденция изменения полной потребляемой мощности при увеличении диаметра отверстий решёток с 4 до 8 мм описывается параболой. Такая закономерность может быть объяснена комплексным влиянием двух факторов. С одной стороны в процессе приготовления патоки происходит разрушение зерна, что влечет рост вязкости и, как следствие, приводит к росту потребляемой мощности. С другой стороны, одновременно с этим возрастает температура водно-зерновой смеси, что приводит к снижению ее плотности и потребляемой мощности [20]. Поскольку нагрев смеси и разрушение зерна происходят быстрее при использовании в измельчителе решётки с отверстиями большего диаметра, на графике наблюдается перегиб, который особенно ярко выражен при измельчении пшеницы. Из-за низкого содержания крахмала в ячмене перегиб в этом случае менее заметен (рисунок 4.9) Рожь по своим физическим принципам (твёрдость зерновки) идет примерно посередине, что и видно на приведенных графиках.

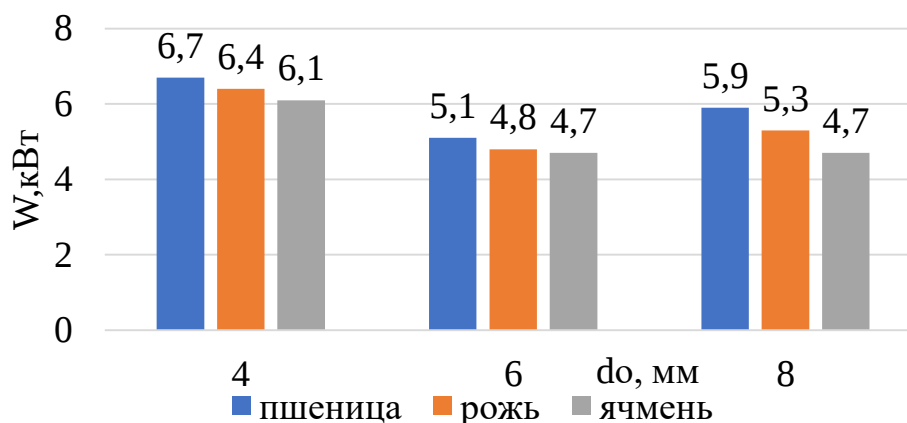


Рисунок 4.9 – Влияние диаметра отверстий цилиндрической решетки пассивного измельчителя на полную потребляемую мощность электродвигателя

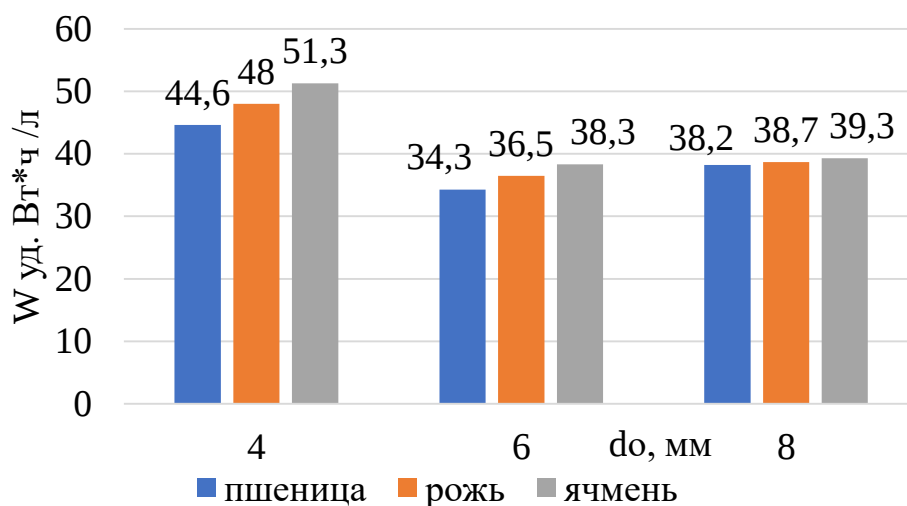


Рисунок 4.10 – Влияние диаметра отверстий цилиндрической решетки пассивного измельчителя на удельные энергозатраты процесса приготовления патоки

Более объективным показателем являются удельные энергозатраты. В целом картина аналогична полной потребляемой мощности с той разницей, что удельные энергозатраты меньше при приготовлении патоки из зерна пшеницы, чем из зерна ржи и ячменя. Это объясняется тем, что процесс производства патоки из ржи и ячменя более длителен (в среднем на 5 мин – рожь и 7 мин – ячмень).

4.3 Оценка работы установки по качественным показателям зерновой патоки

Результаты исследования показаны на графиках (рисунок 4.11–4.14). На первом этапе изучили работу установки без пассивного измельчителя. Зерновую патоку приготовили из пшеницы «Московская 39». Выявлено, что через 22,5 минуты после начала процесса в патоке всё ещё оставались целые зёрна. Через 30 минут целых зёрен в патоке не было совсем. Процесс измельчения проходил медленно, о чём говорит пологая кривая на графике. Не-

смотря на полное измельчение зёрен, в готовой патоке были обнаружены их крупные частицы. Весь процесс приготовления патоки занял 40 минут.

На втором этапе исследований оценивали, как параметры пассивного измельчителя влияют на работу установки. Было определено, как диаметр отверстий цилиндрической решётки влияет на энергию, затраченную на процесс, на время приготовления и на качество патоки. Эксперименты проводились с использованием зерна пшеницы, ячменя и ржи. Изменение качественных показателей представлено на рисунках 4.12, 4.13 и 4.14. Результаты сравнения с данными, полученными без измельчителя, показали, что измельчитель ускоряет процесс разрушения зерна. На 15-й минуте приготовления патоки из пшеницы с использованием решётки с диаметром отверстий 4 мм в 100 граммах образца оставалось 54 целых зерна, с диаметром 6 мм — 40, а с диаметром 8 мм — всего 4. Через 22,5 минуты приготовления с решёткой 8 мм целых зёрен в образце не осталось. При этом с решётками 6 и 4 мм в образцах оставалось 2 и 4 целых зерна соответственно (рисунки 4.11 и 4.12).

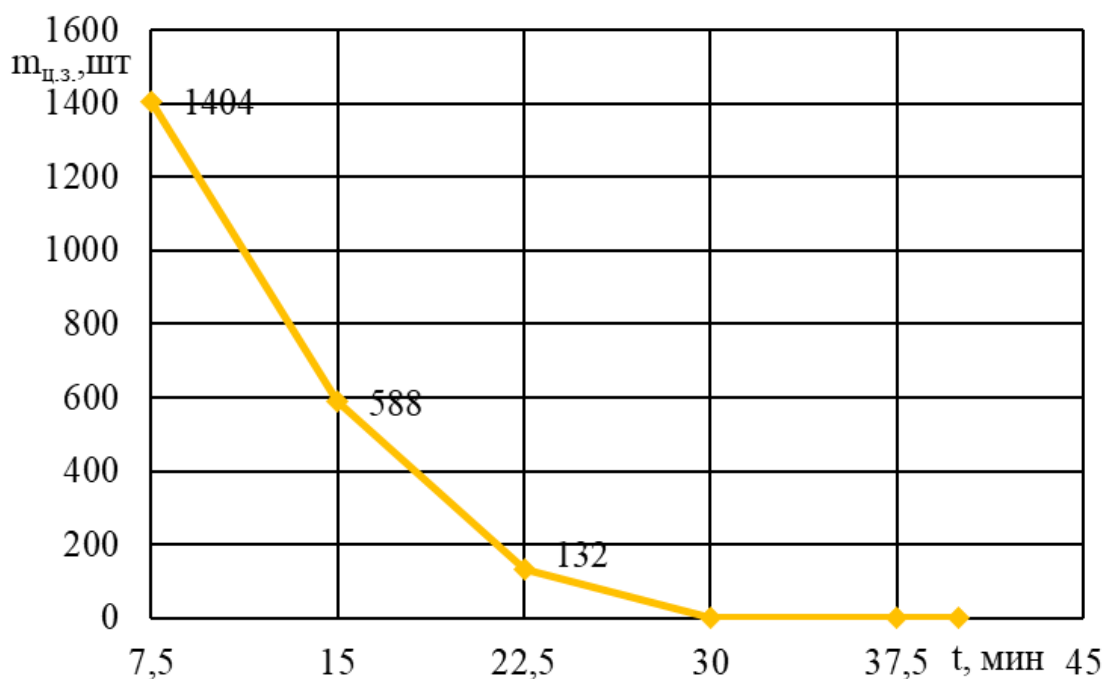


Рисунок 4.11 – Изменение количества целых зерен в водно-зерновой смеси при приготовлении патоки из зерна пшеницы без пассивного измельчителя

После 30 минут процесса целые зёрна полностью отсутствуют вне зависимости от диаметра отверстий цилиндрической решётки (рисунок 4.12). Оценка состава патоки по окончании процесса показывает, что во всех случаях целые зерна отсутствуют, но при использовании цилиндрической решетки с отверстиями диаметром 8 мм патока более однородна, в то время как при меньших значениях диаметра (4 и 6 мм) наблюдаются относительно крупные частицы зерен.

Таким образом, по показателям качества патоки лучше использовать пассивный измельчитель с цилиндрической решёткой, диаметр отверстий которой составляет 8 мм.

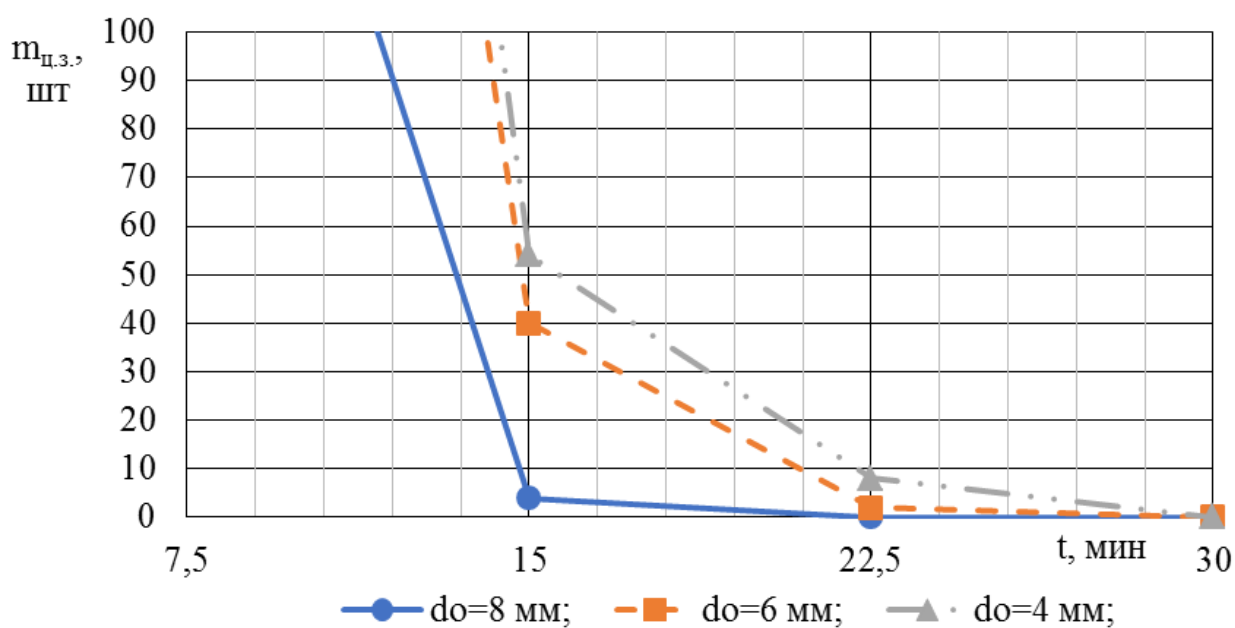


Рисунок 4.12 – Изменение количества целых зерен в водно-зерновой смеси при приготовлении патоки из зерна пшеницы с применением пассивного измельчителя

Анализ кривых, характеризующих изменение количества целых зерен в патоке при ее приготовлении из зерна ячменя с применением пассивного измельчителя, показывает, что в целом разрушение ячменя происходит значительно медленнее, чем пшеницы. Как и в случае приготовления патоки из

пшеницы наихудшие показатели получены при использовании цилиндрической решетки с отверстиями диаметром 4 мм. Даже к концу технологического процесса количество целых зерен в 100 г патоки в данном случае составляло 448 штук. Увеличение диаметра отверстий цилиндрической решетки до 6 мм не дало значимого эффекта: $m_{ц.з.}$ в 100 г готовой патоки составляло 404 шт. Лишь в случае применения в пассивном измельчителе цилиндрической решетки, диаметр отверстий которой равнялся 8 мм, позволило полностью разрушить все зерновки ячменя к концу процесса приготовления патоки. Во всех случаях длительность цикла приготовления ячменной патоки составляла около 37,5 минут, что 7,5 минут дольше, чем в случае приготовления пшеничной патоки (рисунок 4.13).

