

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
КУРГАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Т.С. МАЛЬЦЕВА

На правах рукописи

ЕЗДИН Дмитрий Петрович



**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
ГУМИНОВОЙ СУСПЕНЗИИ**

Научная специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Фоминых А.В.

Курган – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Глава 1 Состояние вопроса, цель и задачи исследования.....	9
1.1 Понятие гуминовых веществ, их применение и основные функции...	9
1.2 Сравнительный анализ способов получения гуминовых препаратов..	11
1.3 Обзор вакуумных выпарных установок	22
1.4 Обзор вакуумных насосов	26
1.5 Выводы по главе и задачи исследования	34
Глава 2 Теоретические исследования процесса повышения концентрации гуминовой суспензии в вакуумной выпарной установке с эжектором.....	36
2.1 Схема вакуумной выпарной установки с эжектором.....	36
2.2 Методика расчёта расхода энергии, количества полученного пара и времени нагрева ВВУ до рабочей температуры при повышении кон- центрации гуминовой суспензии в ВВУ.....	37
2.3 Модернизация математической модели эжектора для расчёта в составе ВВУ	39
2.4 Разработка математической модели понижения давления в выпарном котле до рабочего значения	44
2.5 Результаты теоретических исследований эжектора для создания и поддержания требуемого давления в вакуумной выпарной установке..	47
2.6 Результаты теоретических исследований понижения давления в вы- парном котле до рабочего значения.....	52
2.7 Моделирование эжектора в программном комплексе SolidWorks 2017 Flow Simulation.....	57
2.8 Выводы по главе.....	60
Глава 3 Методика экспериментальных исследований.....	62
3.1 Программа и общая методика экспериментальных исследований.....	62
3.2 Методики статистической обработки экспериментальных данных.....	64

3.3	Методики определения физико-механических свойств гуминовой суспензии.....	68
3.4	Методики и оборудование, используемые при обосновании способа повышения концентрации гуминовой суспензии.....	69
3.4.1	Повышение концентрации суспензии в осадительной проточной центрифуге.....	69
3.4.2	Повышение концентрации суспензии выпариванием под вакуумом...	69
3.5	Выводы по главе.....	73
Глава 4 Результаты экспериментальных исследований		75
4.1	Определение физико-механических свойств гуминовой суспензии.....	75
4.2	Сравнение качества гуминовых препаратов, полученных при различных способах повышения концентрации гуминовой суспензии.....	78
4.3	Верификация модернизированной математической модели расчёта эжектора.....	81
4.4	Предлагаемые схемы вакуумных выпарных установок для повышения концентрации гуминовой суспензии.....	84
4.5	Результаты определения гидравлических характеристик эжектора.....	88
4.6	Энергосберегающая вакуумная выпарная установка для повышения концентрации гуминовой суспензии.....	94
4.7	Результаты испытания вакуумной выпарной установки.....	99
4.8	Технико-экономические показатели результатов исследований.....	102
4.9	Выводы по главе	110
Заключение		114
Список использованных источников		116
Приложения.....		130

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Основу плодородия – гумус успешно заменяют водорастворимые гуматы. Вместо 60 кг перегноя можно внести 6 кг биогумуса или 40...60 г гумата. При этом результат будет тот же или значительно выше. При использовании гуминовых препаратов в качестве добавки для животных наблюдается прирост живой массы, повышается сохранность потомства до ста процентов, уменьшается расход корма до 16%. В птицеводстве повышение сохранности поголовья на 5,72–8,57%, увеличение живой массы мясной курицы – бройлеров на 2,60 – 2,85% при снижении затрат кормовых смесей на 2,3–6,4%. В настоящее время во всём мире наблюдается стабильный рост производства гуминовых препаратов, это связано с их широким применением во многих отраслях промышленности, медицине, косметологии и в сельском хозяйстве. Анализ рынка показывает, что в ближайшие пять лет рост потребления гуминовых препаратов составит до 1% в год, а объёмы производства увеличатся до 5%.

Применяемое для производства гуминовых препаратов оборудование имеет ряд недостатков: сложное; дорогое; отрицательно воздействует на гуминовые препараты, снижая их качество; занимает большую площадь при низкой производительности и больших затратах труда. В настоящее время актуальным является разработка и обоснование параметров оборудования для производства гуминовых препаратов.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР Курганской ГСХА «Совершенствование технологий и технических средств производства и переработки сельскохозяйственной продукции» и планом НИОКР кафедры технические системы и сервис в агробизнесе «Совершенствование гидравлических и пневматических систем».

Степень разработанности темы. Вопросами совершенствования технологий производства кормов занимались учёные: С.В. Золотарёв, С.В. Мельников, В.И. Сыроватка, П.И. Леонтьев, Н.С. Сергеев, И.Я. Федоренко, В.В. Садов и другие. В исследование гуминовых веществ большой вклад внесли ученые: И.В. Тю-

рин, И.Д. Комиссаров, И.В. Грехова, М.М. Кононова, С.С. Драгунов, Л.Н. Александра, Ф. Стевенсон (США), М. Шнитцер (Канада), Т. Хаяси (Япония), Ф. Дюшофур (Франция), В. Фляйг (ФРГ) и др. В настоящее время наибольшее распространение имеют технологические линии производства гуминовых препаратов, в которых для повышения концентрации сухих веществ в гуминовой суспензии используются осадительные центрифуги. Процесс повышения концентрации гуминовой суспензии в вакуумной выпарной установке (ВВУ) недостаточно изучен.

Выдвинута **научная гипотеза:** эффективность применения и производства гуминовых препаратов определяется способом повышения концентрации гуминовой суспензии.

Цель работы: сохранение качества гумина при повышении концентрации сухих веществ в гуминовой суспензии на основе выбора технических средств повышения концентрации и обоснования режима их работы.

Объект исследования: технологические процессы в технических средствах повышения концентрации гуминовой суспензии.

Предмет исследования: взаимосвязь параметров конструкции и режимов работы технических средств повышения концентрации гуминовой суспензии с показателями эффективности процесса повышения её концентрации.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Определить физико-механические свойства гуминовой суспензии и обосновать технические средства для повышения её концентрации.
2. Разработать энергосберегающую конструктивно-технологическую схему ВВУ с эжектором.
3. Установить закономерности изменения и взаимосвязь эффективности процесса повышения концентрации гуминовой суспензии в ВВУ с параметрами конструкции и режимом работы эжектора и дать их аналитическое описание.
4. Разработать методику и провести экспериментальные исследования повышения концентрации гуминовой суспензии в ВВУ. Дать оценку технико-экономической эффективности результатов исследований.

Научная новизна:

- получены зависимости высоты осаждения и скорости осаждения частиц гуминовой суспензии;
- обоснована эффективность повышения концентрации гуминовой суспензии выпариванием при давлении ниже атмосферного;
- установлены закономерности изменения и взаимосвязь эффективности процесса повышения концентрации гуминовой суспензии в ВВУ с параметрами конструкции и режимом работы эжектора и дано их аналитическое описание;
- разработана методика проведения экспериментальных исследований процесса повышения концентрации гуминовой суспензии в ВВУ, при реализации которой установлены параметры исследуемого процесса.

Новизна технического решения подтверждена патентами РФ на полезную модель № 132071 «Линия производства гуминосодержащего препарата» и № 122313 «Центрифуга».

Теоретическая и практическая значимость результатов работы.

Определены физико-механические свойства гуминовой суспензии. Обоснованы технические средства повышения концентрации гуминовой суспензии отстаиванием и выпариванием при давлении ниже атмосферного, обеспечивающие получение эффективных препаратов.

Разработаны математические модели, позволяющие на стадии проектирования определять влияние различных факторов на производительность ВВУ. Результаты исследований послужили основой для разработки энергосберегающей ВВУ, обеспечивающей получение эффективных гуминовых препаратов при обеспечении безопасных и нормальных условий труда. Полученные результаты могут использоваться при проектировании технологических линий производства гуминовых препаратов.

На выставке Золотая осень – 2020 (г. Москва) Курганская ГСХА в номинации «За производство высокоэффективной сельскохозяйственной техники и внедрение прогрессивных ресурсосберегающих технологий» награждена бронзо-

вой медалью и дипломом за разработку линии производства гуминосодержащего препарата.

Результаты исследования могут быть использованы в НИИ и КБ для разработки конструкции ВВУ. Они используются в практической деятельности ООО «НПЦ «Эврика», и в учебном процессе ФГБОУ ВО Курганской ГСХА.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. В диссертации решены вопросы повышения эффективности производства гуминовых препаратов на основе применения ВВУ с рекомендованными параметрами конструкции и режимом работы, что соответствует формуле специальности 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства, а именно пункту 8 «Разработка технологий и технических средств для обработки продуктов, отходов и сырья в сельскохозяйственном производстве».

Методология и методы исследования. Теоретическая часть исследования выполнена на основе методов, применяемых в физике, математике, теплотехнике, гидравлике, а также методики моделирования физических процессов в программных продуктах Mathcad, Excel, Statistica и SolidWorks 2017 Flow Simulation. Экспериментальные исследования, обработка их результатов проведены в соответствии с ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 34437–2018 с применением современных поверенных приборов, математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Схема технологической линии производства гуминовых препаратов с ВВУ. Энергосберегающая ВВУ с эжектором.
2. Взаимосвязь параметров конструкции и режима функционирования разработанной ВВУ.
3. Математические модели расчёта рациональных конструкционных параметров ВВУ с эжектором, времени нагрева и времени понижения давления при выходе на рабочий режим ВВУ.
4. Методики проведения экспериментальных исследований.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: Всероссийских научно-практических конференциях Курганской ГСХА (2010, 2020, 2021 гг.), на международной научно-практической конференции Курганской ГСХА (2011г.), на международных научно-практических конференциях «Достижения науки — агропромышленному производству» Южно-Уральского государственного аграрного университета (2011, 2012 гг.), на региональной научно-практической конференции молодых ученых государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень (2013г.), на национальной (всероссийской) научной конференции «Современная аграрная наука: теория и практика», ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, г. Челябинск (2021 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 7 научных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 1 – в издании, входящем в международную базу данных «Scopus», получено два патента на полезную модель.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, четырёх глав, выводов, библиографии и приложений. Работа изложена на 139 страницах, содержит 54 иллюстрации, 15 таблиц и 7 приложений. Список использованных источников включает 123 наименования, в том числе 15 на иностранных языках.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Понятие гуминовых веществ, их применение и основные функции

На современном этапе развития страны повышение эффективности в аграрном секторе экономики – одна из первостепенных задач, чему способствует увеличение объемов производства продукции растениеводства и животноводства, направленное на импортозамещение. В растениеводстве повысить урожайность сельскохозяйственных культур и улучшить качество продукции можно с помощью регуляторов роста и развития растений [13,33,67,113]. Важнейшим условием для развития животноводства, увеличения поголовья животных, повышения их продуктивности является создание прочной кормовой базы. Этому способствует применение биологически активных веществ, совершенствование технологий и технических средств производства комбикормов и БМВД для сельскохозяйственных животных и птицы [5,10,31,109,116,1120].

Решить эти задачи способны природные препараты на основе гуминовых веществ, их получают из торфа, бурого угля, сапропеля.

В состав гумуса, продукта длительной трансформации остатков живых и растительных организмов входят гуминовые вещества. Это – высокомолекулярные соединения, которые содержат азот, формируются в грунтах, торфе, угле, сапропели. Они аккумулируют энергию, снижают отрицательное действие вредных веществ, оказывают положительное воздействие на формирование организмов. [39,51,54,114].

Гуминовые вещества представлены гумусовыми кислотами, прогуминовыми веществами и гумином.

Гумусовые кислоты представляют собой азотсодержащие высокомолекулярные оксикарбоновые кислоты с интенсивной темно-бурой окраской [21,34].

Гумусовые кислоты по растворимости в воде, щелочи, кислоте делят на фульвокислоты, гуминовые и гиматомелановые кислоты.

Гуминовые кислоты – смесь природных органических соединений, которая возникает при естественном разложении растений и их гумификации (преобразования органических остатков в гумус при участии бактерий, воды и кислорода).

Гуминовые вещества содержат: углерода 40-60%, кислорода 30-50%, водорода 3-7%, азота 1-5% на сухое беззольное вещество[74].

Вопросами совершенствования технологий производства кормов занимались учёные: С.В. Золотарёв, С.В. Мельников, В.И. Сыроватка, П.И. Леонтьев, Н.С. Сергеев, И.Я. Федоренко, В.В. Садов и другие [46,56,72,76,77,79,86,90,91]. В исследование гуминовых веществ большой вклад внесли ученые: И.В. Тюрин, И.Д. Комиссаров, И.В. Грехова, М.М. Кононова, С.С. Драгунов, Л.Н. Александрова, Ф. Стевенсон (США), М. Шнитцер (Канада), Т. Хаяси (Япония), Ф. Дюшофур (Франция), В. Фляйг (ФРГ) и др [89,110,111,115,117,121]. На данный момент созданы методы выделения гуминов из различных природных веществ, определен химический состав, свойства, исследовано воздействие на живые организмы и растения. Изучено применение гуминовых веществ в сельском хозяйстве и промышленности [36].

Одними из первых исследованиями в области выделения гуминовых веществ из природного сырья и вопросами повышения эффективности методов занимались такие учёные, как Л.А. Христева, С.С. Драгунов, М.М. Кононова, В.А. Ваксман и другие учёные. Большой вклад в изучение гуминовых препаратов также внесли заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор наук, профессор Комиссаров Игорь Дисанович и доктор биологических наук, профессор, генеральный директор НПЦ «Эврика» Грехова Ираида Владимировна [52,53,105].

В настоящее время во всём мире наблюдается стабильный рост производства гуминовых препаратов, это связано с их широким применением во многих отраслях промышленности, медицине, косметологии и в сельском хозяйстве. Анализ рынка показывает, что в ближайшие пять лет рост потребления гуминовых препаратов составит до 1% в год, а объёмы производства увеличатся до 5%

в год. [51,60,78].

В современном растениеводстве гуминовые препараты применяют в целях стимуляции роста и развития растений и как вещества, обладающие защитными свойствами. Они улучшают усвоение растениями питательных элементов, повышают устойчивость растений к климатическим и биотическим стрессам [19,35].

На данный момент имеется большая база экспериментальных материалов, показывающая, что использование гуминовых препаратов ведёт к ускорению роста и развития животных, уменьшению заболеваемости, к росту устойчивости организма к неблагоприятным условиям внешней среды. Гуминовые вещества характеризуются стимулирующим и адаптогенным действием на клеточном и субклеточном уровнях [6,10].

В медицине и косметологии используются для лечебных масок, ванн, обёртывания, производства кремов, шампуней, мыла. Гуминовые препараты обладают комплексообразующими, противовоспалительными, иммуномодулирующими, антигипоксантами и антиоксидантными эффектами [17].

Гуминовые вещества используют в химии, в металлургии при производстве составов для литья, в добыче нефти в роли буровых растворов, при организации природоохранных мероприятий в экологии [44].

В текущих условиях предприятия по производству гуминовых препаратов способны решить государственные задачи, стоящие перед сельхозпроизводителями, по увеличению объемов производства продукции растениеводства и животноводства, по обеспечению здорового питания населения, укреплению продовольственной безопасности.

1.2 Сравнительный анализ способов получения гуминовых препаратов

Мировые запасы торфа составляют около 500 млрд т., в том числе всех разведанных свыше 235 млрд т. На Россию приходится около 47% мировых запасов торфа (рисунок 1.1), 53% приходится на остальные страны (Индонезия –

15,7%; США – 7,3%; Канада – 7,0%; Китай – 5,4% и др.) [104].

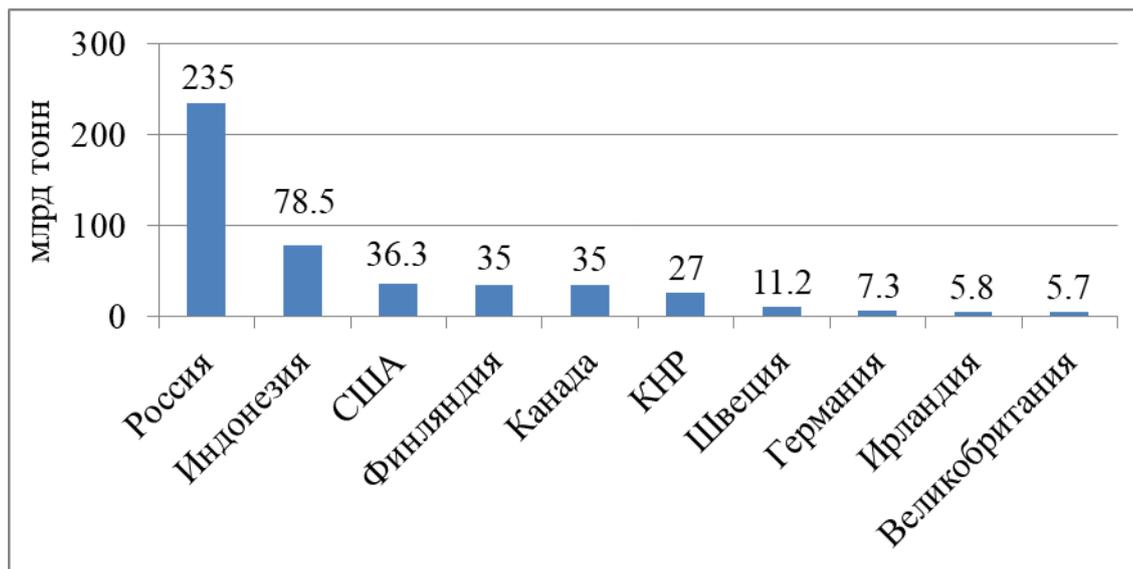


Рисунок 1.1 – Мировые запасы торфа

Учитывая объемы запасов торфа в нашей стране и его доступность, нет более достойной альтернативы сырья по производству гуминовых препаратов.

В настоящее время существует множество технологий получения гуминовых препаратов из торфа.

а) Производство гуминовых кислот для аккумуляторной промышленности.

Технологический процесс производства твердых гуминовых кислот из торфа и природноокислых углей осуществляется в аккумуляторной промышленности [36].

В основе принятого способа лежит известный в лабораторной практике метод извлечения гуминовых кислот из сырья натриевой щелочью с последующим осаждением раствором минеральной кислоты. В этом технологическом процессе не предусмотрен предварительный гидролиз сырья и удаление битумов.

В соответствии с технологической схемой (рисунок 1.2) сначала сырьё измельчают, затем «варят» при температуре кипения в 2% растворе NaOH (натриевая щёлочь). Соотношение сырья и реагента 1:10. Продолжительность 4 часа.

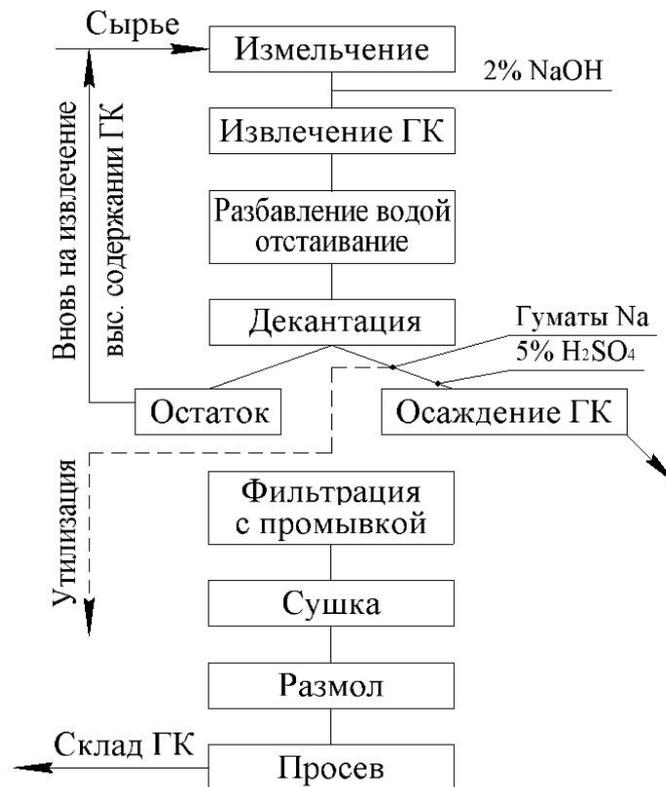


Рисунок 1.2 – Технологическая схема производства гуминовых кислот на Тюменском аккумуляторном заводе

Определение остаточного сырья осуществляется декантацией раствора натриевых солей гуминовых кислот. С этой целью суспензия, полученная после «варки», предварительно разбавляется холодной водой вдвое и отстаивается в течение 8-10 часов. Уровень слива надосадочной жидкости определяется опытным путем. Удаление сырьевого шлама осуществляется через нижнее сливное отверстие варочного котла.

Гуминовые кислоты осаждаются из щелочного раствора гуматов натрия 5% раствора серной кислоты, который подается в реакционную емкость сжатым воздухом.

После 12-часового отстаивания верхняя, осветленная часть жидкости декантируется, а кашицеобразный осадок сливается на фильтр прессы высокого давления. Выделенные на них гуминовые кислоты содержат еще около 95% влаги.

Сушка препарата осуществляется в полочной сушилке горячим воздухом

в течение 115-120 часов. Высушенные и измельченные гуминовые кислоты отмываются водой от сульфата натрия и избытка серной кислоты. После этого производится окончательная 40-часовая сушка, размол и просеивание полученного препарата гуминовых кислот.

Весьма громоздкую и малоэффективную операцию в рассматриваемой технологической схеме представляет процесс отделения раствора гуматов натрия от не прореагировавшего сырья [13,66,67].

в) Диспергационный способ.

Получение гуминовых кислот диспергационным способом представляет собой усовершенствование технологического процесса, рассмотренного в предыдущем методе.

Применение диспергации сырья в щелочной среде для более эффективного извлечения гуминовых кислот было предложено Л.Л. Хутовцевым, Т.А. Кухаренко и Г.М. Волковым в 1959 году.

Как видно из технологической схемы (рисунок 1.3), принципиально важной стадией является тонкое измельчение сырья в щелочной суспензии с помощью специального диспергатора или коллоидной мельницы. При этом происходит образование микротрещины в «зоне предразрушения» частиц сырья, что ведет к значительному увеличению их фактической удельной поверхности соприкосновения со щелочным реагентом [7,8].



Рисунок 1.3 – Технологическая схема получения гуминовых кислот диспергационным способом по Волкову

Отделение сырьевого шлама, а затем осажденных гуминовых кислот осуществляется в описываемом способе путем центрифугирования. Для этой цели применяется автоматическая горизонтальная центрифуга АОГ – 800. Снижение концентрации щелочи и возможность проведения процесса извлечения гуминовых кислот без нагревания, при использовании диспергационного метода, являются важными преимуществами этого способа перед используемой в производстве технологией.

с) Производство гуминовых кислот из торфа с применением электрохимической регенерации реагентов.

Безвозвратные потери значительных количеств дорогостоящих реагентов в процессе производства гуминовых кислот является одной из причин высокой стоимости получаемых препаратов.

В связи с этим важное значение приобретает разработка новых методов получения гуминовых кислот, позволяющих вести регенерацию используемых реагентов и утилизацию отходов производства.

Способ, частично решающий эту задачу был предложен К.В. Рящевцевым, С.С. Драгуновым, В.А. Никифоровым и М.Б. Гуменюк, которые разрабо-

тали технологическую схему, предусматривающую электрохимическую регенерацию растворов гидроокиси натрия и серной кислоты [38,71].

Возможны два варианта осуществления этого технологического процесса. В первом случае сырой торф в начале обрабатывается смешанным водным раствором едкого натра и сульфата натрия. Затем добавлением серной кислоты в полученный раствор гумата натрия осаждают гуминовые кислоты, которые выделяются в твердой фазе после центрифугирования. Промытый водой осадок поступает на сушку.

Фильтрат, содержащий сульфат натрия и фульвокислоты, поступает в электролизер, в котором осуществляется регенерация гидроокиси натрия (католит) и серной кислоты (анолит).

В соответствии с такой технологической схемой (рисунок 1.4) эти реагенты вновь используются в процессе получения гуминовых кислот.

Второй вариант этого способа отличается совмещением стадии осаждения гуминовой кислоты с регенерацией едкого натра. Обе эти операции осуществляются в одном процессе электролиза экстракта (рисунок 1.5), представляющего собой раствор гумата натрия в избытке щелочи.

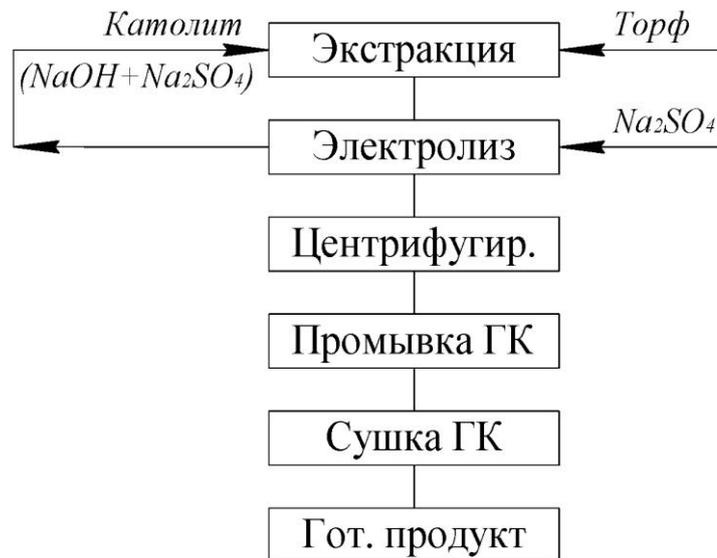


Рисунок 1.4 – Схема производства гуминовой кислоты с отдельным высаждением кислот и электрохимической регенерацией основных реагентов



Рисунок 1.5 – Схема производства гуминовой кислоты с совместным высаждением кислот и электрохимической регенерацией основных реагентов

Описываемый способ был изучен в лабораторных условиях при использовании торфяного сырья. Извлечение гуминовых кислот велось обработкой 15-кратным весовым количеством смешанного водного раствора натриевой щелочи и сульфата натрия при температуре 70 °С.

Электролитические процессы осуществлялись в типовом трехкамерном диализаторе с ионообменными мембранами МА-40с (анодная) и МК-40-2н (катодная). При работе по сокращенной схеме электролиз раствора гумата натрия может быть осуществлен и только с катионитовой мембраной.

В результате электролиза экстракта ионы натрия проходят через мембрану в катодное пространство и образуют раствор гидроокиси, а гумат-ионы и сульфат-ионы образуют в анодной камере соответствующие свободные кислоты.

д) Получение гуматов натрия.

Технология получения натриевых солей гуминовых кислот используется при производстве препаратов, пригодных для окрашивания технических бумаг и древесины.

Технологическая схема (рисунок 1.6) получения гуматов натрия, предло-

женная М.М. Кальниным, основывается на обработке торфа 0,5% раствором Na_2CO_3 (углекислый натрий), при соотношении 1:20. Взаимодействие происходит при температуре кипения в течение 2 часов. Помешивание суспензии осуществляется барботацией сжатого воздуха [49].

После завершения «варки» полученную суспензию разбавляют в 4 раза водой и вновь доводят до кипения. Затем прекращают барботацию воздуха и оставляют на 12-20 часов в спокойном состоянии для отстаивания твердых частиц сырья.

Надосадочная жидкость сливается в выпаренную ванну, а остаточное сырье утилизируется.

Полностью высушенный гуминовый препарат представляет собой черную, блестящую в изломе массу.

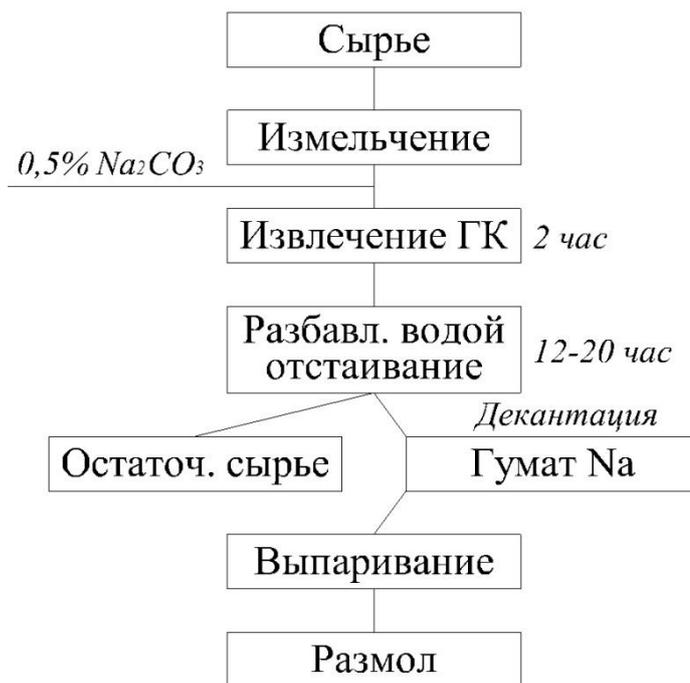


Рисунок 1.6 – Технологическая схема получения гуматов натрия

е) Технологическая схема получения гуминового препарата «Росток» в НПЦ «Эврика».

В основе технологии получения гуминового препарата «Росток» (рисунок 1.7) заложен метод получения гуматов натрия, предложенный М.М. Кальниным, но несколько измененный в виду целевого назначения препарата, т.е. для

нужд сельского хозяйства.

Исходным сырьем для получения препарата является торф. Поскольку процесс разложения органического торфа и переход ряда его соединений в доступное для усвоения растениями состояние протекает крайне медленно, то применение торфа в чистом виде эффективно лишь при очень высоких дозах его внесения в почву, что экономически невыгодно. Таким образом, необходим процесс «вытяжки» гуминовой кислоты из торфа с последующим получением концентрированного гуминового препарата.

В качестве реагента, для «вытяжки» гуминовой кислоты, выступает 0,5% раствор углекислого натрия (0,5% Na_2CO_3).

На первом этапе технологической линии торф измельчают до гранулообразного состояния, размер гранул 1-2 мм.

Вторым этапом, после измельчения, сырье погружают в термоизолированную емкость с 0,5% раствором углекислого натрия при соотношении близким 1:10. В течение 2 часов торф взаимодействует с раствором при температуре близкой к 90-100 °С.

На третьем этапе полученную массу сливают в емкости, разбавляют водой вдвое и оставляют на 8 часов отстаиваться, после чего остаточное сырье утилизируют, а суспензию переливают в емкости.

После промывки гуминовую суспензию сливают в емкость, разбавляют водой при соотношении 1:4, добавляют необходимые вещества и оставляют на 10 суток. Данная операция является четвертым этапом в технологической линии и представляет собой созревание гуминовой суспензии.

При производстве гуминовых препаратов необходимо повысить концентрацию гуминовой суспензии, чтобы удалить воду и вещества, используемые при получении суспензии, а также получить чистый качественный препарат, занимающий небольшой объём. Следующим пятым этапом в технологической схеме гуминовая суспензия отстаивается на протяжении 18-20 часов для увеличения концентрации частиц твердой фазы суспензии. После чего остаточное сырье утилизируют.

После отстаивания, суспензию подают на центрифуги. Цель данной операции заключается в получении более высокой концентрации сухих веществ в гуминовой суспензии.

Заключительный, седьмой этап, представляет собой приготовление уже непосредственно самого препарата «Росток». Извлеченная и очищенная гуминовая кислота разбавляется дистиллированной водой с добавлением необходимых компонентов и тщательно перемешивается. Специалистами предприятия производится контроль качества препарата по уровню рН и только после этого препарат разливают по тарам и отправляют на склад. Полученный препарат представляет собой 0,1% раствор темно-коричневого цвета [68].

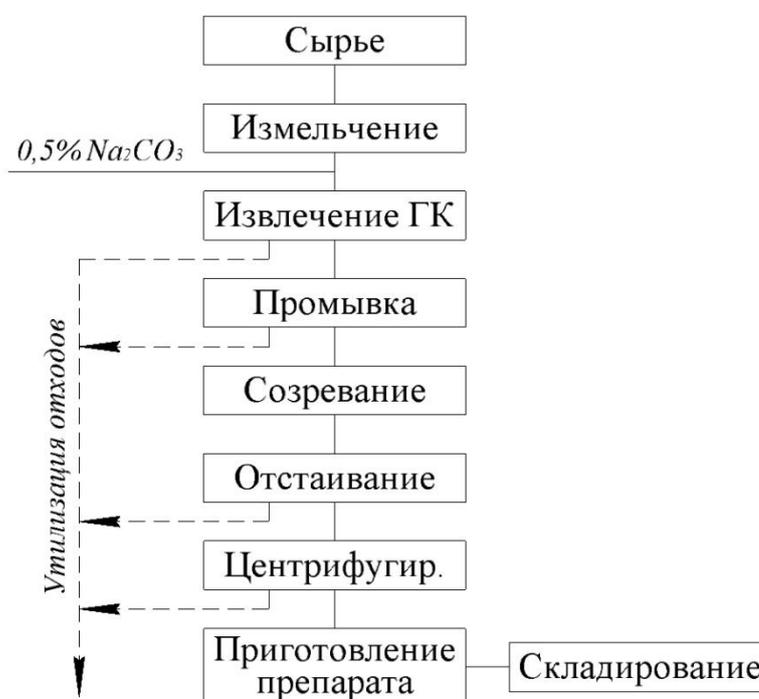


Рисунок 1.7 – Технологический процесс получения гуминового препарата «Росток» в НПЦ «Эврика» при Тюменской ГСХА

Недостатками в операции центрифугирования следует отметить:

- большие затраты на техническое обслуживание центрифуг;
- применение медицинских центрифуг ОС-6МЦ периодического действия (рисунок 1.8).
- при действии центробежных сил происходит разрыв связей молекулы,

получается коллоид, эффективность препаратов уменьшается.

- низкая производительность;



Рисунок 1.8 – Медицинская центрифуга ОС-6МЦ

На предприятии используется три медицинских центрифуги периодического действия марки ОС-6МЦ расположенных в ряд. Каждая центрифуга может вмещать 6 литров суспензии. Центрифуга оснащена четырьмя стаканами, закрепленными на валу ротора. Цикл работы центрифуги составляет 45 мин. За это время выделяется до 50% влаги, т.е. 3 л. Таким образом, за цикл производительность центрифуги составляет 3 л концентрированной суспензии. Учитывая, что все три центрифуги работают параллельно, то производительность составит 24 л за 2 часа, 96 литров за смену 8 часов. Предприятие работает в одну смену продолжительностью 8 часов. Таким образом, суточная производительность центрифуг составит 96 л. Это цифра, естественно не удовлетворяет специалистов предприятия, т.к. объемы спроса растут [52,53,105].

