

КИРОВ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ
НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ И
КОМПЛЕКСОВ НА ФРАКЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ
СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

**Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Саратов 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова"

Научный консультант

Мухин Виктор Алексеевич,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Гриднев Павел Иванович,
доктор технических наук,
ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии,
заместитель директора по научной работе

Капустин Василий Петрович,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Тамбовский ГТУ»,
профессор кафедры «Агроинженерия»

Хмыров Виктор Дмитриевич,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Мичуринский ГАУ» ,
профессор кафедры «Механизация производства
и безопасности технологических процессов»

Ведущая организация

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «27» декабря 2013 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д.220.061.03 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ».

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г.Саратов, Театральная пл.1, диссовет, Чекмарёву В.В., chekmarev.v@yandex.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2013 г. и размещен на сайте ВАК РФ www.vak.ed.gov.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета

Чекмарёв Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В зависимости от содержания животных и способа навозоудаления различают два вида навоза, поступающего с ферм и комплексов: подстилочный и бесподстилочный. Если первый вид не требует сложной технологии переработки и утилизации, то бесподстилочный навоз в необработанном виде представляет серьезную угрозу заражения почвы, воды, воздушного бассейна, животных и человека, так как в нём продолжительное время живут различные болезнетворные бактерии, яйца и личинки гельминтов, не теряют всхожести семена сорных растений.

На комплексах с бесподстилочным содержанием животных получают навоз влажностью 90...98% из-за попадания технологически неизбежных стоков, а также за счет добавления технической воды, необходимой для удаления навоза. Выход жидкого навоза на свиноводческих комплексах достигает 3000 т в сутки. В связи с этим существует острая проблема утилизации и переработки значительных масс навозных стоков, успешное решение которой приведет к улучшению экологической обстановки на животноводческих предприятиях, а также к восстановлению плодородия почвы за счет внесения в нее приготовленного из навоза ценного органического удобрения.

В современном производстве утилизацию навозных стоков проводят в основном компостированием, гомогенизацией и разделением жидкого навоза на твердую и жидкую фракции. Наибольшее применение в отечественной и зарубежной практике получил третий способ. Операция разделения является определяющей в технологии утилизации навозных стоков, так как от качества разделённых фракций зависит трудоемкость всего технологического процесса, а также эксплуатационные затраты, материалоемкость, энергоёмкость и т. д.

Таким образом, возникло противоречие между зоотехническими и экологическими требованиями к процессу разделения навозных стоков на фракции и существующими способами и техническими средствами, не обеспечивающими этих требований. Поэтому создание эффективных технологических способов и технических средств для утилизации навозных стоков путем разделения их на фракции является важной научной проблемой, требующей незамедлительного решения.

Исследования проводились в ФГБОУ ВПО "Самарская государственная сельскохозяйственная академия" в рамках Ведомственной целевой Программы «Развитие свиноводства в Российской Федерации на период 2006–2010 г.г. и до 2015 года», тем НИОКР госрегистрации №01.200506417 «Разработка технологии и технических средств для обработки и утилизации отходов агропромышленных предприятий» и №01.201177656 «Механико-технологическое обоснование эколого-безопасной технологии и технических средств очистки и утилизации стоков агропромышленных предприятий».

Степень разработанности темы исследований.

Анализ существующих технических средств для разделения навозных стоков на фракции показал, что они в основном заимствованы из других отраслей: нефтяной, газовой и др. и имеют низкую эффективность процесса разделения навозных стоков – в частности, не обеспечивают по зоотехническим требованиям 65...70 % влажности твердой фракции свиного навоза и 60 мг/л содержания взвешенных частиц в жидкой фракции.

Цель исследований – повышение эффективности разделения навозных стоков свиноводческих ферм и комплексов на фракции совершенствованием способов и технических средств, отвечающих зоотехническим и экологическим требованиям.

Задачи исследований:

1. Выполнить анализ существующих методов и технических средств для утилизации навозных стоков разделением их на фракции и определить перспективный способ и технические средства обработки навозных стоков, обеспечивающие зоотехнические и экологические требования.

2. Усовершенствовать и разработать способ и конструктивно-технологические схемы технических средств, повышающих качество разделения на фракции навозных стоков и обеспечивающих соблюдение зоотехнических и экологических требований.

3. Теоретически обосновать конструктивные и технологические параметры новых технических средств для разделения навозных стоков на фракции.

4. Разработать программу и методику, изготовить опытные образцы технических средств для проведения лабораторных и производственных исследований конструктивно-режимных параметров, определить их влияние на качественные показатели и дать технико-экономическую оценку.