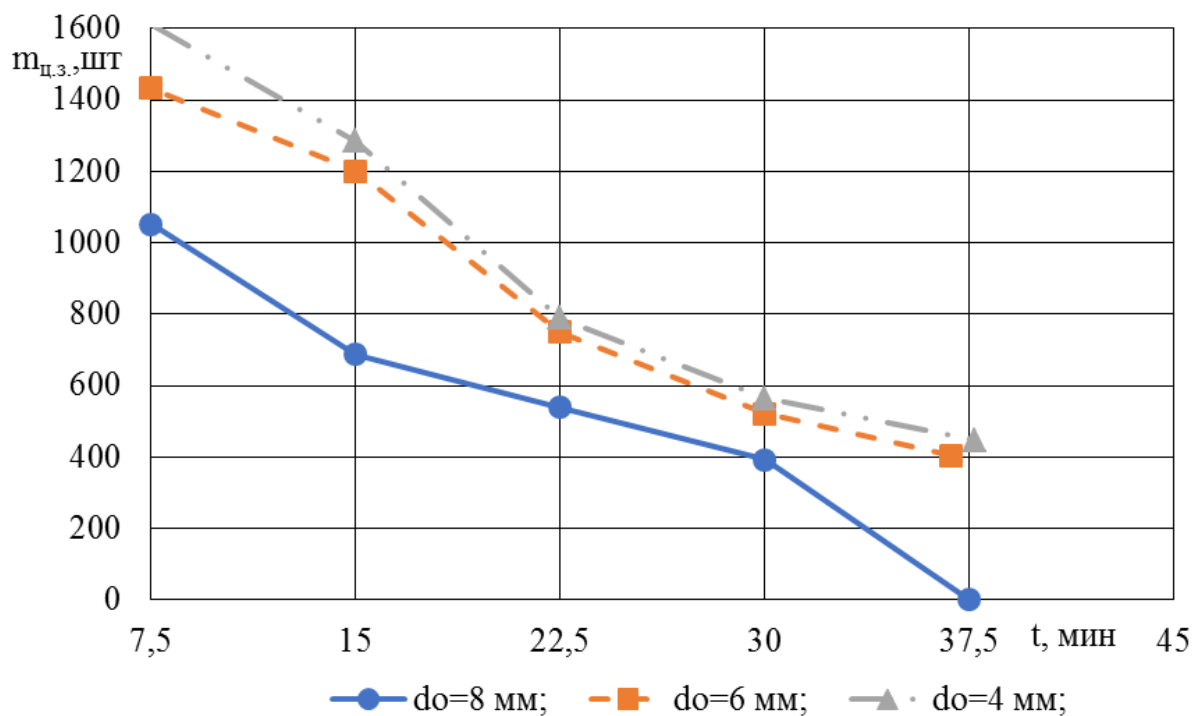


Рисунок 4.13 – Изменение количества целых зерен в водно-зерновой смеси при приготовлении патоки из зерна ячменя с применением трубчатого измельчителя

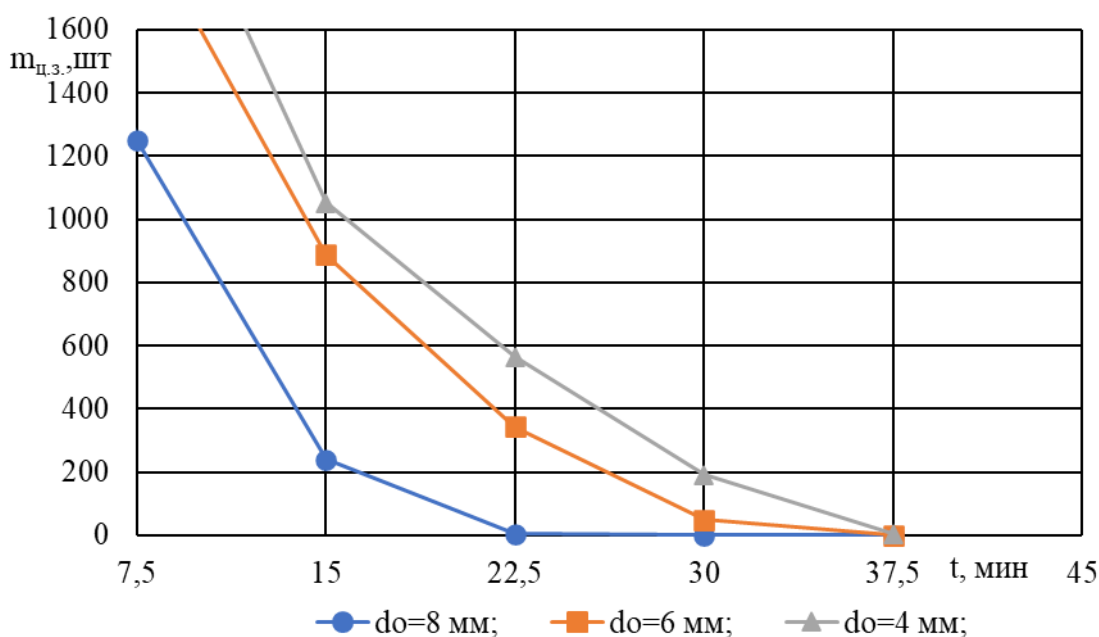


Рисунок 4.14 – Изменение количества целых зерен в водно-зерновой смеси при приготовлении патоки из зерна ржи с применением трубчатого измельчителя

Анализ кривых, характеризующих изменение количества целых зерен в патоке при ее приготовлении из зерна ржи с применением пассивного измельчителя, показывает, что в целом разрушение ржи происходит значительно медленнее, чем пшеницы, но быстрее чем ячменя. Как и в случае приготовления патоки из пшеницы и ячменя наихудшие показатели получены при использовании цилиндрической решетки с отверстиями диаметром 4 мм. Но к концу технологического процесса количество целых зерен в 100 г патоки в данном случае составляло 4 штуки. На диаграмме видно, что увеличение диаметра отверстий цилиндрической решетки до 6 мм значимого эффекта не дало, но к концу технологического процесса целые зерна отсутствовали. Применение же в пассивном измельчителе цилиндрической решетки, диаметр отверстий которой равнялся 8 мм, позволяет полностью с большим запасом разрушить все зерновки ржи к концу процесса приготовления патоки. Во всех случаях длительность цикла приготовления ржаной патоки составляла около 35,5 минут, что на 5,5 минут дольше, чем в случае приготовления

пшеничной патоки, но меньше на 2 минуты по сравнению с ячменной патокой (рисунок 4.14).

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что наилучшими показателями качества обладает патока (как пшеничная, так и ячменная и ржаная), полученная при использовании пассивного измельчителя с цилиндрической решеткой отверстия в которой были диаметром 8 мм. Но по показателю удельной энергоэффективности вариант с решеткой, отверстия в которой были диаметром 6 мм, является предпочтительней. В случае приготовления пшеничной патоки данный показатель на 12,5% ниже, чем при использовании решетки с отверстиями диаметром 8 мм, при приготовлении ячменной патоки – на 2,6%. При приготовлении пшеничной патоки с применением цилиндрической решетки, диаметр отверстий которой составляет 6 мм является оптимальным. В этом случае время процесса приготовления 75 л патоки составляет 30 минут, удельные энергозатраты – 34,3 кВт·ч/л, а средняя потребляемая мощность – 5,1 кВт. Приготовление ячменной патоки рекомендуется осуществлять с применением цилиндрической решетки, диаметр отверстий которой составляет 8 мм. В этом случае время процесса приготовления 75 л патоки составляет 37,5 минут, удельные энергозатраты – 39,3 кВт·ч/л, а средняя потребляемая мощность – 4,7 кВт. Приготовление патоки из зёрен ржи рекомендуется осуществлять с применением цилиндрической решетки, диаметр отверстий которой составляет 6 мм. В этом случае время процесса приготовления 75 л патоки составляет 35,5 минут, удельные энергозатраты – 36,5 кВт·ч/л, а средняя потребляемая мощность – 4,8 кВт. С учетом времени нагрева воды удельные энергозатраты на приготовление ячменной патоки в разработанной установке с трубчатым измельчителем, диаметр отверстий которых составляет 6 мм, составят 98,7 Вт·ч/л, пшеничной – 91,8 Вт·ч/л, ржаной – 96,2 Вт·ч/л.

4.4 Оценка влияния истирающей решетки на показатели работы установки

Как показали результаты исследований, трубчатый измельчитель достаточно эффективно способствует разрушению зерновок. Однако при выполнении цилиндрической решетки с отверстиями 6 мм, обеспечивающей минимальные энергозатраты, зерна ячменя разрушаются не полностью. Поэтому было принято решение установить на выходе из трубчатого измельчителя дополнительную истирающую решетку и оценить ее влияние на процесс приготовления патоки. Согласно ранее проведенным исследованиям оптимальные значения истирающей решетки, при которых наблюдается наилучшее разрушение зерновок с минимальными затратами электроэнергии, составляют: угол установки относительно горизонта 30° , расстояние между решеткой и стенкой накопительной емкости 205 мм [94]. Основываясь на этих данных, была проведена модернизация существующей установки (рисунок 4.15). К верхней крышке емкости установки посредством болтовых соединений была прикреплена истирающая решетка, общий вид которой представлен на рисунке 4.16.

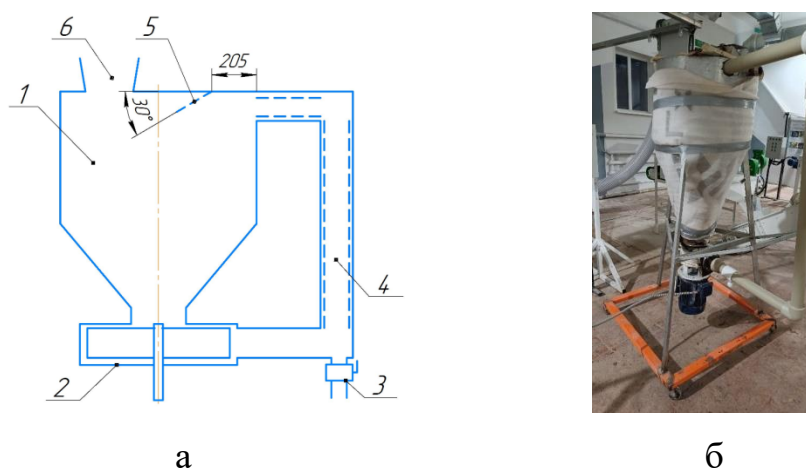


Рисунок 4.15 – Установка для приготовления патоки с трубчатым измельчителем и истирающей решеткой: а – схема; б – общий вид; 1 – накопительная емкость; 2 – насос; 3 – сливной кран; 4 – трубчатый измельчитель; 5 – истирающая решетка; 6 – загрузочная горловина



а



б

Рисунок 4.16 – общий вид истирающей пластины: а – в установленном состоянии; б – в снятом состоянии

Испытания усовершенствованной установки проводили по той же методике, что и с трубчатым измельчителем без дополнительной истирающей решетки.

В результате проведенных исследований выявлено, что при установке дополнительной истирающей решетки удельные энергозатраты снижаются на $2 \text{ Вт} \cdot \text{ч/л}$, что составляет 5,2% относительно варианта без истирающей решетки (рисунок 4.17). Снижение энергозатрат произошло за счет ускорения времени нагрева водно-зерновой смеси, обусловленного ее дополнительным трением о поверхность решетки. Одновременно на фоне дополнительного разрушительного столкновения водно-зерновой смеси с поверхностью истирающей решетки происходит более интенсивное разрушение зерновок. В результате этого уже через 22,5 мин количество целых зерновок в 100 г патоки составляет 20 шт., а к концу процесса ее приготовления целых зерен не наблюдается (рисунок 4.18). В то же время в случае приготовления патоки из ячменя без дополнительной истирающей решетки даже к концу процесса было зафиксировано более 400 целых зерен в 100 г патоки (рисунок 4.18).

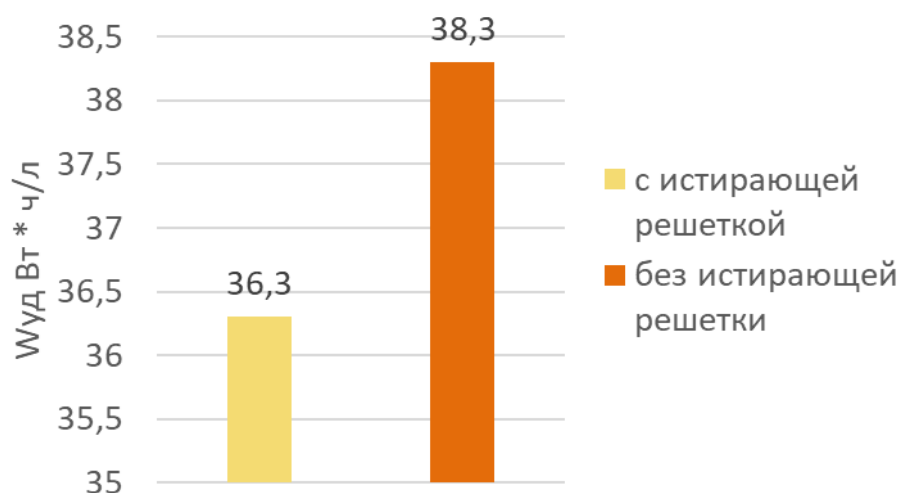


Рисунок 4.17 – Влияние истирающей решетки на удельные энергозатраты процесса приготовления патоки из зерна ячменя

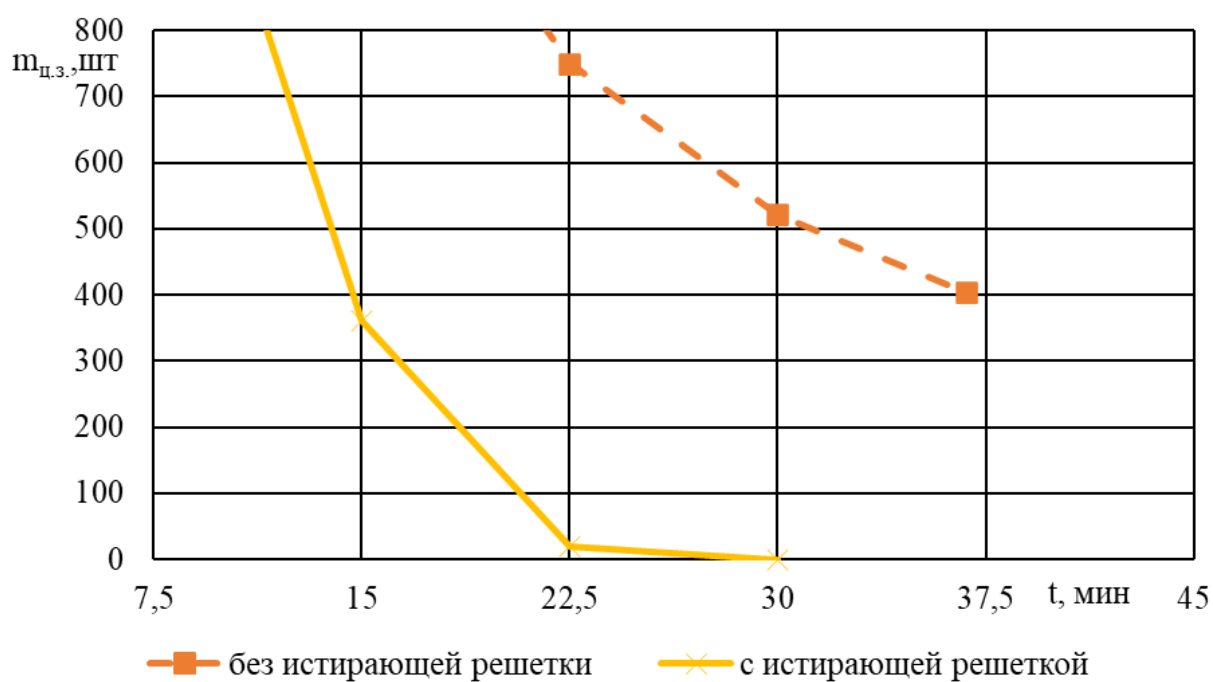


Рисунок 4.18 – Влияние истирающей пластины на количества целых зерен в водно-зерновой смеси при приготовлении патоки из зерна ячменя

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о высокой эффективности применения дополнительной истирающей решетки при приготовлении зерновой патоки.

С учетом времени нагрева воды удельные энергозатраты на приготовление ячменной патоки в разработанной установке с дополнительной истирающей решеткой составят 67 Вт·ч/л.

4.5 Результаты производственных испытаний установки по приготовлению зерновой патоки

Производственные исследования установки по приготовлению зерновой патоки проводились в цехе по приготовлению рассыпных комбикормов на племенном заводе ООО ПЗ «Большемурашкинский», расположенном в пос. Советский Большемурашкинского района Нижегородской области в период с 22 по 28 июля 2024 г. Температура окружающего воздуха во время проведения эксперимента составляла 24°C.