Вся технологическая схема, применяемая в НПЦ «Эврика» направлена на получение чистой гуминовой кислоты, без посторонних химических элементов, непригодных для приготовления препарата. Предприятию необходимо удерживать лидирующие позиции на конкурентном рынке, поэтому оно постоянно стремится улучшить качество своего продукта, а также увеличить объемы, по причине растущего спроса.

1.3 Обзор вакуумных выпарных установок

Выпаривание это процесс повышения концентрации растворов (обычно твёрдых веществ в жидкости) удалением растворителя при кипении. При выпаривании растворитель испаряется из всего объема раствора.

При концентрировании растворов подверженных распаду при высоких температурах выпаривание проводят под вакуумом, для понижения температуры кипения. Вакуум-выпарные установки (ВВУ) бывают с циркуляцией раствора и прямоточные. По организации рабочего процесса могут быть циклического и непрерывного действия [50].

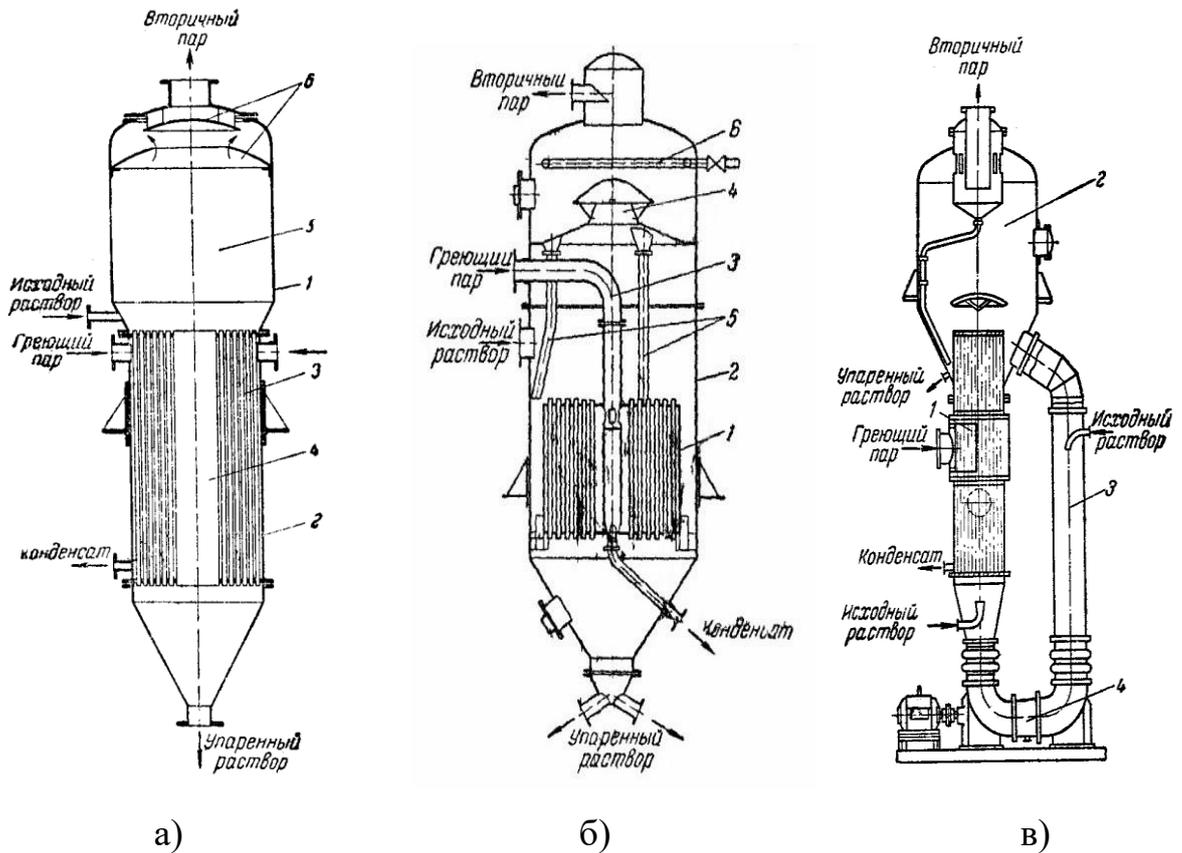
Циркуляционные ВВУ бывают с естественной (свободной) и вынужденной (принудительной) циркуляцией.

Установки со свободной циркуляцией представляют собой закрытые котлы, в которых нагрев осуществляется через стенки установки, а циркуляция раствора обусловлена конвекцией. Достоинства таких выпарных установок это простота производства, эксплуатации, надежность и дешевизна.

Вертикальные циркуляционные ВВУ. В данных установках выпаривание происходит при многократной свободной циркуляции раствора.

К преимуществам таких установок можно отнести хорошую теплоотдачу раствору при многократной циркуляции. Большинство этих установок малогабаритны, удобны при эксплуатации и обслуживании [22].

В установках с внутренней камерой нагрева и центральной циркуляционной трубой раствор поступает в установку сверху и опускается по циркуляционной трубе, затем поднимается по кипящим трубам и на некотором расстоянии от их нижнего края вскипает (рисунок 1.9, а). Пар для нагрева подаётся между труб камеры нагрева.



а – с внутренней камерой нагрева и центральной циркуляционной трубой:

1 – корпус; 2 – камера нагрева; 3 – трубы кипячения;

4 – циркуляционная труба; 5 – сепарационное (паровое) пространство;

6 – брызгоуловитель; б – с подвесной камерой нагрева:

1 – камера нагрева; 2 – корпус; 3 – паровая труба; 4 – брызгоуловитель; 5 –

сливные трубы; 6 – перфорированная труба для промывки;

в – с принудительной циркуляцией: 1 – камера нагрева; 2 – сепаратор;

3 – циркуляционная труба; 4 – циркуляционный насос

Рисунок 1.9 – Схема вертикальных циркуляционных вакуум-выпарных установок

В данной установке циркуляционная труба и трубы кипячения, нагреваются паром, это способствует образованию нежелательного пара в циркуляционной трубе. Также неподвижное соединение труб кипячения и корпуса установки не компенсирует тепловое расширение металла.

В установке с подвесной камерой нагрева (рисунок 1.9, б) пар поступает

для нагрева через трубу 3 между труб камеры нагрева. Раствор опускается вниз по каналу, который образован стенками подвесной камеры и стенками корпуса установки. Раствор идёт вверх по трубам кипячения, и выпаривание идёт при свободной циркуляции.

В данной установке не целесообразно выпаривать высоковязкие и подверженные кристаллизации растворы, из-за слабой интенсивности циркуляции. К достоинствам можно отнести лёгкую замену подвесной камеры, вместе с тем это ведёт к усложнению и удорожанию установки.

В установке с принудительной циркуляцией движение раствора осуществляется насосом (рисунок 1.9, в). Повышение концентрации эффективно при различии температур, не более 3-5 °С, и при больших вязкостях растворов.

В данной установке из-за высокой скорости раствора, кипение происходит на небольшом участке перед выходом из труб кипячения.

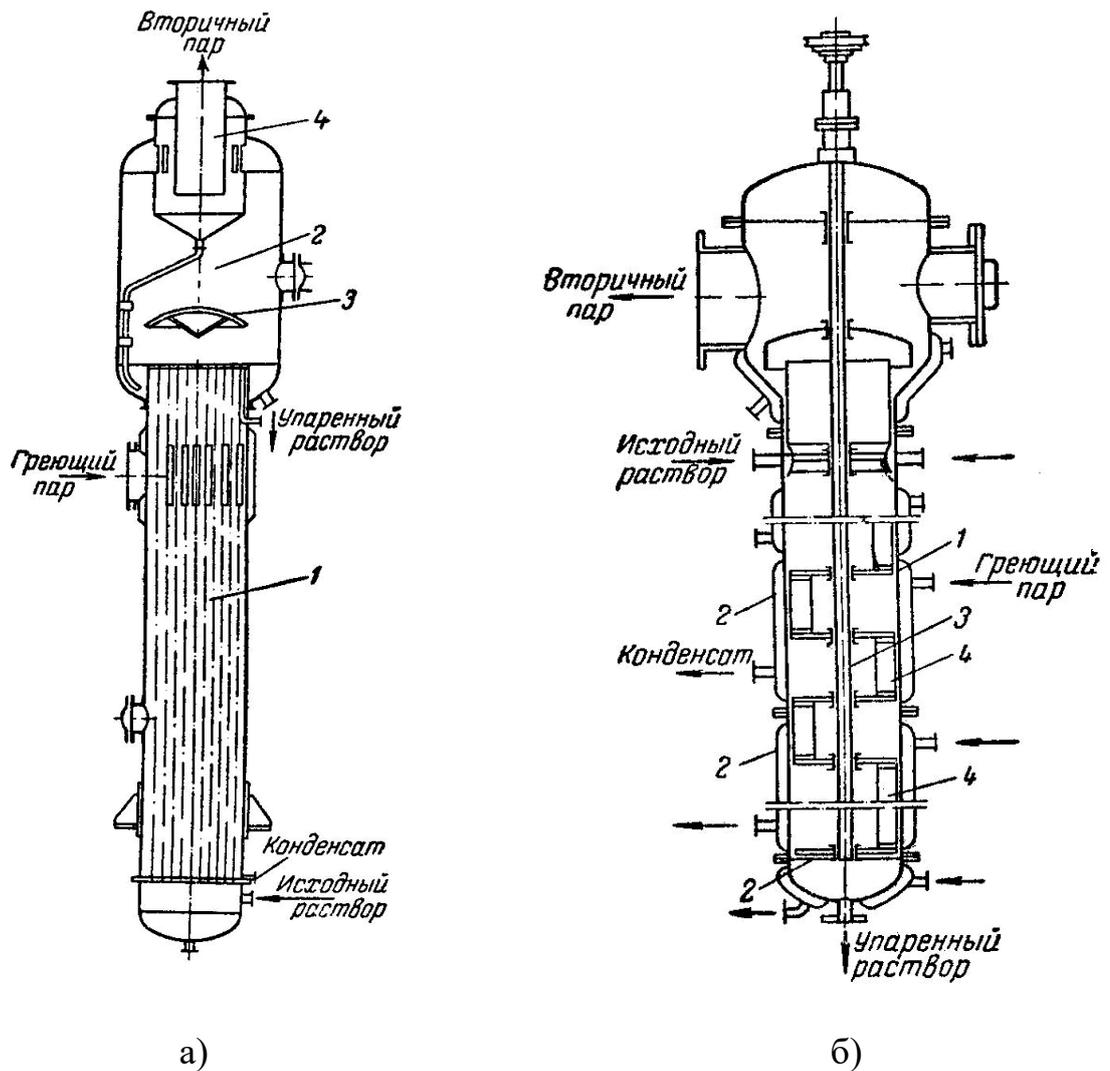
Из-за большого уровня раствора в трубах кипячения большая часть контура циркуляции занята жидкостью. Поэтому циркуляционный насос должен быть производительным.

Прямоточные (пленочные) установки. Выпаривание в них происходит при разовом проходе раствора по трубам камеры нагрева без циркуляции, двигаясь в виде тонкой пленки, по внутренней поверхности труб. В центре труб движется вторичный пар [50].

Прямоточные выпарные установки бывают с поднимающейся и опускающейся пленкой.

Установка с поднимающейся пленкой (рисунок 1.10, а).

Раствор поступает снизу в трубы камеры нагрева. На высоте труб 20-25%, начинается интенсивное кипение, пар, восходя по трубам, уносит за собой раствор. В то же время пленка жидкости, «всползает» по трубам и выпаривание идёт в тонком слое.



а – с поднимающейся пленкой: 1 – камера нагрева; 2 – сепаратор;
 3 – отбойник; 4 – брызгоуловитель; б – роторная: 1 – корпус; 2 – паровая
 рубашка; 3 – ротор; 4 – скребки

Рисунок 1.10 – Схема прямоточных (пленочных) вакуум-выпарных установок

Данную установку не целесообразно использовать при выпаривании вязких, густых растворов из-за неравномерности «всползающей» пленки. При данных условиях применяют установки с падающей пленкой, в которых раствор идет сверху и стекает пленкой под своим весом по трубам.

Роторные прямоточные установки (рисунок 1.10, б) необходимы для выпаривания вязких растворов неустойчивых к высоким температурам

Раствор подается в установку сверху, скребками отбрасывается на стенки корпуса и перемещается в качестве турбулентно движущейся пленки. Затем

плёнка испаряется, и на стенках установки получается тонкий слой твердого или пастообразного продукта.

Роторные установки сложны в производстве, требуют дорогостоящего и периодического обслуживания из-за наличия вращающихся частей.

1.4 Обзор вакуумных насосов

Вакуумный насос – устройство для удаления (откачки) газов и паров из замкнутого объёма с целью получения в нём вакуума.

В основе получения вакуума положены два принципа: первый – удаление газа из откачиваемого сосуда за пределы вакуумной системы – газоперемещающие насосы, второй – связывание газа в вакуумной системе – сорбционные насосы (рисунок 1.11).

Вакуумные насосы по назначению делятся на сверхвысоковакуумные, высоковакуумные, средневакуумные и низковакуумные [75,107,119,123].

К низковакуумным относят механические возвратно-поступательные и двухступенчатые насосы, пластинчато-роторные, двух роторные, насосы с частичным внутренним сжатием и водокольцевые. Давление, достигаемое в них, составляет 0,3–1 Па. Средневакуумные это пластинчато-роторные насосы, сорбционные насосы, давление в которых 1–10⁻¹ Па. Высоковакуумные насосы молекулярные и турбомолекулярные с давлением 10⁻⁴–10⁻⁶ Па. К сверхвысоковакуумным относят магниторазрядные, геттерно-ионные, конденсационные насосы, а также различные их модификации ($P \approx 10^{-7} \dots 10^{-9}$ Па).

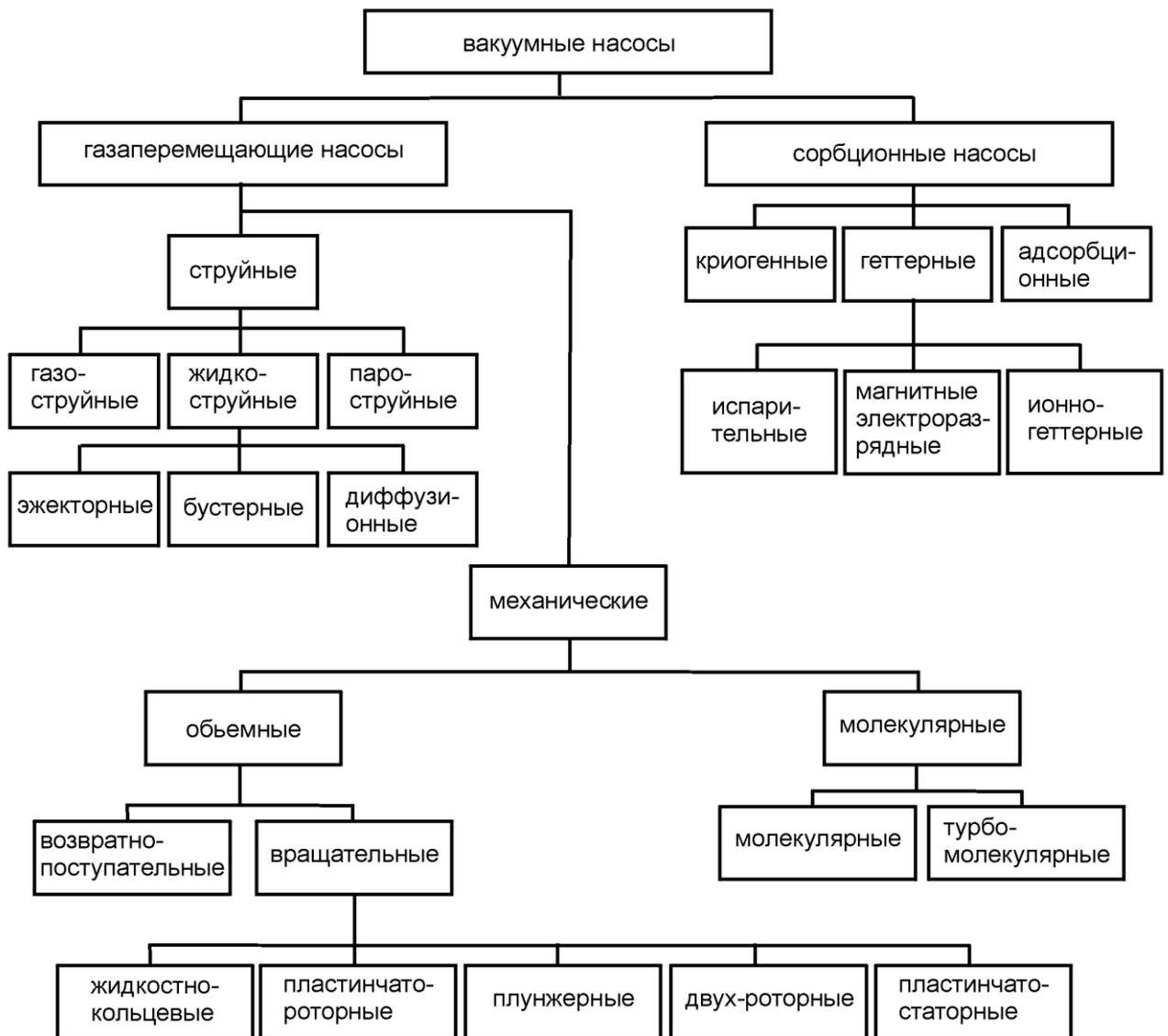


Рисунок 1.11 – Классификация вакуумных насосов.

Термин «Сорбционные насосы» объединяет весь диапазон средств для удаления газов и паров из объема путем сорбции (поглощения). Частицы откачиваемого газа связываются на поверхности или проникают внутрь этих агентов за счет сил физической адсорбции, зависящей от температуры (силы Ван дер Вальса), хемосорбции, адсорбции или внедрения во время непрерывного образования новой сорбирующей поверхности [122].

При сравнении принципов действия можно выделить адсорбционные насосы, в которых поглощение газов происходит за счет процессов адсорбции при температурном управлении, геттерные насосы, в которых поглощение и

удержание газов в основном происходит за счет образования химических соединений и криогенные насосы в которых охлаждается газовая поверхность до криотемператур (ниже 120К), что позволяет конденсировать выкачиваемые газы.

С целью создания низкого, среднего вакуума применяются механические вакуумные насосы. К ним относятся турбомолекулярные насосы, поршневые, плунжерные, жидкостно-кольцевые, пластинчато-роторные и пластинчато-статорные, двухроторные. Они делятся на объёмные насосы, в которых откачка осуществляется за счет периодического изменения объема рабочей полости, и молекулярные насосы, которые работают за счет сообщения молекулам газа импульса количества движения от твёрдой, жидкой или парообразной поверхности.

Объёмные вращательные вакуумные насосы с масляным уплотнением (пластинчато-роторные, пластинчато-статорные, поршневые) используются для предварительного разрежения в вакуумной системе и создания начального рабочего давления на входе высоковакуумных насосов. Они производят откачку, начиная с атмосферного давления [75].

Жидкостно-кольцевой (водокольцевой) вакуум-насос очень прост в эксплуатации и может использоваться как компрессор и как вакуум-насос. Насос работает следующим образом. Внутри цилиндрического корпуса 11 (рисунки 1.12) эксцентрично размещен ротор 9, имеющий вид звездочки [103,122].

Корпус заполнен водой несколько меньше, чем наполовину. Вместе с ротором вращается и вода, которая при этом располагается кольцом так, что между ротором и корпусом образуется серповидное пространство 12, разделенное ребрами 2 на ячейки. Ячейки по мере вращения сначала увеличиваются, а затем – уменьшаются. Поэтому в первые ячейки через отверстие 10 воздух всасывается, а в последних сжимается и при определенном давлении выталкивается через отверстие 1.

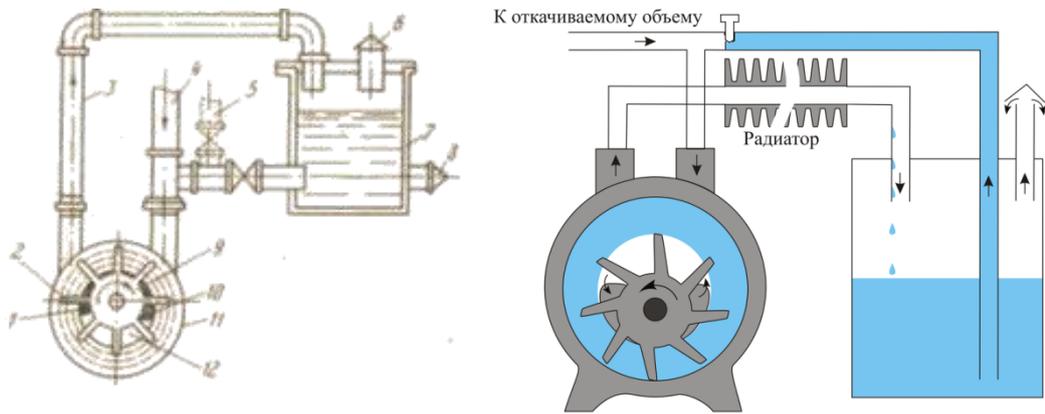


Рисунок 1.12 – Жидкостно-кольцевой (водокольцевой) вакуум-насос.

Отверстия 10 и 1 расположены в торцовых крышках корпуса. При работе насоса вода нагревается. Так как разрежение, создаваемое вакуум-насосом, зависит от температуры воды, то её необходимо менять. Для этого рядом с насосом устанавливают специальный бак 7 с водой, водомерным стеклом и трубой 5, регулирующей уровень воды в баке. При недостатке воды насос перестает действовать. В конструкцию насоса также входят всасывающий трубопровод 4, нагнетательный трубопровод 3, бак, труба от водопровода, выхлопной патрубков 6 и сливной патрубков 8.

Остаточное давление, создаваемое одноступенчатым вакуум-насосом, доходит до 0,27 Па. В двухступенчатом вакуум-насосе остаточное давление может быть доведено до 0,013 Па.

Механические вакуум-насосы с масляным уплотнением бывают разных конструкций. Наиболее простой, **пластинчато-роторный насос**.

Корпус насоса 9 (рисунок 1.13) представляет собой полый цилиндр, внутри которого вокруг оси, смещенной относительно оси корпуса, вращается ротор 8. В сквозной прорези ротора размещены две пластины 7, которые плотно прижимаются к корпусу насоса пружиной 3, вставленной между пластинами.

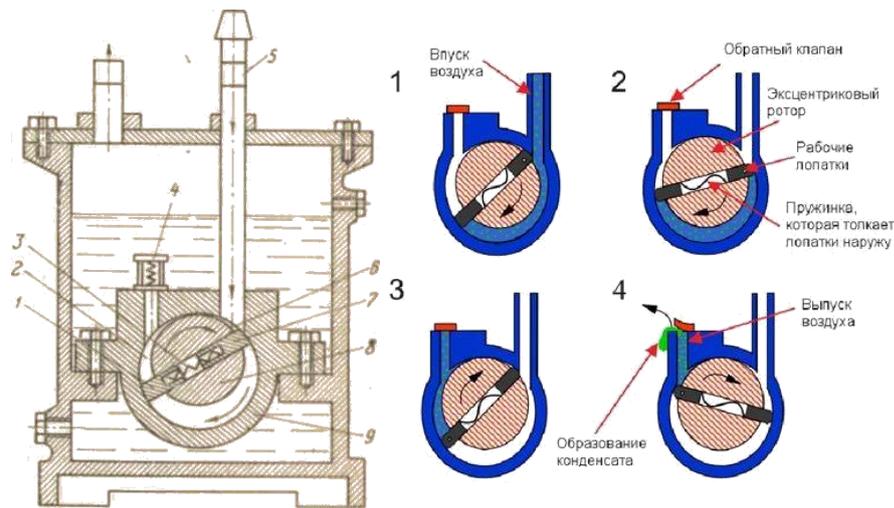


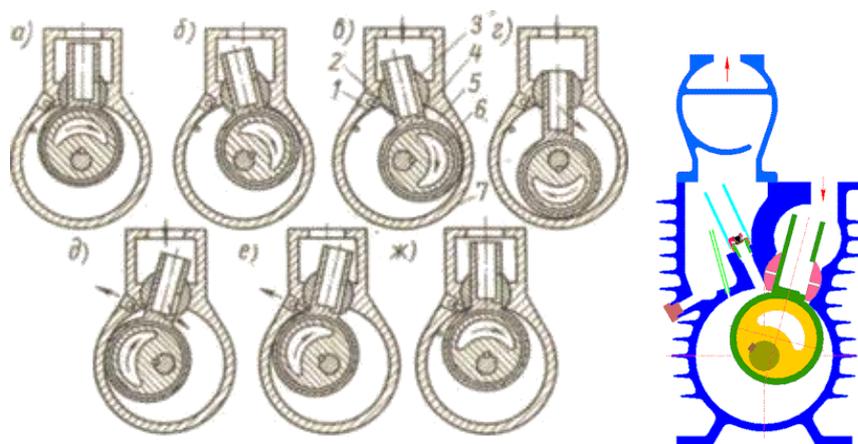
Рисунок 1.13 – Пластинчато-роторный насос

Объём полости 6 на всасывающей стороне, образованной цилиндром, ротором, пластиной 7 и торцовыми крышками, при вращении ротора увеличивается, и в неё всасывается газ через трубку 5, соединенную с объёмом, откуда откачивают газ. В это же время в полости 2 вследствие уменьшения её объёма газ сжимается и удаляется через клапан 4, находящийся под слоем масла, оно не даёт проникать воздуху в насос [55,59].

Для получения более глубокого вакуума применяют двухступенчатые пластинчато-роторные вакуум-насосы. В таких насосах полость выхлопа I ступени соединяют непосредственно (не через слой масла) с полостью всасывания II ступени. Для одноступенчатого насоса предельное остаточное давление составляет 1,33 Па, а для двухступенчатого – 0,133 Па.

Плунжерный (золотниковый) вакуум-насос (рисунок 1.14) состоит из цилиндра 7, в котором на эксцентрике 6 перемещается плунжер 2, свободно поворачивающийся вместе с направляющей 3 в гнезде корпуса цилиндра. При вращении эксцентрика по стрелке откачиваемый воздух поступает в расширяющуюся полость 5 на всасывающей стороне через окно 4 в прямоугольной части плунжера 2. Плунжер, скользя по внутренней поверхности цилиндра 7, перемещает впереди себя воздух и в левом крайнем положении выталкивает его в атмосферу через находящийся под слоем масла выхлопной клапан 1 насоса. В верхней «мертвой точке», в конце выхлопа и перед началом следующего всасы-

вания, окно 4 в прямоугольной части плунжера находится в направляющей и перекрыто. Цикл повторяется [58].



а–ж – схема последовательности действия плунжерного вакуум-насоса

Рисунок 1.14 – Плунжерный вакуум-насос

Турбомолекулярный насос. Для получения высокого «без масляного» вакуума (до $2 \cdot 10^{-7}$ Па) широкое распространение получили турбомолекулярные насосы. Турбомолекулярный насос представляет собой многоступенчатый осевой компрессор, имеющий жестко укрепленные на корпусе 1 статорные диски 2 и вращающиеся диски 5, закрепленные на роторе 4 (рисунок 1.15). Статорные и роторные диски выполнены с радиальными наклонными (под углом $15-40^\circ$ к плоскости диска) пазами и образуют рабочий механизм насоса. Ротор 4 вращается от электродвигателя с частотой свыше 1000 мин^{-1} . Насос соединяется с откачиваемым объемом через впускной патрубок 8, с форвакуумным насосом через выпускной патрубок 7.

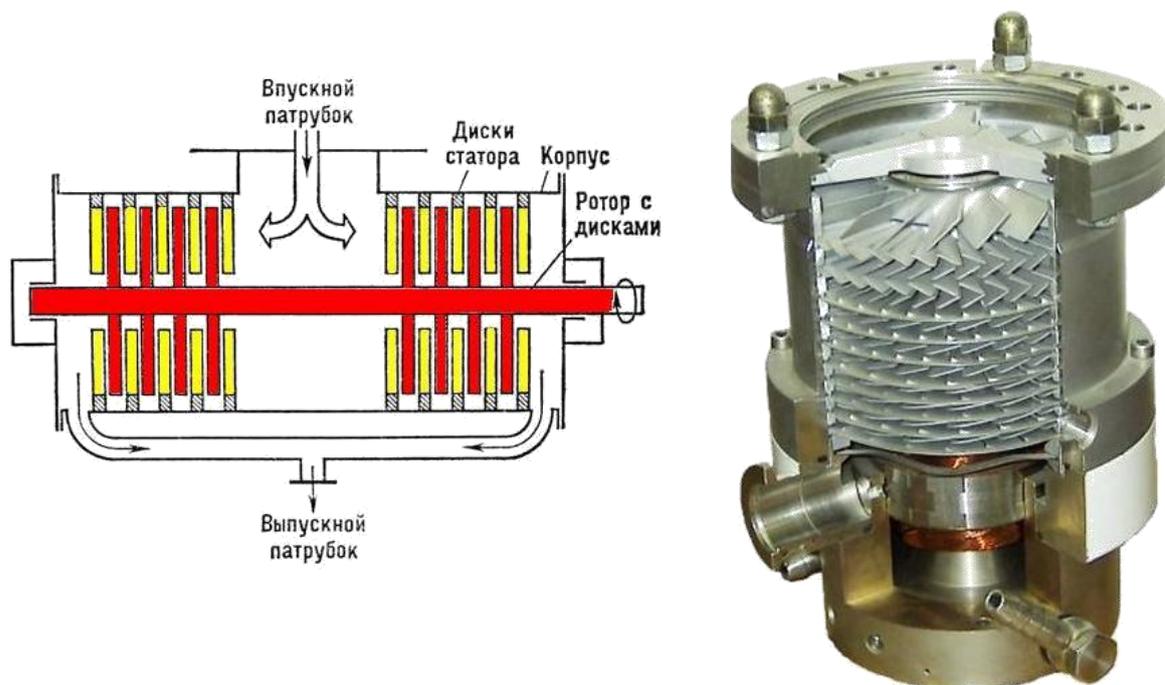


Рисунок 1.15 – Турбомолекулярный насос.

В качестве роторных дисков используют металлические шайбы толщиной несколько миллиметров. Пазы в дисках статора являются зеркальным отражением пазов роторных дисков. В средней (высоковакуумной) части насоса устанавливают диски с пазами, обеспечивающими его высокую производительность. Наружные диски также имеют пазы, позволяющие получить более высокий коэффициент компрессии [92].

К достоинствам турбомолекулярных насосов можно отнести: возможность откачки конденсируемых паров; быстрый запуск (10-15 мин); нечувствительность к резкому повышению давления вплоть до атмосферного; высокая степень сжатия газов с большой молекулярной массой, что обеспечивает практически безмасляный вакуум при давлении на форвакууме 1–13 Па; высокое предельное разрежение (до 10^{-7} Па).

К недостаткам турбомолекулярных насосов можно отнести: сложность устройства, необходимость разборки насоса при его очистке, высокая стоимость, значительные габаритные размеры.

Струйные насосы. Струйными называют насосы, работа которых заключается в передаче энергии струи рабочего потока инжектируемому (увлекаемому) потоку [48].

Абсолютно для всех струйных аппаратов характерны процессы, которые описываются тремя законами: сохранения энергии; сохранения импульса, сохранения массы. Струйные насосы могут быть жидкостно-струйные, газоструйные и пароструйные. Наиболее распространены жидкостно-струйные насосы, которые в свою очередь делятся на диффузионные, эжекторные и бустерные насосы.

Струйные эжекторы могут быть жидкостными, водовоздушными, газожидкостными.

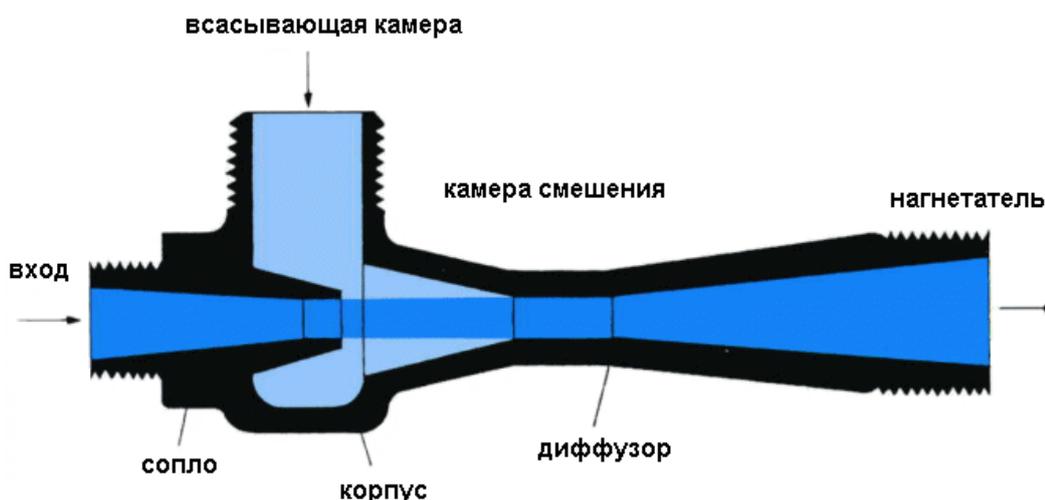


Рисунок 1.16 – Эжекторный насос

Основные элементы струйного эжектора:

1. Патрубок рабочего потока
2. Сопло
3. Патрубок всасываемого потока
4. Приёмная камера
5. Камера смешения
6. Диффузор

В эжекторах рабочая (эжектирующая) среда, подаётся под давлением к суживающемуся соплу, при выходе она приобретает большую скорость, создает область низкого давления и эжектируемая среда поступает в эжектор смешиваясь с рабочей средой попадает в камеру смешения, затем в диффузор, где и происходит повышение давления (рисунок 1.16).

Струйные насосы необходимы для создания вакуума, перекачивания и транспортирования различных сред, смешивания потоков, удаления пара.

Достоинства струйных насосов: надёжность, отсутствие движущихся элементов, простота конструкции. Струйные насосы обладают небольшими габаритами и массой, не требуют больших затрат на содержание и эксплуатацию.

1.5 Выводы по главе и задачи исследования

В настоящее время во всём мире наблюдается стабильный рост производства гуминовых препаратов для нужд сельского хозяйства, однако существующие технологические линии не способны в полном объёме удовлетворить производителя препаратов. Существующие технологические линии обладают рядом недостатков:

- оборудование применяемое при производстве отрицательно воздействует на гуминовые препараты, снижая их качество;
- низкая производительность;
- большие эксплуатационные затраты;
- применение нецелевого оборудования.