Научная новизна. Научную новизну работы составляют:

- 1) новые модели эффективного технологического способа и средств механизации для разделения навозных стоков на твердую и жидкую фракции;
- 2) аналитические зависимости, описывающие рабочие процессы первичного разделения навоза на гидроциклонах-сгустителях, центрифугирования сгущенной массы навоза методом фильтрования, разделения жидкой фракции на флотаторе с предварительным отстаиванием на тонкослойном отстойнике;
- 3) модели оптимизации технологических и конструктивно-режимных параметров, новых технических решений для разделения жидкого навоза на фракции и использования каждой в отдельности в качестве органического удобрения.

Новизна способа разделения навозных стоков на фракции подтверждена патентом РФ на изобретение № 2474102; технических средств – двумя авторскими свидетельствами СССР на изобретения (№1507451, №1585006), двумя патентами РФ на изобретения (№2257268, №2465063) и шестью патентами РФ на полезные модели (№117307, №117322, №122915, №111770, №111847, №112584).

Теоретическая и практическая значимость работы.

Предложенные теоретические зависимости и результаты экспериментальных исследований могут быть использованы при разработке новых и совершенствовании существующих технических средств для разделения навозных стоков на жидкую и твердую фракции. Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют решить проблему повышения качества разделения навозных стоков на фракции до уровня зоотехнических требований, предъявляемых к твердой фракции свиного навоза – 65–70 % влажности и с содержанием в жидкой фракции 60 мг/л взвешенных частиц.

Методология и методы исследований. Методологическую основу исследований составили методы системного и структурного анализа, математической статистики и сравнительного эксперимента. Аналитическое описание технологических процессов выполнялось с использованием законов и методов классической механики и математического анализа. Лабораторные исследования и производственные испытания проводились с использованием частных методик, обработка экспериментальных исследований осуществлялась на ПЭВМ с использованием программ Mathcad 12, КОМПАС 3D LT V12, Excel, Corel DRAW 12.

Положения, выносимые на защиту:

- функциональные схемы и способ разделения свиных навозных стоков на жидкую и твердую фракции;
- конструктивно-технологические схемы технических средств для разделения навозных стоков на фракции;
- теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров усовершенствованных гидроциклонов-сгустителей, фильтрующей центрифуги и флотатора для разделения навозных стоков на фракции;
- результаты аналитических и экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность применения разработанного способа и технических средств для разделения навозных стоков на фракции.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность результатов работы подтверждается сравнительными лабораторными и производственными исследованиями технических средств для разделения на фракции навозных стоков, а также сходимостью результатов лабораторных и производственных экспериментов с теоретическими.

Результаты исследований рекомендованы министерством сельского хозяйства и продовольствия Самарской области для внедрения на свиноводческих хозяйствах Самарской области, а также использовались при проектировании очистных сооружений на свинокомплексах "Алексеевский" и ЗАО "Северный Ключ" Самарской области. Результаты исследований приняты к внедрению в учебный процесс ФГБОУ ВПО "Самарская государственная сельскохозяйственная акаде-

мия", а также к внедрению в научный процесс ФГБУ "Поволжская МИС" г. Кинеля Самарской области и ГНУ "Северо-Западный институт механизации и электрификации сельского хозяйства" Россельхозакадемии (СЗНИИМЭСХ). Результаты исследований одобрены и рекомендованы к внедрению ГНУ Самарский НИИСХ им. Н.М. Тулайкова Россельхозакадемии.

Основные положения и результаты работы доложены и получили одобрение на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Саратовского института механизации сельского хозяйства им. М.И.Калинина и Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И.Вавилова в 1987–2002 г.г., 2012 г., 2013г., научно-практических конференциях Самарской государственной сельскохозяйственной академии в 1992–2010 г.г., Международной научно-практической конференции, г. Мелитополь, Украина (1989 г.), научных конференциях Санкт-Петербургского аграрного университета, г. Пушкин (2008 г., 2009 г.), заседаниях Министерства сельского хозяйства и продовольствия Самарской области в 2005–2009 г.г., «Круглом столе» в рамках XI Поволжской агропромышленной выставки (п. Усть-Кинельский, Самарская обл., 2008 г.), Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.Г.Кобы ,Саратовский ГАУ, (2011 г.), 14-й Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в животноводстве – инновационные технологии и модернизация в отрасли», ГНУ ВНИИМЖ, г.Подольск (2011 г.), Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения профессора А.Г.Рыбалко, Саратовский ГАУ (2011 г.), 15-й Международной научно-практической конференции «Система технологий и машин для животноводства на период до 2020 г. – технологические, организационно-экономические требования и методология разработки» ,ГНУ ВНИИМЖ, г. Подольск (2012 г.), 16-ой Международной научно-практической конференции «Совершенствование управления технологическими процессами в животноводстве – основа повышения эффективности производства и качества продукции» , ГНУ ВНИИМЖ, г. Подольск, Московская обл.(2013 г.).