Во время производственных испытаний установка по приготовлению зерновой патоки была размещена в цеху по приготовлению кормов, подключена к системе электропитания, рисунок 4.19. Установка по приготовлению зерновой патоки находилась в комплектации с трубным измельчителем, расположенным в обводном канале установки, и истирающей решеткой в накопительном баке, данная конфигурация установки представлена на рисунке 4.15. В накопительную емкость заливали 50 литров воды температурой 14 °C, подавали питание на электропривод насоса установки и ждали, пока вода под действием лопаток насоса не нагреется до 40 градусов. Засыпали 25 кг зерна (пшеница сорт Немчиновская-17, данный сорт пшеницы используется в качестве корма КРС в ООО ПЗ «Большемурашкинский»), добавляли ферменты МЭК. Через каждые 7,5 минут проводили фиксацию потребляемой мощности и отбор проб патоки. Так продолжалось, пока смесь не нагревалась до 60 градусов, после чего установку выключали и отбирали финальные пробы патоки.



Рисунок 4.19 – Установка приготовления зерновой патоки в цехе

В результате проведенных исследований установлено, что через 7,5 минут после внесения зерна в установку с водой при взятии пробы зерновой патоки целые зерна отсутствуют, что показано на рисунке 4.20.



Рисунок 4.18 – Проба патоки из пшеницы в ООО ПЗ «Большемурашкинский»

При этом среднее значение полной потребляемой мощности электродвигателя за весь цикл приготовления патоки составило 5,1 кВт, а удельные энергозатраты – 64,3 Вт·ч/л, время полного цикла приготовления патоки – 56,7 мин. При сравнении результатов испытаний на установке по приготовлению зерновой патоки, проведенных в лаборатории института с ячменем, показанных ранее на рисунке 4.15 можно сделать вывод о положительном влиянии дополнительной истирающей решетки – качественные и энергетические показатели улучшились. Также можно сказать, что при использовании установки для получения зерновой патоки можно применять любое исходное сырьё (пшеница, рожь или ячмень любого сорта, находящегося на складе предприятия).

Результаты производственных испытаний подтверждены актами производственной проверки и внедрены в ООО ПЗ «Большемурашкинский», что подтверждено актом внедрения научных исследований в производство (приложение В).

4.6 Выводы по главе

1. В результате проведенных исследований процесса нагрева воды в разработанной установке для приготовления зерновой патоки определен внутренний диаметр обводного канала 50 мм, при котором наблюдается наиболее интенсивный нагрев с минимальными удельными энергозатратами.

2. В процессе исследований выявлено, что трубчатый измельчитель с отверстиями 6 мм максимально эффективно разрушает зерновки в установке при приготовлении зерновой патоки из мягких видов зерна (пшеница и т.д.): удельные энергозатраты на весь цикл приготовления пшеничной патоки составили 91,8 Вт·ч/л, время приготовления – 58 мин. При приготовлении зерновой патоки из ржи – 96,2 Вт·ч/л и 59 мин соответственно. При пригото-

нии зерновой патоки из твердых видов зерна (ячмень и т.д.) рекомендуется применять трубчатый измельчитель, в котором диаметр отверстий составляет 8 мм. При этом удельные энергозатраты на весь цикл приготовления патоки составляют 98,7 Вт·ч/л, время приготовления – 60 мин.

3. Установка дополнительной истирающей решетки позволяет повысить показатели работы. При приготовлении ячменной патоки с использованием трубчатого измельчителя с отверстиями 6 мм удельные энергозатраты составили 67 Вт·ч/л, время полного цикла приготовления – 58,2 мин. Удельные энергозатраты на приготовление пшеничной патоки составили 64,3 Вт·ч/л, время приготовления патоки – 56,7 мин.

4. Производственные испытания установки подтверждают полученные значения в лабораторных условиях.

5. ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ

5.1 Особенности кормления КРС патокой

Чтобы приучить животное к зерновой патоке, нужно вводить её в рацион постепенно. В первые дни можно давать животному по 0,5 кг зерновой патоки. Через 2–3 дня можно увеличить порцию ещё на 0,3 кг. Добавляйте по 0,3 кг каждые 2–3 дня [38].

Высокопродуктивные коровы нуждаются в особом кормлении. Важно, чтобы их рацион был сбалансирован и содержал все необходимые питательные элементы, энергию, минеральные и другие полезные вещества.

В таблице 5.1 указаны потребности крупного рогатого скота в сахаре в зависимости от ежедневного надоя молока.

Таблица 5.1 – Потребность в сахарах

Среднесуточный удой, кг	12	16	20	24	30	40
Потребность в сахарах, г	1000	1180	1360	1825	2390	3000

До настоящего времени в рацион животных активно добавляли патоку, произведенную из сахарной свеклы. Однако ее применение связано с некоторыми сложностями.

При кормлении животных свекольной патокой возникают некоторые сложности. Во-первых, для её транспортировки нужны специальные машины — автоцистерны. Обычно в хозяйствах для этого используют автоцистерны, предназначенные для перевозки молока. Но перед использованием такую ци-

стерну нужно тщательно промыть. Патоку можно перевозить только в холодное время года, потому что в тепле она скисает.

Во-вторых, хранить патоку из сахарной свеклы можно максимум 3–4 дня. Также для хранения нужно специальное место, которое должно быть достаточно большим, поскольку заводы продают патоку крупными партиями.

В-третьих, производство сахарной свёклы, а значит, и патоки, зависит от сезона.

5.2 Рационы кормления

Для сравнения составлены рационы кормления КРС с живой массой 500 кг, среднесуточным удоем 16 кг по классической схеме с разными видами патоки (таблицы 5.2, 5.3).

Таблица 5.2 – Рацион с кормовой патокой

Корма и кормовые добавки	Кг. корма	Корм. Ед.	Сухое вещ-во кг	Сырой протеин г	Переваримый протеин г	Сырая клетчатка г	Крахмал г	Сахар г
Сено люцерно-тимофеевка	5,5	2,585	4,565	526,4	291,5	1458	60,5	143
Силос кукурузный	12	2,4	3	300	168	900	96	72
Патока кормовая	2	1,52	0,6	198	120	0	0	1086
Зерно овес	2	2	1,7	216	158	194	640	50
Сенаж вика+овес	8,5	2,72	3,825	459	323	1258	119	187
Зерно ячменя	2	2,3	1,7	226	170	98	970	4
Требуется по норме		12,6	15,8	1940	1260	3790	1768	1705
Содержится в рационе	32	13,53	16,39	1925	1231	3908	1886	1542

Таблица 5.3 – Рацион с зерновой патокой

Корма и кормо- вые добавки	Кг. корма	Корм. Ед.	Сухое вещ-во кг.	Сырой протеин г	Переваримый протеин г	Сырая клетчатка г.	Крахмал г.	Сахар г.
Сено люцерна- тимофеевка	5,5	2,585	4,565	526,4	291,5	1458	60,5	143
Силос кукуруз- ный	9	1,8	2,25	225	126	675	72	54
Патока зерновая	2,2	1,672	0,76	217,8	132	0	0	1195
Зерно овес	2	2	1,7	216	158	194	640	50
Сенаж вика+овес	10	3,2	4,5	540	380	1480	140	220
Зерно ячменя	1,5	1,725	1,275	169,5	127,5	73,5	727,5	3
Требуется по норме		12,6	15,8	1940	1260	3790	1768	1705
Содержится в ра- ционе	30,2	12,98	16,05	1895	1215	3880	1640	1665

Анализируя данные таблиц, можно увидеть, что по основным показателям питательности между рационами существенной разницы не выявлено. Но почти при равном количестве патоки (2 против 2,2 кг), более сбалансирован рацион по сахару во втором варианте, то есть с включением в рацион зерновой патоки. Также несколько ниже общее количества корма на 1 голову, 32 кормовой патокой против 30,2 кг с зерновой патокой.

Таким образом, очевидно преимущество использования в рационе коров зерновой патоки в сравнении с традиционной кормовой схемой.

При получении кормовых сахаров из зернового сырья необходимо учитывать содержание углеводов в патоке. Для определения состава зерновой патоки по содержанию легко перевариваемых углеводов (сахара), было принято решение провести исследование зерновой патоки в аттестованной лаборатории агротехнической службы «Нижегородский» (Приложение Е). На полученном результате видно, что наибольший процент сахара – 45,8% содер-

жится в зерновой патоке приготовленной из зёрен пшеницы, рожь – 36,5%, ячмень – 33,6%. Данный результат не показывает, что пшеница является лучшей зерновой культурой для производства патоки, а показывает, что содержание сахара может меняться в зависимости от применяемых сортов, качества самого зерна и от работы ферментов. При кормлении зерновой патокой КРС сельхоз производителям рекомендуется проводить исследования на химический состав.

5.3 Расчет технико-экономических показателей

Жидкая зерновая патока представляет собой гомогенную массу с содержанием сухих веществ 30-35%, углеводов (сумма сахаров) 20-25%, в том числе глюкозы от общего содержания сахаров 30-50%. В качестве исходного сырья используется зерно озимых или яровых культур (рожь, ячмень, пшеница, овес и т. д.), вода холодная или нагретая до 35°C, ферментный комплекс «Полифермент», содержащий в своем составе ксиланазу, бета - глюканазу и целлюлазу. Для ускорения процесса приготовления патоки зерно используется дробленое, а вода теплая. В процессе подготовки зерновой патоки происходит доизмельчение зерна, перемешивание массы до однородной консистенции, самонагрев до 60°C. Введение ферментного комплекса «Полифермент» в процессе подготовки зерновой патоки обеспечивает расщепление сложных органических соединений до простых, хорошо усваиваемых веществ (глюкоза, мальтоза, олигосахариды). Кроме того, гидролизуются труднопереваримые фракции зерна (целлюлоза, гемицеллюлоза) до соединений, не оказывающих отрицательного влияния на процесс пищеварения. Нами предлагается установка для производства зерновой патоки в условиях хозяйства из

собственного или покупного зерна, характеристики которой приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Основные характеристики установки при приготовлении 50 литров зерновой патоки

Наименование показателя	Значение
Время приготовления одной партии, час	0,7...1
Рабочий объем емкости, л	50
Тип насоса	1СМ65-50-160/2
Установленная мощность двигателя, кВт	5,5
Тип двигателя	Асинхронный трехфазный

Производство зерновой патоки в условиях хозяйства экономически выгодно. Основные экономические показатели представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Экономические показатели приготовления 50 литров зерновой патоки

Наименование показателя	Значение
Время приготовления одной партии, час	0,7...1
Рабочий объем емкости, л	50
Установленная мощность двигателя, кВт	5,5
Цена 1кВт*ч электроэнергии	2,8...5,5
Масса зерна, кг	17
Стоимость зерновых, руб. за 1 кг	12...17
Норма ввода полифермента (МЭК-СХ-3), кг	0,08
Цена полифермента, руб/кг	200
Стоимость электроэнергии, руб.	9...27
Стоимость зерна, руб.	204...289
Стоимость фермента, руб.	16
Итого затрат, руб.	230...332
Стоимость производства 1л патоки	4,6...6,6
Экономия денежных средств по сравнению с сахарной патокой, руб.*	120...520

*Расчет произведен без учета увеличения надоя, экономии зерновых и затрат на доставку свекловичной патоки в хозяйство. Стоимость свекловичной патоки принята 9...15 руб./л.

5.4 Энергетическая эффективность

При разработке любых новых установок, систем и машин требуется проводить технико-энергетическую оценку. Для сравнения используем ГОСТ Р 53056-2008 [29]. За аналог предлагается взять серийно выпускаемый комплекс УЖК – 500, продающийся на различных интернет-площадках [65]. Рассматриваемая установка имеет более высокие характеристики по объему продукта (500 литров готовой патоки) превышает разработанную нами установку в 5 раз. Поэтому сравнение будет производиться с учетом данного значения.

Критериями для сравнения разработанной конструкции будет являться стоимостные характеристики установок, стоимость приготовленной зерновой патоки и время приготовления.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Данные для расчета технико-энергетической эффективности

Показатели	Обозначение	УЖК-500	Наша установка
Стоимость установки, руб.	C_0	397644	130000
Габариты, мм	$D \times Ш \times В$	2200x800x1975	1100x1100x2100
Масса, кг	M	650	80
Производительность, т/ч	Q	0,1	0,08
Установленная мощность, кВт	$\sum N$	15	5,5
Обслуживающий персонал, чел.	$N_{ч}$	1	1
Часовая ставка обслуживающего персонала, руб./ч.	τ	175	175
Стоимость электроэнергии, кВт/ч	$ЦЭ$	9,00	9,00
Суточный объем работ, т	S	0,22	0,22
Количество работы в году, час	T_r	803	1004
Полный объем ёмкости, л	$л$	560	120

Расчеты по совокупным затратам приведены в приложении Ж, данные

по расчетам представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Техничко-энергетическая эффективность

Показатели	Обозначение	УЖК-500	Наша установка
Прямые затраты энергии	МДж/т	432	227,5
Удельная энергоёмкость на 1 час работы	МДж/т	30,86	1,82
Энергоёмкость используемых помещений	МДж/ч	0,005	0,001
Совокупные затраты	МДж/ч	686,12	230,23
Уровень интенсификации, %		67	

Расчеты по совокупным затратам позволяют сказать следующее: разработанная установка для приготовления зерновой патоки по сравнению с выпускаемой установкой УЖК-500 позволяет снизить энергозатраты на 67%.

5.5 Расчет технико-экономических показателей

В рамках выполнения данной работы были проведены производственные испытания на племенном заводе ООО ПЗ «Большемурашкинский», расположенном в пос. Советский Большемурашкинского района Нижегородской области (глава 4.5). Головной задачей данного предприятия является совершенствование племенных и продуктивных качеств сельскохозяйственных животных определенной породы, что выражается в небольшом поголовье КРС. В связи с этим на данном предприятии в загонах для дойных коров в среднем содержится до 50 голов, в загонах для молодняка находится до 15 голов. А общее количество голов КРС достигает не более 100 голов высокопродуктивных племенных животных. В связи с этим на племзаводе существует потребность в приготовлении зерновой патоки в размере 220 литров, при приготовлении большего количества патоки (например, при использова-

нии установки УЖК-500) она портится и становится непригодной для кормления животных. В связи с этим для исключения убытков, связанных с порчей зерновой патоки, расчет технико-экономических показателей будет произведен при приготовлении 220 литров зерновой патоки.