Решить ряд проблем способно внедрение в производство энергосберегающей технологической схемы производства гуминосодержащих препаратов. С целью решения задачи по устранению недостатков сформулирована рабочая гипотеза: Повышение эффективности производства гуминовых препаратов возможно посредством использования энергосберегающей технологической линии производства гуминосодержащих препаратов с вакуумной выпарной установкой (ВВУ). Эта схема позволяет отказаться от операции центрифугирование,

путём внедрения ВВУ для повышения концентрации гуминовых кислот [64]. Применение данной схемы позволит повысить производительность предприятий и уменьшить затраты.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Определить физико-механические свойства гуминовой суспензии и обосновать технические средства для повышения её концентрации.

2. Разработать энергосберегающую конструктивно-технологическую схему ВВУ с эжектором.

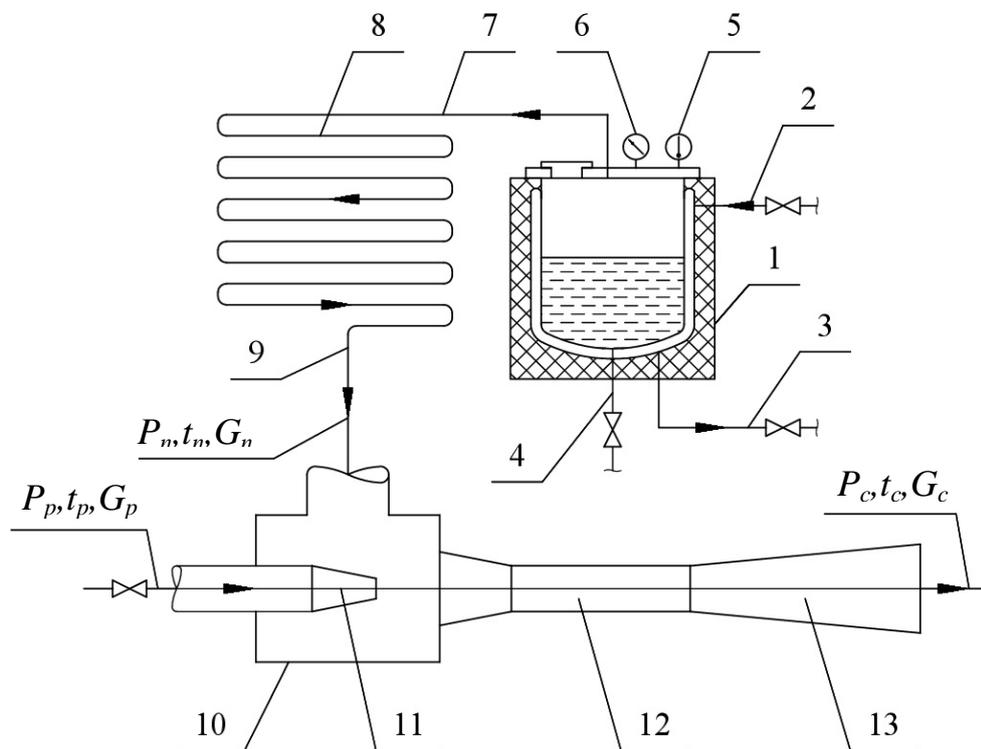
3. Установить и дать аналитическое описание взаимосвязи параметров конструкции и режима работы эжектора с показателями работы ВВУ при реализации процесса повышения концентрации суспензии.

4. Разработать методику и провести экспериментальные исследования повышения концентрации гуминовой суспензии в ВВУ. Дать оценку технико-экономической эффективности результатов исследований.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГУМИНОВОЙ СУСПЕНЗИИ В ВАКУУМНОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ С ЭЖЕКТОРОМ

2.1 Схема вакуумной выпарной установки с эжектором

Для повышения концентрации гуминовой суспензии разработана схема вакуумной выпарной установки (ВВУ), в которой для создания вакуумметрического давления и удаления пара используется эжектор (рисунок 2.1).



1 – котёл для суспензии с водяной рубашкой и теплоизоляцией, 2 и 3 трубопроводы подвода в рубашку и отвода из рубашки теплоносителя, 4 – патрубок слива концентрированной суспензии, 5 – термометр, 6 – вакуумметр, 7 – трубопровод от котла до конденсатора пара, 8 – конденсатор пара, 9 – трубопровод от конденсатора до эжектора, 10 – приёмная камера эжектора, 11 – рабочее сопло, 12 – камера смешения, 13 – диффузор

Рисунок 2.1 – Схема ВВУ периодического действия

Работа ВВУ. Котёл 1 заполняется суспензией и герметично закрывается крышкой. Через рубашку котла и трубы 2 и 3 циркулирует горячая вода. При нагреве суспензии до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в рабочее сопло 11 эжектора подаётся вода. При этом через рубашку непрерывно циркулирует вода, а давление в котле понижается от атмосферного до рабочего 28...20 кПа. При понижении давления от атмосферного до рабочего из объёма котла над поверхностью суспензии, конденсатора пара 8, трубопроводов 7 и 9 эжектором удаляется воздух, в рабочем режиме удаляется пар.

2.2 Методика расчёта расхода энергии, количества полученного пара и времени нагрева ВВУ до рабочей температуры при повышении концентрации гуминовой суспензии в ВВУ

Удельная теплота парообразования воды при атмосферном давлении составляет $r = 2258$ кДж/кг. В котле ВВУ абсолютное давление необходимо поддерживать в диапазоне $P = 20...28$ кПа. При этом температура кипения раствора составляет $t_n = 60...68\text{ }^{\circ}\text{C}$, а удельная теплота парообразования воды $r = 2358...2339$ кДж/кг. Затраты энергии для получения суспензии требуемой концентрации определяются по формуле:

$$W = r \cdot m, \quad (2.1)$$

где W – энергия, затраченная на испарение воды, Дж;

r – удельная теплоёмкость парообразования при рабочем давлении в ВВУ, Дж/кг;

m – масса воды, которую требуется испарить из суспензии, кг.

Время испарения требуемой массы воды из суспензии определяется по формуле:

$$T_u = \frac{W}{N}, \quad (2.2)$$

где N – мощность нагревателя, Вт.

Объём пара, образующийся в ВВУ в единицу времени определяется по формуле:

$$M_v = N \cdot \frac{T_k}{r}, \quad (2.3)$$

где T_k – время кипения суспензии, с.

При повышении концентрации раствора в два раза из бака, например, ёмкостью 50 литров необходимо испарить 25 килограммов воды. Для испарения 25 кг воды при абсолютном давлении $P = 20$ кПа необходимо 58,95 МДж. При мощности нагревателя 12 кВт время испарения составит 1 час 20 минут. При абсолютном давлении 20 кПа из одного килограмма воды образуется 7,64 м³ пара, а из 25 кг – 191 м³. При мощности нагревателя 12 кВт образуется 140 м³ пара в час или 0,039 м³/с.

Полученные значения являются исходными данными для расчёта системы удаления пара [93,94].

Затраты энергии на нагрев ВВУ до рабочей температуры определяются по формуле:

$$W_u = \sum W_i, \quad (2.4)$$

где W_u – затраты энергии на нагрев ВВУ до рабочей температуры, Дж;

W_i – затраты энергии на нагрев составляющих ВВУ до рабочей температуры, Дж.

Затраты энергии на нагрев составляющих ВВУ до рабочей температуры определяются по формуле:

$$W_i = c_i \cdot m_i \cdot (t_{2i} - t_{1i}), \quad (2.5)$$

где c_i – теплоёмкость вещества, Дж/(кг·К);

m_i – масса вещества, кг;

t_{2i} – конечная температура, °С;

t_{1i} – начальная температура, °С.

Исходными данными расчёта времени нагрева разработанной ВВУ являются: теплоёмкость воды $c = 4190$ Дж/(кг·К), стали $c = 460$ Дж/(кг·К), масса

суспензии $m = 50$ кг, масса воды в рубашке $m = 20$ кг, масса котла $m = 90$ кг, масса электрического котла $m = 8$ кг. Начальная температура установки 10 °С, конечная температура котла и воды в рубашке 85 °С, гуминовой суспензии 60 °С. Потери энергии в окружающую среду не учитываются, так как котёл и электрический котёл имеют теплоизоляцию и температура их поверхности близка к температуре окружающего воздуха [92,102].

Расчёты выполнены при мощности нагревателя $6,0$ и $12,0$ кВт. По результатам расчёта, для нагрева потребуется, кДж: суспензии – 12570 ; воды в рубашке – 6285 ; котла – 2484 ; электрического котла – 276 . Всего – 21615 кДж.

Время нагрева установки до рабочей температуры определяется по формуле:

$$T_u = \frac{W}{N}, \quad (2.6)$$

где N – мощность электрического котла, кВт.

При мощности нагревателя $12,0$ кВт время нагрева составляет 30 минут. Время одного цикла повышения концентрации в два раза составит 1 час 50 минут. Получится 25 литров концентрированной суспензии.

2.3 Модернизация математической модели эжектора для расчёта в составе ВВУ

Цель теоретического исследования. Установить и дать аналитическое описание взаимосвязи параметров конструкции и режима работы эжектора с показателями удаления воды из гуминовой суспензии при реализации процесса повышения концентрации суспензии в ВВУ. Определить рациональные конструкционные и технологические параметры эжектора для создания и поддержания требуемого давления в ВВУ повышения концентрации гуминовой суспензии периодического действия с конденсатором пара.

При пуске ВВУ и понижении давления от атмосферного до рабочего эжектор работает в режиме водовоздушного, удаляя воздух и пар, который об-

разуется в камере смешения эжектора при контакте рабочей воды с воздухом. В рабочем режиме ВВУ эжектор удаляет воздух, пар и конденсат (если конденсат не выводится из системы). При этом масса инжектируемого воздуха в тысячи раз меньше массы рабочей воды, поэтому не может значительно изменить скорость струи рабочей воды.

Исходные данные для расчёта.

Характеристика ВВУ повышения концентрации гуминовой суспензии периодического действия.

Производительность установки по испарённой воде.

Потери давления в трубопроводе от котла до эжектора.

Давление после эжектора.

Температура кипения гуминовой суспензии.

Характеристика конденсатора.

Температура конденсата.

Температура кипения гуминовой суспензии должна быть в диапазоне 60...68 °С при этом абсолютное давление в котле необходимо обеспечить в диапазоне 20...28 кПа. Температура конденсата 30 °С, при этом давление насыщенного пара 4,246 кПа.

Принятые обозначения.

V_n – объёмный расход паровоздушной смеси, м³/ч;

G_n – массовый расход инжектируемого воздуха, кг/ч;

P_n – давление инжектируемого воздуха, Па;

P_{np} – давление насыщенного пара, Па;

P_p – давление воды перед рабочим соплом, Па;

ΔP_p – разность давлений воды перед рабочим соплом и инжектируемого воздуха, Па;

P_c – давление после эжектора, Па;

ΔP_c – разность давлений после эжектора и инжектируемого воздуха, Па;

t_p – температура рабочей воды, °С;

U_0 – объёмный коэффициент инжекции;

V_p – объёмный часовой расход рабочей воды, м³/ч;

Q_p – объёмный секундный расход рабочей воды, м³/с;

N_s – мощность струи рабочей воды, Вт;

ω_p – скорость истечения струи рабочей воды из сопла, м/с;

f_{p1} – площадь рабочего сопла, м²;

d_{p1} – диаметр рабочего сопла, мм;

f_3 – площадь камеры смешения, м²;

d_3 – диаметр камеры смешения, мм;

$R_\omega = R / \mu_\omega$ – газовая постоянная воздуха, Дж/К*кг;

$R_\omega = 286,7$ Дж/К*кг;

$R = 8,314$ – универсальная газовая постоянная, Дж/К*моль;

$\mu_\omega = 0,029$ – молярная масса воздуха, кг/моль;

$R_p = R / \mu_p$ – газовая постоянная пара, Дж/К*кг;

$R_p = 461,9$ Дж/К*кг;

$\mu_p = 0,018$ – молярная масса пара, кг/моль;

$R_{p\omega} = R / \mu_{p\omega}$ – газовая постоянная влажного воздуха, Дж/К*кг;

$\mu_{p\omega}$ – молярная масса влажного воздуха, кг/моль;

Молярная масса влажного воздуха определяется по формуле [45, с. 53]:

$$\mu_{p\omega} = \mu_p \cdot r_p + \mu_\omega \cdot r_\omega, \quad (2.7)$$

где $r_p = v_p / v_{p\omega}$ – объёмная доля пара (v_p – объём пара; $v_{p\omega}$ – объём смеси);

$r_\omega = (v_{p\omega} - v_p) / v_{p\omega}$ – объёмная доля воздуха;

При заданной производительности ВВУ повышения концентрации гуминовой суспензии определяется её производительность по испарённой воде и рассчитывается массовый расход инжектируемого воздуха G_n , кг/ч. В камере смешения воздух насыщается парами воды, температура которого становится

практически равной температуре рабочей воды. При этом парциальное давление воздуха в смеси уменьшается на давление насыщенного пара. Объёмный расход паровоздушной смеси определяется по формуле [80]:

$$V_n = \frac{G_n \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{P_n - P_{np}}. \quad (2.8)$$

Разность давлений воды перед рабочим соплом и инжектируемого воздуха определяется по формуле:

$$\Delta P_p = P_p - P_n. \quad (2.9)$$

Разность давлений после эжектора и инжектируемого воздуха определяется по формуле:

$$\Delta P_c = P_c - P_n. \quad (2.10)$$

Максимальный объёмный коэффициент инжекции определяется по формуле:

$$U_0 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c}} - 1. \quad (2.11)$$

Объёмный часовой расход рабочей воды определяется по формуле:

$$V_p = \frac{V_\omega}{U_0}. \quad (2.12)$$

Объёмный секундный расход рабочей воды определяется по формуле:

$$Q_p = \frac{V_p}{3600}. \quad (2.13)$$

Мощность струи рабочей воды определяется по формуле:

$$N_s = P_p \cdot Q_p. \quad (2.14)$$

Скорость истечения струи рабочей воды определяется по формуле:

$$\omega_p = \psi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_p}{\rho_p}}, \quad (2.15)$$

где ψ – коэффициент скорости;

ρ_p – плотность рабочей воды, кг/м³.

Площадь рабочего сопла определяется по формуле:

$$f_{p1} = \frac{Q_p}{\omega_p}. \quad (2.16)$$

После подстановки формул (2.8-2.15) в формулу (2.16) получаем формулу для определения площади рабочего сопла [96]:

$$f_{p1} = \frac{G_n \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{3600 \cdot (P_n - P_{np}) \cdot \left(0,85 \cdot \sqrt{\frac{P_p - P_n}{P_c - P_n}} - 1 \right)} \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{2 \cdot (P_p - P_n)}}. \quad (2.17)$$

Диаметр рабочего сопла, мм, определяется по формуле:

$$d_{p1} = 2000 \cdot \sqrt{\frac{f_{p1}}{3,14}}. \quad (2.18)$$

Площадь, м², и диаметр, мм, камеры смешения определяются по формулам:

$$f_3 = \frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} \cdot f_{p1}. \quad (2.19)$$

$$d_3 = 2000 \cdot \sqrt{\frac{f_3}{3,14}}. \quad (2.20)$$

Полученная математическая модель, формулы (2.17-2.20), устанавливает взаимосвязи параметров конструкции и режима работы эжектора с показателями работы ВВУ при реализации процесса повышения концентрации суспензии. При условии обеспечения максимального объёмного коэффициента инжекции получены зависимости диаметров рабочего сопла и камеры смешения эжектора в функции от: G_n – массового расхода инжектируемого воздуха, кг/ч; P_p – давления воды перед рабочим соплом, Па; P_n – давления инжектируемого воздуха, Па; ρ_p – плотности рабочей воды, кг/м³; P_c – давления после эжектора, Па; P_{np} – давления насыщенного пара, Па; t_p – температуры рабочей воды, °С; t_n – температуры инжектируемого воздуха, °С [95,96].

2.4 Разработка математической модели понижения давления в выпарном котле до рабочего значения

Цель расчёта: Определить время понижается давления в котле от атмосферного до рабочего при пуске ВВУ [96]. При понижении давления в установке от атмосферного до рабочего эжектор работает в режиме водовоздушного.

Исходные данные для расчёта.

W_{ω} – суммарный объём воздуха в выпарном котле над гуминовой суспензией, конденсаторе пара, сборнике конденсата и соединяющих их трубопроводов, м³;

P_p – давление воды перед рабочим соплом, Па;

P_n – давление инжектируемого воздуха, Па;

ρ_n – начальная плотность воздуха, кг/м³;

P_c – давление после эжектора, Па;

P_{np} – давление насыщенного пара, Па;

t_p – температура рабочей воды, °С;

t_n – температура инжектируемого воздуха, °С;

G_n – массовый расход инжектируемого воздуха, кг/ч.

При пуске ВВУ давление в котле необходимо понизить от атмосферного $P_{at} = 100$ кПа до рабочего $P_n = 20$ кПа. Диапазон понижения давления разделим на участки по 10 кПа: $P_{n0} = 100000$ кПа; $P_{n1} = 90000$ кПа; $P_{n2} = 80000$ кПа; $P_{n3} = 70000$ кПа; $P_{n4} = 60000$ кПа; $P_{n5} = 50000$ кПа; $P_{n6} = 40000$ кПа; $P_{n7} = 30000$ кПа; $P_{n8} = 20000$ кПа. Задачу решим численным методом прямоугольников, рассматривая понижение давления через каждые 10 кПа. Время понижения давления на i -ом участке шкалы давления определяется по формуле [96]:

$$T_{yi} = \frac{V_{\omega i}}{V_{ni}}, \quad (2.21)$$

где $i = 0 \dots 8$;

$V_{\omega i}$ – объём паровоздушной смеси, откачиваемый на i -ом участке, м³;

V_{ni} – объёмный расход паровоздушной смеси, при откачивании на i -ом участке шкалы давления, м³/с.

Объём паровоздушной смеси определяется по формуле:

$$V_{oi} = \frac{\Delta M_i \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{P_{ni} - P_{np}}. \quad (2.22)$$

Плотность воздуха в котле на i -ом участке определяется по формуле:

$$\rho_{ni} = \frac{\rho_n \cdot P_{ni}}{P_{n0}}. \quad (2.23)$$

Масса воздуха, находящегося в системе, определяется по формуле:

$$M_{oi} = W_{oi} \cdot \rho_{ni}. \quad (2.24)$$

Масса ΔM_i , кг, откаченного из системы воздуха при понижении давления на 10 кПа определяется по формуле:

$$\Delta M_i = M_{oi} - M_{oi+1}, \quad (2.25)$$

где $i = 0 \dots 7$.

Уменьшение плотности воздуха при понижении давления на 10 кПа определяется по формуле:

$$\Delta \rho_i = \rho_{ni} - \rho_{ni+1}. \quad (2.26)$$

Объём откаченного воздуха при понижении давления на 10 кПа определяется по формуле:

$$W_{yi} = \frac{\Delta M_i}{\rho_{ni}}. \quad (2.27)$$

Для улучшения наглядности графиков с результатами расчётов введём величину P_y :

$$P_{yi} = P_{ni+1}. \quad (2.28)$$

Перепад давления, обеспечивающий течение воды из рабочего сопла, определяется по формуле:

$$\Delta P_{pi} = P_p - P_{ni}. \quad (2.29)$$

Разность давлений после эжектора и в котле определяется по формуле:

$$\Delta P_{ci} = P_c - P_{ni}. \quad (2.30)$$

Максимальный объёмный коэффициент инжекции в рабочем режиме при давлении в котле 20 кПа определяется по формуле:

$$U_{oi} = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{pi}}{\Delta P_{ci}}} - 1. \quad (2.31)$$

Скорость истечения рабочей воды из сопла определяется по формуле:

$$\omega_{pi} = \psi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{pi}}{\rho_p}}. \quad (2.32)$$

Объёмный расход рабочей воды определяется по формуле:

$$V_{pi} = \omega_{pi} \cdot f_{pl}. \quad (2.33)$$

Объёмный расход паровоздушной смеси определяется по формуле:

$$V_{ni} = U_{oi} \cdot V_{pi} \cdot 3600. \quad (2.34)$$

После подстановки формул (2.22 – 2.34) в формулу (2.21) получаем зависимость для определения времени понижения давления на каждом участке шкалы давления [96]:

$$T_{yi} = \frac{\frac{W_{\omega} \cdot \rho_n}{P_{n0}} \cdot (P_{ni} - P_{ni+1}) \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{\left(0,85 \cdot \sqrt{\frac{P_p - P_{ni}}{P_c - P_{ni}}} - 1 \right) \cdot f_{pl} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_p - P_{ni})}{\rho_p}} \cdot (P_{ni} - P_{np})}. \quad (2.35)$$

При пуске установки давление в котле понижается от атмосферного до рабочего за время [96]:

$$T_{\omega} = \sum_{i=0}^7 T_{yi}. \quad (2.36)$$

Все полученные зависимости устанавливают взаимосвязи параметров конструкции и режима работы эжектора с показателями работы ВВУ при условии обеспечения максимального объёмного коэффициента инжекции, что означает минимальный расход энергии на удаления пара и обеспечение требуемого давления в ВВУ.

2.5 Результаты теоретических исследований эжектора для создания и поддержания требуемого давления в вакуумной выпарной установке

При удалении воздуха из ВВУ определим минимальные давления, достигаемые с помощью эжектора, в зависимости от отношения f_3/f_{p1} и заданном перепаде давления на рабочем сопле или скорости истечения воды из рабочего сопла. Отношение сечений камеры смешения и сопла обозначим [95,96]:

$$Kf = \frac{f_3}{f_{p1}}. \quad (2.37)$$

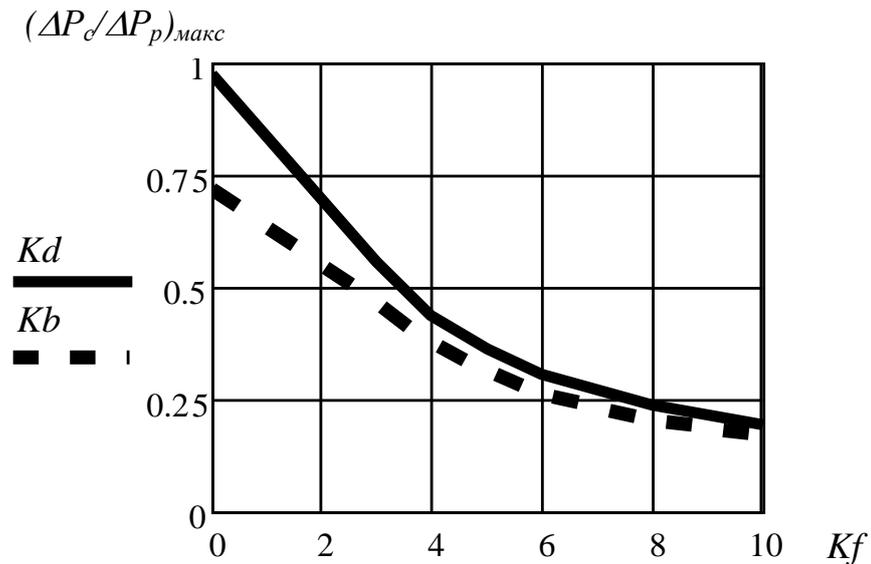
Обозначим максимальный перепад давлений, создаваемый эжектором при $U_0 = 0$, $(\Delta P_c / \Delta P_p)_{max} = Kb$ и определим по формуле:

$$Kb_i = 1.75 \cdot \frac{1}{Kf_i} - 1.07 \cdot \left(\frac{1}{Kf_i} \right)^2. \quad (2.38)$$

Далее обозначим максимальный перепад давлений, создаваемый эжектором при $U_0 = 0$, $(\Delta P_c / \Delta P_p)_{max} = Kd$ при коэффициентах скорости истечения воды и воздуха равных единице и определим по формуле:

$$Kd_i = 2 \cdot \frac{1}{Kf_i} - \left(\frac{1}{Kf_i} \right)^2. \quad (2.39)$$

Для сравнения результаты расчётов по формулам (2.38; 2.39) представлены на рисунке 2.2



Kd – расчёт по формуле (2.38); Kb – расчёт по формуле (2.39)

Рисунок 2.2 – Зависимость отношений перепада давления, создаваемого эжектором, к располагаемому перепаду давления рабочей воды $(\Delta P_c / \Delta P_p)_{\max}$ от отношения сечений камеры смешения и сопла $Kf = f_3 / f_{p1}$

Абсолютное давление в ВВУ должно быть 20...28 кПа. При давлении перед рабочим соплом 420 кПа и после эжектора 120 кПа максимальный перепад давлений, создаваемый эжектором, составит 0,25...0,23. При этом (рисунок 2.2) отношение сечений камеры смешения и сопла равно 6...8. Для обеспечения надёжной работы ВВУ рационально выбрать отношение сечений камеры смешения и сопла 4...6. При этом давление перед рабочим соплом может уменьшиться до 300 кПа.

Зависимости максимального перепада давлений ΔP_c , кПа, создаваемого эжектором, от скорости истечения воды, м/с, при различных отношениях сечений камеры смешения и сопла $Kf = f_3 / f_{p1}$ определены по формуле:

$$\Delta P_{c1} = \frac{\rho_p \cdot \omega_p^2}{2} \cdot \left[2 \cdot \frac{1}{Kf} - \left(\frac{1}{Kf} \right)^2 \right] \cdot 10^{-3}. \quad (2.40)$$

При условии обеспечения максимального объёмного коэффициента инжекции по формулам (2.17-2.20) рассчитаны диаметры камеры смешения и рабочего сопла в зависимости от расхода инжектируемого воздуха (рисунок 2.3).

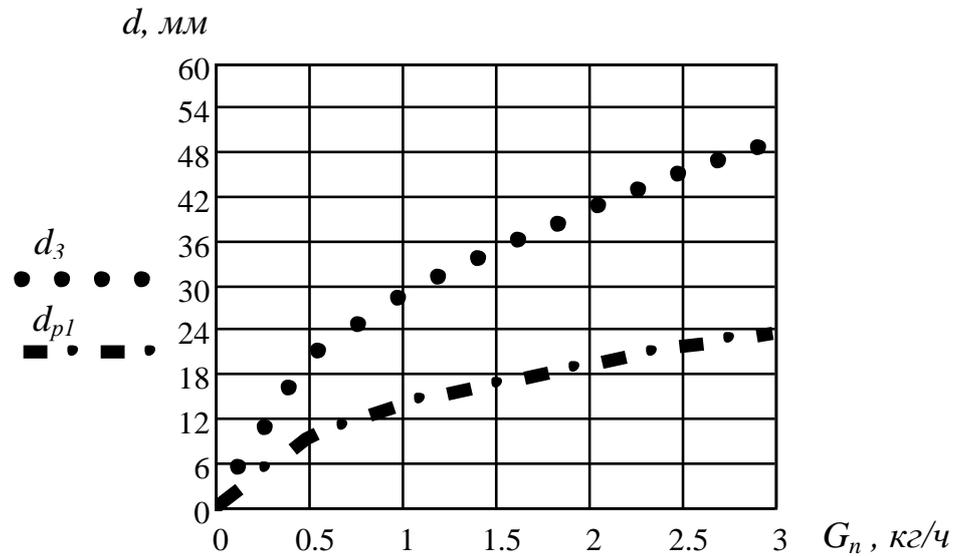


Рисунок 2.3 – Зависимость диаметров камеры смешения d_3 , мм и рабочего сопла d_{pl} , мм от расхода инжектируемого воздуха G_n , кг/ч

Из рисунка 2.3 видно, что отношение диаметров 2,082, а отношение сечений камеры смешения и сопла 4,333.

Подставив формулы (2.9; 2.10) в формулу (2.39) получаем формулу:

$$\frac{P_c - P_n}{P_p - P_n} = 2 \cdot \frac{f_{pl}}{f_3} - \left(\frac{f_{pl}}{f_3} \right)^2. \quad (2.41)$$

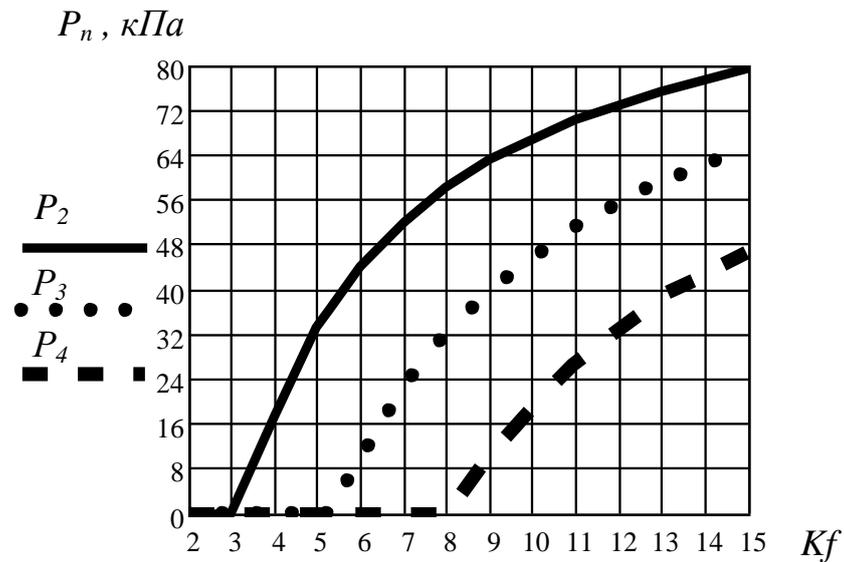
Из этой формулы определяем давление всасывания:

$$P_n = \frac{\left[2 \cdot \frac{f_{pl}}{f_3} - \left(\frac{f_{pl}}{f_3} \right)^2 \right] \cdot P_p - P_c}{\left[2 \cdot \frac{f_{pl}}{f_3} - \left(\frac{f_{pl}}{f_3} \right)^2 \right] - 1}. \quad (2.42)$$

Подставим формулу (2.39) в формулу (2.42) и получим формулу удобную для исследования влияния отношения сечений камеры смешения и сопла и давлений перед соплом и после эжектора на максимальное давление всасывания:

$$P_{ni} = \frac{Kd_i \cdot P_p - P_c}{Kd_i - 1}. \quad (2.43)$$

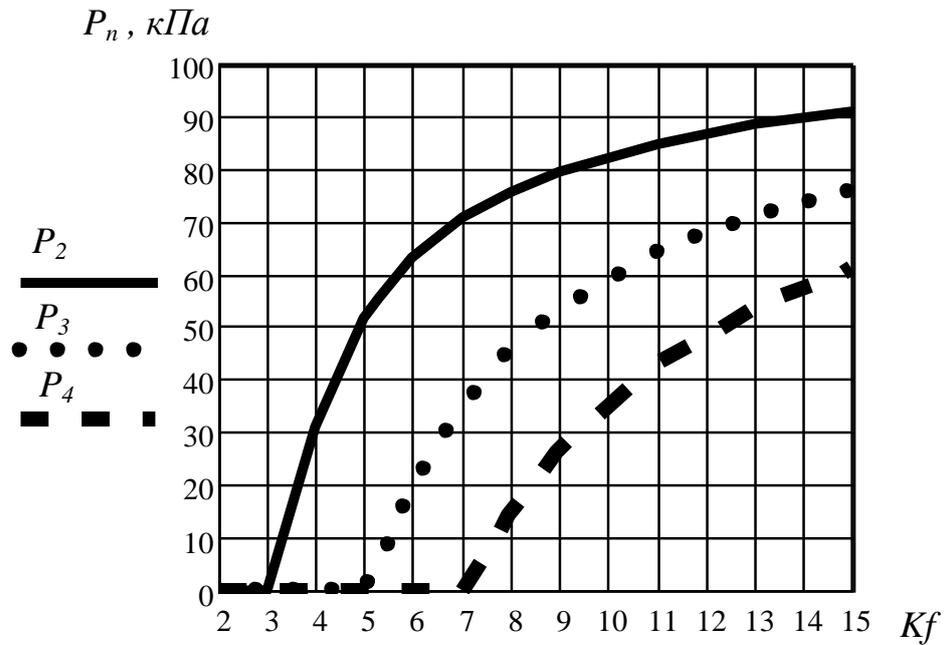
Результаты расчётов по полученным формулам давления в ВВУ представлены на рисунках 2.4 и 2.5.



Давление всасывания P_2 при скорости струи 20 м/с; P_3 при 25 м/с;
 P_4 при 30 м/с

Рисунок 2.4 – Зависимость минимального давления всасывания, кПа, от отношения сечений камеры смешения и сопла $Kf = f_3/f_{p1}$ и скорости истечения рабочей воды из сопла

Из рисунка 2.4 видно, что в диапазоне рабочих давлений ВВУ 20...28 кПа рационально обеспечить скорость истечения воды из сопла 20...25 м/с при отношениях сечения камеры смешения и сопла 4...7.



P_2 – при $P_p = 200$ кПа; P_3 – при $P_p = 300$ кПа; P_4 – при $P_p = 400$ кПа;

Рисунок 2.5 – Зависимость минимального расчётного давления всасывания P_n , кПа от отношения сечения камеры смешения и сопла $Kf = f_3/f_{p1}$ и давления воды перед соплом P_p

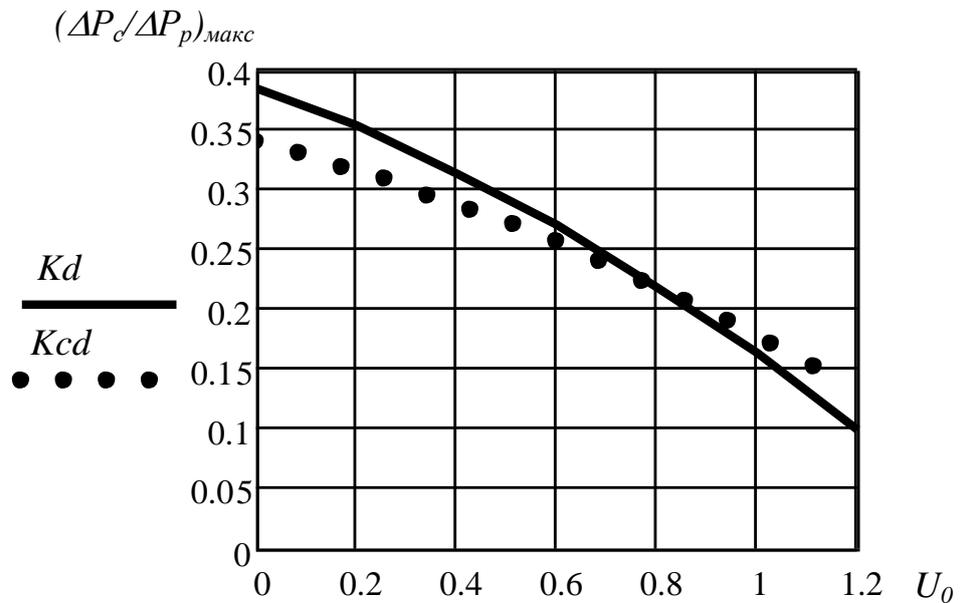
Из рисунка 2.5 видно, что в диапазоне рабочих давлений ВВУ 20...28 кПа рационально обеспечить давление воды перед соплом 250...350 кПа при отношениях сечения камеры смешения и сопла 4...6.