По теме диссертации опубликовано 55 печатных работ, из них 17 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.....", 19 – без соавторов, получено 2 авторских свидетельства СССР на изобретение, 3 патента РФ на изобретение и 6 патентов РФ на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 21,92 п.л., из них автору принадлежит 12,05 п.л.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, изложены результаты исследований и научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе "Состояние проблемы. Цель и задачи исследований" проведен анализ технологий и способов обработки и утилизации навозных стоков, технических средств для их разделения на твердую и жидкую фракции, систематизированы основные проблемы и определены перспективные направления совершенствования технологий и технических средств для обработки и утилизации навозных стоков методом фракционного разделения, обеспечивающих повышение качества продуктов разделения в соответствии с зоотехническими и экологическими требованиями.

Анализ литературных источников и патентно-информационных материалов современных технологий и способов обработки и утилизации навозных стоков позволил выявить технологическую схему, основанную на методе разделения навозных стоков на фракции и использование каждой в отдельности. В технологии утилизации навозных стоков операция разделения на фракции является определяющей, так как от качества отделённых фракций зависит дальнейшая трудоемкость всего технологического процесса, эксплуатационные затраты, материалоемкость, энергоёмкость и др.).

Значительный вклад в решение проблемы повышения качества обрабатываемого навоза внесли Лукьяненко И.И., Гриднев П.И., Коваленко В.П., Капустин В.П., Калюга В.В., Васильев В.А., Швецов М.Н., Хазанов Е.Е., Письменов В.Н., Бацанов И.Н., Магомедов Ф.М., Пузанков А.Г., Высоцкий Л.И., Задохин А.Б., Ка-

леда И.А., Фурсин П.А., Афанасьев В.Н., Дудка А.А., Ковалев Д.А., Коваленко А.В., Харитонов А.Н., Спевак В.Я., Хмыров В.Д., Демин Е.Е., Павлов П.И. и др.

Исследованиями авторов установлено, что пропорционально разбавлению водой снижается содержание сухого и органического вещества в жидком навозе и уменьшается его удобрительная ценность. Для твердой фракции свиного навоза основным зоотехническим требованием является влажность – 65...70 %. Именно при такой влажности в осадке навоза протекают процессы биотермического обеззараживания: погибают яйца и личинки гельминтов, теряют всхожесть семена сорных растений.

Наибольшую опасность для окружающей среды представляет неподготовленная жидкая фракция навозных стоков, по объему превышающая количество твердой фракции в 7–8 раз.

Анализ существующих способов переработки и утилизации навозных стоков показывает, что известные технологии не удовлетворяют по зоотехническим и экологическим требованиям и требуют больших капитальных и эксплуатационных затрат и энергоемки.

Во второй главе "Совершенствование эколого-безопасной технологии утилизации и разработка технических средств для разделения на фракции навозных стоков" приводится описание и анализ технологической схемы для обработки и утилизации навозных стоков.

Рассматривая удаление и утилизацию навозных стоков как систему, представляющую упорядоченную совокупность объектов, можно выделить три подсистемы: подготовка навозных стоков; фазовое превращение; получение целевого продукта. Внутри подсистем взаимодействуют операторы, представляющие собой физические и химические процессы, осуществляющие последовательное превращение исходного сырья в продукт.

Анализ подсистем утилизации навозных стоков показывает, что разделение на фракции является определяющим и наиболее трудоемким звеном. В связи с этим комплект оборудования для обеспечения качественного функционирования

подсистемы при заданной производительности должен отвечать необходимым требованиям, в первую очередь, по фактору разделения и эффекту осветления.

Основная задача подсистемы фазового превращения навозных стоков состоит в выделении большого объема взвешенных твердых частиц, находящихся в исходной массе. Кроме того, что отделенная жидкая фракция навозных стоков должна быть наиболее осветленной, необходимо, чтобы твердая фракция была определенной влажности, соответствующей зоотехническим требованиям.

Исследованиями установлено – в подсистеме разделения на фракции и обеззараживания навозных стоков необходимы три ступени: первичное – (грубодисперсное) – разделение, вторичное разделение и глубокое разделение с обеззараживанием. Для стабильного функционирования всех трех ступеней были разработаны и обоснованы технические решения, позволяющие повысить эффективность процесса разделения. На основе функциональной схемы (рисунок 1) составлен материальный баланс технологического процесса, позволяющий количественно описать взаимосвязи потоков навозной массы от её исходного состояния до готового продукта путем последовательного разделения на фракции.