Для сравнения предлагается взять самый распространенный высокопродуктивный комплекс по производству зерновой патоки – УЖК-500, который будет работать не на полную производительность в размере 0,227 т/ч (500 литров патоки за 1 технологическую операцию), а на 0,1 т/ч (220 литров патоки за 1 технологическую операцию. Расчеты по совокупным затратам приведены в приложении 3, технико-экономические показатели применения установки для приготовления зерновой патоки представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Расчет технико-экономической эффективности применения установки для приготовления зерновой патоки (в ценах 2024 года)

№ п.п.	Показатель	Расчетная формула	Значение показателя	
			УЖК-500	УПП
1.	Расходы денежных средств, относящиеся к оплате труда обслуживающего персонала, руб./т.	$З = \frac{1}{W_{ЭК}} ЛтК_3,$	1802,5	2253,12
2.	Расходы денежных средств, требуемые на оплату электроэнергии, руб./т.	$\Gamma = qЭ \cdot ЦЭ$	2250	618,75
3.	Затраты средств, требуемые на техническое обслуживание и ремонт, руб./т.	$P = \frac{B \cdot r_p}{W_{ЭК} \cdot T_3}$	643,8	210,4
4.	Затраты денежных средств на амортизацию установки, руб./т.	$A = \frac{B \cdot a}{W_{ЭК} \cdot T_3}$	827	270,3

Продолжение таблицы 5.8

5.	Прочие прямые затраты денежных средств, связанные с приобретением основных и вспомогательных материалов	$\Phi = \sum h_i C_{mi}$	0	0
6.	Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, руб./т.	$И = З + Г + Р + А + \Phi$	5523,3	3375,1
7.	Затраты труда на производство тонны продукции, чел.-ч/т.	$З_T = \frac{Л}{W_{ИЗМ}}$	16,6	12,5
8.	Удельная остаточная стоимость установки, руб./т.	$C_{ОСТ} = \frac{B(\lambda_{m.p} - \lambda_{a.p})}{\lambda_{m.p} T_3 W_{ЭК}}$	866,8	283,2
9.	Зональную годовую наработку установки, т.	$B_3 = W_{ЭК} \cdot T_3$	80,3	80,3
10.	Совокупные всех финансовых затрат	$ИС = В_3 + qСМ^* + НЭК^* + ИЭ^*$	0	0
11.	Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, руб.	$\mathcal{E}_{Г.Н.} = T_3 \cdot ((И_{с.ужк} - C_{ост.ужк}) - (И_{с.ну} - C_{ост.ну}))$	125661,5	
12.	Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, год.	$T_{ОК} = \frac{B_{ужк} - B_{кн\mu}}{\mathcal{E}_{Г.Н.}}$	2,1	
13.	Верхний предел цены нового дозирующего устройства, руб.	$C_{Л} = \frac{\mathcal{E}_{Г.Н.}}{a_H} + B_{ужк}$	250828,4	

5.6 Выводы по разделу

Анализ технико-экономических показателей показал, что установка по приготовлению зерновой патоки по сравнению с УЖК-500 при использовании в специализированных хозяйствах с малым количеством голов эксплуатировать целесообразнее и эффективнее. Разработанная установка для приготовления зерновой патоки позволяет снизить энергозатраты на 67%. Годовая экономия денежных средств у разработанного варианта 250828,4 руб. при сроке окупаемости 2,1 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены различные методы и оборудование для производства зерновой патоки. На основе полученных знаний и созданной схемы была разработана эффективная установка, которая содержит пассивные дезинтеграторы и истирающие поверхности. Данная установка позволит производить зерновую патоку прямо на сельхоз предприятии из собственного сырья;

2. Получены аналитические выражения, которые позволяют точно рассчитать тепловые процессы в разработанной установке, благодаря которым удалось определить, что для рассмотренной схемы установки нагрев 100 л воды от 0 до 60 °С занимает 1,3 часа при отсутствии тепло-обмена с окружающей средой и 1,6 часа – в случае наличия теплообмена. При этом оптимальный диаметр трубы обводного канала составляет 50 мм. При моделировании движения жидкости в дезинтеграторе с пассивными истирающими поверхностями определены его конструкция и параметры – цилиндрическая решетка максимально возможной длины с отверстиями 6 мм и внутренним диаметром 50 мм.

3. Определены оптимальные параметры установки, позволяющие получить качественную патоку с минимизацией энергозатрат: дезинтегратор в виде цилиндрической решетки с отверстиями 6 мм и внутренним диаметром 50 мм, наличие дополнительной истирающей решетки на выходе из трубчатого измельчителя. При этом удельные энергозатраты в процессе приготовления ячменной патоки составляют 67 Вт·ч/л, время полного цикла приготовления – 58,2 мин, удельные энергозатраты и время приготовления пшеничной патоки составляют соответственно 64,3 Вт·ч/л и 56,7 мин.

4. Годовая экономия денежных средств от внедрения разработанной установки в сравнении с УЖК-500 составит 250828,4руб. при сроке окупаемости 2,1 года, а снижение энергозатрат составит 67% при суточном объеме производства 220 л.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агробаза [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agrobase.ru> (дата обращения: 7.06.2022).
2. Агроком [Электронный ресурс]. URL: <http://agrokorm.info/ru/kormoagregat-mriya-05/1> (дата обращения: 10.04.2023).
3. Агросервер [Электронный ресурс]. URL: <https://agroserver.ru/b/ustanovka-dlya-prigotovleniya-zhidkikh-kormov-kip-0-6-735859.htm> (дата обращения: 7.06.2022).
4. Агротехнологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stav-agro.ru/index.php/katalog/urva-250.html> (дата обращения: 10.04.2023).
5. 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.
6. Алтынбаева, Г. К. Использование некондиционного зерна в технологии комбикорма повышенной питательной ценности / Г. К. Алтынбаева, Д. Б. Баймуханова // Вестник Алматинского технологического университета. – 2021. – № 3. – С. 10–18.
7. Алтынбаева, Г. К. Ресурсосберегающие технологии переработки некондиционного зерна для приготовления комбинированных кормов / Г. К. Алтынбаева, О. Ю. Кадникова, А. М. Айдарханов, Д. Б. Баймуханова // Механика и технологии. – 2021. – № 1 (71). – С. 77–87.
8. Булатов, С. Ю. Обоснование конструкции установки для приготовления зерновой патоки / С. Ю. Булатов, А. Е. Шамин, А. И. Моисеев, А. Г. Сергеев // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 7 (110). – С. 25–36.
9. Булатов, С. Ю. Результаты исследований рабочего процесса дезинтегратора зерновой патоки / С. Ю. Булатов, А. И. Моисеев, А. П. Мансуров,

Н. П. Шкилев, А. Г. Сергеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета – 2020. – № 8 (190). – С. 135–140.

10. Булатов, С. Ю. Анализ конструкций технических средств приготовления зерновой патоки. / С. Ю. Булатов, С. В. Семенов // Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. В сборнике трудов конференции. – 2021. – С.26–30.

11. Булатов, С. Ю. Моделирование движения потока воды в пассивном дезинтеграторе установки для зерновой патоки. / С. Ю. Булатов, С. В. Семенов // Техника и технологии в животноводстве. – 2023. – №4 (52). – С. 86–90.

12. Булатов, С.Ю. Повышение эффективности приготовления кормов путем совершенствования конструкции и технологического процесса кормоприготовительных машин // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 1 (17). – С. 55–64.

13. Булатов, С. Ю. Причинно-следственная диаграмма с положительными и отрицательными обратными связями процесса производства зерновой патоки. / С. Ю. Булатов, С. В. Семенов // Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. В сборнике: Проблемы современной науки и общества: сохранение и развитие наследия Великой Победы. – 2021. – С.105–112.

14. Булатов, С. Ю. Результаты исследований влияния трубчатого измельчителя на процесс нагрева воды в установке для приготовления зерновой патоки. / С. Ю. Булатов, С. В. Семенов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – №5 (235) – С.26–30.

15. Булатов, С. Ю. Результаты исследований работы установки для приготовления жидких сахаристых кормов из зерна ржи / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, С. В. Семенов, А. Г. Сергеев, А. А. Зыков // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – №4(48) – С.51–55.

16. Булатов, С. Ю. Результаты моделирования движения потока воды в трубчатом измельчителе установки для приготовления зерновой патоки /

С. Ю. Булатов, С. В. Семенов // Вестник Омского ГАУ. – 2024. – №4. – С.114–121.

17. Булатов, С. Ю. Функционально-морфологическая схема установки для приготовления зерновой патоки. / С. Ю. Булатов, С. В. Семенов, А. Г. Сергеев // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 9 (291). – С. 18–22.

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

19. Быков, А. В. Перспективы использования кавитационного гидролиза некрахмальных / А. В. Быков, Л. В. Межуева, С. А. Мирошников // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 4 (123). – С. 123–127.

20. Васильев, И. Е. Влияние вязкости перекачиваемой среды на характеристики магистральных нефтяных насосов / И. Е. Васильев, Д. Н. Китаев, Е. П. Коротких, Т. О. Маслова. // Молодой ученый. – 2017. – № 9 (143). – С. 42–45.

21. Волков, В. А. Эффективность современного оборудования для производства зерновой патоки // В. А. Волков // Мир науки, культуры, образования. – 2013. – № 1 (38). – С. 276–279

22. Волков, В. А. Опыт применения углеводной кормовой добавки из зернового сырья в кормлении КРС / В. А. Волков, Н. Н. Шкиль // Современные достижения в животноводстве. – Томск. – 2011. – Вып. 13

23. Володько, О. С. Теория и расчет транспортных и энергетических средств / О. С. Володько // Методические указания. РИО СГСХА. – 2018 – С. 72.

24. Волончук, С. К. Подготовка зерна пшеницы инфракрасным облучением для получения кормовой патоки / С. К. Волончук, В. В. Аксенов,

С. А. Дубкова, А. И. Резепин // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 10. – С. 12–14.

25. Волончук, С. К. Обоснование повышения эффективности технологии получения патоки из кукурузного крахмала / С. К. Волончук, А. И. Резепин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 7. – С. 9–13.

26. Волончук, С. К. Оценка способов получения зерновой кормовой патоки / С. К. Волончук, И. В. Наumenко, А. И. Резепин // Инновации и продовольственная безопасность. – 2019. – № 2 (24). – С. 40–45.

27. Воробьёв, Д. А. Разработка установки биоактивирования зерна для использования в кормлении сельскохозяйственных животных / Д. А. Воробьёв, А. И. Забудский, Д. Н. Алгазин. // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (28). – С. 200–204.

28. Герасимов, Е. Ю. Теоретические аспекты консервирования фуражного зерна повышенной влажности / Е. Ю. Герасимов, С. Н. Завиваев, Н. Н. Кучин. // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 8 (39). – С. 19–26.

29. ГОСТ Р 53056 – 2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Введ. 2009-01-01. – М.: Стандартинформ, – 2009. – 3–20 с.

30. Деловые контакты [Электронный ресурс]. URL:https://www.option.ru/i_store/item_1003467111/ustanovka-urva-250-dlya-prigotovleniya-jidkih-kormovyh-produktov.html (дата обращения: 7.06.2022).

31. Донкова, Н. В. Биотехнология получения сахаров из зернового сырья / Н. В. Донкова, С. А. Донков // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 6. – С. 211–213.

32. Донкова, Н. В., Влияние зерновой патоки на рост и развитие телят / Н. В. Донкова, С. А. Донков, Ю. В. Макарова // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9 (96). – С. 147–149.

33. Завод энергосберегающих технологий [Электронный ресурс]. <https://zavodest.ru/sfera-primeneniya/14-otlichiya-kavitatorov.html> (дата обращения: 7.06.2021).

34. Идельчик, И. Е. Справочник по гидродинамическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик, М. О. Штейнберг. // Машиностроение. – 1992. – С. 259.

35. Кавитация [Электронный ресурс]. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кавитация> (дата обращения: 7.06.2021).

36. Казаков, В. А. Техничко – экономическое обоснование применения модернизированной установки для производства зерновой патоки. / В. А. Казаков, Н. А. Чернятьев, С. П. Герасимова // Владимирский земледелец. – 2020. – №1. – С. 46–51

37. Клименко, В. П. Эффективный способ повышения питательной ценности зерна овса и ячменя / В. П. Клименко, Д. М. Кривошеев, А. Б. Петров Х.К. Худякова // Вестник НГИЭУ. – 2017. – №8 (75). – С.34–41.

38. Мансуров, А. П. Производство зерновой патоки / А. П. Мансуров, С. Ю. Булатов, Ю. В. Сизова, В. Н. Нечаев // Кормопроизводство. – 2020. – № 6. – С.43–48.

39. Миронов, К. Е. Определение количественных показателей работы измельчителя зерна / К. Е. Миронов, А. П. Мансуров, С. Л. Низовцев. // Вестник НГИЭИ. –2020. – № 4 (107). – С. 24–33.

40. Морозов, Н. М. Направления механизации и автоматизации животноводства / Н. М. Морозов, Ю. А. Цой, В. В. Кирсанов, Л. М. Цой, Ю. А. Мирзоянц // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – №1 (45) – С. 92–102.

41. Мотовилов, К. Я. Переработка зерна на кормовые сахара для животных / К. Я. Мотовилов, Н. А. Шкиль, В. В. Аксенов, А. И. Адонин, Г. Ф. Пиденко, А. Ю. Рамазанов, Д. Н. Лукьяненко //Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №10. – С. 43–45.

42. Мохнаткин В. Г. Расширение функциональных возможностей лопастного насоса в условиях эксплуатации на животноводческих предприяти-

ях./ В. Г. Мохнаткин, П. Н. Солонщиков, А. С. Филинков. // Монография. Киров: ООО "Издательство "Радуга-ПРЕСС", ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, – 2018. – С. 155.

43. Некрасов, А. В. Компьютерное моделирование гидродинамических процессов систем водоснабжения / Некрасов А. В. // Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, – 2014. – С.311.

44. Николаева Н. А. Влияние зерновой патоки на переваримость питательных веществ кормов дойных коров разного генотипа / Н. А. Николаева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2015. – № 4 (41). – С. 79–83.

45. Николаева, Н. А., Влияние зерновой патоки на минеральный и аминокислотный состав крови коров разного генотипа / Н. А. Николаева, П. П. Борисова // Вестник ИрГСХА. – 2015. – № 71. – С. 92–96.

46. НОЭЗНО-Сельмаш [Электронный ресурс]. URL: <http://noezno.ru/equipment/korm/kip-06/kip-06> (дата обращения:10.04.2023).

47. Патент 117100 Российская Федерация, МПК В02С 13/20 Установка для производства сахаросодержащего корма / А. Н. Зензеров, В. А. Волков, О. И. Фирсов, Г. Ф. Пиденко; патентообладатель ООО «Ресурс-Информ», заявл. 08.02.2012 г., опубл. 20.06.2012 г., Бюл. № 28.

48. Патент 138166 Росийская Федерация. Комплекс для приготовления жидких кормов / В. И. Шевченко; патентообладатель ООО «Новые Промышленные Технологии». – № 2013114805/13. Заявл. 01.04.2013; опубл. 10.03.2014. – 1 с.