Определим отношения перепада давления, создаваемого эжектором, к располагаемому перепаду давления рабочей воды по формулам:

$$Kd = 0.46 - 0.0745 \cdot (1 + U_0)^2. \quad (2.44)$$

$$Kcd = 1.75 \cdot \frac{f_{p1}}{f_3} - 1.07 \cdot \left(\frac{f_{p1}}{f_3} \right)^2 \cdot (1 + U_0)^2. \quad (2.45)$$

Результаты расчётов по формулам (2.44; 2.45) представлены на рисунке 2.6.



Kd – расчёт по формуле (2.44); Kcd – расчёт по формуле (2.45)

Рисунок 2.6 – Зависимость отношения перепада давления, создаваемого эжектором, к располагаемому перепаду давления рабочей воды $(\Delta P_c / \Delta P_p)_{\max}$ от объёмного коэффициента инжекции U_0

Из рисунка 2.6 видно, что результаты расчётов по формулам (2.44; 2.45) совпадают при значении объёмного коэффициента инжекции $U_0 = 0,8$.

2.6 Результаты теоретических исследований понижения давления в выпарном котле до требуемого значения

Формулы (2.21-2.36), входящие в методику расчёта понижения давления в выпарном котле до требуемого значения, разработаны на основе формул (2.8-2.20), проверенных экспериментом [93; 94; 102]. Результаты расчёта по формуле (2.22) объёма паровоздушной смеси V_ω , м³ и объёма воздуха W_y , м³, откачиваемых из системы удаления пара при понижении давления P_y от 100 до 20 кПа показана на рисунке 2.7.

$$P_y = \begin{pmatrix} 9 \cdot 10^4 \\ 8 \cdot 10^4 \\ 7 \cdot 10^4 \\ 6 \cdot 10^4 \\ 5 \cdot 10^4 \\ 4 \cdot 10^4 \\ 3 \cdot 10^4 \\ 2 \cdot 10^4 \end{pmatrix} \quad W_y = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.111 \\ 0.125 \\ 0.143 \\ 0.167 \\ 0.2 \\ 0.25 \\ 0.333 \end{pmatrix} \quad V_\omega = \begin{pmatrix} 0.108 \\ 0.12 \\ 0.135 \\ 0.155 \\ 0.182 \\ 0.221 \\ 0.279 \\ 0.38 \end{pmatrix}$$

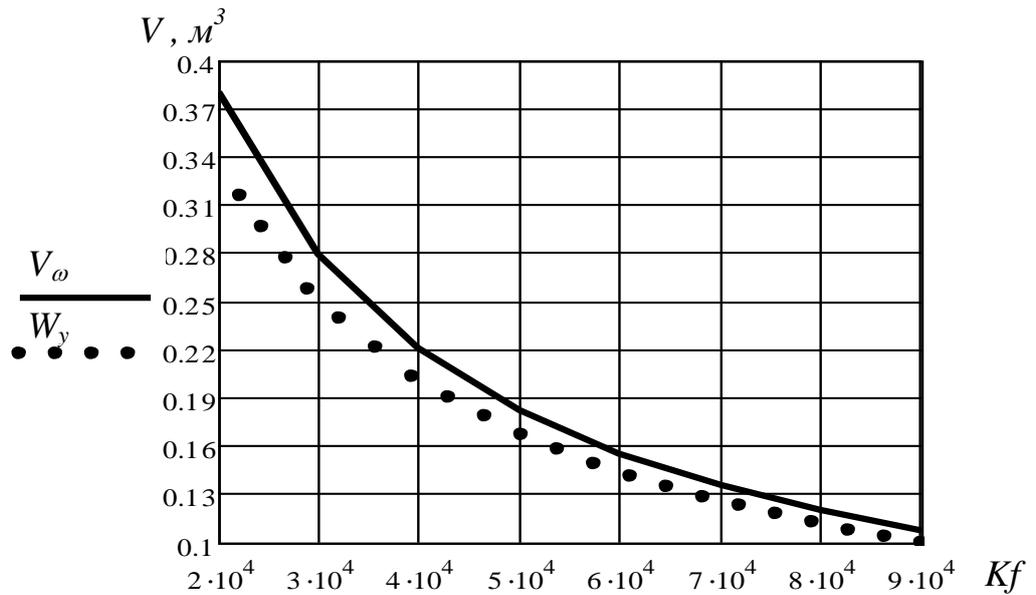
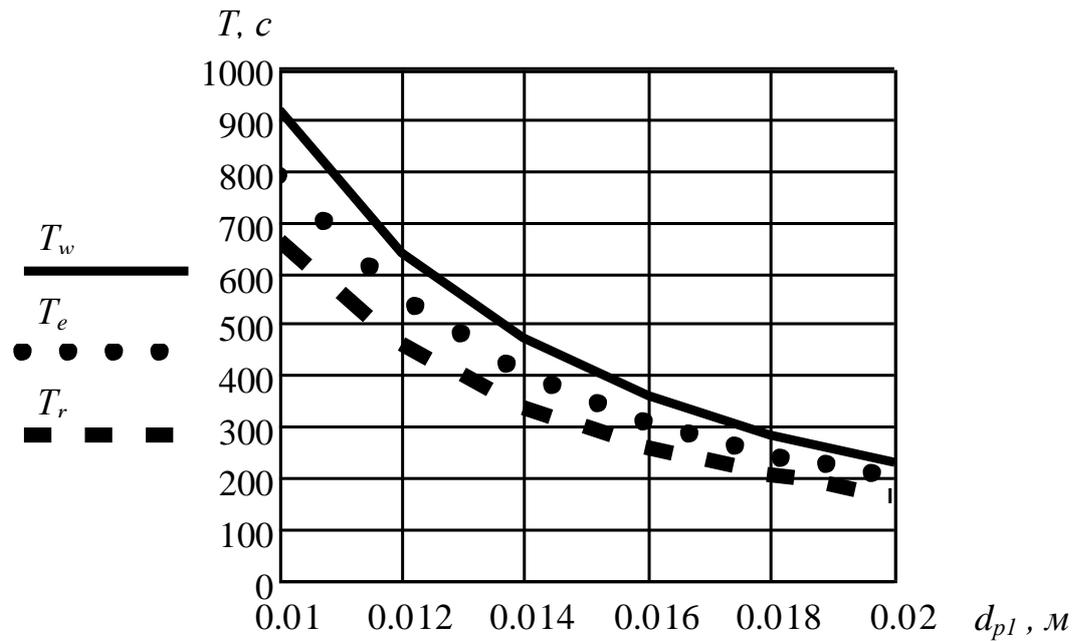


Рисунок 2.7 – Зависимость объёма паровоздушной смеси V_ω , м³ и объёма воздуха W_y , м³, откачиваемых из системы удаления пара при понижении давления

P_y от 100 до 20 кПа на каждом участке шкалы давления

Результаты расчётов по формулам (2.35; 2.36) времени понижения давления в котле T_ω , с от 100 до 20 кПа представлены на рисунке 2.8.

$$d_{pl} = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 0.012 \\ 0.014 \\ 0.016 \\ 0.018 \\ 0.02 \end{pmatrix} \quad T_w = \begin{pmatrix} 922.343 \\ 640.516 \\ 470.583 \\ 360.29 \\ 284.674 \\ 230.586 \end{pmatrix} \quad T_e = \begin{pmatrix} 789 \\ 548 \\ 402 \\ 308 \\ 243 \\ 197 \end{pmatrix} \quad T_r = \begin{pmatrix} 665 \\ 462 \\ 339 \\ 260 \\ 205 \\ 166 \end{pmatrix}$$



T_w – давление после эжектора $P_c=130$ кПа; T_e – давление после эжектора $P_c=120$ кПа; T_r – давление после эжектора $P_c=110$ кПа;

Рисунок 2.8 – Зависимость времени понижения давления в котле T_w , с от 100 до 20 кПа от диаметра рабочего сопла d_{pl} , м и давления после эжектора P_c , кПа при максимальном объёмном коэффициенте инжекции на каждом участке шкалы давления

По формуле (2.35) рассчитывается время понижения давления при максимальном коэффициенте инжекции на каждом участке шкалы давления (рисунок 2.9).

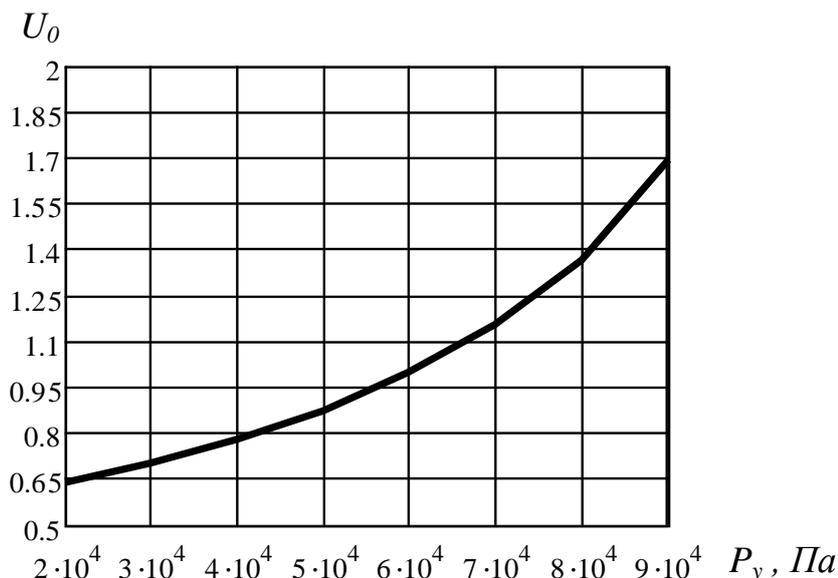


Рисунок 2.9 – Зависимость максимального объёмного коэффициента инжекции от давления в котле (на каждом участке шкалы давления)

Из рисунка 2.9 видно, что при понижении давления в котле от атмосферного до 20 кПа максимальный объёмный коэффициент инжекции уменьшается от 1,70 до 0,64. При этом будут обеспечены максимальная производительность эжектора и минимальное время понижения давления. Для этого необходимо обеспечить соответствующее отношение сечений камер смешения и сопла при понижении давления, например, применением эжектора с регулируемой площадью выходного сечения сопла [81,82,83]. Для рассматриваемой установки это приведёт к нерациональному усложнению эжектора. Максимальный объёмный коэффициент инжекции в рабочем режиме при давлении в котле 20 кПа определяется по формуле:

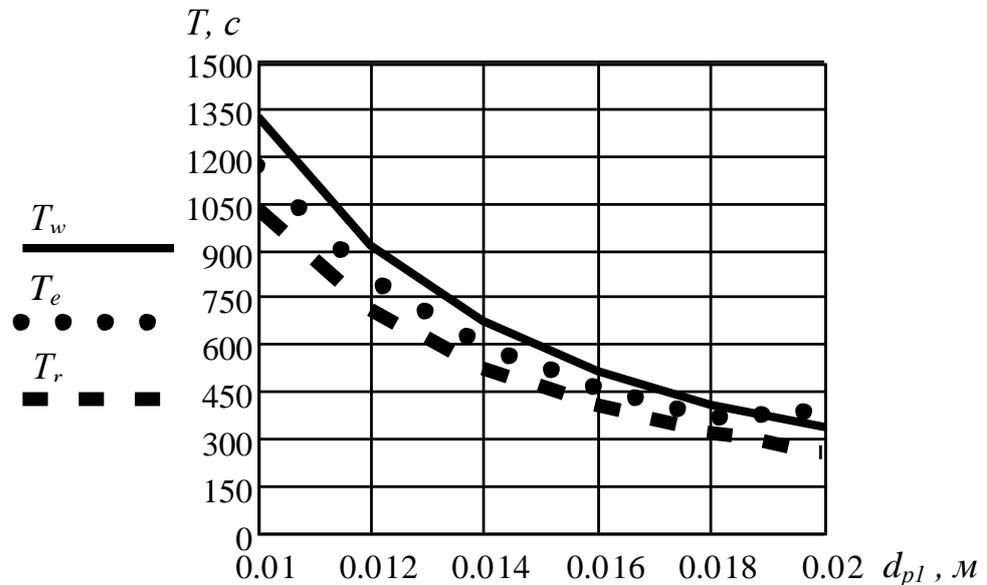
$$U_8 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{p8}}{\Delta P_{c8}}} - 1 \quad (2.46)$$

Формула (2.35) для определения времени понижения давления на каждом участке шкалы давления, при подстановке в неё значения максимального объёмного коэффициента инжекции в рабочем режиме, принимает вид:

$$T_{yi} = \frac{W_{\omega} \cdot \rho_n \cdot (P_{ni} - P_{ni+1}) \cdot R_{p\omega} \cdot (273 + t_p)}{P_{n0}} \cdot \frac{1}{U_8 \cdot f_{p1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_p - P_{ni})}{\rho_p} \cdot (P_{ni} - P_{np})}}. \quad (2.47)$$

Результаты расчётов по формуле (2.47) времени понижения давления в котле ВВУ T_{ω} , с, от 100 кПа до 20 кПа представлены на рисунке 2.10.

$$d_r = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 0.012 \\ 0.014 \\ 0.016 \\ 0.018 \\ 0.02 \end{pmatrix} \quad T_w = \begin{pmatrix} 1.324 \cdot 10^3 \\ 919.519 \\ 675.565 \\ 517.23 \\ 408.675 \\ 331.027 \end{pmatrix} \quad T_e = \begin{pmatrix} 1.169 \cdot 10^3 \\ 812 \\ 596 \\ 456 \\ 361 \\ 392 \end{pmatrix} \quad T_r = \begin{pmatrix} 1.028 \cdot 10^3 \\ 714 \\ 525 \\ 402 \\ 317 \\ 257 \end{pmatrix}$$



T_w – давление после эжектора $P_c=130$ кПа; T_e – давление после эжектора

$P_c=120$ кПа; T_r – давление после эжектора $P_c=110$ кПа;

Рисунок 2.10 – Зависимость времени понижения давления в котле T_{ω} , с от 100 до 20 кПа от диаметра рабочего сопла d_{p1} , м и давления после эжектора P_c , кПа при максимальном объёмном коэффициенте инжекции в рабочем режиме

Из рисунков 2.9 и 2.10 видно, что время понижения давления, рассчитанное при максимальном объёмном коэффициенте инжекции в рабочем режиме, на 30...35% больше времени, рассчитанном при максимальном объёмном коэффициенте инжекции на каждом участке шкалы давления.

2.7 Моделирование эжектора в программном комплексе SolidWorks 2017 Flow Simulation

В качестве средства моделирования эжектора применяется программный пакет SolidWorks 2017 и в частности его модуль Flow Simulation.

Flow Simulation – программное обеспечение, интегрированное в SolidWorks (SW), которое позволяет моделировать жидкостные и газовые потоки внутри и снаружи изделия для вычисления его возможностей и рабочих характеристик. Перед началом исследования течения жидкости в эжекторе необходимо создать твердотельную оболочку, внутри которой будет течь жидкость (внутренняя гидродинамическая задача). Фактически необходимо задать геометрические условия, существенно влияющие на гидродинамическую обстановку.

Моделирование любого изделия в SolidWorks начинается с построения Эскиза, а затем уже придаётся ему объём. Для начала в установленной плоскости построения XY (спереди) строится осевая линия, которая проходит через центр координат. Затем рисуется эжектор с произвольными размерами – это «черновая» модель эскиза. Для последующей задачи граничных условий модель струйного эжектора необходимо сделать замкнутым, т.е. закрыть все входные и выходные отверстия. Затем в «черновой» модели проставляются взаимосвязи и размеры, пока эскиз не будет определён (рисунок 2.11). Эскиз необходимо привязать к исходной точке, чтобы определить координаты эскиза.

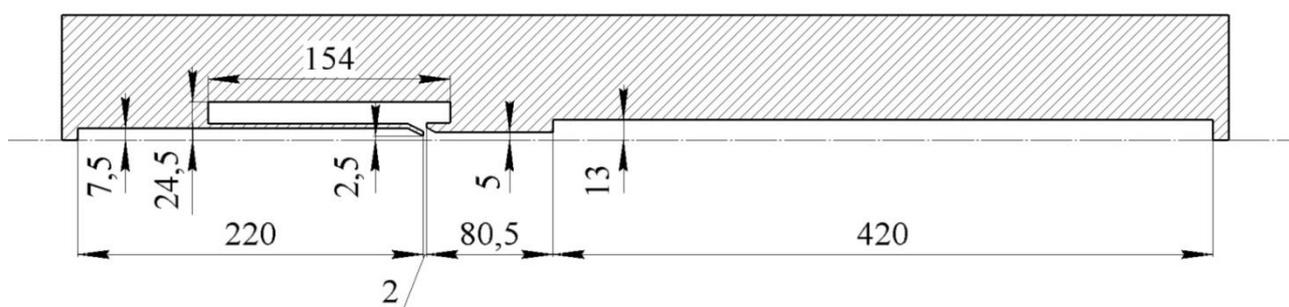


Рисунок 2.11 – Эскиз эжектора в программном комплексе
SolidWorks 2017 Flow Simulation

После того как эскиз определен, создаётся твердотельная модель телом вращения, которое имеет ось вращения (рисунок 2.12). Затем определяется вырез для потока полезной подачи.

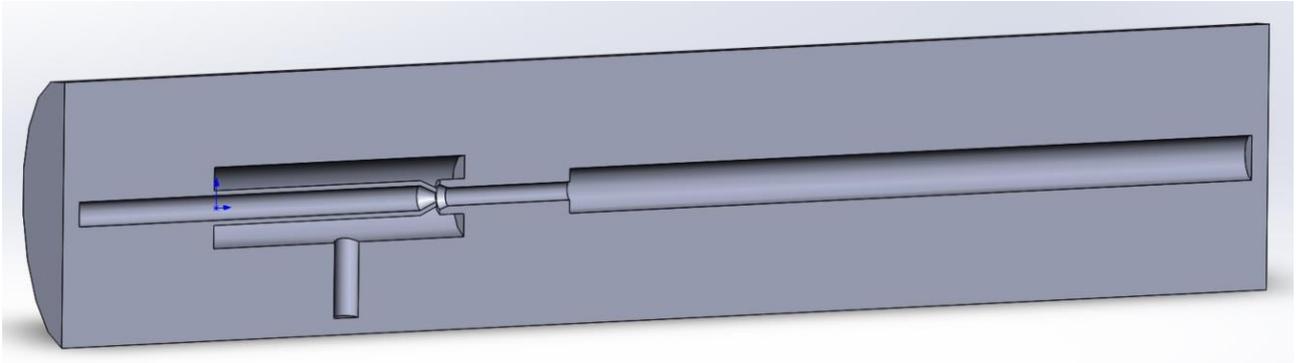


Рисунок 2.12 – Тело вращения в разрезе с вырезом для потока полезной подачи

После создания твердотельной оболочки задаются граничные условия, взятые из экспериментальных данных на плоских гранях входных и выходных отверстий.

На входе рабочего потока диаметром 15 мм задаётся избыточное давление $P_1=318$ кПа (в программном комплексе SW задаётся абсолютное давление равное 418 кПа). На входе полезного потока диаметром 15 мм задаётся объёмный расход $0,01667 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. В трубопроводе после эжектора диаметром 25 мм избыточное давление $P_2 = 28$ кПа (в программном комплексе SW задаётся абсолютное давление равное 128 кПа) (рисунок 2.13).

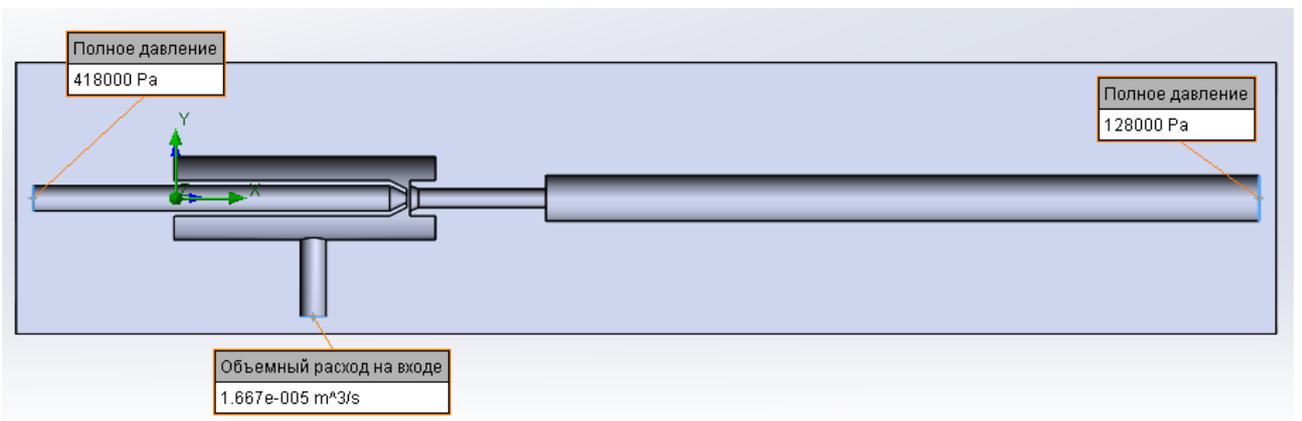


Рисунок 2.13 – Граничные условия эжектора

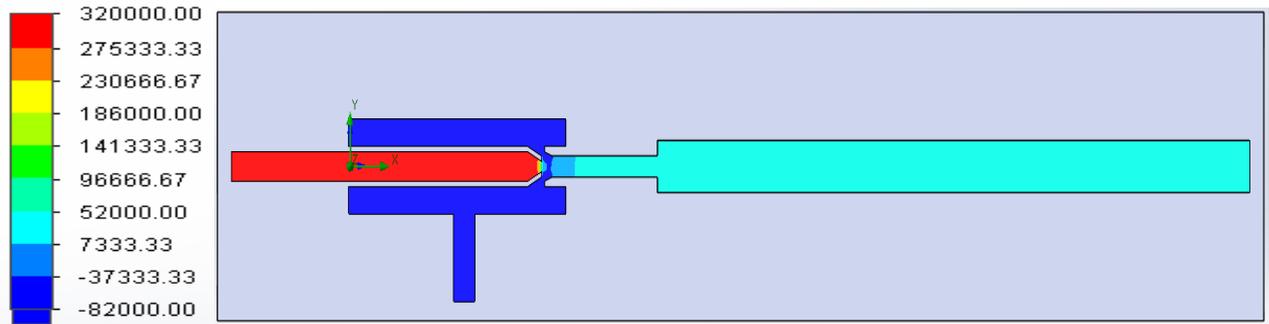


Рисунок 2.14 – Эпюры давления жидкости в эжекторе

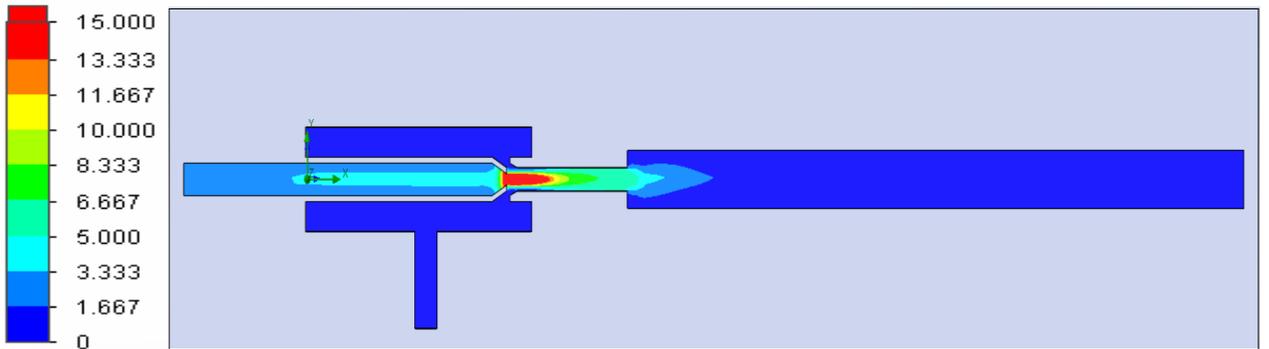


Рисунок 2.15 – Эпюры скоростей потока жидкости в эжекторе

Таблица 2.1. Экспериментальные и расчётные значения

№	$P_{\text{вак}} \cdot 10^3$ Па	$P_2 \cdot 10^3$, изб., Па	$P_1 \cdot 10^3$, изб. Па	$Q_{\text{вак}} \cdot 10^{-3}$, м ³ /с	$Q_2 \cdot 10^{-3}$, м ³ /с	$Q_1 \cdot 10^{-3}$, м ³ /с	M_r , кг/с	P_r , Па
1	80	28	318	0,01667	0,43916	0,4225	0,039	0,37
2	80	28	318	0,01667	0,51653	0,5228	0,032	0,37

1 – эксперимент; 2 – расчёт №1

При определении и сравнении производительности всех струйных насосов (жидкостных, газовых и газожидкостных) используются безразмерные параметры, представляющие собой соотношения различных свойств. Эти параметры для жидкостно-струйных насосов определяются следующим образом:

– коэффициент массового расхода, отношение массового расхода увлекаемой жидкости к массовому расходу движущей жидкости задается формулой:

$$M_r = \frac{m_{\text{вак}}}{m_1} \quad (2.48)$$

– коэффициент давления, отношение увеличения общего давления увле-

каемой жидкости к уменьшению общего давления движущей жидкости, задается формулой:

$$P_r = \frac{P_2 - P_{\text{вак}}}{P_1 - P_2} \quad (2.49)$$

Эффективность струйного насоса определяется умножением этих коэффициентов:

$$\eta = M_r \cdot P_r \quad (2.50)$$

Рассмотрена и рассчитана эффективность струйного насоса

2.8 Выводы по главе

1. При абсолютном давлении 20...28 кПа из одного килограмма воды образуется 7,64 м³ пара, а из 25 кг – 191 м³. При мощности нагревателя 12 кВт образуется 140 м³ пара в час или 0,039 м³/с. При нагреве установки с баком 50 литров от начальной температуры установки 10 °С до температуры котла и воды в рубашке 85 °С, а гуминовой суспензии до 60 °С потребуется 21615 кДж. Время нагрева установки до рабочей температуры составит 30 минут при мощности нагревателя 12 кВт. Полученные результаты являются исходными данными для расчёта системы удаления пара.

2. Для исследования и установления взаимосвязи параметров конструкции эжектора с показателями работы вакуумной выпарной установки разработана математическая модель, позволяющая моделировать работу ВВУ с эжектором для повышения концентрации гуминовой суспензии. При условии обеспечения максимального объёмного коэффициента инжекции получены зависимости для определения диаметров рабочего сопла и камеры смешения водовоздушного эжектора. Впервые разработаны методика расчёта и математическая модель, позволяющие моделировать процесс понижения давления в выпарном котле до рабочего значения.

3. Установлено, что время понижения давления в котле от атмосферного до рабочего при пуске выпарной установки зависит от: W_w – суммарный объём

воздуха в выпарном котле над гуминовой суспензией, конденсаторе пара, сборнике конденсата и соединяющих их трубопроводов, м^3 ; P_p – давление воды перед рабочим соплом, Па; P_n – давление инжектируемого воздуха, Па; ρ_n – начальная плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; P_c – давление после эжектора, Па; P_{np} – давление насыщенного пара, Па; t_p – температура рабочей воды, $^{\circ}\text{C}$; t_n – температура инжектируемого воздуха, $^{\circ}\text{C}$; G_n – массовый расход инжектируемого воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$. Например время понижения давления в системе объёмом 1 м^3 от 100 кПа до 20 кПа при диаметре рабочего сопла $d_{pl} = 12 \text{ мм}$ и давления после эжектора $P_c = 110 \text{ кПа}$ составит 450 секунд.

4. В диапазоне рабочих давлений ВВУ 20...28 кПа рационально обеспечить давление воды перед соплом 250...350 кПа при отношениях сечения камеры смешения и сопла 4...6, а скорость истечения воды из сопла 20...25 м/с.

5. При моделировании эжектора в программного комплексе SolidWorks 2017 Flow Simulation обоснованы рациональные параметры, при которых обеспечивается процесс повышения концентрации гуминовой суспензии при температуре кипения 60...68 $^{\circ}\text{C}$: на входе рабочего потока диаметром 15 мм избыточное давление $P_1 = 318 \text{ кПа}$; на входе полезного потока диаметром 15 мм давление вакуумметрическое $P_{\text{вак}} = 80 \text{ кПа}$ и объёмный расход $0,01667 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; после эжектора в трубопроводе диаметром 25 мм абсолютное давление $P_2 = 128 \text{ кПа}$. Визуализированы эпюры давлений и скоростей потоков в эжекторе при рабочих режимах и противотоке.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа и общая методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проведены на основе методик, которые изложены в государственных стандартах, таких как ГОСТ 26713–85, ГОСТ 31640–2012 [24,25]. На основе анализа литературных источников и в соответствии с ГОСТ Р 55508-2013 и ГОСТ 33437-2018 «Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик» [31] для установления гидравлических характеристик струйного насоса разработана и выполнена лабораторная установка [12,47,65,81,83,85,118]. Дополнительно приняты во внимание методические рекомендации [84,88].

Экспериментальные исследования проведены в ФГБОУ ВО Курганской ГСХА и НПЦ «Эврика» г. Тюмень в течение 2011 ... 2018 годов. Лабораторные исследования проведены с использованием поверенных приборов.

В ходе проведённых экспериментальных исследований определены физико-механические свойства гуминовой суспензии, доказано, что лучшими свойствами обладают гуминовые препараты при повышении гуминовой суспензии выпариванием, определены гидравлические характеристики эжектора и техническая характеристика ВВУ [57,61].

В соответствие с поставленными задачами экспериментальных исследований предусматривалось:

- определение физико-механических свойств гуминовой суспензии;
- обоснование способа повышения концентрации гуминовой суспензии;
- определение гидравлических характеристик эжектора для создания вакуума и удаления пара из котла;
- определение технической характеристики ВВУ;
- экспериментальная проверка полученных теоретических зависимостей.

Разработаны программа и структурная схема экспериментальных иссле-

дований (рисунке 3.1) [1,2,18,62,73].



Рисунок 3.1 – Структурная схема экспериментальных исследований

Первый этап. Производство гуминовой суспензии, НПЦ «Эврика», г. Тюмень.

Второй этап. Определение плотности, вязкости, скорости осаждения, содержания сухого вещества гуминовой суспензии, ФГБОУ ВО Курганская ГСХА.

Третий этап. Повышение концентрации суспензии в осадительной центрифуге и выпариванием в лабораторной вакуумной выпарной установке, ФГБОУ ВО Курганская ГСХА.

Четвёртый этап. Определение качества гуминовых препаратов, полученных разными способами повышения концентрации суспензии, НПЦ «Эврика».

Пятый этап. Испытания ВВУ, ФГБОУ ВО Курганская ГСХА.

3.2 Методики статистической обработки экспериментальных данных

Для обоснования применения оптимальных статистических методов при обработке результатов экспериментов убедимся, что гистограмма имеет нормальный закон распределения значений измеряемых величин. Необходимо найти значения асимметрии, эксцесса и их выборочных ошибок [11,75,87,108].

Ошибка показателя асимметрии определяется по формуле:

$$S_{As} = \sqrt{\frac{6}{n+3}} \quad (3.1)$$

Выборочная ошибка геометрической формы распределения по высоте:

$$S_{Ex} = 2 \cdot \sqrt{\frac{6}{n+5}} \quad (3.2)$$

Чтобы найти фактическое значение и провести сравнительный анализ со значениями из таблицы Стьюдента нужно показатели асимметрии и эксцесса поделить на их ошибки. При этом если табличное значение больше фактического, то распределение – нормальное, если табличное значение меньше табличного, то распределение не соотносится с законом нормального распределения.

Для значения показателя асимметрии определяется значение t -критерия:

$$t_{\phi} = \frac{A_s}{S_{as}}. \quad (3.3)$$

Числовое значение степеней свободы (df), для нахождения строки в таблице Стьюдента, определяется как $n-1$. К примеру, при $n=5$ $df = 5-1=4$. Вероятность ошибки статистического заключения (уровень значимости), для нахождения колонки в таблице критериев Стьюдента, составляет 1%. По строке $df=4$ и колонки $p \leq 0,01$ определяем табличное значение $t_m = 4,60$. Исходя из того, что

фактическое значение $t_{\phi} (1,30306)$ меньше табличного $t_m (4,60)$, то можно сделать вывод, что и 2-й способ указывает на незначительность асимметрии кривой распределения. Фактическое значение критерия находится по формуле:

$$t_{\phi} = \frac{E_x}{S_{Ex}}. \quad (3.4)$$

Проверка производилась и другим способом – с использованием программы Statistica [11,75,87,108].

Данную проверку легче провести, если программа Statistica установлена на компьютер. В этом случае после набора необходимых данных в таблицу запускается панель Основные статистики и таблицы (BasicStatistics/Tables). При этом в средней части окна DescriptiveStatistics (Описательные статистики) слева располагается блок проверки распределений на нормальность (Distribution). Далее выделить крестиком пункт K-S and Lillieforstestfornormality, и нажать на клавишу Гистограммы. Затем появится гистограмма распределения числовых значений переменной на которую нанесена кривая нормального распределения.

После доказательства, что гистограмма имеет нормальный закон распределения значений измерений при дальнейшей обработке результатов можно применить оптимальные статистические методы.

Оценка величин погрешностей результатов измерения проводилась по методике [11,14,20,37,63,75,98,108].

Средняя арифметическая величина \bar{a} находилась по выражению:

$$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (3.5)$$

где $a_1 + a_2 + \dots + a_n$ – результаты измерений случайной величины;

n – количество измерений.

Находим дисперсию по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n - 1}. \quad (3.6)$$

Вычисляем корень квадратный из найденной ранее дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1}}. \quad (3.7)$$

Отклонение среднего значения или среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_{ia} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.8)$$

Величина наибольшей статической ошибки:

$$\Delta a = t_{An} \cdot \sigma_{ia}, \quad (3.9)$$

где t_{An} – коэффициент Стьюдента (таблица 3.1) определяется по надежности A и количеству измерений n .