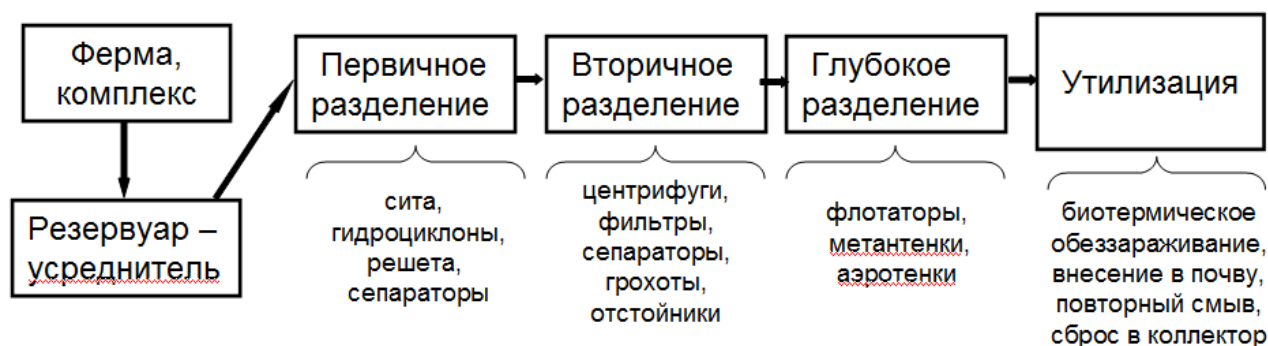


Рисунок 1 – Функциональная схема процесса переработки навозных стоков

Недостаток данного способа – фильтрат, получаемый после предварительного и окончательного обезвоживания, отличается высоким содержанием взвешенных твердых частиц, что не соответствует зоотехническим требованиям, и не может использоваться в дальнейшем без дополнительной обработки.

Анализ функциональной схемы процесса переработки и утилизации навозных стоков свинокомплексов методом разделения их на фракции и очистки от

взвешенных частиц позволил обосновать новый способ очистки, включающий предварительное и окончательное обезвоживание навозных стоков. Жидкую фракцию стоков и фильтрат, образованные после предварительного и вторичного разделения, подвергают очистке с выделением взвешенных твердых частиц на тонкослойном отстойнике в виде осадка и в электрофлотаторе в виде флотационного шлама. Твердую фракцию навозных стоков после обезвоживания на фильтрующей центрифуге, осадок, полученный после осаждения в тонкослойном отстойнике, и флотационный шлам после очистки в электрофлотаторе собирают в бункер-накопитель. Способ позволяет снизить содержание взвешенных твердых частиц в жидкой фракции до зоотехнических требований и повысить экологическую безопасность обрабатываемых навозных стоков.

Технологическая схема переработки животноводческих стоков по предлагаемому способу (рисунок 2) (патент РФ №2474102) работает следующим образом.