49. Патент 2265364С2 Российская Федерация, МПК А23К1/00 С13К1/06 Способ получения кормовой патоки / Н. В. Бадаева, Р. П. Киселев, С. С. Кочкин; патентообладатель ООО «По», заявл. 18.12.2003 г., опубл. 10.12.2005 г., Бюл. № 28.

50. Патент 2285725С2 Российская Федерация, МПК С13К 1/06 Способ получения сахаристых продуктов из зернового сырья / В. В. Аксёнов, Е. Г. Порсев, В. М. Незамутдинов, К. Я. Мотовилов; патентообладатель ГНУ

Сибирский научно-исследовательский и проектно-технологический институт переработки сельскохозяйственной продукции Сибирского отделения Россельхозакадемии, заявл. 16.11.2004 г., опубл. 20.10.2006 г., Бюл. № 28.

51. Патент 2313229C1 Российская Федерация, МПК A23K1/00 A23K1/14 Способ приготовления жидкого зернового корма/ Ю. А. Цой, И. Э. Мильман, А. И. Зеленцов, В. И. Передня, А. Д. Селезнев, В. И. Хруцкий, А. В. Китун; патентообладатель Государственное Научное Учреждение Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Электрификации Сельского Хозяйства, заявл. 31.05.2006 г., опубл. 27.12.2007 г., Бюл. № 28.

52. Патент 2595177C2 Российская Федерация, МПК A23K10/33 Способ производства брикетов кормовых и линия для его осуществления / А. А. Шевцов, А. В. Дранников, О. А. Апалихина, Е. С. Шенцова; патентообладатель ФГБОУ «Государственный Университет Инженерных Технологий», заявл. 13.01.2015 г., опубл. 20.08.2016 г., Бюл. № 28.

53. Патент 2656962C1 Российская Федерация, МПК A23K10/30 Способ приготовления патоки из зерна злаковых культур / В. А. Сысуев, П. А. Савиных, Ю. В. Сычугов, В. А. Казаков, Н.А. Чернятьев; патентообладатель ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», заявл. 11.05.2017 г., опубл. 07.06.2018 г., Бюл. № 28.

54. Патент 2669297 Российская Федерация, МПК C12M1/02 Установка для получения патоки из зерна злаковых культур / В. А. Сысуев, Ю. В. Сычугов, П. А. Савиных, В. А. Казаков, Н. А. Чернятьев, Я. А. Елсаков, А. А. Четвериков; патентообладатель ФГУП »Проектно-конструкторское бюро «НИИСХ Северо-Востока», заявл. 22.03.2017 г., опубл. 09.10.2018 г., Бюл. № 28.

55. Патент 2670167C1 Российская Федерация, МПК A23K10/30 C12M1/02 Способ получения патоки кормового назначения из зернового сырья / В. В. Аксёнов, С. К. Волончук, А. И. Резепин; патентообладатель ФГБНУ «Сибирский федеральный научный центр агробиологии Российской академии наук, заявл. 09.01.2018 г., опубл. 18.10.2018 г., Бюл. № 28.

56. Патент 2760160 Российская Федерация, МПК A23K10/30 C12M1/02 Установка для получения зерновой патоки/ С. Ю. Булатов, Е. Б. Миронов, В. Н. Нечаев, С. В. Семенов; патентообладатель ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», заявл. 19.02.2021 г., опубл. 09.10.2018 г., Бюл. № 28.

57. Патент 46681 Российская Федерация, Установка для производства кормовых углеводных добавок сельскохозяйственным животным / Н. А. Трусов, В. С. Пияшев, В. В. Аксенов, Н. В. Нюшков; патентообладатель ГУ ОПКТБ СИБНИПТИЖ СО РАСХН. – № 2004131705/22. Заявл. 29.10.2004; опубл. 27.07.2005. 1 с.

58. Перевозчиков, А. В. Влияние зерновой патоки в рационах коров и качественные характеристики сырого молока / А. В. Перевозчиков, С. Л. Воробьева, Г. Ю. Березкина // Аграрный вестник Урала. – 2019. – №7 (186). – С. 51–58.

59. Перевозчиков, А. В. Влияние зерновой патоки на продуктивные и воспроизводительные показатели скота холмогорской породы / А. В. Перевозчиков // дис. сельск. наук защищена 15.08.2019 утв. 03.09.2019 2020 – 110 стр., //стр. 3–4.

60. Передня, В. И. Исследования процесса переработки зернобобовых компонентов в легкоусвояемый корм / В. И. Передня, А. А. Романович, Ю. А. Цой. // Вестник ВИЭСХ. – 2018. – № 2 (31). – С. 34–39.

61. Петроченко, Н. О. Технология заготовки плющеного зерна / Н. О. Петроченко. // Наше сельское хозяйство. – 2021. – № 16 (264). – С. 34–39.

62. Попов А. Н. Различные способы подготовки зерновых кормов к скармливанию / А. Н. Попов // В сборнике: Пенитенциарная система и общество: опыт взаимодействия. Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции. Сост. А. И. Согрина. Пермь, – 2022. – С. 54–57.

63. Приловская, Е. И. Эффективность использования в кормлении коров кормового продукта «Патока зерновая» / Е. И. Приловская // Зоотехническая наука Беларуси. – 2019. – Т. 54. – № 2. – С. 46–55.

64. Припоров, И. Е. Технология приготовления экспандированных кормов для сельскохозяйственных животных / И. Е. Припоров. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (91). – С. 113–117.

65. Промпортал [Электронный ресурс]. URL: <https://promportal.su/goods/41640211/ustanovka-dlya-prigotovleniya-zernovoy-patoki-uzhk-1000.htm> (Дата обращения: 04.03.2024).

66. Промтов, М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М. А. Промтов // Монография, М.: Машиностроение, – 2001. – С. 260.

67. Простанки [Электронный ресурс]. URL: <https://www.prostanki.com/board/item/161157> (дата обращения: 7.06.2022).

68. Русская ферма [Электронный ресурс]. URL: <https://russkayaferma.ru/catalog/gomogenizatory/nasos-gomogenizator-rpg-15>. (Дата обращения 25.03.2022).

69. Савиных П. А. Повышение эффективности приготовления кормов путем совершенствования конструкции и технологического процесса кормоприготовительных машин // П. А. Савиных, В. Е. Саитов, Н. В. Оболенский, С. Ю. Булатов, А. И. Свистунов // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 1 (17). – С. 55–64.

70. Савиных, П. А. Новая плющилка для производства зерновых кормов / П. А. Савиных, В. А. Казаков. // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2015. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 44–49.

71. Савиных, П. А. Новые технологии и технические средства получения патоки из зерна злаковых культур / П. А. Савиных, В. А. Казаков // Акту-

альные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2017. – № 19. – С. 359–361.

72. Семенихин, А. М. Энергосберегающие способ и устройство для измельчения компонентов комбикормов / А. М. Семенихин, Л. А. Гуриненко, В. Н. Шкондин // В сборнике: Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства. Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К. А. Тимирязева. – 2018. – С. 230–234.

73. Семенов, С. В. Результаты расчетов трубчатого измельчителя установки для приготовления зерновой патоки / С. В. Семенов // Вестник Вятского ГАТУ. – 2024. – №1 (19) – С. 1–11.

74. Семенов, С. В. Результаты теоретических исследований нагрева воды в установке для приготовления зерновой патоки / С. В. Семенов // Вестник Чувашиского ГАУ. – 2024. – №2 (29) – С. 176–181.

75. Сергеев, А. Г. Малозатратная установка для производства зерновой патоки / А. Г. Сергеев, П. А. Савиных, С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Е. Шамин // Сельский механизатор. – 2020. – № 5–6. – С. 26–27,

76. Сиббиофарм [Электронный ресурс]. URL: <https://posibbiofarm.satu.kz/p425464-uzhk-1000-ustanovka.html> (Дата обращения: 04.03.2024).

77. Снопков, А. А. Зерновая патока: эффективное решение углеводно-протеинового баланса корма / А. А. Снопков // Наше сельское хозяйство. – 2011. – №4. – С. 31.

78. Солонщиков П. Н. Методика проведения испытаний по определению качества продукта в установке для приготовления жидких кормовых смесей / П. Н. Солонщиков // Вестник Вятского ГАТУ. – 2021. – №3 (9) – С. 6.

79. Солонщиков П. Н. Совершенствование конструкции и оптимизация параметров установки для приготовления жидких кормовых смесей на базе лопастного насоса: дисс. ... канд. техн. наук. Киров, – 2013. – 217 с.

80. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/> (дата обращения: 7.06.2022).

81. Сысуев В. А. Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент / В. А. Сысуев, А. В. Алешин, П. А. Савиных. // В двух томах. Киров. Зональный НИИСХ Северо-Востока. – 2008. – Т.1. – С. 640.

82. Сысуев В. А. Проблемы развития молочного животноводства в России и современные подходы к их решению / В. А. Сысуев, Т. Ф. Василенко, Р. В. Русаков // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т.31 №3. – С. 20–24.

83. Текмаш [Электронный ресурс]. URL:<https://tec mash.ua/catalog/goods/83.htm> (дата обращения: 7.06.2022).

84. Установка для приготовления жидких кормов УЖК-500;1000;1500: [Электронный ресурс]. URL: <https://eco-star43.ru/ustanovka-dlya-prigotovleniya-zhidkix-kormov-uzhk-1000.html>. (Дата обращения: 15.06.2021).

85. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы: [Электронный ресурс]. URL: <http://mcx.ru/activity/state-support/programs/technical-program>. (дата обращения: 15.03.2021).

86. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 2.02.2023).

87. Франк, Р. И. Полноценная углеводная добавка для жвачных животных / Р. И. Франк // Нивы Зауралья. – 2011. – № 4. – С. 1–18.

88. Хусаинов, И. А. Получение мальтозосодержащего кормового продукта пребиотического действия ферментированием зерна ржи / И. А. Хусаинов, А. В. Канарский, З. А. Канарская, М. А. Поливанов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 3. – С. 174–179.

89. Черкасский, В. М. Насосы, вениляторы, компрессоры / В. М. Черкасский // Энергия. – 1977. – С. 210.

90. Шириев, В. М. Высокотемпературная ферментация концентрированных кормов / В. М. Шириев, С. Б. Федоров, И. Ф. Юмагузин, С. С. Ардаширов. // Современный фермер. – 2016. – № 3. – С. 40–42.

91. Ширнина, Н. М. О восполнении дефицита легкоусвояемых углеводов в рационе жвачных животных с применением биотехнологий (обзор) / Н. М. Ширнина, Б. Х. Галиев, А. В. Быков // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Том 101 №1, – С. 123–131

92. Энергохимпром [Электронный ресурс]. URL:<http://www.biovet-service.ru/lastnews/83-2014-01-08-10-19-26.html> (дата обращения: 7.06.2022).

93. Alatyrev, A. Results of comparative studies of grain syrup quality. / S. S. Alatyrev, A. S. Alatyrev, P. V. Zaitsev, S. Yu. Bulatov, V. N. Nechaev, Y. V. Sizova, A. I. Moiseev // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience – 2019. – 2020. – С. 012031/

94. Marczuk, A. Research on the work process of a station for preparing forage / A. Marczuk, W. Misztal, S. Bulatov, V. Nechayev, P. Savinykh // Sustainability. – 2020. – Т. 12. № 3. – С. 1050.

95. Yoganandh J. Erosive wear behavior of high-alloy cast iron and duplex stainless steel under mining conditions / J. Yoganandh, S. Natarajan, Babu S.P. Kumaresh // Journal of Materials and Performance, 2015. – Vol. 24(9). P. 3588–3598.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2760160

Установка для получения зерновой патоки

Патентообладатель: *Государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Нижегородский государственный инженерно-
экономический университет (RU)*

Авторы: *Булатов Сергей Юрьевич (RU), Миронов
Константин Евгеньевич (RU), Нечаев Владимир
Николаевич (RU), Семенов Сергей Вячеславович (RU)*

Заявка № 2021104268

Приоритет изобретения 19 февраля 2021 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 22 ноября 2021 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 19 февраля 2041 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Изrael



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 760 160⁽¹³⁾ C1

(51) МПК

A23K 10/30 (2016.01)

C12M 1/02 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(52) СПК

A23K 10/30 (2021.05); C12M 1/02 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2021104268, 19.02.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.02.2021Дата регистрации:
22.11.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.02.2021

(45) Опубликовано: 22.11.2021 Бюл. № 33

Адрес для переписки:

606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул.
Октябрьская 22 а, Шамин А.Е.

(72) Автор(ы):

Булатов Сергей Юрьевич (RU),
Миронов Константин Евгеньевич (RU),
Нечаев Владимир Николаевич (RU),
Семенов Сергей Вячеславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования Нижегородский
государственный инженерно-экономический
университет (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Сергеев Ф. Г. и др. Малогабаритная
установка для производства зерновой патоки.
"Сельский механизатор", 2020, номер 5-6, с. 26-
27. RU 2669297 C2, 09.10.2018. RU 2265364 C2,
10.12.2005. RU 117100 U1, 20.06.2020. RU 2307155
C2, 27.09.2007. US 9062328 B2, 23.06.2015. US
9371550 B2, 21.06.2016. WO 2014/021609 A1,
07.03.2014.

(54) Установка для получения зерновой патоки

(57) Формула изобретения

Установка для получения патоки из зерна злаковых культур, имеющая накопительную секцию в виде вертикально ориентированного цилиндра, сужающегося в нижней части, и насосную секцию в виде вертикально ориентированного цилиндра с расположенной внутри него крыльчаткой, отличающаяся тем, что насосная секция соосно расположена под накопительной и сообщается с ней через сужающуюся часть, а также они сообщены между собой как минимум одним обводным каналом, соединяющим боковые поверхности накопительной и насосной секций, при этом сам обводной канал внутри имеет истирающую поверхность, а над отверстием обводного канала накопительной секции на внутренней стороне боковой поверхности цилиндра установлена решетка под углом 45-60 градусов относительно оси секций.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Дипломы об участии в конференциях

Science & Technology City Hall
Krasnoyarsk | Russia

**V INTERNATIONAL CONFERENCE
AGRITECH V - 2021:
AGRIBUSINESS, ENVIRONMENTAL
ENGINEERING AND BIOTECHNOLOGIES**

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

THIS IS TO CERTIFY THAT

S YU BULATOV, S V SEMENOV, A E KRUPIN, N P SHKILEV

participated in the V International Conference "AGRITECH V - 2021: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies" held in Krasnoyarsk-Volgograd, Russia / Tashkent-Buhara, Uzbekistan, June 16-19 2021.

The Conference included 3 scientific plenary sessions (more than 600 reports from 12 countries) on the aspects of high-tech chemical, biological and information technologies in agriculture and agribusiness, advanced technologies in agriculture and food industry, energy, chemical, oil and gas engineering, environmental management and engineering, mining and soil processing technologies, as well as in modern areas of biodiversity research and methods for its conservation, ecosystem sustainability. The Proceedings will be sent to IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (UK) for further publishing.