Таблица 3.1 – Коэффициент Стьюдента

N	A					
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
2	2,0	3,2	6,3	12,7	31,8	63,7
3	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9
4	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8
5	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6
6	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0
7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7
8	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5
9	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4

Выбираем значение надежности $A = 0,9 \dots 0,95$. Границы доверительного интервала определяем используя формулу:

$$\bar{a} - \Delta a \leq a \leq \bar{a} + \Delta a. \quad (3.10)$$

При получении результата измерений, который не входит в доверительный интервал, это значение не рассматривается.

При обработке ранее полученных числовых значений результатов в соответствии с ГОСТ 33437-2018 среднеарифметическое значение давления определяется по формуле:

$$\bar{P}_{\text{вак}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{вак}}}{n}; \quad (3.11)$$

среднеарифметическое значение расхода определяется по формуле:

$$\bar{Q}_{\text{вак}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{вак}}}{n}; \quad (3.12)$$

среднеквадратичное отклонение давления определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{вак}} - \bar{P}_{\text{вак}})^2}{n-1}}; \quad (3.13)$$

среднеквадратичное отклонение расхода определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{вак}} - \bar{Q}_{\text{вак}})^2}{n-1}}; \quad (3.14)$$

нижняя граница трёхсигмового интервала давления определяется по формуле:

$$P_n = \bar{P}_{\text{вак}} - 3 \cdot \sigma; \quad (3.15)$$

нижняя граница трёхсигмового интервала расхода определяется по формуле:

$$Q_n = \bar{Q}_{\text{вак}} - 3 \cdot \sigma; \quad (3.16)$$

верхняя граница трёхсигмового интервала давления определяется по формуле:

$$P_g = \bar{P}_{\text{вак}} + 3 \cdot \sigma; \quad (3.17)$$

верхняя граница трёхсигмового интервала расхода определяется по формуле:

$$Q_g = \bar{Q}_{\text{вак}} + 3 \cdot \sigma. \quad (3.18)$$

3.3 Методики определения физико-механических свойств гуминовой суспензии

Для обоснования способа повышения концентрации гуминовой суспензии необходимо определить её физико-механические свойства, влияющие на процесс повышения концентрации: плотность; кинематическую вязкость; содержание сухого вещества; высоту отстаивания; скорость осаждения частиц.

Плотность вещества определяется при помощи ареометра.

Определение количества сухого вещества в гуминовой суспензии. Взвешивается ёмкость, гуминовая суспензия помещается в ёмкость, взвешивается, затем выпаривается вся вода и взвешивается ёмкость с сухим остатком. По известным массам ёмкости, гуминовой суспензии и массе сухого вещества определяется содержание сухого вещества.

Кинематическая вязкость определяется вискозиметром Энглера, вязкость по которому определяется измерением значения времени истечения из вискозиметра 200 мл определенной жидкости. И сопоставляется со временем истечения воды из вискозиметра при 20 °С. Жидкость при этом должна иметь определенную температуру. Жидкость должна вытекать непрерывной струёй при проведении процесса измерений. Вязкость при заданной температуре :

$$E_t = J_t / K20, \quad (3.19)$$

где J_t – время истечения изучаемого образца при заданной температуре T , с

$K20$ – постоянная вискозиметра, с

Единица измерения: градус условной вязкости. Полученные единицы Энглера пересчитываются в кинематическую вязкость, m^2/c

3.4 Методики и оборудование, используемые при обосновании способа повышения концентрации гуминовой суспензии

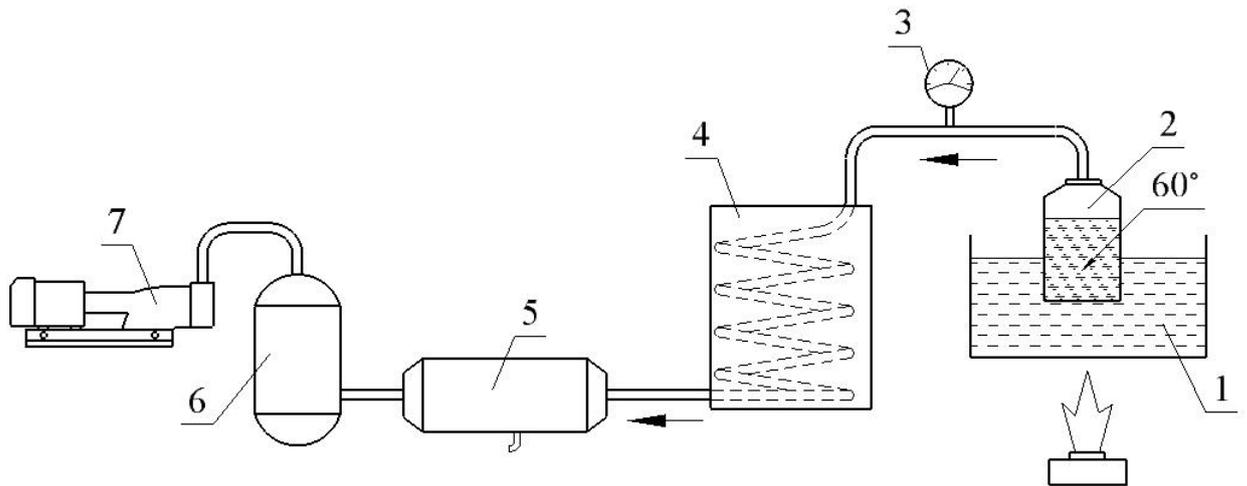
Проведено сравнение трёх гуминовых препаратов, полученных из суспензий, концентрация которых повышалась в осадительных медицинских центрифугах ОС-6МЦ в НПЦ «Эврика»; в осадительной проточной центрифуге и выпариванием в лабораторной вакуумной выпарной установке в Курганской ГСХА. Влияние способа повышения концентрации суспензии на всхожесть и энергию проростания яровой пшеницы определены по методике ГОСТ 12038-84.

3.4.1 Повышение концентрации суспензии в осадительной проточной центрифуге

С целью изучения возможности замены центрифуг ОС-6МЦ, используемых для повышения концентрации гуминовой суспензии после отстаивания на более производительные роторные осадительные центрифуги проведены эксперименты повышения концентрации гуминовой суспензии на молочном сепараторе с диаметром барабана 80 мм и частотой его вращения 12000 об/мин. Канал выхода сливок закрыли, в результате сепаратор работал в режиме осадительной центрифуги. Фактор разделения центрифуги $\Phi=6400$.

3.4.2 Повышение концентрации суспензии выпариванием под вакуумом

Мы предположили, что повысить эффективность производства гуминовых препаратов возможно при повышении концентрации суспензии выпариванием. Нагрев гуминовой суспензии выше 70 °С отрицательно сказывается на качестве препаратов, поэтому была разработана схема линии производства гуминосодержащего препарата с вакуумной выпарной установкой (рисунок 3.2).

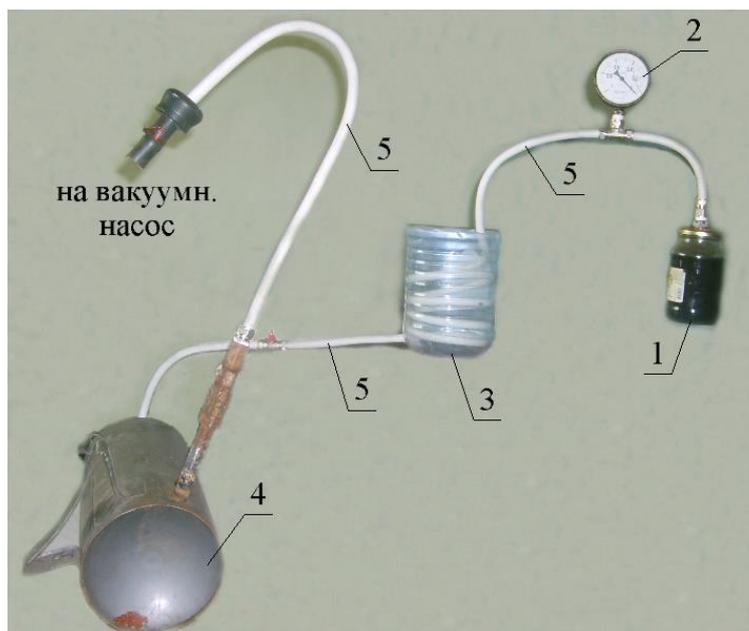


1 – ёмкость с водой; 2 – прозрачная ёмкость с суспензией; 3 – вакуумметр;
4 – конденсатор пара; 5 – ёмкость для конденсата; 6 – ресивер; 7 – вакуумный насос

Рисунок 3.2 – Схема лабораторной установки повышения концентрации гуминовой суспензии

Работа установки. Ёмкость с водой 1 нагревается на электрической плитке. Суспензия нагревается в прозрачной ёмкости 2, помещённой в ёмкость 1. Давление в ёмкости 2 измеряется вакуумметром 3. Образовавшийся при кипении суспензии пар конденсируется в конденсаторе 4. Конденсат стекает в ёмкость 5. Ресивер 6 служит для сглаживания колебаний вакуумметрического давления, создаваемого пластинчатым насосом 7 доильной установки [69,97,99,112].

В соответствии со схемой изготовлена лабораторная установка для повышения концентрации суспензии выпариванием под вакуумом (рисунок 3.3).



- 1 – ёмкость с гуминовой суспензией после созревания и отстаивания;
 2 – вакуумметр; 3 – охладитель; 4 – ресивер; 5 – трубка

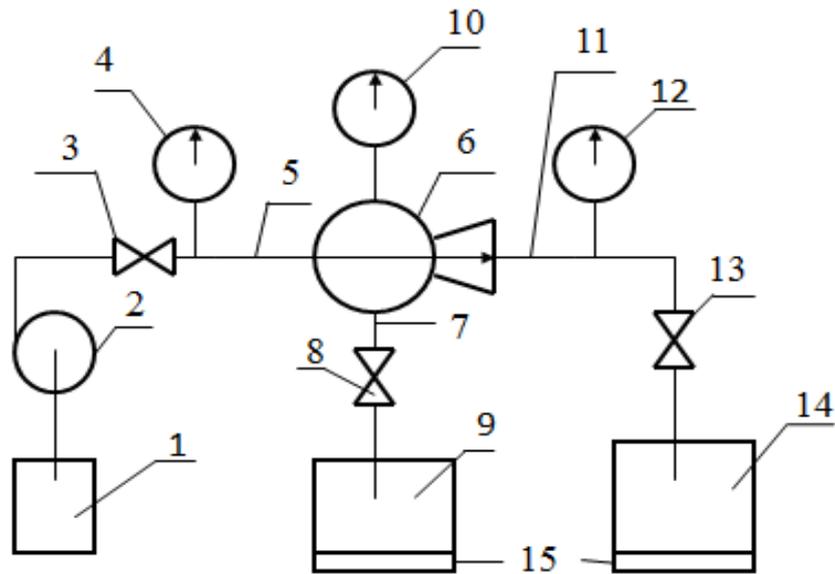
Рисунок 3.3 – Лабораторная установка для повышения концентрации гуминовой суспензии выпариванием под вакуумом

Обезличенные пронумерованные образцы концентрированной гуминовой суспензии были отправлены в ООО НПЦ «Эврика»:

- полученные с использованием молочного сепаратора, работающего в режиме осадительной центрифуги;
- полученные с использованием ВВУ;
- полученные по технологии, в которой используются медицинские центрифуги ОС-6МЦ.

В ООО НПЦ «Эврика» все образцы исследованы на соответствие показателям качества ГОСТ Р 54249-2010; на влияние препаратов на всхожесть и энергию прорастания яровой пшеницы по методике ГОСТ 12038-84 [23].

Разработана схема, изготовлена лабораторная установка для определения характеристик эжектора (рисунки 3.4 и 3.5) [101].



1–бак; 2– насос; 3 – кран; 4 – манометр; 5 – трубопровод подачи рабочей воды;
 6 – эжектор; 7 – трубопровод полезной подачи; 8 – кран; 9 – бак;
 10 – вакуумметр; 11 – напорный трубопровод; 12 – манометр; 13 – кран;
 14 – бак; 15 – весы

Рисунок 3.4 – Схема лабораторной установки для определения характеристик эжектора



Рисунок 3.5 – Эжектор в составе лабораторной установки

Определение гидравлических характеристик эжектора на установке. Баки 1 и 9 заполняются водой, бак 14 освобождается. Масса воды в баке 9 определяется с помощью весов 15. Включается насос 2 и краном 3 регулируется давление рабочей воды, подаваемой в эжектор. Краном 8 регулируется вакуумметрическое давление в корпусе эжектора, краном 13 регулируется давление после эжектора. Эксперимент продолжается 120 секунд, при установившемся режиме считываются показания манометров и вакуумметра, насос 2 отключается. С помощью весов 15 определяется масса воды, откаченной из бака 9 и поступившей в бак 14. Эксперименты при одном положении кранов повторяются 3 или 5 раз.

Гидравлические характеристики эжектора определены в соответствии с ГОСТ 33437-2018. Основные характеристики лабораторной установки: расход рабочего потока 0,0005...0,0008 м³/с; давление в подводе рабочего потока 200...430 кПа (2,0...4,3 кг/см²); скорость струи на выходе из рабочего сопла 20...30 м/с.

3.5 Выводы по главе

1. Разработаны общая методика и структурная схема экспериментальных исследований, включающая пять этапов.

Первый этап. Производство гуминовой суспензии, НПЦ «Эврика», г. Тюмень.

Второй этап. Определение плотности, вязкости, скорости осаждения, содержания сухого вещества гуминовой суспензии, ФГБОУ ВО Курганская ГСХА.

Третий этап. Повышение концентрации суспензии в осадительной центрифуге и выпариванием в лабораторной вакуумной выпарной установке, ФГБОУ ВО Курганская ГСХА.

Четвёртый этап. Определение качества гуминовых препаратов, полученных разными способами повышения концентрации суспензии, НПЦ «Эврика».

Пятый этап. Испытания ВВУ, ФГБОУ ВО Курганская ГСХА.

2. Выбраны методики статистической обработки экспериментальных данных.

3. Выбраны методики определения физико-механических свойств гуминовой суспензии.

4. Разработана лабораторная установка для повышения концентрации гуминовой суспензии выпариванием под вакуумом и методика проведения экспериментов.

5. Семена яровой пшеницы являются хорошей тест культурой, очень пластичные и удобные, поскольку имеют хорошо развитую корневую систему, обладают высокими значениями лабораторной всхожести и энергии прорастания, широко используются при посевах, поэтому выбраны при исследовании влияния способов повышения концентрации суспензии на всхожесть и энергию прорастания. В ООО НПЦ «Эврика» все образцы исследованы на соответствие показателям качества ГОСТ Р 54249-2010; на влияние препаратов на всхожесть и энергию прорастания яровой пшеницы по методике ГОСТ 12038-84.

6. Разработана схема, изготовлена лабораторная установка для определения характеристик эжектора. В соответствии с ГОСТ 34437-2018 разработана методика определения гидравлических характеристик эжектора. Основные характеристики лабораторной установки: расход рабочего потока 0,0005...0,0008 м³/с; давление в подводе рабочего потока 200...430 кПа (2,0...4,3 кг/см²); скорость струи на выходе из рабочего сопла 20...30 м/с.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Определение физико-механических свойств гуминовой суспензии

При производстве гуминовых препаратов необходимо повысить концентрацию гуминовой суспензии, чтобы удалить воду и вещества, используемые при получении суспензии, а также получить чистый качественный препарат, занимающий небольшой объём. Для обоснования способа повышения концентрации гуминовой суспензии необходимо определить её физико-механические свойства, влияющие на процесс повышения концентрации: плотность; кинематическую вязкость; содержание сухого вещества; высоту отстаивания; скорость осаждения частиц [43].

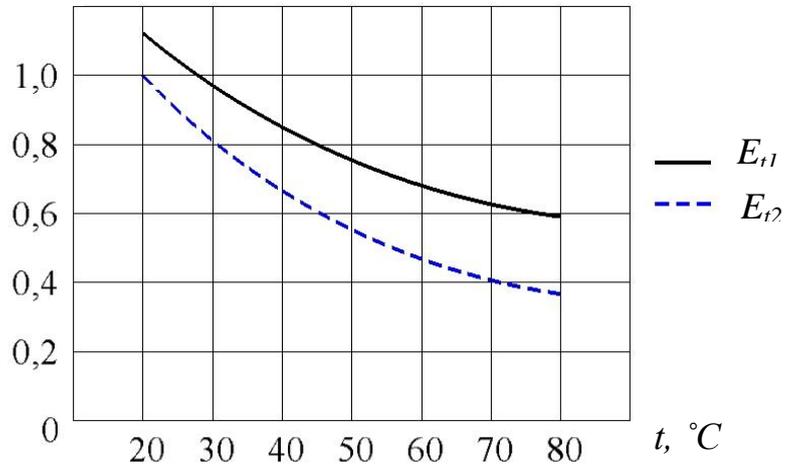
Плотность вещества определяется при помощи ареометра. Показания при четырёх замерах в равных условиях показали плотность гуминовой суспензии 1005 кг/м^3 [30].

Определение количества сухого вещества в гуминовой суспензии. Гуминовая суспензия помещается в ёмкость, взвешивается, затем выпаривается вся вода и взвешивается ёмкость с сухим остатком. Зная начальную массу гуминовой суспензии и массу сухого вещества, можно определить содержание сухого вещества. Содержание сухого вещества в гуминовой суспензии составляет 1,2% [24-26].

Кинематическая вязкость определяется вискозиметром Энглера. Вязкость определяется измерением времени истечения из вискозиметра 200 мл жидкости определенной температуры при сравнении со временем истечения из вискозиметра такого же количества дистиллированной воды при $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Жидкость должна вытекать непрерывной струёй при проведении процесса измерений. Вязкость при заданной температуре: $E_t = J_t / K20$, где J_t – время истечения изучаемого образца (в секундах) при заданной температуре, $v \text{ с.}$ $K20$ – постоянная вискозиметра (в секундах).

Единица измерения: градус условной вязкости. Полученные единицы Энглера пересчитываются в кинематическую вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$ (рисунок 4.1) [105].

$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$

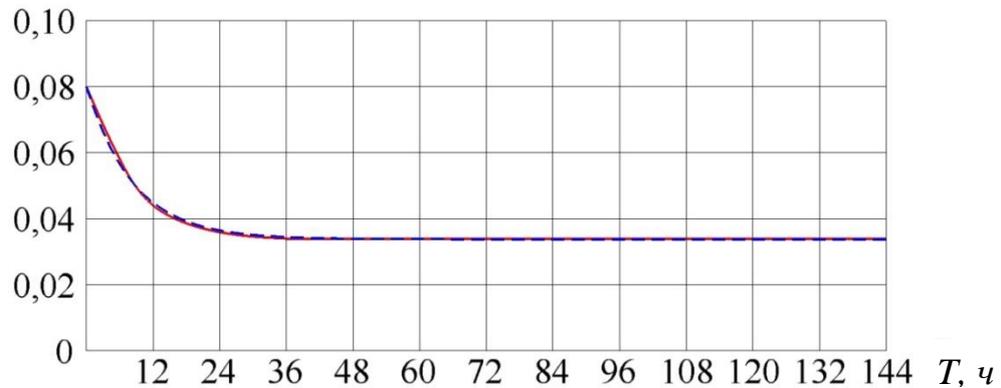


— — вязкость гуминовой суспензии, - - - - вязкость воды

Рисунок 4.1 – Зависимость вязкости от температуры

Из графика видно, что вязкость гуминовой суспензии выше вязкости воды. Чем выше вязкость жидкости, тем длительнее протекает процесс осаждения [98]. Определение уровня и скорости осаждения (отстаивания) гуминовой суспензии. В пять мензурок помещается гуминовая суспензия и оставляется в покое. Вещества гуминовой суспензии осаждаются на дно мензурок, каждый час в течение 4-х суток осуществляется замер с уровнем осадка (рисунок 4.2).

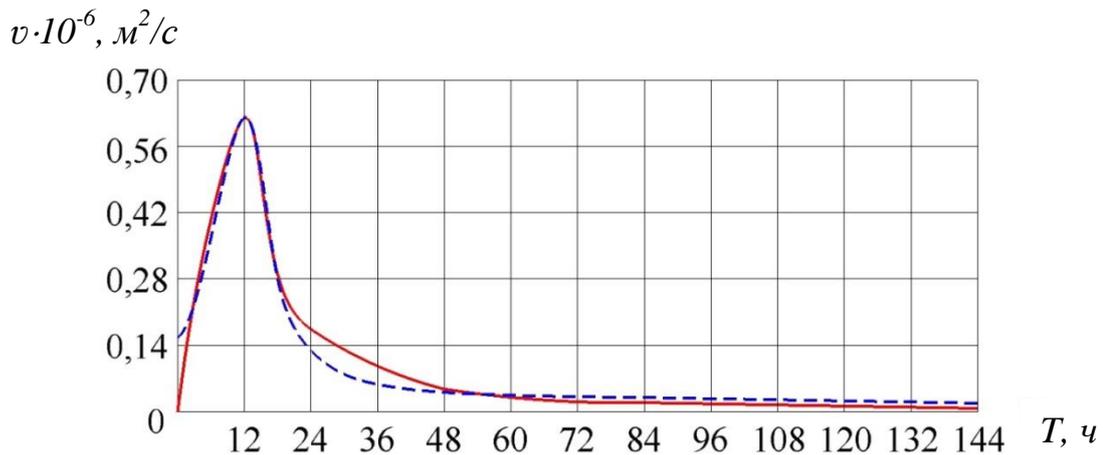
$h, \text{м}$



— — кривая экспериментальная, - - - - кривая по формуле (4.1)

Рисунок 4.2 – Уровень осаждения гуминовых частиц

Из графика уровня осаждения гуминовых частиц видно, что сравнительно быстрое осаждение происходит в первые 24 часа. За последующие трое суток частицы оседают только на 15%. Взяв производную от высоты осаждения можно получить скорость осаждения. Наибольшая скорость достигается через первые 12 часов, т.е. пока в жидкости еще действует броуновское движение. После трёх суток скорость осаждения близка к нулю (рисунок 4.3).



— кривая экспериментальная, - - - кривая по формуле (4.2)

Рисунок 4.3 – Скорость осаждения частиц гуминовой суспензии

На основе анализа экспериментальных данных графиков уровня и скорости осаждения частиц в программе «STATISTICA» получена формула зависимости высоты осаждения частиц от времени и формула скорости осаждения частиц от времени [15,16]:

$$h = 0,0338 + 0,466 \cdot \exp\left(-\frac{T}{8,375}\right). \quad (4.1)$$

$$v = 0,026 + \frac{20,52}{(T - 11,129)^2 + 33,762}. \quad (4.2)$$

Результаты лабораторных исследований подтверждаются испытаниями в производственных условиях (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Отстаивание гуминовой суспензии в НПЦ «Эврика»

Повышать концентрацию гуминовой суспензии отстаиванием рационально только первые 24 часа, при этом содержание сухих веществ в осадке повышается до 2,4...2,5%.

4.2 Сравнение качества гуминовых препаратов, полученных при различных способах повышения концентрации гуминовой суспензии

Сравнили препараты, полученные при повышении концентрации суспензии в: 1) медицинской центрифуге ОС-6МЦ; 2) проточной осадительной центрифуге (фактор разделения $\Phi=6000\dots7000$) и 3) вакуумной выпарной установке.

При повышении концентрации на молочном сепараторе (при закрытом канале выхода сливок сепаратор работал в режиме осадительной центрифуги) под действием центробежных сил концентрированная суспензия скопилась в грязевой полости барабана (рисунок 4.5). Вторая фракция – вода, тёмная содержит полезные вещества, которые являются потерями.



Рисунок 4.5 – Осадок суспензии в грязевой полости молочного сепаратора

Анализируя физико-механические свойства суспензии и размер её частиц (рисунок 4.6) можно сделать вывод, что при разделении суспензии на фильтрующих центрифугах возникнут большие потери продукта, так как его частицы малы [98,100].

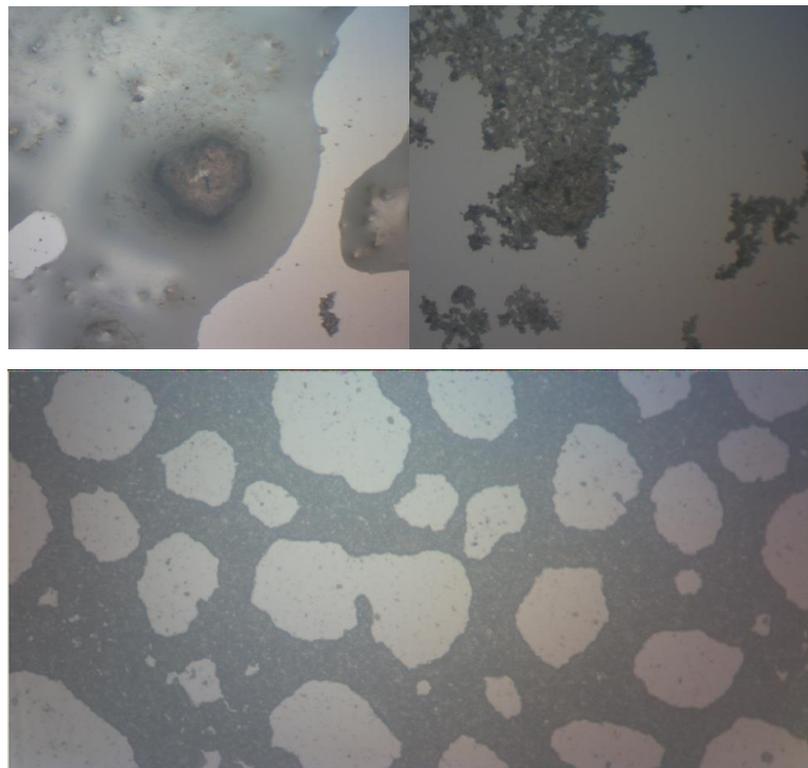


Рисунок 4.6 – Гуминовая суспензия. Увеличение 200 крат

При выпаривании конденсат в ёмкости 5 (рисунок 3.2) и ресивере 4 (рисунок 3.3) прозрачный, потери гуминовых препаратов минимальные [69,112].

По результатам исследований в ООО НПЦ «Эврика» определено, что все образцы препарата соответствуют показателям качества ГОСТ Р 54249-2010 «Удобрения жидкие гуминовые на основе торфа»: внешний вид, цвет – жидкость темно-коричневого цвета; запах – без запаха или со слабым запахом; содержание водорастворимых гуминовых кислот – для марки А (0.1% гуминовый препарат) – не менее 1 г/л; кислотность рН – 6.5-7.

Семена яровой пшеницы являются хорошей тест культурой, очень пластичные и удобные, поскольку имеют хорошо развитую корневую систему, обладают высокими значениями лабораторной всхожести и энергии прорастания, широко используются при посевах, поэтому выбраны при исследовании влияния способов повышения концентрации суспензии на всхожесть и энергию прорастания. В ООО НПЦ «Эврика» исследовано влияние препаратов на всхожесть и энергию прорастания яровой пшеницы по методике ГОСТ 12038-84, результаты представлены в таблицах 4.1 и 4.2 [23].

Таблица 4.1 – Влияние способа повышения концентрации суспензии на всхожесть и энергию прорастания яровой пшеницы, определенные по методике ГОСТ 12038-84

Способ повышения концентрации гуминовой суспензии	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
В центрифуге проточной осадительной	86	81
В центрифуге проточной осадительной	85	80
В центрифуге проточной осадительной	87	84
Выпаривание	90	89
Выпаривание	93	90
Выпаривание	95	94
В центрифугах ОС-6МЦ	87	87
В центрифугах ОС-6МЦ	87	88
В центрифугах ОС-6МЦ	85	86

Таблица 4.2 – Результаты статистической обработки по формулам (3.5...3.9) влияния способа повышения концентрации суспензии на всхожесть и энергию прорастания яровой пшеницы, определенные по методике ГОСТ 12038-84 с доверительной вероятностью 95%.

Способ повышения концентрации гуминовой суспензии	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
В центрифуге проточной осадительной	86,00±2,48	81,67±5,15
Выпаривание	92,67±6,23	91,00±6,79
В центрифугах ОС-6МЦ	86,33±2,87	87,00±2,48

Из таблиц видно, что лучшими свойствами обладают гуминовые препараты полученные при выпаривании. Энергия прорастания после выпаривания на 7,8% выше, чем после центрифуг. Всхожесть после выпаривания на 11,4% выше, чем после проточной осадительной центрифуги и на 4,6% выше, чем после центрифуги ОС-6МЦ с доверительной вероятностью 95%. Это можно объяснить тем, что в центрифугах под воздействием центробежных сил, фактор разделения $\Phi=6000...7000$, происходит разрыв связей молекул и эффективность препаратов уменьшается. По показателям энергии прорастания и всхожести обоснован рациональный способ повышения концентрации гуминовой суспензии выпариванием.

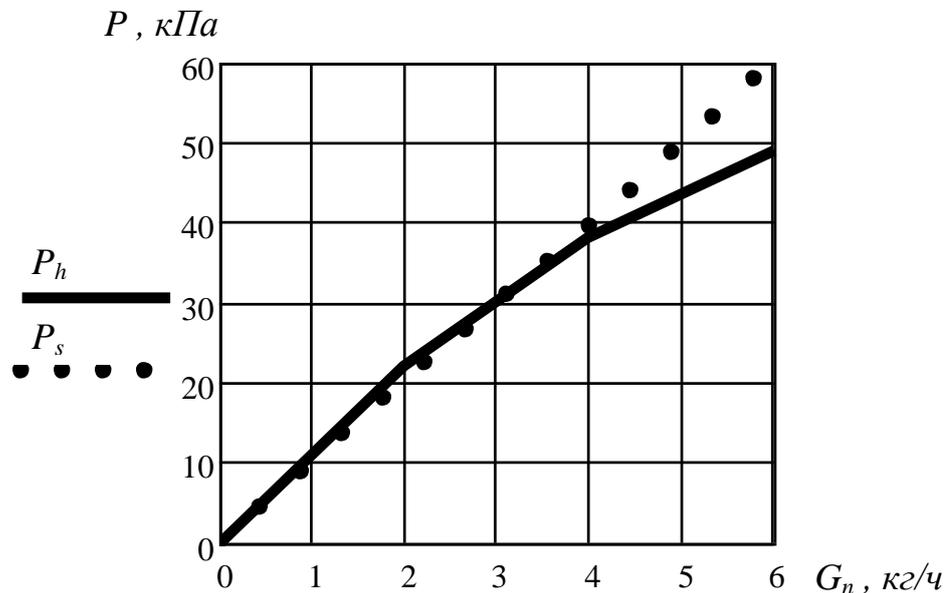
4.3 Верификация модернизированной математической модели расчёта эжектора

Результаты расчётов по формулам (2.17; 2.18) сравнили с результатами эксперимента [80, с. 233, рис. 7.17в] и представили на рисунке 4.7. При подстановке исходных данных, соответствующих эксперименту [80, с. 233, рис. 7.17в]: $G_n = 2$ кг/ч; $R_\omega = 292,7$ Дж/кг·К; $t_p = 25$ °С; $P_n = 21,4 \cdot 10^3$ Па; $P_{np} = 1,7 \cdot 10^3$ Па; $P_p = 4,2 \cdot 10^5$ Па; $P_c = 1 \cdot 10^5$ Па; $\rho_p = 1 \cdot 10^3$ кг/м³ в формулы

(2.16; 2.17) получаем диаметр рабочего сопла, мм: $d_{p1} = 11,015$ мм, что соответствует диаметру сопла экспериментального эжектора [80, с. 233, рис. 7.17в].

Из графика видно, что при расходе инжектируемого воздуха $G_n = 2$ кг/ч расчётное значение давления в выпарном котле $P_h = 22$ кПа; экспериментальное $P_s = 20$ кПа [95,96]. В диапазоне давлений в котле ВВУ 20...28 кПа расхождение расчётного и экспериментального значений не превышает 10%.

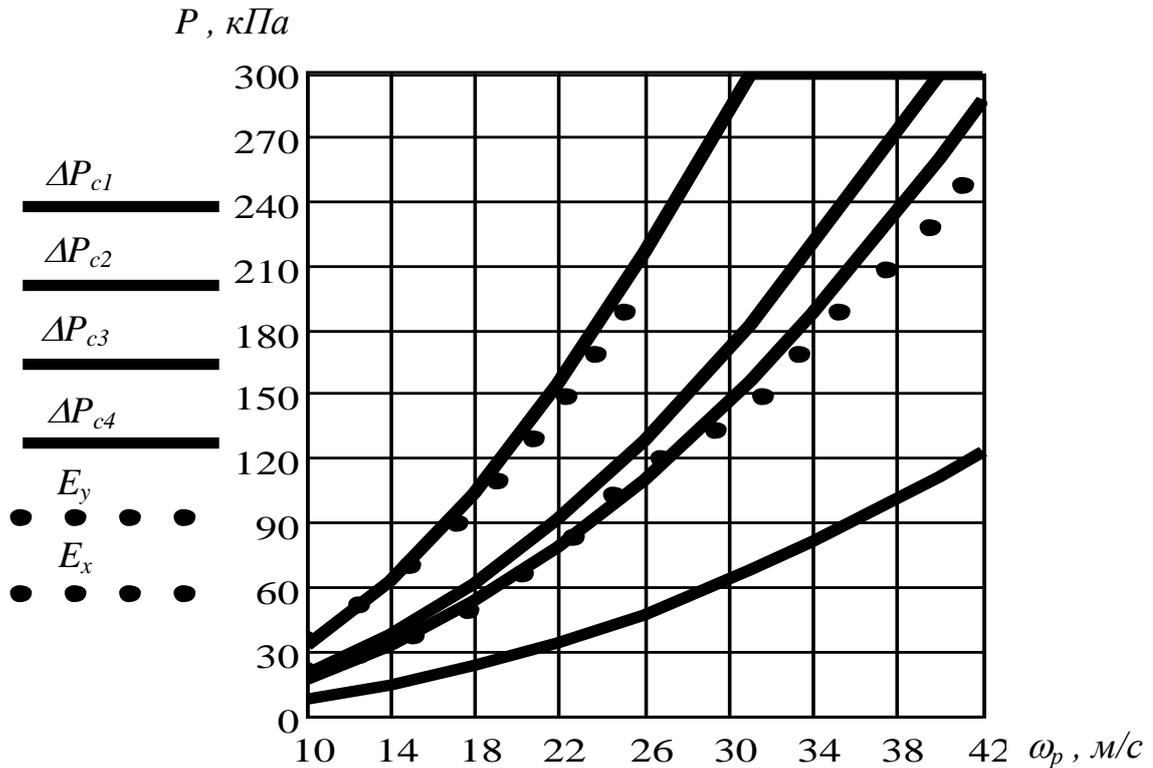
$$G_n = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 4 \\ 6 \end{pmatrix} \quad P_h = \begin{pmatrix} 0 \\ 22 \\ 38 \\ 49 \end{pmatrix} \quad P_s = \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 39 \\ 60 \end{pmatrix}$$



P_h — расчётная зависимость; P_s — эксперимент

Рисунок 4.7 – Зависимость установившегося давления в выпарном котле P , кПа от расхода инжектируемого воздуха G_n , кг/ч при диаметре рабочего сопла 11 мм и давлении воды перед соплом 420 кПа, после эжектора 100 кПа

Результаты расчётов по формуле (2.40) представлены на рисунке 4.8 в сравнении с результатами эксперимента [80].