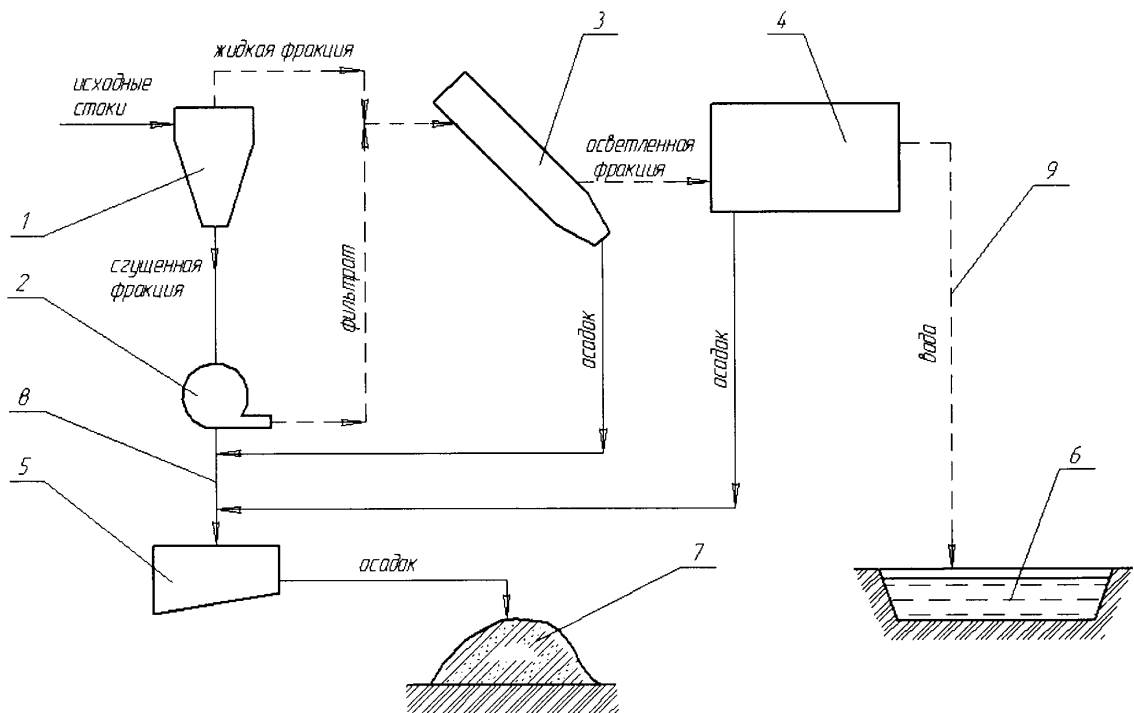


Рисунок 2 – Технологическая схема нового способа переработки навозных стоков

Поступающий с животноводческого комплекса навозный сток подается в гидроциклон-сгуститель 1, где из него удаляется свободная влага. Сгущенная до влажности 88–89 % масса поступает на вторичное разделение в фильтрующую центрифугу 2, где он обезвоживается до влажности 65–70%. Отделенная жидкая фракция и фильтрат подаются на тонкослойный отстойник 3, где под действием

гравитационных сил из образованной массы выделяется осадок твердых взвешенных частиц, а осветленная вода сливается в электрофлотатор 4, в котором посредством электролиза воды выделяются во флотационный шлам более мелкие взвешенные твердые частицы. Твердая фракция, осадок и флотационный шлам по транспортеру 8 поступают в бункер-накопитель 5, который периодически разгружается, и складываются на специальной площадке 7 для биотермического обеззараживания и использования в дальнейшем в качестве органического удобрения.

Очищенная после электрофлотатора 4 вода, содержащая допустимое количество взвешенных твердых частиц, сливается по трубопроводу 9 в лагуну 6.

Предлагаемый способ позволяет снизить содержание взвешенных твердых частиц в жидкой фракции навозных стоков до зоотехнических требований и повысить их экологическую безопасность.

На основе материального баланса процесса переработки навозных стоков методом разделения на фракции была составлена операторная схема технологического процесса (рисунок 3).

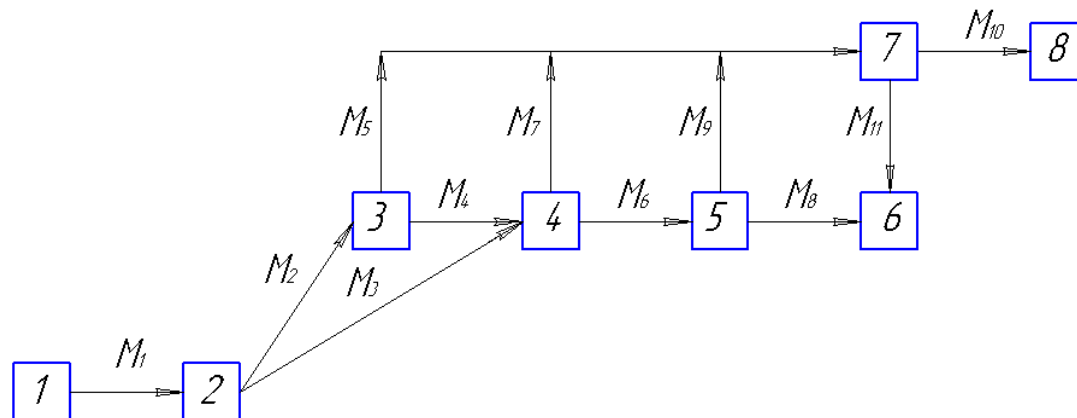


Рисунок 3 – Операторная схема процесса разделения навозных стоков:
 1 - резервуар-усреднитель; 2 - гидроциклон-сгуститель; 3 - центрифуга;
 4 - тонкослойный отстойник; 5 - флотатор; 6 - площадка;
 7 -бункер-накопитель; 8 - лагуна.