**AGRITECH**

Agribusiness, Environmental
Engineering and Biotechnologies

IGOR KOVALEV

SCIENTIFIC SUPERVISOR OF «AGRITECH V - 2021»,
CHIEF EDITOR OF THE VOLUME,
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES, PROFESSOR





Министерство
образования и науки
Нижегородской области



Государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный
инженерно-экономический университет»

Грамота

вручается

Семёнову Сергею Вячеславовичу,

занявшему(ей) I место

в секции

«Современные проблемы науки
и производства в агроинженерии»

II всероссийской

научно-практической конференции

«Актуальные проблемы науки и технологий
в современном мире»

Ректор НТИЭУ



А.Е. Шамин

Княгинино

2021



Федеральный
научный
агроинженерный
центр ВИМ

Federal
scientific
agroengineering
center VIM

Сертификат

выдан

**Семенову
Сергею Вячеславовичу**

и подтверждает участие
в XXVII Международной
научно-практической конференции
(online – формат)

**ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНИКА
И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**

Директор ВИМ,
академик РАН



А. Ю. Измайлов

Москва, 20 ноября 2023 г.



Российская Академия Наук



Министерство образования,
науки и молодежной политики
Нижегородской области



Государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный
инженерно-экономический университет»

Грамота

Семёнову Сергею Викторовичу _____,

занявшему(ей) I место
в секции

**«Современные проблемы науки
и производства в агроинженерии»**

в VI всероссийской
научно-практической конференции
студентов и аспирантов

**«Актуальные направления развития техники
и технологий в России и за рубежом –
реалии, возможности, перспективы»**

Первый проректор НТИЭУ *А.Н. Смирнов*

Княгинино

2023



Министерство
образования и науки
Нижегородской области



Государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный
инженерно-экономический университет»

Благодарственное письмо

вручается

Семенову Сергею Вячеславовичу,

за активное участие

в секции

*«Современные проблемы науки
и производства в агроинженерии»*

III всероссийской

научно-практической конференции

*«Актуальные проблемы науки и технологий
в современном мире»*

Ректор НТИЭУ



А.Е.Шамин

*Княгинино
2024 г.*

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор

ООО ПЗ «Большемурашкинский»

С.И. Бобровских

28 июля 2024 года

АКТ

о внедрении законченных научных исследований в ООО ПЗ «Большемурашкинский»

- 1) Наименование внедренного мероприятия: установка для приготовления зерновой патоки.
- 2) Каким научно-исследовательским учреждением (высшим учебным заведением) мероприятие предложено к внедрению: ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».
- 3) Кем и когда принято решение по внедрению мероприятия: кафедра «Технический сервис».
- 4) Наименование хозяйства и его адрес, где проведено внедрение: ООО ПЗ «Большемурашкинский» Большемурашкинского района Нижегородской области.
- 5) Год и объем внедрения (по плану и фактически): 2024 г, одна установка для приготовления зерновой патоки.
- 6) Расчетный экономический эффект от внедрения: 7524 рублей на 1000 л.
- 7) Ответственный за внедрение (фамилия, имя, отчество, должность):
 - а) от районного управления сельского хозяйства: _____
 - б) от предприятия: исполнительный директор Бобровских С.И.

Представители от научного учреждения (высшего учебного заведения):
д.т.н. Булатов С.Ю., аспирант Семенов С.В.

Д.т.н, профессор
Кафедры «Технический сервис»
Аспирант

 С.Ю. Булатов
С.В. Семенов

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе
и инновационному развитию

к.э.н., доцент

Д.В. Ганин

28 июля 2024 года

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор

ООО ПЗ «Большемурашкинский»

С.И. Бобровских

28 июля 2024 года

АКТ**апробации в ООО ПЗ «Большемурашкинский» Большемурашкинского
района Нижегородской области установки по приготовлению зерновой
патоки**

Комиссия в составе исполнительного директора ООО ПЗ «Большемурашкинский» Бобровских С.И., главного зоотехника Карюкина А.В. и представителей ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»: доктора технических наук, профессора Булатова С.Ю., аспиранта Семенова С.В. составили настоящий акт о том, что в июле 2024 года в ООО ПЗ «Большемурашкинский» Большемурашкинского района Нижегородской области проведена апробация установки по приготовлению зерновой патоки разработанной и изготовленной инженерным факультетом ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Апробация установки по приготовлению зерновой патоки (рис.1) проводилась в цеху по приготовлению кормов путем производства зерновой патоки из сырья сельхозпроизводителя (пшеница сорт Немчиновская-17).

Экспериментальная установка по приготовлению зерновой патоки (Рис.2, изготовлена по патенту РФ № 2760160), состоит из накопительной секции. Накопительная секция выполнена в виде вертикально ориентированного цилиндра, сужающегося в нижней части. Под накопительной секцией соосно ей расположена насосная секция. Насосная секция выполнена в виде вертикально ориентированного цилиндра, внутри

которого расположена крыльчатка. Накопительная и насосная секции сообщаются между собой через сужающуюся часть накопительной секции. Кроме того, эти секции сообщены между собой одним обводным каналом, соединяющим боковые поверхности накопительной секции и насосной секции. Обводной канал внутри имеет истирающую поверхность выполненная в виде цилиндрической решетки с отверстиями диаметром 6 мм. Над отверстием обводного канала в накопительной секции на внутренней стороне боковой поверхности цилиндра установлена решетка под углом 45 градусов относительно оси секций.

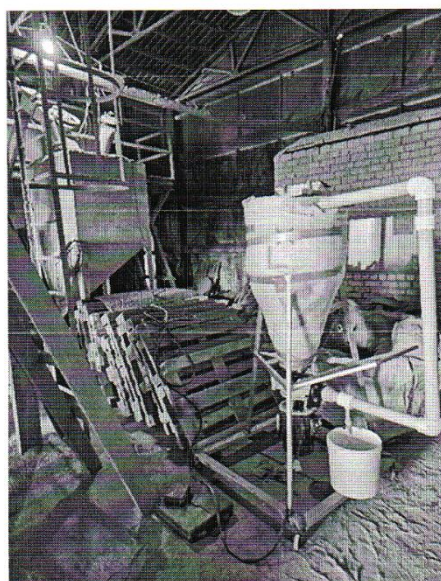


Рисунок 1 – Установка по приготовлению зерновой патоки в цеху по приготовлению кормов ООО ПЗ «Большемурашкинский»

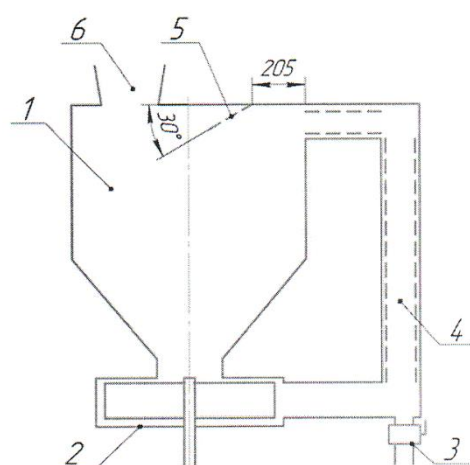


Рисунок 2 – Схема установки для приготовления патоки с трубчатым измельчителем и истирающей решеткой: а – схема; б – общий вид; 1 – накопительная емкость; 2 – насос; 3 – сливной кран; 4 – трубчатый измельчитель; 5 – истирающая решетка; 6 – загрузочная горловина

Испытания проводились по общепринятой методике, в качестве сырья применялась пшеница сорт Немчиновская-17. Определялись время приготовления патоки, наличие в ней целых зерен и энергетические показатели.

В результате испытаний установлено:

1. Время приготовления 50 литров зерновой патоки составляет: 56,7 минут (время работы установки).
2. Целых частиц зерна в зерновой патоке не обнаружено.
3. За время работы установки удельные энергозатраты составили 64,3 Вт ч/л.

Заключение. Установка по приготовлению зерновой патоки представляет интерес как для небольших крестьянско-фермерских хозяйств, так и для крупных хозяйств (при включении установки по приготовлении зерновой патоки в технологическую линию по производству комбикорма), поэтому рекомендуется к серийному производству. Установка по приготовлению зерновой патоки может работать на любой зерновой сельхозкультуре, выращиваемой сельскохозяйственным предприятием.

Д.т.н, профессор

Кафедры «Технический сервис»

Аспирант

Главный зоотехник

С.Ю. Булатов

С.В. Семенов

А.В. Карюкин

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Таблица Г.1 – Морфологический ящик разработки установки для приготовления зерновой патоки

Обозначение	Фактор	Свойства					
		1	2	3	4	5	6
а	форма накопительной емкости	усеченный конус	усеченная пирамида	цилиндр	куб	цилиндр с сужением в виде усеченного конуса	куб с сужением в виде усеченной пирамиды
б	наличие трубопроводов	присутствуют	отсутствуют	-	-	-	-
в	расположение насоса	ниже накопительной емкости	на уровне накопительной емкости	выше накопительной емкости	-	-	-
г	наличие измельчителя	без измельчителя	измельчитель с пассивными рабочими органами	измельчитель с активными рабочими органами	-	-	-
д	расположение отверстия в накопительной емкости для напорной подачи воды от насоса	выше уровня жидкости в емкости	посередине накопительной емкости	в нижней части накопительной емкости	-	-	-
е	наличие нагревательного элемента	без нагревательного элемента	с нагревательным элементом	-	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

Таблица Д.1 – Морфологическая матрица

				д1		д2		д3	
				е1	е2	е1	е2	е1	е2
a1	б1	в1	г1	a1б1в1г1д1е1	a1б1в1г1д1е2	a1б1в1г1д2е1	a1б1в1г1д2е2	a1б1в1г1д3е1	a1б1в1г1д3е2
			г2	a1б1в1г2д1е1	a1б1в1г2д1е2	a1б1в1г2д2е1	a1б1в1г2д2е2	a1б1в1г2д3е1	a1б1в1г2д3е2
			г3	a1б1в1г3д1е1	a1б1в1г3д1е2	a1б1в1г1д2е1	a1б1в1г3д2е2	a1б1в1г3д3е1	a1б1в1г3д3е2
		в2	г1	a1б1в2г1д1е1	a1б1в2г1д1е2	a1б1в2г1д2е1	a1б1в2г1д2е2	a1б1в2г1д3е1	a1б1в2г1д3е2
			г2	a1б1в2г2д1е1	a1б1в2г2д1е2	a1б1в2г2д2е1	a1б1в2г2д2е2	a1б1в2г2д3е1	a1б1в2г2д3е2
			г3	a1б1в2г3д1е1	a1б1в2г3д1е2	a1б1в2г1д2е1	a1б1в2г3д2е2	a1б1в2г3д3е1	a1б1в2г3д3е2
		в3	г1	a1б1в3г1д1е1	a1б1в3г1д1е2	a1б1в3г1д2е1	a1б1в3г1д2е2	a1б1в3г1д3е1	a1б1в3г1д3е2
			г2	a1б1в3г2д1е1	a1б1в3г2д1е2	a1б1в3г2д2е1	a1б1в3г2д2е2	a1б1в3г2д3е1	a1б1в3г2д3е2
			г3	a1б1в3г3д1е1	a1б1в3г3д1е2	a1б1в3г1д2е1	a1б1в3г3д2е2	a1б1в3г3д3е1	a1б1в3г3д3е2
	б2	в1	г1	a1б2в1г1д1е1	a1б2в1г1д1е2	a1б2в1г1д2е1	a1б2в1г1д2е2	a1б2в1г1д3е1	a1б2в1г1д3е2
			г2	a1б2в1г2д1е1	a1б2в1г2д1е2	a1б2в1г2д2е1	a1б2в1г2д2е2	a1б2в1г2д3е1	a1б2в1г2д3е2
			г3	a1б2в1г3д1е1	a1б2в1г3д1е2	a1б2в1г1д2е1	a1б2в1г3д2е2	a1б2в1г3д3е1	a1б2в1г3д3е2
		в2	г1	a1б2в2г1д1е1	a1б2в2г1д1е2	a1б2в2г1д2е1	a1б2в2г1д2е2	a1б2в2г1д3е1	a1б2в2г1д3е2
			г2	a1б2в2г2д1е1	a1б2в2г2д1е2	a1б2в2г2д2е1	a1б2в2г2д2е2	a1б2в2г2д3е1	a1б2в2г2д3е2
			г3	a1б2в2г3д1е1	a1б2в2г3д1е2	a1б2в2г1д2е1	a1б2в2г3д2е2	a1б2в2г3д3е1	a1б2в2г3д3е2
		в3	г1	a1б2в3г1д1е1	a1б2в3г1д1е2	a1б2в3г1д2е1	a1б2в3г1д2е2	a1б2в3г1д3е1	a1б2в3г1д3е2
			г2	a1б2в3г2д1е1	a1б2в3г2д1е2	a1б2в3г2д2е1	a1б2в3г2д2е2	a1б2в3г2д3е1	a1б2в3г2д3е2
			г3	a1б2в3г3д1е1	a1б2в3г3д1е2	a1б2в3г1д2е1	a1б2в3г3д2е2	a1б2в3г3д3е1	a1б2в3г3д3е2
a2	б1	в1	г1	a2б1в1г1д1е1	a2б1в1г1д1е2	a2б1в1г1д2е1	a2б1в1г1д2е2	a2б1в1г1д3е1	a2б1в1г1д3е2
			г2	a2б1в1г2д1е1	a2б1в1г2д1е2	a2б1в1г2д2е1	a2б1в1г2д2е2	a2б1в1г2д3е1	a2б1в1г2д3е2
			г3	a2б1в1г3д1е1	a2б1в1г3д1е2	a2б1в1г1д2е1	a2б1в1г3д2е2	a2б1в1г3д3е1	a2б1в1г3д3е2
		в2	г1	a2б1в2г1д1е1	a2б1в2г1д1е2	a2б1в2г1д2е1	a2б1в2г1д2е2	a2б1в2г1д3е1	a2б1в2г1д3е2
			г2	a2б1в2г2д1е1	a2б1в2г2д1е2	a2б1в2г2д2е1	a2б1в2г2д2е2	a2б1в2г2д3е1	a2б1в2г2д3е2
			г3	a2б1в2г3д1е1	a2б1в2г3д1е2	a2б1в2г1д2е1	a2б1в2г3д2е2	a2б1в2г3д3е1	a2б1в2г3д3е2
		в3	г1	a2б1в3г1д1е1	a2б1в3г1д1е2	a2б1в3г1д2е1	a2б1в3г1д2е2	a2б1в3г1д3е1	a2б1в3г1д3е2
			г2	a2б1в3г2д1е1	a2б1в3г2д1е2	a2б1в3г2д2е1	a2б1в3г2д2е2	a2б1в3г2д3е1	a2б1в3г2д3е2
			г3	a2б1в3г3д1е1	a2б1в3г3д1е2	a2б1в3г1д2е1	a2б1в3г3д2е2	a2б1в3г3д3е1	a2б1в3г3д3е2
	б2	в1	г1	a2б2в1г1д1е1	a2б2в1г1д1е2	a2б2в1г1д2е1	a2б2в1г1д2е2	a2б2в1г1д3е1	a2б2в1г1д3е2
			г2	a2б2в1г2д1е1	a2б2в1г2д1е2	a2б2в1г2д2е1	a2б2в1г2д2е2	a2б2в1г2д3е1	a2б2в1г2д3е2