E_y и E_x – экспериментальные значения;

ΔP_{c1} – при $f_3/f_{p1} = 2,5$; ΔP_{c2} – при $f_3/f_{p1} = 4,7$; ΔP_{c3} – при $f_3/f_{p1} = 5,6$;

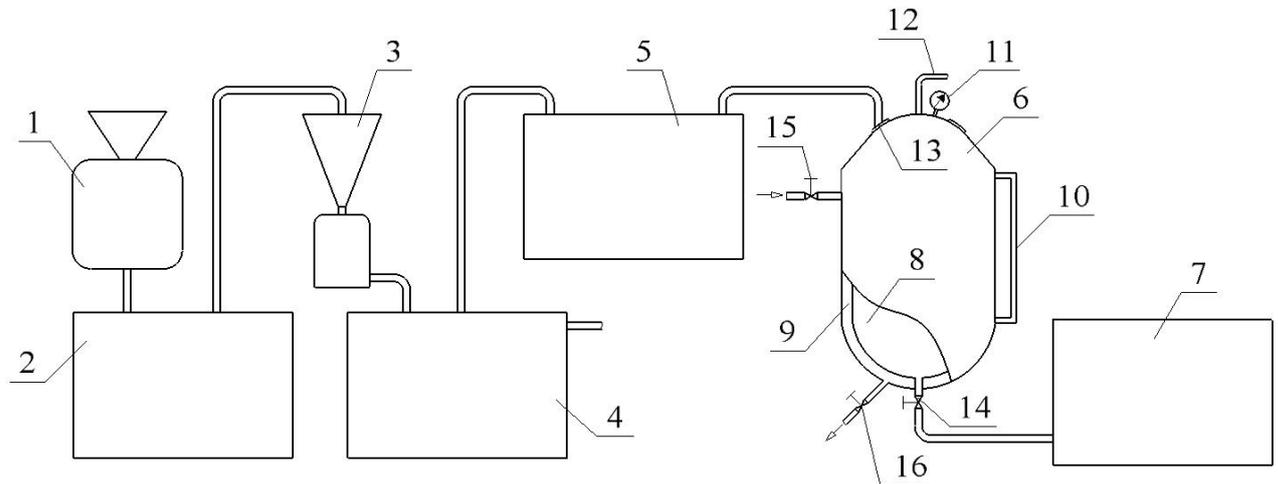
ΔP_{c4} – при $f_3/f_{p1} = 13,8$;

Рисунок 4.8 – Зависимость максимального перепада давлений ΔP_c , кПа, создаваемого эжектором, от скорости истечения воды, м/с, при различных отношениях сечений камеры смешения и сопла $Kf = f_3/f_{p1}$

Экспериментальные значения E_y и E_x взяты из источника [80 с. 231]. Результаты расчётов эжектора по модернизированной математической модели удовлетворительно совпадают с результатами экспериментов из литературных источников (рисунки 4.7 и 4.8) и формулы могут быть использованы для определения рациональных конструктивных параметров эжектора для ВВУ.

4.4 Предлагаемые схемы вакуумных выпарных установок для повышения концентрации гуминовой суспензии

Для повышения эффективности производства гуминовых препаратов, разработана схема линии с вакуумной выпарной установкой (рисунок 4.8).



1 – измельчитель; 2 – ёмкость с теплоизоляцией; 3 – центрифуга для очистки суспензии от сырьевого шлама; 4 – промывочная ёмкость; 5 – ёмкость для созревания; 6 – вакуумная выпарная установка; 7 – ёмкость для приготовления гуминовых препаратов; 8 – нагревательная камера для гуминовой суспензии; 9 – водяная рубашка; 10 – датчик уровня; 11 – вакуумметр; 12 – трубка для отвода пара; 13 – приёмник для загрузки исходного раствора; 14 – патрубок слива суспензии, 15 – патрубок отвода воды из рубашки, 16 – патрубок подачи воды в рубашку

Рисунок 4.8 – Схема линии с вакуумной выпарной установкой для повышения концентрации гуминового суспензия, патент № 132071, в которой предлагаем использовать центрифугу для очистки суспензии от сырьевого шлама патент № 122313

Торф является исходным сырьём в данной линии повышения концентрации гуминовой суспензии. В сухом виде торф подаётся на измельчитель 1 где его измельчают до размера гранул 1-2 мм. Затем сырьё помещают в термоизолированную ёмкость 2, где в течении 2 часов при температуре 90-100 °С с по-

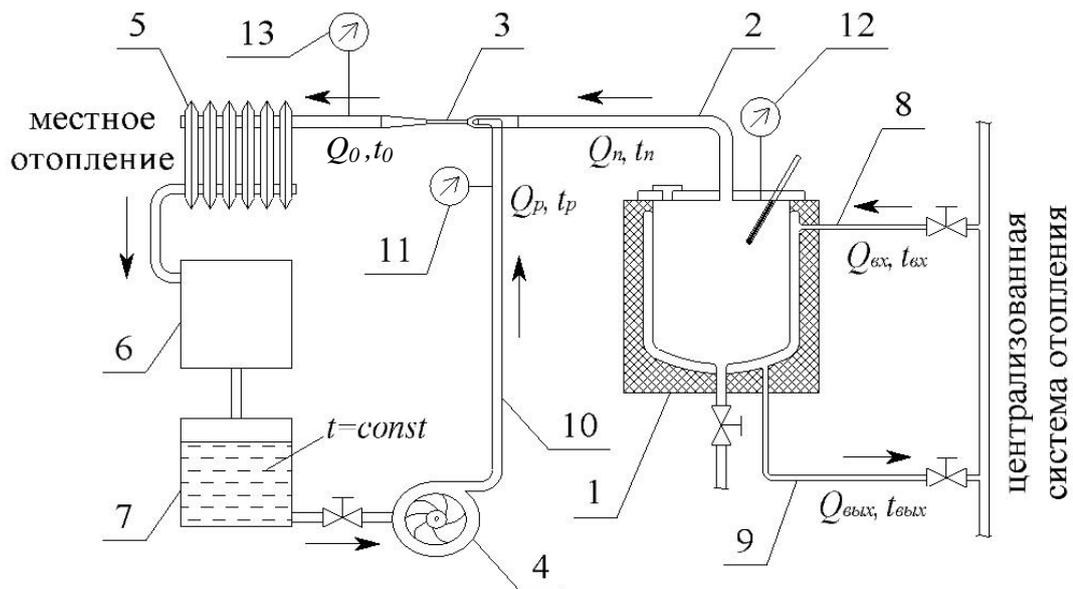
мощью 0,5% раствора углекислого натрия (0,5% Na_2CO_3) «вытягивают» гуминовую кислоту. Потом помещают в центрифугу 3, где суспензия очищается от сырьевых отходов [70]. Затем суспензию погружают в ёмкость 4, где она промывается водой от содержания химических реагентов. После этого гуминовую суспензию помещают в ёмкость 5, в соотношении 1:4 добавляют воды, затем в соответствии с назначением препарата, добавляют необходимые вещества для его приготовления, и оставляют на 10 суток для созревания гуминовой суспензии.

После созревания суспензию помещают в нагревательную камеру 8 вакуумной выпарной установки 6 через приемник 13, где вода испаряется при температуре 60...68 °С. Концентрированная гуминовая суспензия погружается в ёмкость для приготовления препаратов 7.

Запатентованная схема отличается от существующих технологических схем тем, что для повышения концентрации суспензии вместо медицинских центрифуг ОС-6МЦ используется ВВУ. Применение разработанной линии позволит получить препараты высокого качества и повысить производительность линии за счёт исключения операции центрифугирования при уменьшении затрат ручного труда.

На выставке Золотая осень – 2020 (г. Москва) Курганская ГСХА в номинации «За производство высокоэффективной сельскохозяйственной техники и внедрение прогрессивных ресурсосберегающих технологий» награждена бронзовой медалью и дипломом за разработку линии производства гуминосодержащего препарата.

В представленной на рисунке 4.8 схеме не решены вопросы источника энергии для выпаривания и системы создания и поддержания требуемого давления в нагревательной камере. Поэтому была разработана схема энергосберегающей линии повышения концентрации гуминовой суспензии (рисунок 4.9).

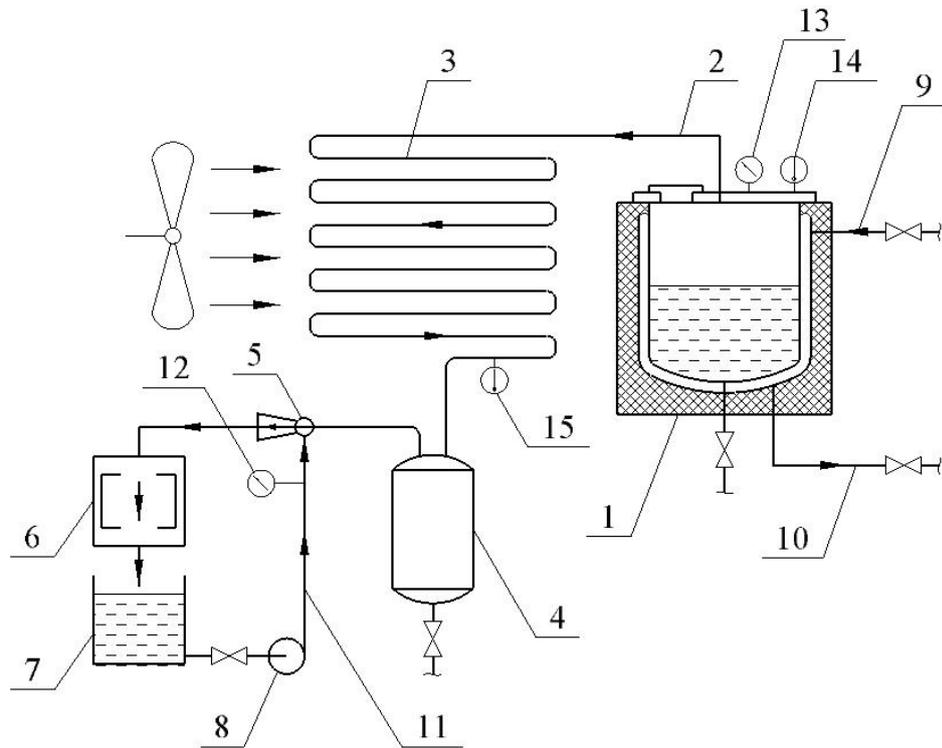


- 1 – котёл; 2 – паропровод; 3 – эжектор; 4 – центробежный насос; 5 – охладитель (участок системы отопления); 6 – гаситель скорости струи; 7 – бак для воды; 8 – трубопровод из системы отопления; 9 – трубопровод в систему отопления; 10 – трубопровод рабочей воды для эжектора; 11 – манометр перед эжектором; 12 – вакуумметр; 13 – манометр после эжектора

Рисунок 4.9 – Схема энергосберегающей ВВУ повышения концентрации гуминовой суспензии

Энергия для выпаривания берётся из системы отопления. Вода в рубашку котла поступает из системы отопления по трубе 8, из рубашки вода возвращается в систему отопления по трубе 9, а энергия, затраченная на выпаривание, остаётся в помещении. Для создания вакуума в котле и удаления пара используется эжектор 3. В схеме отсутствует конденсатор пара. Пар из котла поступает в эжектор и конденсируется, смешиваясь с рабочей водой. В баке 7 температура воды не должна быть выше 35 °С и быть постоянной. В эжекторе при смешивании с паром температура воды повышается на 1...3 °С. На столько же градусов температура воды должна понижаться в охладителе 5. При небольшой разности температур теплоносителя и воздуха в помещении требуется большая поверхность охладителя, что является недостатком. К недостаткам можно отнести смешивание конденсата и рабочей воды, что требует поддержания уровня в

баке 7 [95]. Ряд недостатков лишена схема с конденсатором пара (рисунок 4.10).



1 – нагревательная камера; 2 – паропровод; 3 – конденсатор пара (участок системы отопления); 4 – ёмкость для конденсата; 5 – водовоздушный эжектор; 6 – охладитель; 7 – ёмкость для воды; 8 – центробежный насос; 9 – трубопровод горячей воды в рубашку нагревательной камеры; 10 – трубопровод отвода воды из рубашки; 11 – трубопровод рабочей воды эжектора; 12 – манометр; 13 и 15 – вакуумметры; 14 – термометр

Рисунок 4.10 – Схема ВВУ с эжектором и с конденсатором пара

Работа установки. В нагревательную камеру 1 заливается гуминовая суспензия, в рубашку нагревательной камеры через патрубок 9 подводится вода температурой 80...90 °С, охлажденная вода отводится через патрубок 10. При достижении температуры суспензии 60 °С включается центробежный насос для подачи воды в водовоздушный эжектор 5. Водовоздушный эжектор создаёт вакуум 72...80 кПа в нагревательной камере. Пар из нагревательной камеры удаляется по паропроводу 2 и конденсируется в конденсаторе пара 3. Конденсат стекает в ёмкость 4. После эжектора 5 вода поступает в охладитель 6 и сливает-

ся в ёмкость 7. После повышения концентрации суспензии до требуемого значения прекращается подача воды в рубашку и выключается центробежный насос. Давление в нагревательной камере выравнивается с атмосферным, сливается продукт [112].

4.5 Результаты определения гидравлических характеристик эжектора

Используя результаты теоретических исследований, определили размеры деталей водоструйного эжектора: диаметр рабочего сопла 5 мм, диаметры входного сопла камеры смешения и камеры смешения 10 мм (рисунок 4.11).



1 – подвод потока полезной подачи; 2 – подвод рабочего потока, 3 – рабочее сопло; 4 – входное сопло камеры смешения; 5 – муфта;

6 – диффузор; 7 – корпус

Рисунок 4.11 – Детали эжектора

Разработана схема, изготовлена лабораторная установка для определения характеристик эжектора (рисунки 3.4 и 3.5) [101].

Гидравлические характеристики эжектора определены в соответствии с ГОСТ 33437-2018. Основные характеристики лабораторной установки: расход воды рабочего потока 0,0005...0,0008 м³/с; давление рабочего потока на входе 300...400 кПа (3...4 кг/см²); скорость истечения воды из сопла 25...30 м/с. Результаты замеров параметров потоков представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 Результаты замеров

№	$P_{\text{вак}} \cdot 10^5$ Па	$P_2 \cdot 10^5$ Па	$P_1 \cdot 10^5$ Па	T , с	$m_{\text{вак}}$ кг	$Q_{\text{вак}} \times 10^{-3}$ м ³ /с	m_2 кг	$Q_2 \times 10^{-3}$ м ³ /с	m_1 кг	$Q_1 \times 10^{-3}$ м ³ /с
1	0,80	0,28	3,18	120	2	0,01667	52,7	0,43916	50,7	0,4225
2	0,81	0,20	3,1	120	1,8	0,015	53,9	0,44916	52,1	0,43416
3	0,82	0,25	3,15	120	2,0	0,01667	51,9	0,4325	49,9	0,41583
4	0,81	0,20	3,15	120	2,0	0,01667	50,1	0,4175	48,1	0,40083
5	0,81	0,25	3,15	120	1,7	0,01416	52,8	0,440	51,1	0,42583
1	0,59	0,31	3,10	120	5,5	0,04583	56,5	0,47083	51,0	0,4250
2	0,59	0,31	3,10	120	5,4	0,045	54,8	0,45666	49,4	0,41166
3	0,58	0,30	3,18	120	7,3	0,06083	55,5	0,4625	48,2	0,40166
1	0,70	0,28	3,10	120	5,1	0,0425	56,4	0,470	51,3	0,4275
2	0,70	0,30	3,15	120	4,6	0,03833	55,8	0,465	51,2	0,42666
3	0,74	0,28	3,18	120	4,8	0,04	55,7	0,46416	50,9	0,42416

где $P_{\text{вак}}$ – вакуумметрическое давление в корпусе эжектора, Па;

P_2 – давление в камере смешения, Па;

P_1 – давление рабочего потока, Па;

T – время эксперимента, с;

$m_{\text{вак}}$ – масса воды, прошедшей через подвод полезной подачи, кг;

$Q_{\text{вак}}$ – объемный расход воды через подвод полезной подачи, м³/с;

m_2 – масса воды, прошедшей через камеру смешения за время

опыта, кг;

Q_2 – объемный расход воды через камеру смешения, м³/с;

m_l – масса рабочего потока за время опыта, кг;

Q_l – объемный расход рабочего потока, м³/с;

Ошибка показателя асимметрии определяется по формуле:

$$S_{As} = \sqrt{\frac{6}{n+3}} \quad (4.3)$$

Выборочная ошибка геометрической формы распределения по высоте:

$$S_{Ex} = 2 \cdot \sqrt{\frac{6}{n+5}} \quad (4.4)$$

Чтобы найти фактическое значение и провести сравнительный анализ со значениями из таблицы Стьюдента нужно показатели асимметрии и эксцесса поделить на их ошибки. При этом если табличное значение больше фактического, то распределение – нормальное, если табличное значение меньше табличного, то распределение не соотносится с законом нормального распределения.

Для значения показателя асимметрии определяется значение t -критерия:

$$t_{\phi} = \frac{A_s}{S_{as}}. \quad (4.5)$$

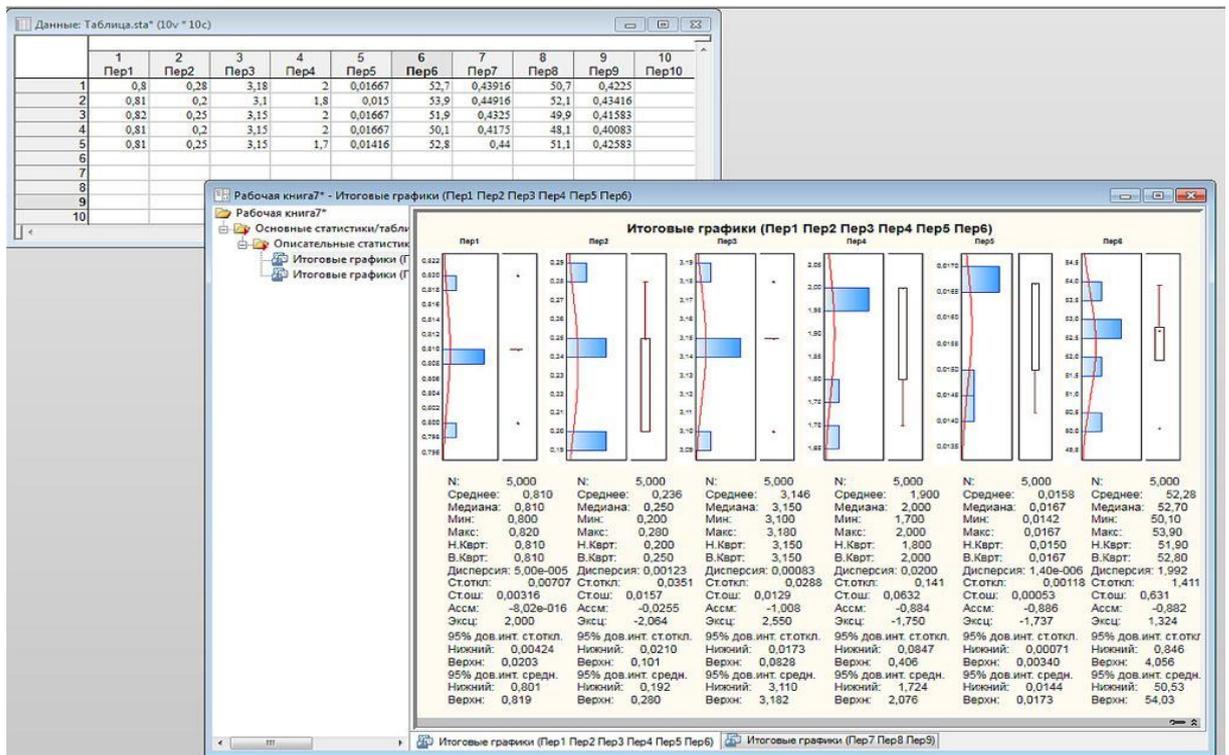
Числовое значение степеней свободы (df), для нахождения строки в таблице Стьюдента, определяется как $n-1$. К примеру, при $n=5$ $df = 5-1=4$. Вероятность ошибки статистического заключения (уровень значимости), для нахождения колонки в таблице критериев Стьюдента, составляет 1%. По строке $df=4$ и колонки $p \leq 0,01$ определяем табличное значение $t_m = 4,60$. Исходя из того, что фактическое значение $t_{\phi} (1,30306)$ меньше табличного $t_m (4,60)$, то можно сделать вывод, что и 2-й способ указывает на незначительность асимметрии кривой распределения. Фактическое значение критерия находится по формуле:

$$t_{\phi} = \frac{E_x}{S_{Ex}}. \quad (4.6)$$

Проверка производилась и другим способом – с использованием программы Statistica [11,75,87,108].

Данную проверку легче провести, если программа Statistica установлена на компьютер. В этом случае после набора необходимых данных в таблицу запускается панель Основные статистики и таблицы (BasicStatistics/Tables). При этом в средней части окна DescriptiveStatistics (Описательные статистики) слева располагается блок проверки распределений на нормальность (Distribution). Далее выделить крестиком пункт K-S and Lillieforstestfor normality, и нажать на клавишу Гистограммы. Затем появится гистограмма распределения числовых значений переменной на которую нанесена кривая нормального распределения.

После доказательства, что гистограмма имеет нормальный закон распределения значений измерений при дальнейшей обработке результатов можно применить оптимальные статистические методы.



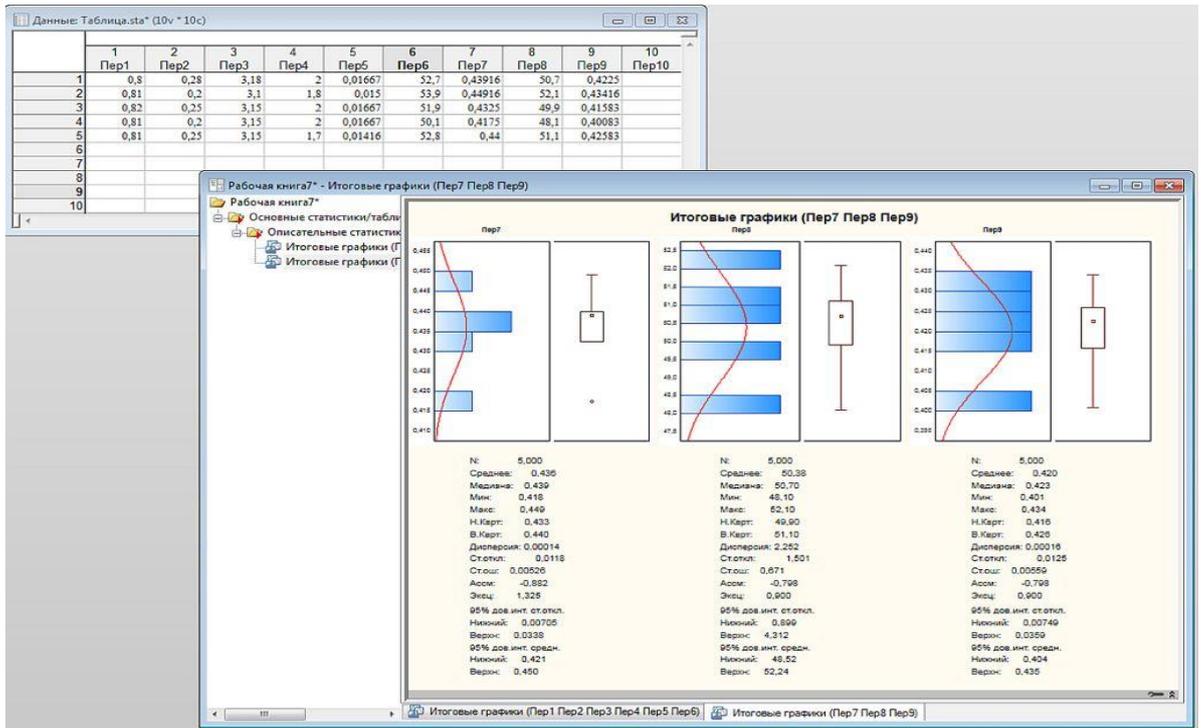


Рисунок 4.12 – Гистограммы распределения значений вакуумметрического давления в приёмной камере эжектора и значений полезной подачи воды эжектором

Обработка результатов производилась на электронно-вычислительной машине в соответствии с ГОСТ 34437-2018, таблицы 4.4 и 4.5.

Таблица 4.4 Обработка результатов определения давления в приёмной камере эжектора

Номер измерения	Давление в приёмной камере $P_{\text{вак}}$ 10^5 Па	Среднеарифметическое значение $\bar{P}_{\text{вак}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{вак}}}{n}$	Среднеквадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{вак}} - \bar{P}_{\text{вак}})^2}{n-1}}$	Нижняя граница трех-сигмового интервала $P_n = \bar{P}_{\text{вак}} - 3 \cdot \sigma$	Верхняя граница трех-сигмового интервала $P_6 = \bar{P}_{\text{вак}} + 3 \cdot \sigma$
1	2	3	4	5	6
1	0,80	0,81	0,0071	0,78879	0,83121
2	0,81				
3	0,82				
4	0,81				
5	0,81	0,59	0,0071	0,56879	0,61121
1	0,59				
2	0,59				
3	0,58	0,71	0,0231	0,63964	0,78035
1	0,70				
2	0,70				
3	0,74				

Таблица 4.5 – Обработка результатов определения полезной подачи воды эжектором

Но- мер изме- рения	Расход воды $Q_{\text{вак}}$ $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	Среднеарифме- тическое значение $\bar{Q}_{\text{вак}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{вак}}}{n}$	Среднеквадратичное отклонение $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{вак}} - \bar{Q}_{\text{вак}})^2}{n-1}}$	Нижняя граница трехсигмового интервала $Q_{\text{н}} = \bar{Q}_{\text{вак}} - 3 \cdot \sigma$	Верхняя граница трехсигмового интервала $Q_{\text{в}} = \bar{Q}_{\text{вак}} + 3 \cdot \sigma$
1	2	3	4	5	6
1	0,01667	0,01583	0,0012	0,01229	0,01938
2	0,015				
3	0,01667				
4	0,01667				
5	0,01416				
1	0,04583	0,0506	0,0089	0,02382	0,07728
2	0,045				
3	0,06083				
1	0,0425	0,0403	0,0021	0,03398	0,04657
2	0,03833				
3	0,04				

Таблица 4.6 Средние арифметические значения давления в приёмной камере эжектора и массового расхода воды через подвод полезной подачи

Вакуумметрическое давление, кПа	Расход, 10^{-3} кг/с
$P_{v0}=58,67$	$Q_{v0}=50,55$
$P_{v1}=71,33$	$Q_{v1}=40,28$
$P_{v2}=81,0$	$Q_{v2}=15,83$

Максимальное вакуумметрическое давление получено 96 кПа. Зависимость массового расхода воды через подвод полезной подачи от вакуумметрического давления в приёмной камере эжектора показана на рисунке 4.13.

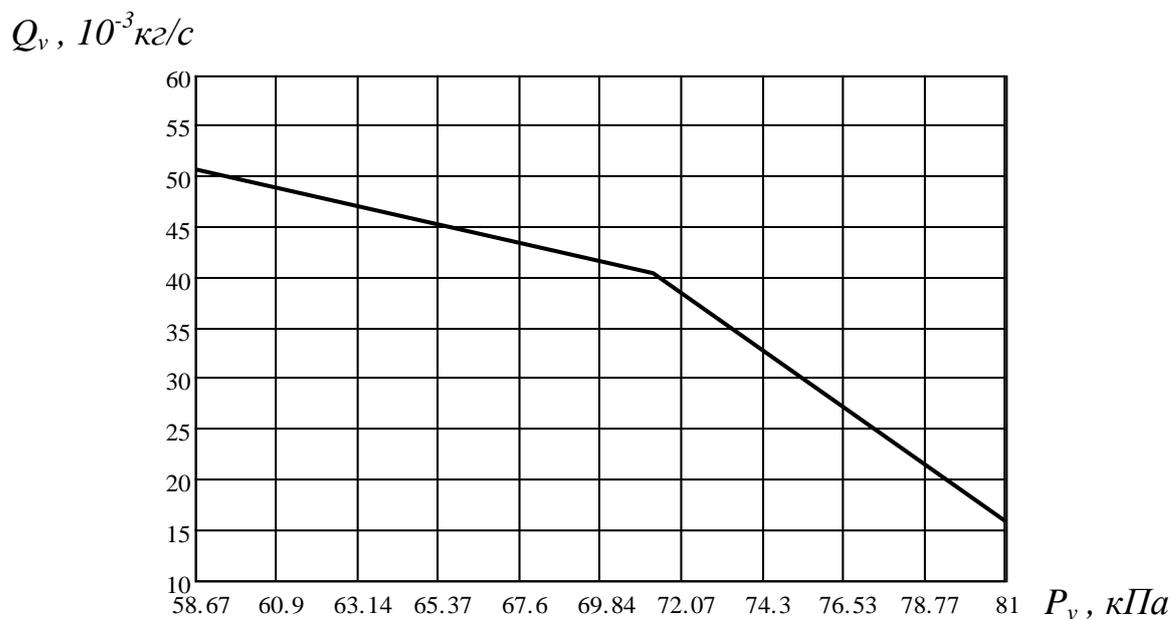
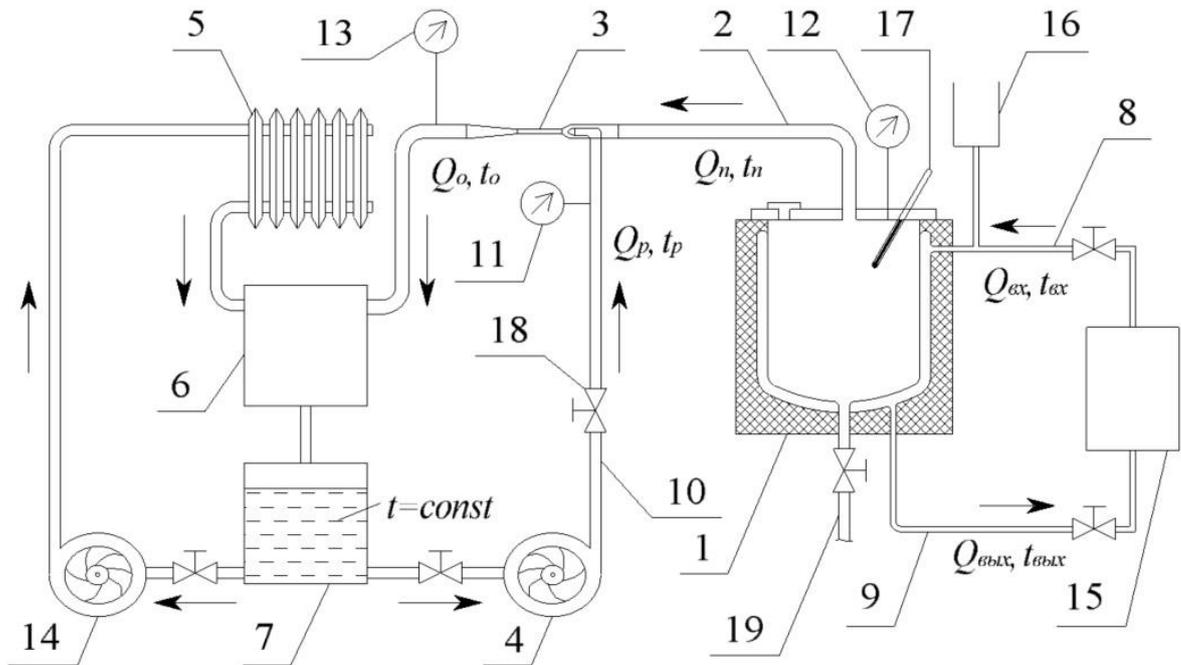


Рисунок 4.13 – Зависимость массового расхода воды через подвод полезной подачи от вакуумметрического давления в приёмной камере эжектора

Из графика видно, что в диапазоне вакуумметрического давления в приёмной камере эжектора и в выпарном котле 72...80 кПа массовый расход воды через подвод полезной подачи составит $(38.6...18.4) \cdot 10^{-3}$ кг/с.

4.6 Энергосберегающая вакуумная выпарная установка для повышения концентрации гуминовой суспензии

Разработана и изготовлена ВВУ для удаления воды из гуминовой суспензии, повышения концентрации кормовых добавок и других растворов при температуре кипения 60...68 °С (рисунок 4.14).