Уравнение материального баланса по общим массовым расходам физических потоков $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8, M_9, M_{10}, M_{11}$

$$\begin{aligned}
 M_1 - M_2 - M_3 &= 0; \\
 M_2 - M_5 - M_4 &= 0; \\
 (M_3 + M_4) - M_7 - M_6 &= 0; \\
 M_6 - M_9 - M_8 &= 0; \\
 (M_5 + M_7 + M_9) - M_{10} - M_{11} &= 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Уравнение материального баланса по массовым расходам абсолютно сухого вещества $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}$ в физических потоках

$$\begin{aligned}
 C_1 M_1 - C_2 M_2 - C_3 M_3 &= 0; \\
 C_2 M_2 - C_5 M_5 - C_4 M_4 &= 0; \\
 C_4 M_4 - C_7 M_7 - C_6 M_6 &= 0; \\
 C_6 M_6 - C_9 M_9 - C_8 M_8 &= 0; \\
 (C_5 M_5 + C_7 M_7 + C_9 M_9) - C_{10} M_{10} - C_{11} M_{11} &= 0.
 \end{aligned} \tag{2}$$

На основе теории графов построен материальный граф системы, позволяющий оптимизировать потоки $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}$ по участкам (рисунок 4).

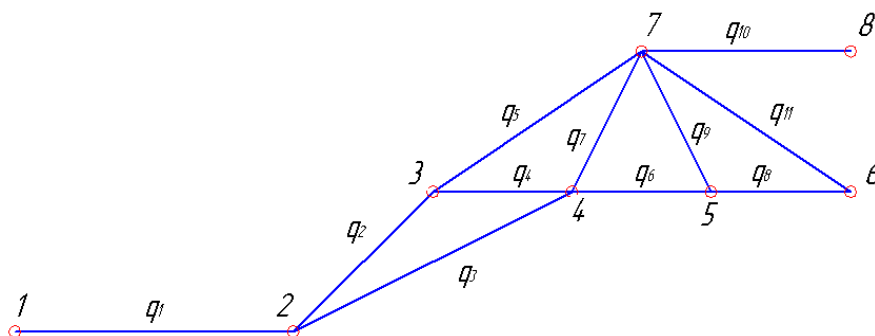


Рисунок 4 – Материальный граф системы

Решение задач оптимизации процесса позволяет определить нагрузки на систему и обосновать влияние на выходные параметры продуктов разделения усовершенствованных технических средств.

Для реализации предлагаемого нового эколого-безопасного способа обработки навозных стоков были разработаны технические средства, повышающие эффективность всей технологической линии обработки и подготовки стоков к ис-

пользованию. На первичном разделении стока навозной массы более эффективна схема разделителя, работающая по принципу гидроциклонирования.

Гидроциклон-сгуститель (рисунок 5) включает цилиндрикоконический корпус 1, в крышке 2 которого через уплотнение 3 установлен питатель 4, а на выгрузном патрубке 5 закреплен сгуститель 6. Корпус 1 установлен в подшипниках 7,8 на раме 9 и вращается относительно неё и питателя 12 электродвигателем через клиноременную передачу, шкив 10 которой закреплен на выгрузном патрубке 5.

Подводимая через входной патрубок 11 питателя 4 под давлением исходная масса стока закручивается криволинейным питающим патрубком 12, образуя вихревой поток, устремляющийся вдоль стенки корпуса 1 к выгрузному патрубку 5. При этом происходит разделение стока на осветленную фракцию, направляемую обратным центральным потоком в сливной патрубок 13, и сгущенную фракцию, выходящую вихревым потоком из выгрузного патрубка 5 на раструб 14 сгустителя 6, который обеспечивает распределение вихревого потока по раструбу 14, а затем по наклонному борту 15, где сток дополнительно обезвоживается. Из сгустителя 6 вторично обезвоженная масса отводится через окна 16, а осветленная часть, поднимаясь по конусному дну 17, смыкается с центральным осветлённым потоком корпуса 1. При этом через центральное отверстие 18 конусного дна 17 происходит подсос воздуха в образуемый в корпусе 1 воздушный столб, который формирует вокруг себя центральный осветленный поток.

Гидроциклон-сгуститель (рисунок 6) для разделения навозных стоков на фракции позволяет снизить влажность твердой фракции навозных стоков при сохранении производительности всей установки.

В устройстве через тангенциальный входной патрубок 2 под давлением подается исходная масса к стенке корпуса 1. Вихревой осветленный поток жидкой фракции отводится наружу через выгрузной 4 и сливной 3 патрубки. Сгущенная масса через выгрузной патрубок 4 попадает в устройство 6. Обладая кинетической энергией, сгущенная масса вызывает возникновение момента вращения барабана 7. Сгущенная фракция заполняет пространство паза 8 и дополнительно обезвоживается на перфорированной поверхности фильтрующего элемента 11, а

затем по патрубку 15 удаляется. Тем временем фильтрат попадает в короб 12 и удаляется через патрубок 13.