		b2	g3	a262b1g3d1e1	a262b1g3d1e2	a262b1g1d2e1	a262b1g3d2e2	a262b1g3d3e1	a262b1g3d3e2	
			g1	a262b2g1d1e1	a262b2g1d1e2	a262b2g1d2e1	a262b2g1d2e2	a262b2g1d3e1	a262b2g1d3e2	
			g2	a262b2g2d1e1	a262b2g2d1e2	a262b2g2d2e1	a262b2g2d2e2	a262b2g2d3e1	a262b2g2d3e2	
			g3	a262b2g3d1e1	a262b2g3d1e2	a262b2g1d2e1	a262b2g3d2e2	a262b2g3d3e1	a262b2g3d3e2	
		b3	g1	a262b3g1d1e1	a262b3g1d1e2	a262b3g1d2e1	a262b3g1d2e2	a262b3g1d3e1	a262b3g1d3e2	
			g2	a262b3g2d1e1	a262b3g2d1e2	a262b3g2d2e1	a262b3g2d2e2	a262b3g2d3e1	a262b3g2d3e2	
			g3	a262b3g3d1e1	a262b3g3d1e2	a262b3g1d2e1	a262b3g3d2e2	a262b3g3d3e1	a262b3g3d3e2	
		a3	b1	g1	a361b1g1d1e1	a361b1g1d1e2	a361b1g1d2e1	a361b1g1d2e2	a361b1g1d3e1	a361b1g1d3e2
				g2	a361b1g2d1e1	a361b1g2d1e2	a361b1g2d2e1	a361b1g2d2e2	a361b1g2d3e1	a361b1g2d3e2
g3	a361b1g3d1e1			a361b1g3d1e2	a361b1g1d2e1	a361b1g3d2e2	a361b1g3d3e1	a361b1g3d3e2		
b2	g1			a361b2g1d1e1	a361b2g1d1e2	a361b2g1d2e1	a361b2g1d2e2	a361b2g1d3e1	a361b2g1d3e2	
	g2			a361b2g2d1e1	a361b2g2d1e2	a361b2g2d2e1	a361b2g2d2e2	a361b2g2d3e1	a361b2g2d3e2	
	g3			a361b2g3d1e1	a361b2g3d1e2	a361b2g1d2e1	a361b2g3d2e2	a361b2g3d3e1	a361b2g3d3e2	
b3	g1			a361b3g1d1e1	a361b3g1d1e2	a361b3g1d2e1	a361b3g1d2e2	a361b3g1d3e1	a361b3g1d3e2	
	g2			a361b3g2d1e1	a361b3g2d1e2	a361b3g2d2e1	a361b3g2d2e2	a361b3g2d3e1	a361b3g2d3e2	
	g3			a361b3g3d1e1	a361b3g3d1e2	a361b3g1d2e1	a361b3g3d2e2	a361b3g3d3e1	a361b3g3d3e2	
b2	b1		g1	a362b1g1d1e1	a362b1g1d1e2	a362b1g1d2e1	a362b1g1d2e2	a362b1g1d3e1	a362b1g1d3e2	
			g2	a362b1g2d1e1	a362b1g2d1e2	a362b1g2d2e1	a362b1g2d2e2	a362b1g2d3e1	a362b1g2d3e2	
			g3	a362b1g3d1e1	a362b1g3d1e2	a362b1g1d2e1	a362b1g3d2e2	a362b1g3d3e1	a362b1g3d3e2	
	b2		g1	a362b2g1d1e1	a362b2g1d1e2	a362b2g1d2e1	a362b2g1d2e2	a362b2g1d3e1	a362b2g1d3e2	
			g2	a362b2g2d1e1	a362b2g2d1e2	a362b2g2d2e1	a362b2g2d2e2	a362b2g2d3e1	a362b2g2d3e2	
			g3	a362b2g3d1e1	a362b2g3d1e2	a362b2g1d2e1	a362b2g3d2e2	a362b2g3d3e1	a362b2g3d3e2	
	b3		g1	a362b3g1d1e1	a362b3g1d1e2	a362b3g1d2e1	a362b3g1d2e2	a362b3g1d3e1	a362b3g1d3e2	
			g2	a362b3g2d1e1	a362b3g2d1e2	a362b3g2d2e1	a362b3g2d2e2	a362b3g2d3e1	a362b3g2d3e2	
			g3	a362b3g3d1e1	a362b3g3d1e2	a362b3g1d2e1	a362b3g3d2e2	a362b3g3d3e1	a362b3g3d3e2	
a4	b1	g1	a461b1g1d1e1	a461b1g1d1e2	a461b1g1d2e1	a461b1g1d2e2	a461b1g1d3e1	a461b1g1d3e2		
		g2	a461b1g2d1e1	a461b1g2d1e2	a461b1g2d2e1	a461b1g2d2e2	a461b1g2d3e1	a461b1g2d3e2		
		g3	a461b1g3d1e1	a461b1g3d1e2	a461b1g1d2e1	a461b1g3d2e2	a461b1g3d3e1	a461b1g3d3e2		
		b2	g1	a461b2g1d1e1	a461b2g1d1e2	a461b2g1d2e1	a461b2g1d2e2	a461b2g1d3e1	a461b2g1d3e2	
			g2	a461b2g2d1e1	a461b2g2d1e2	a461b2g2d2e1	a461b2g2d2e2	a461b2g2d3e1	a461b2g2d3e2	
			g3	a461b2g3d1e1	a461b2g3d1e2	a461b2g1d2e1	a461b2g3d2e2	a461b2g3d3e1	a461b2g3d3e2	
		b3	g1	a461b3g1d1e1	a461b3g1d1e2	a461b3g1d2e1	a461b3g1d2e2	a461b3g1d3e1	a461b3g1d3e2	
			g2	a461b3g2d1e1	a461b3g2d1e2	a461b3g2d2e1	a461b3g2d2e2	a461b3g2d3e1	a461b3g2d3e2	
			g3	a461b3g3d1e1	a461b3g3d1e2	a461b3g1d2e1	a461b3g3d2e2	a461b3g3d3e1	a461b3g3d3e2	

		62	b1	g1	a462b1g1d1e1	a462b1g1d1e2	a462b1g1d2e1	a462b1g1d2e2	a462b1g1d3e1	a462b1g1d3e2		
				g2	a462b1g2d1e1	a462b1g2d1e2	a462b1g2d2e1	a462b1g2d2e2	a462b1g2d3e1	a462b1g2d3e2		
				g3	a462b1g3d1e1	a462b1g3d1e2	a462b1g1d2e1	a462b1g3d2e2	a462b1g3d3e1	a462b1g3d3e2		
			b2	g1	a462b2g1d1e1	a462b2g1d1e2	a462b2g1d2e1	a462b2g1d2e2	a462b2g1d3e1	a462b2g1d3e2		
				g2	a462b2g2d1e1	a462b2g2d1e2	a462b2g2d2e1	a462b2g2d2e2	a462b2g2d3e1	a462b2g2d3e2		
				g3	a462b2g3d1e1	a462b2g3d1e2	a462b2g1d2e1	a462b2g3d2e2	a462b2g3d3e1	a462b2g3d3e2		
			b3	g1	a462b3g1d1e1	a462b3g1d1e2	a462b3g1d2e1	a462b3g1d2e2	a462b3g1d3e1	a462b3g1d3e2		
				g2	a462b3g2d1e1	a462b3g2d1e2	a462b3g2d2e1	a462b3g2d2e2	a462b3g2d3e1	a462b3g2d3e2		
				g3	a462b3g3d1e1	a462b3g3d1e2	a462b3g1d2e1	a462b3g3d2e2	a462b3g3d3e1	a462b3g3d3e2		
		a5		61	b1	g1	a561b1g1d1e1	a561b1g1d1e2	a561b1g1d2e1	a561b1g1d2e2	a561b1g1d3e1	a561b1g1d3e2
						g2	a561b1g2d1e1	a561b1g2d1e2	a561b1g2d2e1	a561b1g2d2e2	a561b1g2d3e1	a561b1g2d3e2
						g3	a561b1g3d1e1	a561b1g3d1e2	a561b1g1d2e1	a561b1g3d2e2	a561b1g3d3e1	a561b1g3d3e2
b2	g1				a561b2g1d1e1	a561b2g1d1e2	a561b2g1d2e1	a561b2g1d2e2	a561b2g1d3e1	a561b2g1d3e2		
	g2				a561b2g2d1e1	a561b2g2d1e2	a561b2g2d2e1	a561b2g2d2e2	a561b2g2d3e1	a561b2g2d3e2		
	g3				a561b2g3d1e1	a561b2g3d1e2	a561b2g1d2e1	a561b2g3d2e2	a561b2g3d3e1	a561b2g3d3e2		
b3	g1				a561b3g1d1e1	a561b3g1d1e2	a561b3g1d2e1	a561b3g1d2e2	a561b3g1d3e1	a561b3g1d3e2		
	g2				a561b3g2d1e1	a561b3g2d1e2	a561b3g2d2e1	a561b3g2d2e2	a561b3g2d3e1	a561b3g2d3e2		
	g3				a561b3g3d1e1	a561b3g3d1e2	a561b3g1d2e1	a561b3g3d2e2	a561b3g3d3e1	a561b3g3d3e2		
b1	g1			a562b1g1d1e1	a562b1g1d1e2	a562b1g1d2e1	a562b1g1d2e2	a562b1g1d3e1	a562b1g1d3e2			
	g2			a562b1g2d1e1	a562b1g2d1e2	a562b1g2d2e1	a562b1g2d2e2	a562b1g2d3e1	a562b1g2d3e2			
	g3			a562b1g3d1e1	a562b1g3d1e2	a562b1g1d2e1	a562b1g3d2e2	a562b1g3d3e1	a562b1g3d3e2			
62	b2	g1	a562b2g1d1e1	a562b2g1d1e2	a562b2g1d2e1	a562b2g1d2e2	a562b2g1d3e1	a562b2g1d3e2				
		g2	a562b2g2d1e1	a562b2g2d1e2	a562b2g2d2e1	a562b2g2d2e2	a562b2g2d3e1	a562b2g2d3e2				
		g3	a562b2g3d1e1	a562b2g3d1e2	a562b2g1d2e1	a562b2g3d2e2	a562b2g3d3e1	a562b2g3d3e2				
	b3	g1	a562b3g1d1e1	a562b3g1d1e2	a562b3g1d2e1	a562b3g1d2e2	a562b3g1d3e1	a562b3g1d3e2				
		g2	a562b3g2d1e1	a562b3g2d1e2	a562b3g2d2e1	a562b3g2d2e2	a562b3g2d3e1	a562b3g2d3e2				
		g3	a562b3g3d1e1	a562b3g3d1e2	a562b3g1d2e1	a562b3g3d2e2	a562b3g3d3e1	a562b3g3d3e2				
	a6		61	b1	g1	a661b1g1d1e1	a661b1g1d1e2	a661b1g1d2e1	a661b1g1d2e2	a661b1g1d3e1	a661b1g1d3e2	
					g2	a661b1g2d1e1	a661b1g2d1e2	a661b1g2d2e1	a661b1g2d2e2	a661b1g2d3e1	a661b1g2d3e2	
					g3	a661b1g3d1e1	a661b1g3d1e2	a661b1g1d2e1	a661b1g3d2e2	a661b1g3d3e1	a661b1g3d3e2	
b2				g1	a661b2g1d1e1	a661b2g1d1e2	a661b2g1d2e1	a661b2g1d2e2	a661b2g1d3e1	a661b2g1d3e2		
				g2	a661b2g2d1e1	a661b2g2d1e2	a661b2g2d2e1	a661b2g2d2e2	a661b2g2d3e1	a661b2g2d3e2		
				g3	a661b2g3d1e1	a661b2g3d1e2	a661b2g1d2e1	a661b2g3d2e2	a661b2g3d3e1	a661b2g3d3e2		
b3				g1	a661b3g1d1e1	a661b3g1d1e2	a661b3g1d2e1	a661b3g1d2e2	a661b3g1d3e1	a661b3g1d3e2		
				g2	a661b3g2d1e1	a661b3g2d1e2	a661b3g2d2e1	a661b3g2d2e2	a661b3g2d3e1	a661b3g2d3e2		
				g3	a661b3g3d1e1	a661b3g3d1e2	a661b3g1d2e1	a661b3g3d2e2	a661b3g3d3e1	a661b3g3d3e2		
62			b1	g1	a661b1g1d1e1	a661b1g1d1e2	a661b1g1d2e1	a661b1g1d2e2	a661b1g1d3e1	a661b1g1d3e2		
				g2	a661b1g2d1e1	a661b1g2d1e2	a661b1g2d2e1	a661b1g2d2e2	a661b1g2d3e1	a661b1g2d3e2		
				g3	a661b1g3d1e1	a661b1g3d1e2	a661b1g1d2e1	a661b1g3d2e2	a661b1g3d3e1	a661b1g3d3e2		

Продолжение таблицы Д.1

			г2	а661в3г2д1е1	а661в3г2д1е2	а661в3г2д2е1	а661в3г2д2е2	а661в3г2д3е1	а661в3г2д3е2
			г3	а661в3г3д1е1	а661в3г3д1е2	а661в3г1д2е1	а661в3г3д2е2	а661в3г3д3е1	а661в3г3д3е2
		в1	г1	а662в1г1д1е1	а662в1г1д1е2	а662в1г1д2е1	а662в1г1д2е2	а662в1г1д3е1	а662в1г1д3е2
			г2	а662в1г2д1е1	а662в1г2д1е2	а662в1г2д2е1	а662в1г2д2е2	а662в1г2д3е1	а662в1г2д3е2
			г3	а662в1г3д1е1	а662в1г3д1е2	а662в1г1д2е1	а662в1г3д2е2	а662в1г3д3е1	а662в1г3д3е2
		в2	г1	а662в2г1д1е1	а662в2г1д1е2	а662в2г1д2е1	а662в2г1д2е2	а662в2г1д3е1	а662в2г1д3е2
			г2	а662в2г2д1е1	а662в2г2д1е2	а662в2г2д2е1	а662в2г2д2е2	а662в2г2д3е1	а662в2г2д3е2
			г3	а662в2г3д1е1	а662в2г3д1е2	а662в2г1д2е1	а662в2г3д2е2	а662в2г3д3е1	а662в2г3д3е2
		в3	г1	а662в3г1д1е1	а662в3г1д1е2	а662в3г1д2е1	а662в3г1д2е2	а662в3г1д3е1	а662в3г1д3е2
			г2	а662в3г2д1е1	а662в3г2д1е2	а662в3г2д2е1	а662в3г2д2е2	а662в3г2д3е1	а662в3г2д3е2
			г3	а662в3г3д1е1	а662в3г3д1е2	а662в3г1д2е1	а662в3г3д2е2	а662в3г3д3е1	а662в3г3д3е2

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ЦЕНТР АГРОХИМИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ "НИЖЕГОРОДСКИЙ"
603107 г. Н.НОВГОРОД, пр. ГАГАРИНА, д.97
тел. 466-00-08

Химический состав корма на абсолютно-сухое вещество на 14.08.2024 г

Заказчик: ЧЛ Семенов Сергей Вячеславович (НГИЭУ, г.Княгинино)

Шифр	Номер пробы	Наименование корма	Сахар, %
56	1	Патока зерновая (пшеница)	45,8
57	2	Патока зерновая (ячмень)	33,6
58	3	Патока зерновая (рожь)	36,5

Начальник отдела

Исполнитель



Оленева Т.А.