- 1 – котёл с водяной рубашкой и теплоизоляцией; 2 – паропровод; 3 – эжектор;
 4 – центробежный насос подачи рабочей воды в эжектор; 5 – охладитель (система отопления); 6 – гаситель скорости струи; 7 – бак для воды;
 8 – трубопровод из электрического котла в рубашку; 9 – трубопровод из рубашки в электрический котёл; 10 – трубопровод рабочей воды для эжектора;
 11 – манометр перед эжектором; 12 – вакуумметр; 13 – манометр после эжектора;
 14 – центробежный насос подачи воды в систему отопления;
 15 – электрический котёл; 16 – расширительный бачок; 17 – термометр;
 18 – вентиль; 19 – патрубок слива из котла концентрированной суспензии

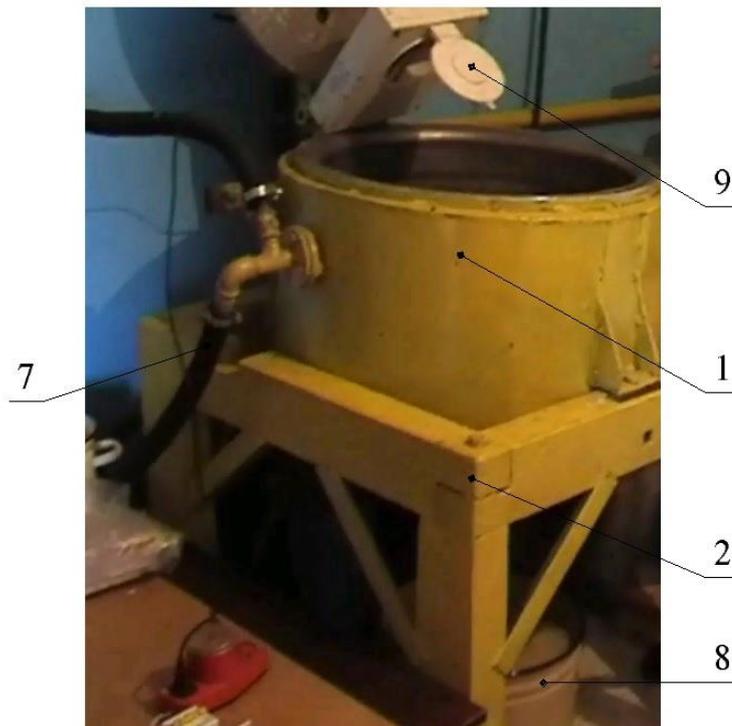
Рисунок 4.14 – Схема энергосберегающей ВВУ

повышения концентрации гуминовой суспензии

ВВУ, как система, состоит из подсистем: выпарной котёл, источник энергии (электрический котёл), удаления пара с эжектором, подачи рабочей воды, охлаждения рабочей воды. ВВУ состоит из котла 1 (рисунок 4.14 и 4.15) с водяной рубашкой и теплоизоляцией, паропровода 2, эжектора 3, центробежного насоса подачи рабочей воды в эжектор 4, охладителя рабочей воды 5, гасителя скорости струи 6, бака для воды 7, трубопровода подвода горячей воды из электрокотла в рубашку 8, трубопровода подвода остывшей воды из рубашки в

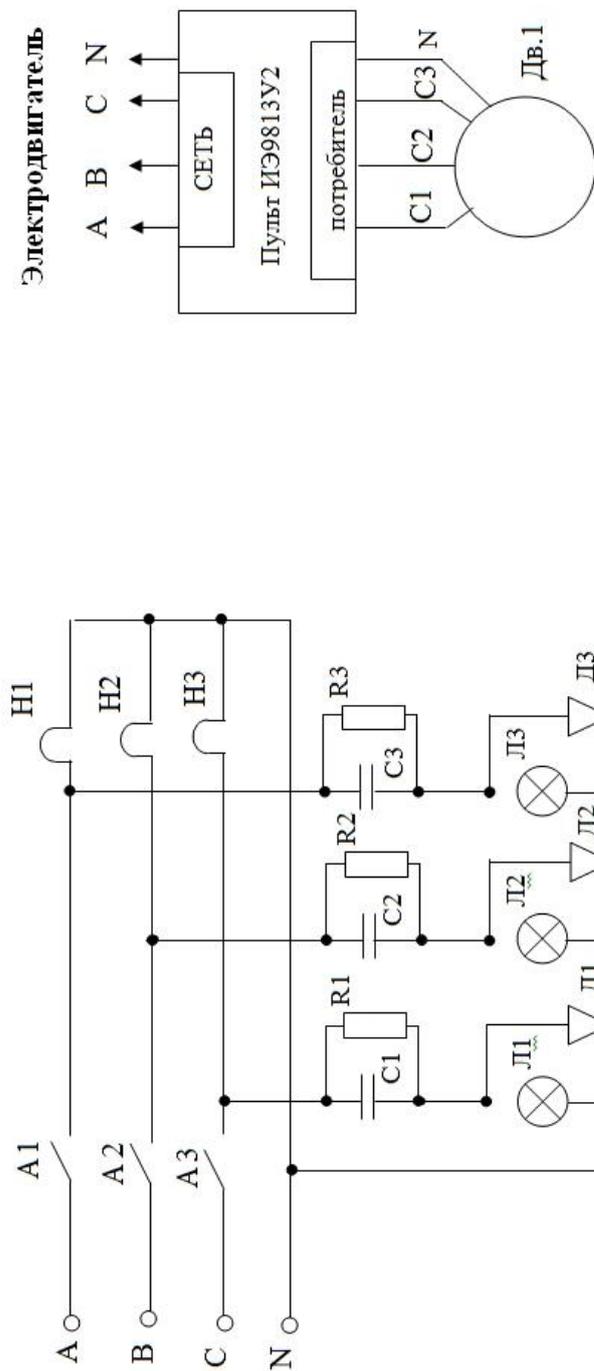
электрический котёл 9, трубопровода рабочей воды для эжектора 10; манометра перед эжектором 11; вакуумметра 12; манометра после эжектора 13; центробежного насоса подвода воды в систему теплоснабжения 14; электродвигателя 15; термометра 17; вентиля для управления подвода рабочей воды 18; расширительного бачка 16; патрубка слива из котла концентрированного продукта 19.

Работа установки. Через расширительный бачок 16 заливается вода в рубашку котла и электродвигатель 15 до отметки 50 мм. в расширительном бачке. После загрузки суспензии в котёл, плотно закрывается крышкой, термометр 17 наполняется водой и устанавливается. Включается электродвигатель 15. Вода нагревается в электрическом котле, охлаждается в рубашке котла и за счёт разности плотностей горячей и холодной воды циркулирует между электрическим котлом и рубашкой по трубопроводам 8 и 9. Гуминовая суспензия нагревается до 60 °С. Затем запускается центробежный насос 4, вода из бака 7 подаётся в эжектор 3. Вакуумметрическое давление в котле находится в диапазоне 70...80 кПа и держится под контролем вакуумметром 12, при этом температура кипения суспензии сохраняется в диапазоне 60...68 °С. Вентилем 18 регулируется давление рабочей воды перед эжектором 3 и, соответственно, регулируются давление и температура в котле. Давление рабочей воды перед эжектором контролируется манометром 11. Температура воды в баке 7 не должна превышать 35 °С и не должна быстро понижаться. Быстрое понижение температуры в баке 7 приводит к столь же быстрому понижению давления в котле 1, бурному кипению суспензии, выбросу суспензии в паропровод 2 и её потерям. Насосом 14 вода из бака 7 подаётся в систему отопления 5 и охлаждённая возвращается в бак 7.

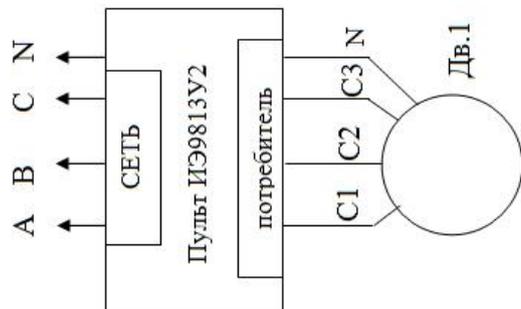


1 – котёл; 2 – рама; 3 – крышка; 4 – расширительный бачок; 5 – термометр;
 6 – паропровод от котла к эжектору; 7 – трубопровод из электрического котла в
 водяную рубашку; 8 – ёмкость с готовым продуктом; 9 – вентилятор

Рисунок 4.15 – Вакуумный выпарной котёл



Электродвигатель



1. А1; А2; А3; - выключатель автоматический;
2. Н1; Н2; Н3 - нагреватель ТЭН 2 кВт, 220 В.
3. С1; С2; С3 - конденсатор конденсатор МБГО 1,0 мкВ 300 В;
4. Д1; Д2; Д3 - стабилитрон кремниевый Д815Ж;
5. R1; R2; R3 - резистор МЛТ- 0,5 – 100 кОм;
6. Л1; Л2; Л3 - лампочка коммутаторная 24 В; 0,1А;
7. Дв.1 - двигатель асинхронный 3 кВт 2900 об/мин.

Рисунок 4.16 – Электрическая схема электрокотла

С целью предотвращения попадания пузырьков воздуха в насосы 4 и 14 вода после эжектора и из системы отопления вода сливается через гаситель скорости 6 с малой скоростью в отдельную секцию бака. Из секции слива вода через перегородку переливается в секцию забора. Из бака 7 тёплая вода периодически забирается на технические и бытовые нужды. Рассматриваемую установку можно назвать энергосберегающей.

Эксперименты проведены при мощности нагревателя 6 кВт.

Электрический котёл имеет в составе три нагревателя (ТЭН) общей мощностью 6 кВт (рисунок 4.16).

Каждый нагреватель подсоединён через автоматический выключатель. Когда воды достигает температуры 85 °С, нагреватели автоматически отключаются. При повышении концентрации суспензии более чем в два раза по мере понижения уровня суспензии в котле ТЭНы по одному отключаются. Выпаривание может заканчиваться при работе одного ТЭНа. Предусмотрена возможность заканчивать выпаривание до высокой концентрации при атмосферном давлении и обдуве вентилятором 9.

При достижении требуемой концентрации суспензии электрический котёл выключается, через 2 минуты выключается насос подачи рабочей воды в эжектор, после чего давление в котле выравнивается с атмосферным давлением. Концентрированная суспензия сливается через патрубок 7 в ёмкость 8.

4.7 Результаты испытания вакуумной выпарной установки

Температура гуминовой суспензии должна быть ниже 68 °С. Анализируя таблицу 4.7 видно, что ВВУ выходит на рабочий режим через 60 минут с нагревателем 6 кВт, что подтверждено результатами расчёта во второй главе [102].

Таблица 4.7 – Испытания ВВУ на нагрев до рабочей температуры

Время, мин	Температура воды в рубашке котла, °С	Температура раствора в котле, °С
0	10	10
15	55	19
30	65	37
45	70	54
60	85	68
80	85	76

Техническая характеристика ВВУ приведена в таблице 4.8

Таблица 4.8 – Техническая характеристика ВВУ при мощности нагревателя 6 и 12 кВт

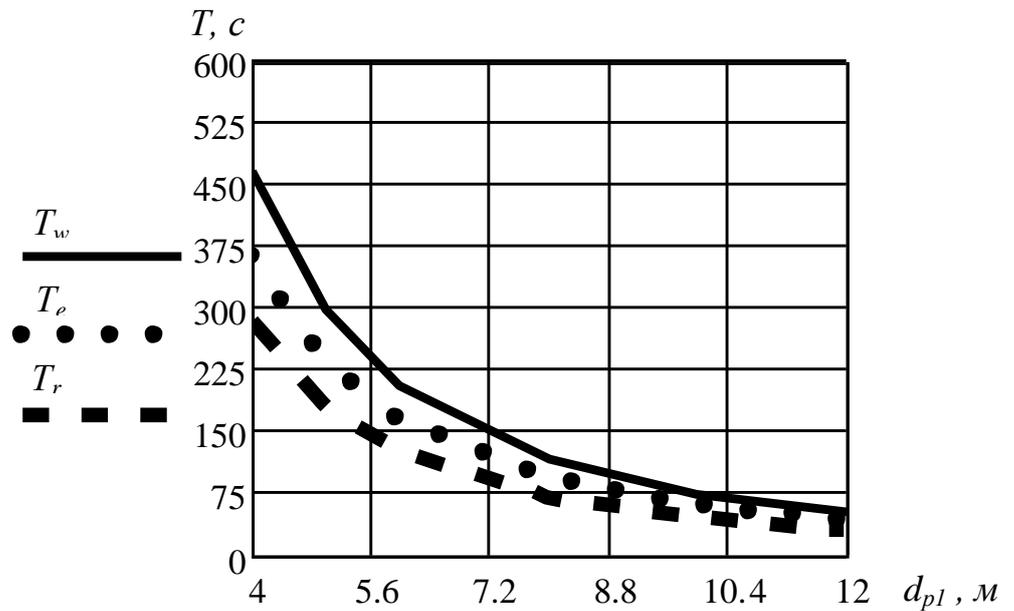
Показатели	Значения
1	2
Ёмкость котла, л	50
Мощность нагревателя, кВт	6 (12)
Продолжительность цикла не более часов при мощности нагревателя 6 и (12) кВт	3 ч 40 мин (1 ч 50 мин)
Производительность по испаренной влаге при мощности нагревателя 6 и (12) кВт, кг/ч	9,2 (18,4)
Максимальный вакуум, кПа (кг/см ²)	96 (0,96)
Рабочее давление, абсолютное, кПа	20...28
Рабочая температура кипения продукта, °С	60...68
Габаритные размеры:	
длина, мм	1500
ширина, мм	1000
высота, мм	1200
Мощность электродвигателя центробежного насоса, кВт	1,5
Масса установки, кг	130

При повышении концентрации гуминовой суспензии в два раза в ВВУ с нагревателем 12 кВт продолжительность одного цикла непрерывного включения или работы установки составляет 1 час 50 минут, из них 30 минут на нагрев установки до рабочей температуры, что совпадает с результатами расчётов.

В рассматриваемой установке перед пуском суммарный объём воздуха в котле над суспензией и в трубопроводе от котла до эжектора 0,044 м³. Резуль-

таты расчётов по формуле (2.46) времени понижения давления в котле рассматриваемой ВВУ представлены на рисунке 4.17.

$$d_{pl} = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 6 \\ 8 \\ 10 \\ 12 \end{pmatrix} \quad T_w = \begin{pmatrix} 466 \\ 298 \\ 207 \\ 116 \\ 75 \\ 52 \end{pmatrix} \quad T_e = \begin{pmatrix} 364 \\ 233 \\ 162 \\ 91 \\ 58 \\ 40 \end{pmatrix} \quad T_r = \begin{pmatrix} 283 \\ 181 \\ 126 \\ 71 \\ 45 \\ 31 \end{pmatrix}$$



T_w – при давлении после эжектора $P_c = 150$ кПа; T_e – при давлении после эжектора $P_c = 130$ кПа; T_r – при давлении после эжектора $P_c = 110$ кПа;

Рисунок 4.17 – Зависимость времени понижения давления в котле T_w , с от 100 до 20 кПа от диаметра рабочего сопла d_{pl} , мм и давления после эжектора P_c , кПа при максимальном объёмном коэффициенте инжекции в рабочем режиме

Из рисунка видно, что при давлении $P_c = 110$ кПа и диаметре рабочего сопла 5 мм времени понижения давления 181 с, при диаметре рабочего сопла 10 мм времени понижения давления 45 с. Результаты расчётов подтверждены экспериментом.

4.8 Техничко-экономические показатели результатов исследований

Применение ВВУ обосновано, если экономическая эффективность варианта с использованием предлагаемой установки будет выше, чем экономическая эффективность базового варианта.

За базовую технологическую линию взята линия на ООО «Эврика» Тюменской области. Технологическая линия состоит из следующих операций и применяемого оборудования (рисунок 4.18).

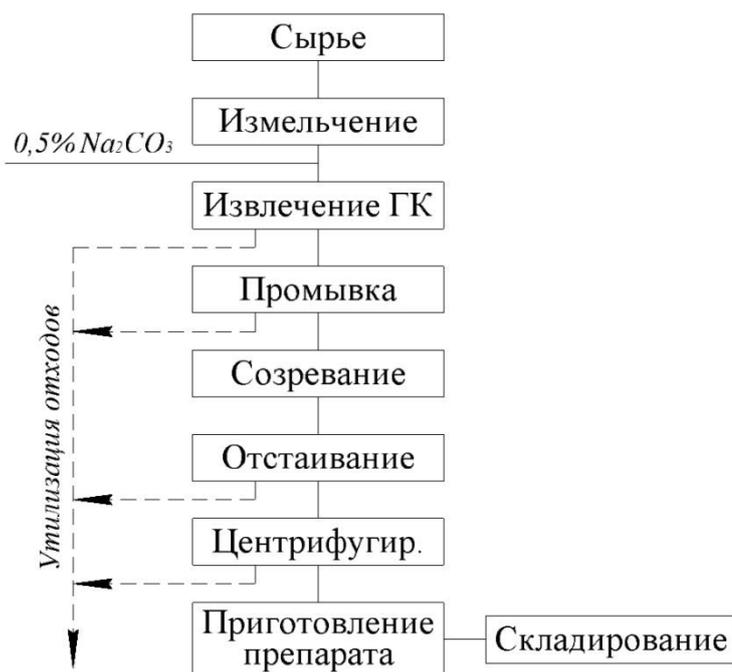


Рисунок 4.18 – Технологический процесс получения гуминового препарата «Росток» в НПЦ «Эврика» при Тюменской ГСХА

Вся технологическая схема, применяемая в НПЦ «Эврика» направлена на получение чистой гуминовой кислоты, без посторонних химических элементов, непригодных для приготовления препарата. Предприятие стремится удерживать лидирующие позиции на конкурентном рынке и поэтому постоянно стремится улучшить качество своего продукта, а также увеличить его объемы, по причине растущего спроса.

Недостатками в технологической схеме производства препарата является операция центрифугирования. Операция центрифугирования, после отстаивания, позволяет удалить до 40% влаги на единицу объема.

На данной операции задействован 1 работник персонала, который чередуя центрифуги, сливает и заполняет суспензией бутылки. На слив и заливку новой порции уходит до 15 минут, в итоге 1 работник непрерывно переходит от центрифуги к центрифуге всю смену.

Работа центрифуг: 5 минут – разгон, 20 минут – центрифуги непосредственно работают, 5 минут – останавливаются, 15 минут – слив и заполнение четырёх бутылок по 1,5 литра новой суспензией. Слив осуществляют двух дисперсной жидкости, верхнюю прозрачную жидкость сливают в канализацию, тёмную часть (осадок) в бак. Поступающая суспензия имеет количество сухих веществ 2,4...2,5%, после центрифуги концентрация повышается до 4,8...5%.

На предприятии используется три медицинских центрифуги периодического действия марки ОС-6МЦ расположенных в ряд. Каждая центрифуга может вмещать 6 литров суспензии. Центрифуга оснащена четырьмя стаканами, закрепленными на валу ротора. Цикл работы центрифуги составляет 45 мин. За это время выделяется до 50% влаги, т.е. 3 л. Таким образом, за цикл производительность центрифуги составляет 3 л концентрированной суспензии. Учитывая, что все три центрифуги работают параллельно, то производительность составит 24 л за 2 часа, 96 литров за смену 8 часов. Предприятие работает в одну смену продолжительностью 8 часов. Таким образом, суточная производительность центрифуг составит 96 л. Помимо этого центрифуги необходимо обслуживать, смазывать, следить за их технически исправным состоянием.

В предлагаемой технологической линии заменяем центрифуги на ВВУ. В ВВУ заливается 50 литров суспензии, после выпаривая полученную концентрированную суспензию сливаем через кран. Таким образом, в предлагаемой линии освобождается 1 работник персонала, ВВУ требует меньше затрат при эксплуатации, более долговечна и обслуживание сводится к минимуму.

Таблицы 4.9 – Стоимость оборудования технологической линии

Наименование	Базовая ТЛ		Предлагаемая ТЛ	
	Кол.	Цена, тыс. р	Кол.	Цена, тыс. р
Центрифуга ОС-6МЦ	3	915		
Насос мощностью 1,5 кВт			1	
Насос мощностью 0,2 кВт			1	
Установка вакуумная выпарная			1	351

Обе технологические линии имеют близкую производительность. В базовой технологической линии получаем 24 литра концентрированной суспензии за 2 часа, 96 литров за 8 часов. В предлагаемой технологической линии 25 литров концентрированной суспензии за 2 часа, 100 литров за 8 часов.

Требуется подход к оценке технологических процессов, при котором должны учитываться энергетические затраты на производство каждого вида продукции. Энергетический анализ позволяет оценивать существующие и планируемые технологии, их перспективность с точки зрения энергетической эффективности по сравнению с применяемыми технологиями. На основании этих данных, согласно методике определения экономии энергоресурсов был произведен сравнительный расчёт энергетических затрат [106].

В базовом варианте три центрифуги суммарной мощностью 4,5 кВт из 8 часовой смены работают 4,2 часа. Расход электроэнергии за смену 18,9 кВт·ч. Итого 4271,4 кВт·ч в год.

Предлагаемый вариант: центробежный насос мощностью 1,5 кВт подачи рабочей воды в эжектор и центробежный насос мощностью 0,2 кВт системы охлаждения воды за один цикл работают 1,3 часа. В день 4 цикла. Итого 5,2 часа. За одну смену расход электроэнергии в сумме с насосом системы охлаждения воды 8,8 кВт·ч. Итого 1988,8 кВт·ч в год. В зимнее время (отопительный сезон с октября по апрель) энергия на нагрев и выпаривание не расходуется. Вода для нагрева установки и выпаривание берется из системы отопления и, в последующем, возвращается в систему отопления. Тепловая энергия, полученная из системы отопления и используемая в ВВУ, остаётся в цехе, а именно в

тёплом воздухе и тёплой воде. В летнее время (с мая по сентябрь) энергию получают от энергоносителя – газ. Тёплая вода используется на технические и бытовые нужды. Цена энергии, полученной из газа, в 7...10 раз меньше электрической энергии. Таким образом, экономия электроэнергии составит 745,8 кВт·ч в год.

Капитальные затраты по представленному базовому варианту и по проектному варианту представлены в таблицах 4.10 и 4.11.

Таблицы 4.10 – Стоимость базового оборудования технологической линии

Наименование оборудования	Тип	Количество, шт.	Стоимость единицы, тыс. р.	Всего, тыс. р.
Центрифуга	ОС-6МЦ	3	305	915
Итого:				915

Таблица 4.11 – Сводная ведомость стоимости оборудования технологической линии (предлагаемый вариант)

Наименование оборудования	Тип	Количество, шт.	Стоимость единицы, тыс. р.	Всего, тыс. р.
Вакуумный		1	351	351
Итого:				351

Издержки определяются по формуле:

$$I_{\Pi}^i = I_{AM}^i + I_{РиЭ}^i + I_{ЗП}^i + I_{Пр}^i, \quad (4.9)$$

где I_{Π} – полные издержки, тыс. р;

I_{AM} – издержки на амортизацию основных фондов, тыс. р;

$I_{РиЭ}$ – издержки на ремонт и эксплуатацию, тыс. р;

$I_{ЗП}$ – издержки на заработную плату, тыс. р;

$I_{Пр}$ – прочие издержки, тыс. р;

i – номер варианта (1 – базовый; 2 - предлагаемый).

Расчет издержек на амортизацию основных фондов. Эти издержки в процентном соотношении берутся от стоимости основных фондов, равных капитальным вложениям, определяются по формуле:

$$I_{AM}^i = \frac{H_{AM}^i \cdot K^i}{100\%}, \quad (4.10)$$

где H_{AM} – норма амортизационных отчислений, %, принимается равной 7%;

K^i – стоимость основных фондов по вариантам, тыс. р., принимается из таблиц 4.9 и 4.10.

$$I_{AM}^1 = \frac{7 \cdot 915}{100\%} = 64,1 \text{ тыс. р.}$$

$$I_{AM}^2 = \frac{7 \cdot 351}{100\%} = 24,6 \text{ тыс. р.}$$

Расчет издержек на ремонт и эксплуатацию. Эти издержки определяются по формуле:

$$I_{PuЭ}^i = \frac{H_{PuЭ}^i \cdot K^i}{100\%}, \quad (4.11)$$

где $H_{PuЭ}$ – норма отчислений на ремонт и эксплуатацию, %, принимается равной $H_{PuЭ}^1 = 3,5\%$, $H_{PuЭ}^2 = 1\%$.

$$I_{PuЭ}^1 = \frac{3,5 \cdot 915}{100\%} = 32,0 \text{ тыс. р.}$$

$$I_{PuЭ}^2 = \frac{1 \cdot 351}{100\%} = 3,5 \text{ тыс. р.}$$

Расчет издержек на заработную плату. Эти издержки определяются, исходя из штатного расписания по обоим вариантам, по формуле:

$$I_{ЗП}^i = (ЗП_{осн}^i + ЗП_{доп}^i) \cdot K_{соц}, \quad (4.12)$$

где $ЗП_{доп}$ – дополнительная заработная плата персонала на оплату отпусков, тыс.р., принимается равной 9% от основной заработной платы;

$K_{соц}$ – социальный коэффициент, предусматривающий отчисления в пенсионный фонд, фонд социального страхования, фонд медицинского страхования, принимается равным 1,3;

$ЗП_{осн}$ – основная заработная плата персонала, тыс. р.

Основная заработная плата персонала определяется по формуле:

$$ЗП_{осн}^i = \frac{P_{\Pi}^i \cdot 11 \cdot ЗП^{CP}}{1000}, \quad (4.13)$$

где 11 – количество рабочих месяцев в году;

$ЗП^{CP}$ – средняя заработная плата работника за месяц, р., принимается равной 23700 р.

P_{Π}^i – условная численность персонала организации.

Условная численность персонала организации принимается равной:

$P_{\Pi}^1 = 1$ человек (1 ставка); $P_{\Pi}^2 = 1$ человек (0,5 ставки).

$$ЗП_{осн}^1 = \frac{1 \cdot 11 \cdot 23700}{1000} = 260,7 \text{ тыс. р.}$$

$$ЗП_{осн}^2 = \frac{0,5 \cdot 11 \cdot 23700}{1000} = 130,4 \text{ тыс. р.}$$

Полученные данные подставляются формулу:

$$И_{зп}^1 = (260,7 + 23,5) \cdot 1,3 = 369,5 \text{ тыс.р.}$$

$$И_{зп}^2 = (130,4 + 11,8) \cdot 1,3 = 184,9 \text{ тыс.р.}$$

Расчет прочих издержек. Эти издержки включают в себя общие накладные расходы, которые определяются по формуле:

$$И_{\Pi P}^i = \frac{H_{\Pi P}^i \cdot И_{зп}^i}{100\%}, \quad (4.14)$$

где $H_{\Pi P}^i$ – норма прочих издержек %, принимается равной $H_{\Pi P}^1 = 5\%$;

$H_{\Pi P}^2 = 3,6\%$.

$$И_{\Pi P}^1 = \frac{5 \cdot 369,5}{100\%} = 18,5 \text{ тыс.р.}$$

$$И_{\Pi P}^2 = \frac{3,6 \cdot 184,9}{100\%} = 6,7 \text{ тыс.р.}$$

Результаты расчетов затрат на удаление влаги (достижение концентрированной суспензии) приведены в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Смета затрат на удаление влаги (достижение концентрированной суспензии)

Наименование издержек	Сумма издержек, тыс. р.	
	базовый вариант	проектный вариант
Издержки на амортизацию основных фондов	64,0	24,6
Издержки на ремонт и эксплуатацию	32,0	3,5
Издержки на заработную плату	260,7	130,4
Энергия	25,6	11,9
Прочие издержки	18,5	6,7
Итого:	400,8	177,1

По данным расчетов видно, что сумма издержек на удаление влаги (достижение концентрированной суспензии) в предложенном варианте ниже, чем в базовом, следовательно внедрение нового оборудования приведет к снижению себестоимости энергии и как следствие и увеличению прибыли.

Определение коэффициента приведения капитальных вложений к ежегодным затратам по формуле:

$$E = \left(\frac{1+r}{1+i} - 1 \right) + \frac{p}{100}, \quad (4.15)$$

где r – номинальная процентная ставка, %, принимается равной 13 %;

i – уровень инфляции, %, принимается равным 8 %.

Величину p принимаем равной 5%.

Приведенные затраты по сравниваемым вариантам определяются по формуле:

$$Z^i = C_i + E \cdot K_i, \quad (4.16)$$

$$Z^1 = 400,8 + 0,61 \cdot 915 = 959,0 \text{ тыс. р}$$

$$Z^2 = 177,1 + 0,61 \cdot 351 = 391,2 \text{ тыс. р}$$

Вывод: так как приведенные затраты по предлагаемому варианту меньше, чем по базовому, то предлагаемый вариант технологической линии считается выгодным.

Расчет условной годовой экономии. Условная годовая экономия от внедрения предполагаемого варианта удаление влаги (достижение концентрированной суспензии) дополнительный доход рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{вс}} = 3^1 - 3^2, \quad (4.17)$$

$$\mathcal{E}_{\text{вс}} = 959,0 - 391,2 = 567,8 \text{ тыс. р.}$$

Срок окупаемости капиталовложений (O_K , лет) за счет внедрения новой техники (вакуумной выпарной установки) рассчитывается по формуле (103):

$$O_K = \frac{K}{\mathcal{E}_{\text{иг}}}, \quad (4.18)$$

где K – первоначальные капитальные вложения, тыс. р;

$\mathcal{E}_{\text{иг}}$ – годовой экономический эффект.

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{иг}} = (I_{\text{п}}^{\text{о}} - I_{\text{п}}^{\text{н}}) + D, \quad (4.19)$$

где D – дополнительный доход от увеличения количества концентрированной суспензии.

Уменьшение эксплуатационных расходов при внедрении нового оборудования достигается за счет.

$$\mathcal{E}_{\text{вс}} = D = 567,8 \text{ тыс. р.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{иг}} = (400,8 - 177,1) + 567,8 = 791,5 \text{ тыс. р.}$$

$$O_K = \frac{351}{791,5} = 0,44 \text{ года}$$

Экономическая эффективность реконструкция технологической линии представлена в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Экономическая эффективность технологической линии с предлагаемым оборудованием

Показатель	Базовый вариант подстанции	Проектный вариант подстанции	Отклонение, (+;-)
Численность работников, чел.	1	1	0
Балансовая стоимость оборудования, тыс. р	915	351	-564
Затраты на ремонт электрооборудования, %	3,5	1	-2,5
Эксплуатационные затраты, тыс. р	400,8	177,1	-223,7
Годовой экономический эффект, тыс. р	-	792	792
Срок окупаемости, лет	-	0,44	

Анализируя расчеты можно сделать вывод, что при внедрении ВВУ потребление электроэнергии, металлоёмкость, трудоёмкость процесса значительно снижаются. Экономия электроэнергии составит 2282,6 кВт·ч в год. Годовой экономический эффект предлагаемой технологической линии с использованием ВВУ составил 792 тыс. р, срок окупаемости составил 0,44 года. Эти данные показывают о целесообразности внедрения ВВУ в технологическую линию.

4.9 Выводы по главе

1. Определены физико-механические свойства гуминовой суспензии: плотность $\rho=1005$ кг/м³; содержание сухого вещества 1,2%; кинематическая вязкость в диапазоне температур от 20 до 80°C изменяется от 1,1 до $0,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Повышать концентрацию гуминовой суспензии отстаиванием рационально только первые 24 часа, при этом содержание сухих веществ в осадке повышается до 2,4...2,5%. Получены формулы высоты осаждения и скорости осаждения частиц гуминовой суспензии.

2. Доказано, что при повышении концентрации гуминовой суспензии методом выпаривания под вакуумом при температуре 60...68 °С лучше сохраняются полезные свойства гуминовых препаратов, чем при повышении концен-

трации в осадительных центрифугах. Энергия прорастания после выпаривания на 7,8% выше, чем после центрифуг. Всхожесть после выпаривания на 11,4% выше, чем после проточной осадительной центрифуги и на 4,6% выше, чем после центрифуги ОС-6МЦ. Это можно объяснить тем, что в центрифугах под воздействием центробежных сил, фактор разделения $\Phi=6000\dots7000$, происходит разрыв связей молекул и эффективность препаратов уменьшается. По показателям энергии прорастания и всхожести обоснован рациональный способ повышения концентрации гуминовой суспензии выпариванием.

3. На основе метода выпаривания воды под вакуумом из гуминовой суспензии разработана линия производства гуминосодержащего препарата, которая позволяет получить препараты высокого качества и повысить производительность линии за счёт исключения операции центрифугирования при уменьшении затрат ручного труда. Новизна технического решения подтверждена патентом № 122313.

На выставке Золотая осень – 2020 (г. Москва) Курганская ГСХА в номинации «За производство высокоэффективной сельскохозяйственной техники и внедрение прогрессивных ресурсосберегающих технологий» награждена бронзовой медалью и дипломом за разработку линии производства гуминосодержащего препарата.

4. Полученные зависимости верифицированы экспериментальными данными из литературных источников. Результаты расчётов по модернизированным формулам удовлетворительно совпадают с результатами экспериментов из литературных источников и формулы могут быть использованы для определения рациональных конструкционных параметров эжектора для ВВУ. При расходе инжестируемого воздуха $G_n = 2$ кг/ч расчётное значение давления в выпарном котле $P_n = 22$ кПа (требуемое по технологии); экспериментальное $P_s = 20$ кПа. Расхождение расчётного и экспериментального значений составляет 10%.

5. На основе теоретических исследований для экспериментальной ВВУ изготовлен эжектор с диаметром рабочего сопла 5 мм, диаметрами сопла каме-

ры смешения и камеры смешения 10 мм.

6. Создана лабораторная установка для определения характеристик эжектора. Основные характеристики лабораторной установки: расход воды рабочего потока 0,0005...0,0008 м³/с; давление рабочего потока на входе 300...400 кПа (3...4 кг/см²); скорость истечения воды из сопла 25...30 м/с. Максимальное вакуумметрическое давление получено 96 кПа.

7. Доказано, что гистограмма значений вакуумметрического давления в корпусе эжектора и расхода воды имеют нормальный закон распределения, поэтому при дальнейшей обработке результатов можно применить оптимальные статистические методы. Оценка погрешностей измеряемых величин производилась по методике ГОСТ 33437-2018. Все результаты замеров входят в доверительный интервал.

8. Установлено, что в диапазоне вакуумметрического давления в корпусе эжектора и в выпарном котле 70...80 кПа массовый расход воды через подвод полезной подачи составит (40...15)·10⁻³ кг/с.

9. Разработаны схемы энергосберегающих ВВУ повышения концентрации гуминовой суспензии.

10. Создана ВВУ периодического действия для повышения концентрации гуминовой суспензии. Рабочей температуры ВВУ достигает при мощности нагревателя 6 кВт за 60 минут, при мощности нагревателя 12 кВт за 30 минут, что подтверждает результаты расчёта. При повышении концентрации гуминовой суспензии на ВВУ с нагревателем 6 кВт в десять раз время одного цикла работы установки составляет 10 часов, из них один час на нагрев установки до рабочей температуры.

11. При повышении концентрации гуминовой суспензии в два раза в ВВУ с нагревателем 12 кВт время одного цикла работы установки составляет 1 час 50 минут, из них 30 минут на нагрев установки до рабочей температуры, что совпадает с результатами расчётов. Получена техническая характеристика ВВУ.

12. При использовании предлагаемой ВВУ сокращается половина ставки одного рабочего. Экономия электроэнергии составит 2282,6 кВт·ч в год. Экономия эксплуатационных затрат 223,7 тысяч рублей в год. Годовой экономический эффект предлагаемой технологической линии с использованием ВВУ в ценах 2021 года 792 тысяч рублей в год. Срок окупаемости капиталовложений 0,44 года.