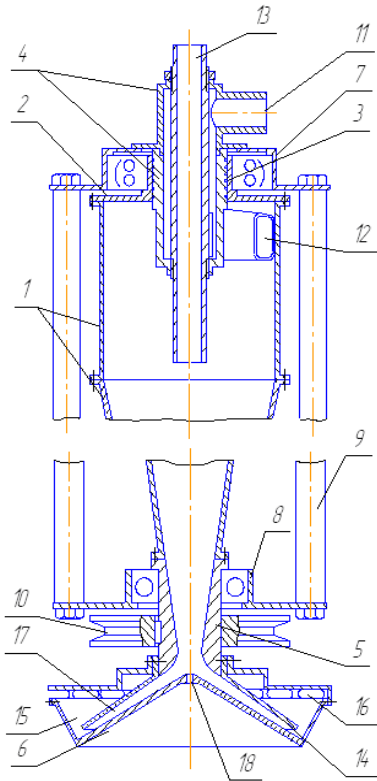


Рисунок 5 – Гидроциклон-сгуститель (патент РФ на изобретение №2257268)

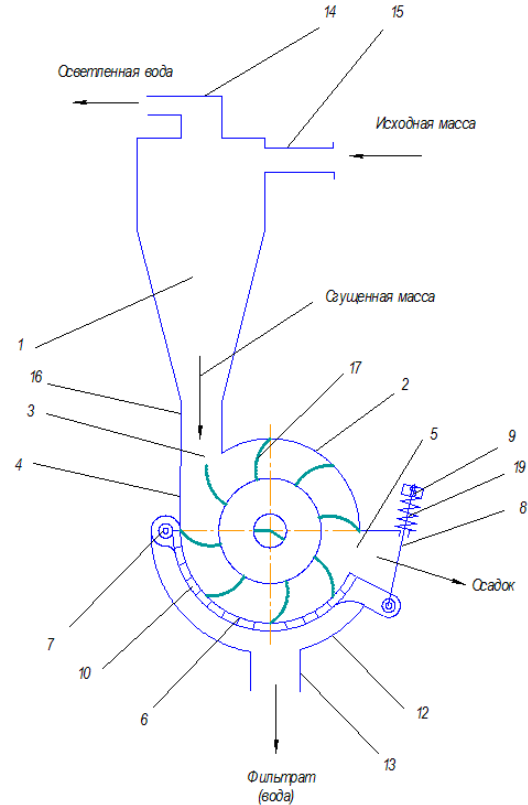


Рисунок 6 – Гидроциклон-сгуститель (патент РФ на полезную модель №122915)

С целью снижения влажности сгущенного стока разработан и изготовлен опытный образец (рисунок 7).

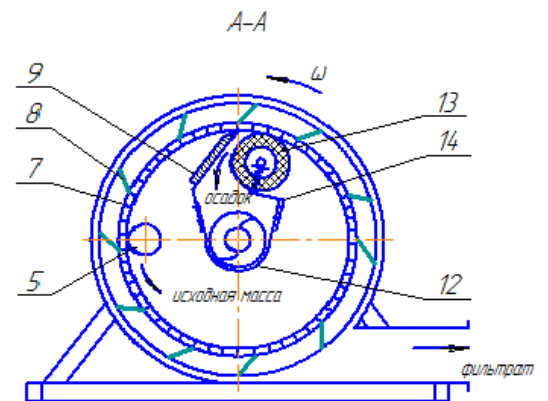
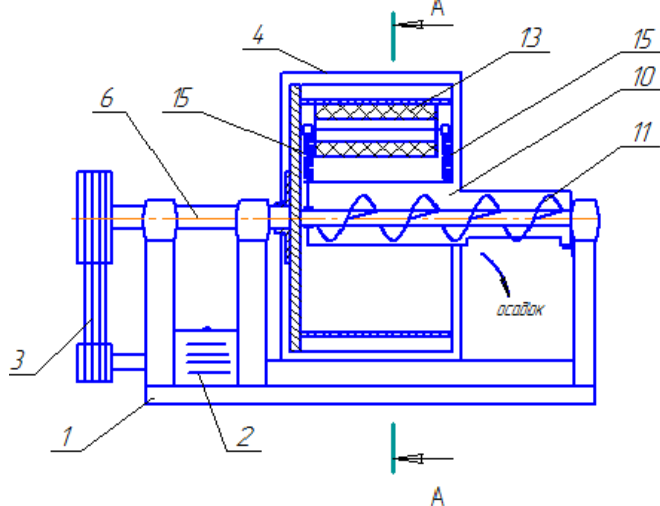


Рисунок 7 – Схема экспериментальной центрифуги (а.с. СССР № 1507451, а.с. СССР № 1585006).