Мурьянова Е.Л.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

Расчет технико-энергетической эффективности разработанной установки по приготовлению зерновой патоки по сравнению с установкой УЖК-500

Совокупные затраты, приходящиеся на весь технологический процесс, определяются по формуле:

$$E_c = E_{\pi} + \frac{E_{\text{ж}} + E_{\text{об}} + E_{\text{пом}}}{Q},$$

где E_{π} – прямые затраты энергии, МДж/т;

$E_{\text{ж}}$ – затраты живого труда, МДж/ч;

$E_{\text{об}}, E_{\text{пом}}$ – энергоёмкости соответственно оборудования и производственного помещения, МДж/ч.

Прямые затраты энергии равны:

$$E_{\pi} = H_{\text{э}} \cdot K_{\text{э}},$$

где $H_{\text{э}}$ – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т;

$K_{\text{э}}$ – коэффициент перевода из 1 кВт·ч в 1 МДж, $K_{\text{э}} = 3,6$.

Расход электроэнергии при отсутствии норм можно рассчитать по формуле:

$$H_{\text{э}} = \frac{\sum N}{Q}.$$

Прямые затраты энергии составляют:

- для УЖК-500:

$$E_{\text{п.ужк}} = \frac{15}{0,125} * 3,6 = 432 \text{ МДж/т},$$

- для разработанной установки:

$$E_{\text{упп}} = \frac{5,5}{0,08} * 3,6 = 227,5 \text{ МДж/т},$$

Энергозатраты живого труда рассчитываются по выражению

$$E_{\text{ж}} = n_{\text{ч}} \cdot \alpha_{\text{ж}},$$

где $\alpha_{\text{ж}}$ – энергетический эквивалент затрат труда;

$$\alpha_{\text{ж}} = 0,9 \text{ МДж/чел-ч}.$$

Подставив числовые значения, определяем $E_{\text{ж}}$ для базового и нового вариантов:

$$E_{\text{ужк}} = 1 \cdot 0,9 = 0,9 \text{ МДж/ч}.$$

$$E_{\text{упп}} = 1 \cdot 0,9 = 0,9 \text{ МДж/ч}.$$

Удельная энергоёмкость, приходящаяся на 1 ч работы установки, определяется по формуле:

$$E_{\text{об}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{об}}}{T_{\text{г}}},$$

где $T_{\text{г}}$ – годовая загрузка машины, ч;

$\mathcal{E}_{\text{об}}$ – общая энергоёмкость машины, МДж.

$$\mathcal{E}_{\text{об}} = \alpha_{\text{об}} \cdot M,$$

где $\alpha_{\text{об}}$ – энергетический эквивалент оборудования, $\alpha_{\text{об}} = 104 \text{ МДж/кг}$.

Удельная энергоёмкость, приходящаяся на 1 ч работы установок, составляет:

- для базовой установки:

$$E_{\text{ужк}} = \frac{104 * 650}{2190} = 30,86 \text{ МДж/ч};$$

- для разработанной установки:

$$E_{\text{упп}} = \frac{104 * 80}{4562} = 1,82 \text{ МДж/ч};$$

Энергоёмкость использования производственных помещений равна:

$$E_{\text{пом}} = \frac{\alpha_{\text{пом}} \cdot F_{\text{пом}} \cdot Q}{100 \cdot T_{\text{г}} \cdot S},$$

где $\alpha_{\text{пом}}$ – энергетический эквивалент помещения, $\alpha_{\text{пом}} = 5025 \text{ МДж/м}^2$;

$F_{\text{пом}}$ – площадь, занимаемая машиной, м².

Энергоёмкость использования производственных помещений:

- для базовой установки:

$$E_{\text{ужк}} = \frac{5025 * 1,76 * 0,125}{100 * 2190 * 1} = 0,005 \text{ МДж/ч};$$

- для разработанной установки:

$$E_{\text{упп}} = \frac{5025 * 1,21 * 0,08}{100 * 4562 * 1} = 0,001 \text{ МДж/ч};$$

Определяем совокупные затраты по выражению:

- для базовой установки:

$$E_{\text{ужк}} = 432 + \frac{0,9 + 30,86 + 0,005}{0,125} = 686,12 \text{ МДж/ч};$$

- для разработанной установки:

$$E_{\text{упп}} = 227,5 + \frac{0,9 + 1,82 + 0,001}{0,08} = 230,23 \text{ МДж/ч};$$

Коэффициент, характеризующий энергетические затраты составляет:

$$K_{\text{э}} = \frac{230,23}{686,12} = 0,33$$

Уровень интенсификации:

$$I = (1 - K_{\text{э}}) \cdot 100,$$

$$I = (1 - 0,33) \cdot 100 = 67\%$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(справочное)

Расчет технико-экономической эффективности разработанной установки по приготовлению зерновой патоки по сравнению с установкой УЖК-500

Совокупность всех финансовых затрат равна [21]:

$$I_{С.З} = I + I_{К.П} + I_{У.Т} + I_{Э}, \quad (5.1)$$

где I – прямые финансовые затраты, связанные с эксплуатацией, руб./т;

$I_{К.П}$ – финансовые затраты, зависящие от изменения качества готового продукта и его количества, руб./т;

$I_{У.Т}$ – финансовые затраты, связанные с условиями труда персонала, проводящего обслуживание оборудования, руб./т;

$I_{Э}$ – финансовые затраты, связанные с негативным влиянием на окружающую среду, руб./т.

Прямые финансовые затраты, связанные с эксплуатацией, рассчитываются по формуле [21]:

$$I = З + Г + Р + А + Ф, \quad (5.2)$$

где $З$ - финансовые затраты, идущие на оплату труда персонала, проводящего обслуживание оборудования, руб./т;

$Г$ - финансовые затраты, идущие на оплату электроэнергии, руб./т;

$Р$ - финансовые затраты, идущие на ремонт и ТО, руб./т;

$А$ - финансовые затраты, идущие на амортизацию предлагаемого и базовой установки УЖК-500, руб./т;

$Ф$ - прочие прямые финансовые затраты, идущие на основные и вспомогательные материалы, руб./т.

Финансовые затраты, идущие на оплату труда персонала, проводящего обслуживание оборудования [21]:

$$З = \frac{1}{W_{ЭК}} Л \tau K_3, \quad (5.3)$$

где $W_{ЭК}$ – производительность оцениваемой установки, т/ч;

$Л$ - число людей, связанных с обслуживанием установки, чел;

τ - оплата труда людей, связанных с обслуживанием установки, руб./чел-ч ($\tau = 175$ руб./чел-ч);

K_3 - коэффициент начислений на зарплату.

Рассчитываем финансовые затраты, идущие на оплату труда персонала, проводящего обслуживание разработанной установки для приготовления патоки:

$$З_{упп} = \frac{1}{0,08} \cdot 1 \cdot 175 \cdot 1,03 = 2253,12 \text{ руб./т.}$$

Для УЖК-500 денежные затраты составят:

$$З_{ужк} = \frac{1}{0,1} \cdot 1 \cdot 175 \cdot 1,03 = 1802,5 \text{ руб./т.}$$

Финансовые затраты, идущие на оплату электроэнергии [21]:

$$\Gamma = q_Э \cdot Ц_Э, \quad (5.4)$$

где $q_Э$ –расход электроэнергии, приведенный к единице готовой продукции кВт·ч/т;

$Ц_Э$ – цена за 1 кВт·ч электроэнергии, ($Ц_Э = 9$ руб./кВт·ч).

Вычисляем финансовые затраты, идущие на оплату электроэнергии для установки:

$$\Gamma_{\text{УПП}} = 68,75 \cdot 9 = 618,75 \text{ руб./т.}$$

Для УЖК-500 получим следующее значение:

$$\Gamma_{\text{УЖК}} = 250 \cdot 9 = 2250 \text{ руб./т.}$$

Финансовые затраты, идущие на ремонт и ТО установки, вычисляем по формуле [21]:

$$P = \frac{B \cdot r_P}{W_{\text{ЭК}} \cdot T_3}, \quad (5.5)$$

где B – балансовая цена сравниваемых образцов, руб.;

$W_{\text{ЭК}}$ – производительность сравниваемых образцов, т/ч;

r_P – коэффициент, связанный с отчислениями, предназначенными для ремонта и ТО, $r_P = 0,13$ [49];

T_3 – годовая загрузка сравниваемых образцов, ч.

Для предлагаемой установки получим следующее:

$$P_{\text{УПП}} = \frac{130000 \cdot 0,13}{0,08 \cdot 1004} = 210,4 \text{ руб./т.}$$

Для УЖК-500 имеем:

$$P_{\text{УЖК}} = \frac{397644 \cdot 0,13}{0,1 \cdot 803} = 643,8 \text{ руб./т.}$$

Финансовые затраты, идущие на амортизацию предлагаемого и базового измельчителей зерна, равны [21]:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{\text{ЭК}} \cdot T_3}, \quad (5.6)$$

где a – коэффициент, учитывающий отчисления, связанные с амортизацией сравниваемых образцов, ($a = 0,167$ [49]).

Для предлагаемой установки для приготовления зерновой патоки получим следующее значение данного показателя:

$$A_{упп} = \frac{130000 \cdot 0,167}{0,08 \cdot 1004} = 270,3 \text{ руб./т.}$$

Для УЖК-500 имеем:

$$A_{ужк} = \frac{397644 \cdot 0,167}{0,1 \cdot 803} = 827 \text{ руб./т.}$$

Прочие прямые финансовые затраты, идущие на основные и вспомогательные материалы вычисляем как [21]:

$$\Phi = \sum h_i C_{mi}, \quad (5.7)$$

где h_i – расход i -го материала, приведенный к единице готового продукта, кг/т;

C_{mi} – стоимость единицы i -го вида расходуемого материала, руб.

$$\Phi = 0 \text{ руб./т.}$$

Все расчетные значения подставляем в (5.2). Тогда для разработанного установки будем иметь:

$$I_{упп} = 2253,12 + 618,75 + 210,4 + 270,3 = 3375,1 \text{ руб./т.}$$

Для УЖК-500:

$$I_{ужк} = 1802,5 + 2250 + 643,8 + 827 = 5523,3 \text{ руб./т.}$$

Затраты труда, связанные с процессом приготовления зерновой патоки [21]:

$$Z_T = \frac{L}{W_{ИЗМ}}, \quad (5.8)$$

Для разработанной установки приготовления зерновой патоки:

$$Z_{ТУП} = 1/0,08 = 12,5 \text{ чел.-ч/т.}$$

Для УЖК-500:

$$Z_{ТУЖК} = 1/0,1 = 10 \text{ чел.-ч/т.}$$

Остаточную стоимость, приведенную к единице готового корма, сравниваемых установок вычисляем по формуле [21]:

$$C_{ост} = \frac{B(\lambda_{m.p} - \lambda_{a.p})}{\lambda_{m.p} T_3 W_{ЭК}}, \quad (5.9)$$

где $\lambda_{m.p}$ - прогнозируемый ресурс установок, ч;

$\lambda_{a.p}$ – реальный ресурс установок, ч;

Для предлагаемой установки:

$$C_{ост\ упп} = \frac{130000 \cdot (20000 - 16500)}{20000 \cdot 1004 \cdot 0,08} = 283,2 \text{ руб./т.}$$

Для УЖК-500:

$$C_{ост\ ужк} = \frac{397644 \cdot (20000 - 16500)}{20000 \cdot 803 \cdot 0,1} = 866,6 \text{ руб./т.}$$

Годовую наработку сравниваемых установок вычисляли по формуле [21]:

$$B_3 = W_{ЭК} \cdot T_3, \quad (5.10)$$

Для разработанной установки:

$$B_3\ упп = 0,08 \cdot 1004 = 80,3 \text{ т.}$$

Для установки УЖК-500:

$$B_{з\ ужк} = 0,1 \cdot 803 = 80,3 \text{ т.}$$

$$I_{к.п} = 0 \text{ руб.}$$

Затраты средств, учитывающие уровень условий труда обслуживающего персонала при приготовлении кормов $I_{у.т} = 0$.

Затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду $I_{э} = 0$ руб, так как приводом в установках являются электродвигатели.

Рассчитанные значения ставим в (5.1). Для разработанной установки будем иметь:

$$I_{с.з\ упп} = 3375,1 + 0 + 0 + 0 = 3375,1 \text{ руб./т.}$$

Для УЖК-500:

$$I_{с.з\ ужк} = 5523,3 + 0 + 0 + 0 = 5523,3 \text{ руб./т.}$$

Определяем годовую экономию финансовых затрат на реализацию процесса предлагаемой установкой для приготовления зерновой патоки [21]:

$$\mathcal{E}_{г.н} = B_з \cdot ((I_{с.з.б} - C_{ост.б}) - (I_{с.з.н} - C_{ост.н})). \quad (5.12)$$

Подставляем известные значения в формулу (5.12):

$$\mathcal{E}_{г.н} = 80,3 \cdot ((5523,3 - 866,6) - (3375,1 - 283,2)) = 125661,5 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, рассчитывали по формуле [29]:

$$T_{ок} = \frac{B_{ужк} - B_{кпу}}{\mathcal{E}_{г.н.}} \quad (5.13)$$

$$T_{ок} = \frac{397644 - 130000}{125661,5} = 2,1 \text{ года}$$

Верхний предел цены новой установки рассчитывается по выражению

[29]:

$$Ц_{Л} = \frac{\mathcal{E}_{Г.нуД}}{\alpha_H} + B_{ну}, \quad (5.14)$$

где α_H – коэффициент отчисления на амортизацию установки для приготовления зерновой патоки.

$$Ц_{Л} = \frac{125661,5}{1,04} + 130000 = 250828,4 \text{ руб.}$$