13. На основе полученных результатов для повышения концентрации гуминовой суспензии могут быть разработаны ВВУ периодического или непрерывного действия достаточно большой производительности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача по повышению эффективности гуминовых препаратов и уменьшения затрат на процесс повышения концентрации гуминовой суспензии применением вакуумной выпарной установки в технологической линии их производства. На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Определены физико-механические свойства гуминовой суспензии: плотность $\rho=1005$ кг/м³; содержание сухого вещества 1,2%; кинематическая вязкость в диапазоне температур от 20 до 80 °С изменяется от 1,1 до $0,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Повышать концентрацию гуминовой суспензии отстаиванием рационально только первые 24 часа, при этом содержание сухих веществ в осадке повышается до 2,4...2,5%. Получены формулы высоты осаждения частиц и скорости осаждения частиц гуминовой суспензии в функции от времени.

2. Установлено, что при повышении концентрации гуминовой суспензии в вакуумной выпарной установке (ВВУ) при абсолютном давлении 20...28 кПа и температуре 60...68 °С получают гуминовые препараты лучшей эффективности, чем при повышении концентрации в осадительных центрифугах. Для создания вакуума в ВВУ и удаления пара рационально использовать эжектор. Установлены закономерности изменения и взаимосвязь эффективности процесса повышения концентрации гуминовой суспензии в ВВУ с параметрами конструкции и режимом работы эжектора и дано их аналитическое описание;

3. Установлено, что при нагреве ВВУ с баком 50 литров от начальной температуры установки 10 °С до температуры котла и воды в рубашке 85 °С, а гуминовой суспензии до 60 °С потребуется 21615 кДж, время нагрева до рабочей температуры установки нагревателем 6,0 кВт составляет один час. При повышении концентрации суспензии в два раза необходимо испарить 25 кг воды и затратить 58,4 МДж, при этом время одного цикла составляет 3,6 часа.

4. При мощности нагревателя 6 кВт образуется 59,4 м³ пара в час или 0,0165 м³/с. Полученные результаты являются исходными данными для расчёта

системы удаления пара. Диаметр рабочего сопла эжектора 5 мм, входного сопла в камеру смешения 10 мм, избыточное давление рабочей воды 300...400 кПа, расход рабочей воды 0,0005...0,0010 м³/с.

5. Новизна технического решения подтверждена патентом № 122313. На выставке Золотая осень – 2020 (г. Москва) Курганская ГСХА в номинации «За производство высокоэффективной сельскохозяйственной техники и внедрение прогрессивных ресурсосберегающих технологий» награждена бронзовой медалью и дипломом за разработку линии производства гуминосодержащего препарата.

6. При замене трёх центрифуг ОС-6МЦ вакуумной выпарной установкой сокращается половина ставки одного рабочего, экономия электроэнергии составляет 0,11 кВт·ч на литр концентрированной суспензии. Экономия энергоресурсов 8217 МДж в год. Годовой экономический эффект в ценах 2021 года 792 тысяч рублей в год. Срок окупаемости капиталовложений 0,44 года.

Рекомендации производству

Для повышения эффективности применения гуминовых препаратов и снижения затрат на их производство целесообразно использовать линию с вакуумной выпарной установкой (патент на полезную модель № 132071).

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее исследование будет направлено на изучение применения ВВУ для повышения концентрации различных препаратов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. – М.: Металлургия, 1968. – 155 с.
2. Азаубаева, Г.С. Планирование эксперимента в стандартизации и метрологии / Г.С. Азаубаева, А.С. Дорофеева. – Курган: Издательство КГСХА, 2012. – 236 с.
3. Аксенов, В.В. Этапы и методы расчета затрат при создании инновационной техники промышленного назначения / В.В. Аксенов, А.В. Косовец // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S6. – С. 405-410.
4. Александрова, Л.Н. Гумусовые вещества почвы (их образование, состав, свойства и значение в почвообразовании и плодородии) / Л.Н. Александрова // Записки ЛСХИ. – 1970. – Т. 142. – С. 12-19.
5. Александрова, С.С. Гумат натрия "Росток" в рационах ремонтных телок / С.С. Александрова // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 11 (153). – С. 8–12.
6. Александрова, С.С. Использование гумата натрия «Росток» в рационах телят / С.С. Александрова, Л.Н. Прокопьев, А.А. Садвокасова // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 10. – С. 83-85.
7. Балабышко, А.М. Анализ кавитационных процессов в гидромеханическом диспергаторе / А.М. Балабышко, Л.В. Кулецкий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 4. – С. 248-249.
8. Балабышко, А.М. Гидродинамическое диспергирование / А.М. Балабышко, А.И. Зимин, В.П. Ружицкий. – М.: Наука, 1998. – 330 с.
9. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. // Учебник для машиностроительных вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.:

10. Безуглова, О.С. Применение гуминовых препаратов в животноводстве (обзор) / О.С. Безуглова, В.Е. Зинченко // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 2. – С. 89-93.
11. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок. / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
12. Битюцких, С.Ю. Исследование и расчет гидродинамики в струйном насосе / С.Ю. Битюцких, Е.К. Спиридонов // Вестник южно-уральского государственного университета. Серия: машиностроение.– 2016. – Т. 16. – № 1. – С. 5–15.
13. Богословский, В.Н. Агротехнологии будущего / В.Н. Богословский, Б.В. Левинский. – М.: РИФ «Антиква», 2004. – 163 с.
14. Боровиков, В.Г. Применение математических методов и обработка экспериментальных данных: Учеб. пособие / В.Г. Боровиков – М-во образования Рос. Федерации, Чит. гос. ун-т Чита, 2003.
15. Боровиков, В.П. Программа STATISTICA для студентов и инженеров – 2-е изд./ В.П. Боровиков. – М.: Компьютер Пресс, 2001. – 301 с.
16. Боровиков, В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / В.П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
17. Бузлама, А.В. Анализ фармакологических свойств, механизмов действия и перспектив применения гуминовых веществ в медицине / А.В. Бузлама, Ю.Н. Чернов // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2010. – Т. 73. – № 9. – С. 43-48.
18. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 158 с.
19. Воронина, Л.П. Оценка биологической активности промышленных гуминовых препаратов / Л.П. Воронина, О.С. Якименко, В.А. Терехова // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 45-52.
20. Галкин, В.Я. Математические задачи обработки эксперимента. – М.: Издательство московского университета, 1984. – 232 с.

21. Гильманова, М.В. Применение питательного грунта и гуминового препарата при рекультивации загрязненной почвы / М.В. Гильманова, И.В. Грехова, Л.А. Бажутина // Аграрная наука и образование Тюменской области: связь времен : матер. международн. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2019. – С. 198-208.
22. ГОСТ 11987-81. Аппараты выпарные трубчатые стальные. Типы, основные параметры и размеры
23. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.
24. ГОСТ 26713–85. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка.
25. ГОСТ 26712–94. Удобрения органические. Общие требования к методам анализа
26. ГОСТ 31640-2012. Межгосударственный стандарт корма. Методы определения содержания сухого вещества.
27. ГОСТ Р 52778-2007. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008.
28. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартинформ, 2009. 145
29. ГОСТ Р 53057-2008. Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности. – М.: Стандартинформ, 2009.
30. ГОСТ Р 54758-2011. Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности.
31. ГОСТ 34437-2018. Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик.
32. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы.

33. Грехова, И.В. Влияние гуминовых препаратов на жизнедеятельность растений / И.В. Грехова // Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 27-33.

34. Грехова, И.В. Влияние сырья на эффективность действия гуминовых препаратов / И.В. Грехова, М.В. Гильманова // Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур : матер. науч.-практ. конф. – Анапа, 2018. – С. 68-70.

35. Грехова, И.В. Реакция культур на применение гуминовых препаратов / И.В. Грехова, А.В. Куртова, О.В. Федотова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – Уфа, 2018. – №4. – С. 18-22.

36. Гуминовые препараты : сборник научных трудов / ред. А.В. Малов [и др.] // Министерство сельского хозяйства СССР Тюменский сельскохозяйственный институт – Тюмень, 1971. – С. 266.

37. Деденко, Л.Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л.Г. Деденко, В.В. Кеженцев. – М.: Изд-во МГУ, 1977. – 112 с.

38. Драгунов, С.С. Получение азотно-фосфорно-органических удобрений из торфа / С.С. Драгунов // Удобрение и урожай. –1931. – № 11-12. – С. 1088.

39. Драгунов, С.С. Химическая природа гуминовых кислот. В сб.: Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. – Днепропетровский СХИ, 1975. – Т. V. – С. 3-37.

40. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит пер. с англ. – М.: Статистика, 1973. – 391 с.

41. Ездин, Д.П. Определение конструкционных параметров эжектора с использованием программного пакета SolidWorks Flow Simulation для вакуумной выпарной установки / Д.П. Ездин, А.А. Ездина, С.В. Фомина, Н.А. Ковшова, А.В. Фоминых // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – № 1. – С. 59-62.

42. Ездин, Д.П. Производственная вакуум-выпарная установка повышения концентрации гуминовых кислот / Д.П. Ездин // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – № 1. – С. 53-56.
43. Ездин, Д.П. Разработка способа повышения концентрации гуминовых кислот / Д.П. Ездин // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева. Курган, 2020. – С. 9-13.
44. Ермагамбет, Б.Т. Перспективы применения гуминовых веществ и их получение из окисленного бурого угля / Б.Т. Ермагамбет, Н.У. Нургалиев, А.А. Сыздыкова [и др.] // Наука, техника и образование. – 2019. – № 2 (55). – С. 20-25.
45. Ерохин, В.Г. Основы термодинамики и теплотехники / В.Г. Ерохин // Учебник. Изд. 2-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 224 с.
46. Золотарев, С.В. Ударно-центробежные измельчители фуражного зерна (основы теории и расчета) [Текст] / С.В. Золотарев. – Барнаул: ГИПП «Алтай», 2001. – 200 с.
47. Исмагилов, А.Р. О повышении эффективности эжектора с жидкой струей / А.Р. Исмагилов, Е.К. Спиридонов, О.В. Белкина // Проминжиниринг : матер. международноц. науч.-техн. конф. – Челябинск, 2017. – С. 13-17.
48. Калачев, В.В. Струйные насосы. Теория, расчет и проектирование / В.В. Калачев – М.: Филинь: “Омега-Л”, 2017.– 418 с.
49. Кальнин, М.М. Технология получения гуматов натрия из торфа / М.М. Кальнин // Гуминовые удобрения. Ч. 2. – Киев, 1962.
50. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин // Учебник для вузов. Изд. 10-е, стереотипное, дораб. Перепечатка с издания 1973г. – Альянс. Москва, 2004.
51. Кирилова, О.В. Анализ конъюнктуры рынка гуминовых удобрений России и тюменской области / О.В. Кирилова // Вестник науки. – 2018. – Т. 5.– № 6. – С. 25–27.

52. Комиссаров, И.Д. Химическая природа и биологическое действие гуминовых кислот / И.Д. Комиссаров // Изучение и хозяйственное использование торфяных и сапропелевых ресурсов: сб. науч. тр. – Тюмень, 2006. – С. 315-321.
53. Кононова, М.М. Проблема органического вещества почвы на современном этапе / М.М. Кононова // Органическое вещество целинных и освоенных почв: Экспериментальные данные и методы исследования. – М.: Наука, 1972. – С. 7-29.
54. Кононова, М.М. Проблемы почвенного гумуса и современные задачи его изучения / М.М. Кононова. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 390 с.
55. Кузьмин, А.Е. Основные положения теплового расчета пластинчато-роторных вакуумных насосов доильных установок с водяным охлаждением / А.Е. Кузьмин, В.Ю. Просвирнин, Н.В. Атавин // Актуальные проблемы механизации сельского хозяйства : матер. науч.-практ. конф. – Иркутск, 2002. – С. 91-95.
56. Леонтьев, П.И. Технологическое оборудование кормоцехов / П.И. Леонтьев, В.И. Земсков, В.М. Потемкин // Учеб. пособие для фак. повышения квалификации руководящих кадров и специалистов сел. хоз-ва. - М.: Колос, 1984. – 157 с.
57. Листопад, И.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства / И.А. Листопад. – М.: Агропромиздат, 1988. – 88 с.
58. Лысов, К.И. Насосы и насосные станции / К.И. Лысов, К.Т. Григорьев // 3-е Изд., испр. и доп. – М., Колос, 1977. — 224 с.
59. Мансуров, А.А. Вакуумные насосы для малых ферм / А.А. Мансуров // Сельский механизатор. – Москва, 2015. – №12. – С. 22-24.
60. Маркетинговое исследование: Рынок органоминеральных (органических) удобрений и почвогрунтов за 2013-2017гг. // ОГАУ "Инновационно-консультационный центр АПК". – г. Белгород, 2018.

61. Маркова, Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородности / Е.В. Маркова, А.Н. Лисенков. – М.: Наука, 1973. – 219 с.
62. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
63. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
64. Овчинников, Д.Н. Выбор насоса для создания вакуума в выпарной установке / Д.Н. Овчинников, С.В. Фомина, Н.С. Стрекаловских // Приоритетные направления развития энергетики в АПК : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Лесниково, 2017. – С. 94-99.
65. Овчинников, Д.Н. Совершенствование установки производства кормовых добавок при низких температурах кипения / Д.Н. Овчинников, С.В. Фомина, В.Н. Сажин, Н.С. Стрекаловских // Методы механики в решении инженерных задач : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Лесниково, 2017. – С. 126-131.
66. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 333 с.
67. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высшая школа, 2005. – 558 с.
68. Патент на изобретение 2228921 РФ, С05F 11/02. Способ получения гуминового биостимулятора / И.Д. Комиссаров, И.В. Грехова, М.Ю. Михеев, А.И. Гордеева, И.Н. Стрельцова, В.А. Уступалова. – № 2002121891/12; заявл. 08.08.2002; опубл. 20.05.2004.
69. Патент на полезную модель 132071 РФ, С05F 11/00. Линия производства гуминосодержащего препарата / А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников, Д.П. Ездин. – № 2012148655/13; заявл. 15.11.2012; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25.
70. Патент на полезную модель 122313 РФ, В04В 3/00. Центрифуга / А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников, Д.П. Ездин, И.А. Хименков. – № 2012120558/05; заявл. 17.05.2012; опубл. 27.11.2012, Бюл. № 33.

71. Патент на изобретение 181131, С 10с, 12Г, 3/01. Способ выделения гуминовых кислот / К.В. Ряшенцев, С.С. Драгунов, В.А. Никифоров, М.Б. Гуменюк. – № 1009111/23-4; заявл. 26.05.1965; опубл. 15.04.1966, Бюл. № 9.

72. Пирожков, Д.Н. Математическая модель виброожиженного слоя сыпучего материала [Текст] / Д.Н. Пирожков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 9. – С. 153-158.

73. Плаксин, А.М. Диссертация: формирование, этапы выполнения, организация защиты и оформление документов / А.М. Плаксин, под общ. ред. докт. техн. наук проф. Н.С. Сергеева; сост. Т.Н. Рожкова (гл. 4-8) // Учеб.-метод. пособие, 2-е изд., испр. доп. – Челябинск: ЧГАА, 2011.– 287 с.

74. Попов, А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование (монография) / А.И. Попов, под ред. Е.И. Ермакова. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. — 248 с.

75. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007. – 392 с.

76. Сабиев, У.К. Повышение однородности гранулометрического состава измельченного материала в измельчителе центробежно-роторного действия / У.К. Сабиев, В.В. Фомин, И.У. Сабиев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4. – С. 82–84.

77. Садов, В.В. Сравнительная оценка комбикормовых агрегатов на этапе концептуального проектирования / В.В. Садов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – №10(156). – С. 144-150.

78. Сельское хозяйство в России. 2019: Стат.сб. / Росстат. – Москва 2019. – 91 с.

79. Сергеев, Н.С. Устройство и теоретическое обоснование основных параметров вибрационного смесителя сыпучих кормов / Н.С. Сергеев, В.Н. Николаев, Э.Н. Гайнуллин // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №10. – С. 52–55.

80. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

81. Спиридонов, Е.К. Гидроструйный эжекционный гидрометатель сыпучих материалов. Метод расчета / Е.К. Спиридонов, Г.Г. Якубов, Д.Ф. Хабарова // Вестник ЮУрГУ. серия «Машиностроение». –2020. –Т. 20. –№ 2. – С. 19 – 26.
82. Спиридонов, Е.К. Агрегат питания с регулируемым струйным насосом / Е.К. Спиридонов, Г.Г. Якубов // Вестник ЮУрГУ. Серия "Машиностроение". – 2019. – Т. 19, – № 3. – С. 53–59.
83. Спиридонов, Е.К. Гидроструйный эжекционный гидрометатель сыпучих материалов. Рабочий процесс и характеристики / Е.К. Спиридонов, Г.Г. Якубов, Д.Ф. Хабарова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2020. – Т. 20. –№1. –С. 47-54.
84. Спиридонов, Е.К. Струйные насосы: учебное пособие по выполнению лабораторных работ / Е.К. Спиридонов, А.Р. Исмагилов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 30 с.
85. Стрекаловских, Н.С. Разработка методики расчёта струйного насоса для вакуум-выпарной установки / Н.С. Стрекаловских // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодёжи : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Лесниково, 2017. – С. 119-122.
86. Сыроватка, В.И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах [Текст] : (монография) / В.И. Сыроватка – Москва : ГНУ ВНИИМЖ, 2010. – 247 с.
87. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок / пер. с англ. канд. физ.-мат. наук Л.Г. Деденко. – М.: «Мир», 1985. – 115с.
88. Темнов, В.К. Расчёт и проектирование жидкостных эжекторов: учебное пособие / В.К. Темнов, Е.К. Спиридонов – Челябинск: ЧПИ, 1984. – 44с.
89. Тюрин, И.Ю. Перспективы развития экспериментальных исследований процесса сушки [текст] / И.Ю. Тюрин // Научное обозрение. – Саратов, ООО «АПЕКС-94», 2010. – № 10. – С. 76-78.

90. Федоренко, И.Я. Многокритериальный выбор комплекта оборудования для хозяйственного производства комбикормов / И.Я. Федоренко, В.В. Садов // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 1. – С. 81-88.

91. Федоренко, И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов / И.Я. Федоренко // Учебное пособие. – М.: Форум, 2011. – 176 с.

92. Фомина, С.В. Повышение концентрации жидких кормовых добавок при низких температурах кипения / С.В. Фомина, Н.С. Стрекаловских // Техническое обеспечение технологий производства сельскохозяйственной продукции : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Лесниково, 2017. – С. 131-135.

93. Фомина, С.В. Система удаления пара в установке для повышения концентрации жидких кормовых добавок / С.В. Фомина, Н.С. Стрекаловских // Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий : матер. международной науч.-практ. конференции – Лесниково, 2017. – С. 465-468.

94. Фоминых, А.В. Вторичное использование энергии после вакуумно-выпарной установки / А.В. Фоминых, С.В. Фомина, Н.А. Стрекаловских // Приоритетные направления развития энергетики в АПК : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Лесниково, 2018. – С. 147-151.

95. Фоминых, А.В. Выбор вакуумной выпарной установки для повышения концентрации гуминового геля / А.В. Фоминых, В.Г. Чумаков, Н.А. Ковшова, Д.П. Ездин // Главный зоотехник – 2021. – № 4. – С. 55–61.

96. Фоминых, А.В. Лабораторная энергосберегающая вакуумная выпарная установка для повышения концентрации гуминового геля / А.В. Фоминых, С.В. Фомина, Д.П. Ездин, А.А. Ездина, Н.А. Ковшова // Ползуновский вестник – 2021. – № 2. – С. 82–87.

97. Фоминых, А.В. Линия производства гуминосодержащего препарата / А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников // Главный зоотехник. – 2016. – № 12. – С. 39-43.

98. Фоминых, А.В. Совершенствование способа получения гуминового концентрата при производстве гуминосодержащего препарата / А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников, С.В. Фомина, Д.П. Ездин // Инновационное развитие АПК Северного Зауралья : матер. регион. науч.-практ. конференции молодых ученых. – Тюмень, 2013. – С. 267–271.

99. Фоминых, А.В. Совершенствование технологий и технических средств производства комбикормов и БМВД для сельскохозяйственных животных и птицы / А.В. Фоминых, И.Н. Миколайчик, Ю.И. Овчинникова, Д.Н. Овчинников // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2017. – № 7. – С. 46–48.

100. Фоминых, А.В. Сравнительная оценка способов получения гуминового концентрата / А.В. Фоминых, Д.Н. Овчинников // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2015. – № 7. – С. 18–20.

101. Фоминых, А.В. Установка для определения характеристик водоструйного насоса / А.В. Фоминых, С.В. Фомина, Н.А. Стрекаловских // Пути реализации федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы : матер. международной науч.-практ. конференции. – Лесниково, 2018. – С. 1105–1109.

102. Фоминых, А.В. Установка повышения концентрации жидких кормовых добавок / А.В. Фоминых, С.В. Фомина, Н.А. Стрекаловских // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 3. – С. 75–77.

103. Фролов, Е.С. Вакуумная техника: Справочник / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова и др.; под общ. ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. – М.: Машиностроение, 1985. – 360 с.

104. Хорошавин, Л.Б. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты / Л.Б. Хорошавин, О.А. Медведев, В.А. Беляков, Е.В. Михеева, В.С. Руднов, Е.А. Байтимилова // МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. – 256 с.

105. Чуев, А.С. О противоречивости определений физических величин динамическая вязкость и кинематическая вязкость / А.С. Чуев // Законодательная и прикладная метрология. – Москва, 2012. – №1. – С. 54-60.
106. Шеламова, Н.А. Методические рекомендации по экономической оценке зарубежной техники (использование в сельском хозяйстве) / Н.А. Шеламова // Экономика сельского хозяйства. Реферативный журнал. – 2004. – № 1. – С. 88.
107. Шешин, Е.П. Основы вакуумной техники. ФФКЭ / Е.П. Шешин. – МФТИ, 2001. – 119 с.
108. Штефан, И.А. Математические методы обработки экспериментальных данных / И.А. Штефан, В.В. Штефан // Учебное пособие – Кемерово: КузГТУ, 2003. – 123 с.
109. Arif, M. Humic acid as a feed additive in poultry diets: a review / M. Arif, M. Alagawany, M. E. Abd El-Hack, M. Saeed, M. A. Arain, S. S. Elnesr // Iranian Journal of Veterinary Research. – Shiraz University, 2019. – Vol. 20. – No. 3. – P. 167-172.
110. Duchaufour, F. Основы почвоведения. Эволюция почв / F. Duchaufour, пер. с фр. М.И. Герасимовой. – М.: Прогресс, 2012. –614 с.
111. Flaig, W. Chemical Composition and Physical Properties of Humic Substances / W. Flaig, H. Beutelspacher, E. Rietz // Organic Components. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1975. – Vol. 1. – P. 1111.
112. Fominykh, A.V. Production vacuum-evaporation unit for increasing humic suspension concentration / A.V. Fominykh, N.S. Sergeew, D.P. Ezdin, R.R. Khaibrakhmanov, S.I. Artyukhova, V.N. Khlusov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management.– 2020.– Volume 613. – С. 012035. (scopus)
113. Grekhova, I.V. The efficiency of foliar treatments of grain crops and potatoes with humic preparation Rostock / I.V. Grekhova, A.V. Kurtova, O.V. Fedotova // International Journal of Green Pharmacy.– 2018. – Vol. 12. – № 3. – P. S712-S715.

114. Gurova, O.A. Spectral characteristics of humic and hymatomelanin acids in lake peats of the right bank of the Ob river (Western Siberia) / O.A. Gurova, T.Y. Somikova, A.A. Novikov, I.D. Komissarov, I.V. Grekhova, N.V. Litvinenko // *Plant Archives*. – 2020. – Vol. 20. – No 1. – P. 2847-2850.
115. Hayase, T. Sedimentary humic acid and fulvic acid as surface active substances / T. Hayase, H. Tsubota – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1983. – Vol. 47. – P. 947-952.
116. Kaplan, O. Influence of humic acid addition to drinking water on laying performance and egg quality in Japanese quails / O. Kaplan, M. Avci, N. Denek, M. Sedat Baran, H. Nursoy, F. Bozkaya // *Indian Journal of Animal Research*. – 2017. – P. 1-4.
117. Schnitzer, M. Humic substances in the environment / M. Schnitzer, S.U. Khan U. Shahamat. – Marcel Dekker, New York, 1972. – 327 p.
118. Selman A. Waksman. Humus origin, chemical composition and importance in nature / Selman A. Waksman перевод с 1-го издания 1936 г. В.М. Потцкого и С.В. Моро под ред. проф. Й.Н. Антипова-Каратаева. – ОГИЗ «Сельхозгиз» Москва, 1937г.
119. Sohrabali Ghorbanian. Ejector Modeling and Examining of Possibility of Replacing Liquid Vacuum Pump in Vacuum Production Systems / Sohrabali Ghorbanian, Shahryar Jafari Nejad // *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. – 2011. – Vol. 2 – № 2. – P. 91-97.
120. Stepchenko, L.M. The effect of sodium humate on metabolism and resistance in highly productive poultry (in Russian) / L.M. Stepchenko, L.V. Zhorina, L.V. Kravtsova // *Nauchnye Doklady Vysshei Shkoly. Biologicheskie Nauki* – 1991. – Vol. 10. – P. 90-95.
121. Stevenson, F.J. Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. / F.J. Stevenson. – John Wiley & Sons, New York, 1982. – 443 p.
122. Taskin Degirmencioglu. Animal Science Papers and Reports / Taskin Degirmencioglu. – Institute of Genetics and Animal Breeding, Jastrzębiec, Poland, 2014. – Vol. 32. – № 1. – P. 25-32.

123. Umrath, W. Основы вакуумной технологии / W. Umrath, H. Adam, A. Bolz, H. Boy, H. Dohmen, K. Gogol, W. Jorisch, W. Monning, H. Mundinger, H. Otten, W. Scheer, H. Seiger, W. Schwarz, K. Stepputat, D. Urban, H. Wirtzfeld, H. Zenker. – Laybold, Кельн, 1998. – 216 с.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 132071

**ЛИНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГУМИНОСОДЕРЖАЩЕГО
ПРЕПАРАТА**Патентообладатель(ли): *Фоминых Александр Васильевич (RU)*Автор(ы): *Фоминых Александр Васильевич (RU), Овчинников
Дмитрий Николаевич (RU), Ездин Дмитрий Петрович (RU)*

Заявка № 2012148655

Приоритет полезной модели 15 ноября 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 10 сентября 2013 г.

Срок действия патента истекает 15 ноября 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) RU⁽¹¹⁾ 132 071⁽¹³⁾ U1(51) МПК
C05F 11/00 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012148655/13, 15.11.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.11.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.11.2012

(45) Опубликовано: 10.09.2013 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

641300, Курганская обл., Кетовский р-н, п.
КГСХА, 7, кв.77, А.В. Фоминых

(72) Автор(ы):

Фоминых Александр Васильевич (RU),
Овчинников Дмитрий Николаевич (RU),
Ездин Дмитрий Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

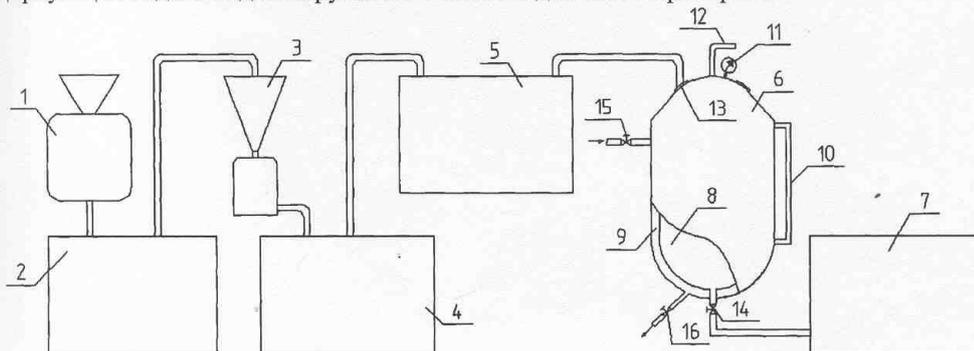
Фоминых Александр Васильевич (RU)

RU
132071
U1

(54) ЛИНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГУМИНОСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА

(57) Формула полезной модели

Линия производства гуминосодержащего препарата, включающая измельчитель, емкость с щелочью, центрифугу, отличающаяся тем, что она выполнена в виде последовательно соединенных измельчителя, емкости с щелочью для извлечения гуминовой кислоты, центрифуги, емкости для промывки гуминовой суспензии, емкости для созревания гуминовой суспензии, вакуумно-выпорной установки и емкости для приготовления препарата, вакуумно-выпорная установка имеет нагревательную камеру с водяной рубашкой, герметичный приемник для загрузки исходного раствора, контрольный датчик уровня, вакуумметр, трубку для отвода пара, в верхней и нижней частях нагревательной камеры выполнены вентили для циркуляции воды в водяной рубашке и вентиль для слива препарата.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **122 313** (13) **U1**(51) МПК
B04B 3/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012120558/05, 17.05.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.05.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.05.2012

(45) Опубликовано: 27.11.2012 Бюл. № 33

Адрес для переписки:

641300, Курганская обл., Кетовский р-н, с.
Лесниково, Курганская ГСХА

(72) Автор(ы):

Фоминых Александр Васильевич (RU),
Овчинников Дмитрий Николаевич (RU),
Ездин Дмитрий Петрович (RU),
Хименков Иван Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГБОУ ВПО Курганская государственная
сельскохозяйственная академия имени Т.С.
Мальцева (RU)

(54) ЦЕНТРИФУГА

Формула полезной модели

Центрифуга для разделения суспензии, состоящая из корпуса центрифуги, ротора с фильтрующим элементом, трубы подачи суспензии и насадка с отверстиями, направленными в сторону ротора, по которым под давлением подается воздух либо пар в направлении, противоположном движению фугата, отличающаяся тем, что с внешней стороны ротора параллельно его конической образующей установлены два диаметрально расположенных насадка с отверстиями, один из которых имеет возможность перемещения (смещения) относительно перфорированной поверхности вдоль своей оси.

RU 1 2 2 3 1 3 U 1

RU 1 2 2 3 1 3 U 1

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по НР ФГБОУ ВПО

«КГСХА им. Т.С. Мальцева»

 С. Ф. Суханова

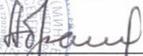
«04» марта 2013 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВПО

«ГАУ Северного Зауралья»

 Н. В. Абрамов

«04» марта 2013 г.

АКТ

испытаний гуминовых препаратов

от 04 марта 2013 года

Комиссия в составе: директора НПЦ «Эврика» ГАУ Северного Зауралья Греховой И.В., завкафедрой КГСХА имени Т.С. Мальцева Фоминых А.В. и аспиранта Ездина Д.П. составили настоящий акт о том, что в производственном цехе НПЦ «Эврика» в городе Тюмени проводились испытания гуминовых препаратов, полученных при периодическом центрифугировании, непрерывном сепарировании и при выпаривании. Производственные испытания проводились с 9 ноября 2012 года по 12 декабря 2012 года.

При испытании гуминовых препаратов определялись:

1. Энергия прорастания.
2. Всхожесть.

В результате испытаний установлены следующие показатели:

№	Варианты	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
1	После сепарирования	86	81
2	После выпаривания	90	89
3	После выпаривания	93	90
4	После выпаривания	95	94
5	Росток	86	87

Показатели энергии прорастания и всхожести гуминового концентрата после непрерывного сепарирования свидетельствовали о снижении эффективности готового препарата.

Показатели энергии прорастания и всхожести гуминового концентрата после периодического центрифугирования и выпаривания под вакуумом соответствуют заданным требованиям производства.

При завершении производственных испытаний было высказано пожелание продолжить испытания вакуумно-выпарной установки.

Члены комиссии:

И.В. Грехова 

А.В. Фоминых 

Д.П. Ездин 

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВПО

«ГАУ Северного Зауралья»

Н.В. Абрамов

«04» марта 2013 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских
и технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья»

(наименование организации)

Абрамов Николай Васильевич

(ф., и., о. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы Совершенствование способа получения
гуминового концентрата при производстве гуминосодержащего препарата,

(наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной Курганской Государственной Сельскохозяйственной Академией им. Т. С. Мальцева

(наименование вуза, НИИ, КБ)

стоимостью 140 (Сто сорок)

тыс. руб.,

(цифрами и прописью)

выполняемой с 15 ноября 2010 г. по 04 марта 2013 г.

(сроки выполнения)

внедрены НПЦ «Эврика» ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья»

(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов Методики проектирования и расчета линии по производству
гуминосодержащего препарата

(эксплуатация изделия, работы,

функционирование (систем)

2. Характеристика масштаба внедрения Единичное

3. Форма внедрения:

Методика (метод) Методики

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ модификация

(пионерские, принципиально новые, качественно новые, модификации,

модернизация старых разработок)

5. Опытно-промышленная проверка 04.02.2013

(указать номер и дату актов испытаний,

НПЦ «Эврика» ФГБОУ ВПО «ГАУ Северного Зауралья»

наименование предприятия, период)

6. Внедрены:

– в промышленное производство линия по производству гуминосодержащего препарата

(участок, цех (цеха), процесс)

– в проектные работы методики, линия по производству гуминосодержащего препарата

(указать объект, предприятие)

7. Годовой экономический эффект:

ожидаемый 160 (Сто шестьдесят) тыс. руб.,
(от внедрения в проект)

фактический _____ тыс. руб.,

в том числе доленое участие _____ тыс. руб.

(%, цифрами и прописью)

8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов _____

тыс. руб.

9. Объем внедрения _____

что составляет _____ % от объема внедрения, положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта, рассчитанного по окончании НИР ($\Delta_{\text{гар.}}$ = тыс. руб.), а при поэтапном внедрении $\Delta_{\text{гар.}}$ при заключении договора.

10. Социальный и научно-технический эффект повышение производительности
(охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий труда,

_____ совершенствование структуры управления научно-технических направлений,

_____ социальные назначения и т. д.).

Исполнители:

кандидаты технических наук, доценты Д.Н. Овчинников, С.В. Фомина, аспирант Д.П. Ездин

От вуза
Руководитель НИР


А.В. Фоминых

От предприятия
Директор НПЦ «Эврика»


И.В. Грекова



федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Курганская государственная сельскохозяйственная
академия имени Т.С. Мальцева»

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

**Ездин
Дмитрий Петрович**

Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция
«ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В РЕАЛИЗАЦИИ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ АПК»

И.о. проректора по научной работе



И.Н. Миколайчик

Курган
26 марта 2020 г.