От электродвигателя 2 вращение передаётся на перфорированный ротор 7. Через питатель 5 жидкие навозные стоки подаются на внутреннюю поверхность ротора 7, где под действием центробежной силы обезвоживаются. Жидкая фракция, пройдя через перфорированную сетку ротора 7, удаляется из центрифуги лопатками 8, вращающимися вместе с ротором 7. Твёрдая фракция навоза, прижимаясь к внутренней поверхности ротора 7, поступает к ролику 13.

Для разделения на фракции отделённых на первичной и вторичной ступени навозных стоков предлагается использовать тонкослойный отстойник (рисунок 8). Сточная вода поступает на волнообразные полки 5, где оседают тяжёлые частицы. Осадок сползает в нижнюю часть корпуса 1, откуда выводится через патрубок 3. Скорость сползания осадка увеличивает гидравлический вибровозбудитель 8, создающий колебания на пружинных опорах 7. Очистка отстойника производится гравитационным путем при повороте корпуса 1 на 90° относительно горизонта вокруг шарнира 6.

Для окончательной очистки жидкой фракции навозных стоков была разработана экспериментальная установка, работающая по принципу электрофлотации (рисунок 9). Исходная масса сточной воды поступает через патрубок 2 в корпус 1 флотатора. Затем под действием электролиза воды происходит процесс разделения сточной воды от взвешенных твёрдых частиц, которые поднимаются к поверхности воды и образуют флотационный шлам.

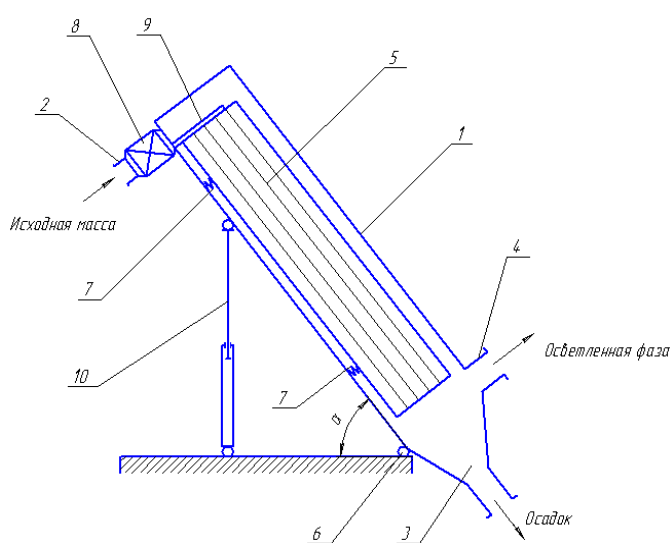


Рисунок 8 – Схема тонкослойного отстойника (патент РФ на полезную модель № 111770)

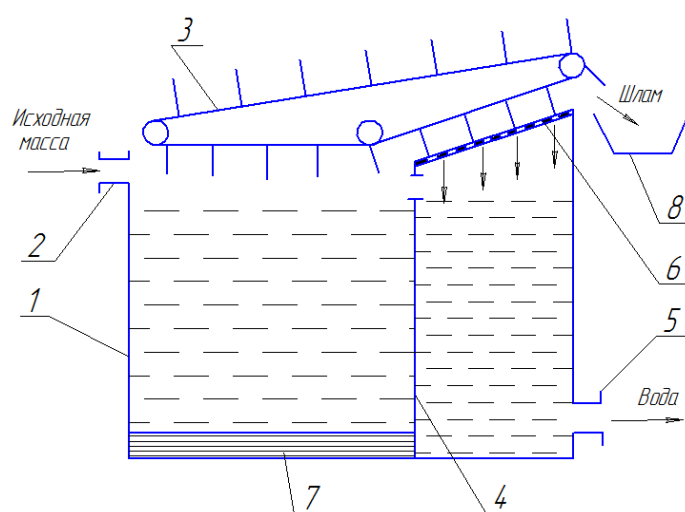


Рисунок 9 – Схема установки (патент РФ на полезную модель №111847)

Очищенная таким образом вода выводится из флотатора через патрубок 5. Образовавшийся на поверхности обрабатываемой воды флотационный шлам увлекается скребками транспортера 3 и подается на фильтровальную перегородку 6, где обезвоживается. Затем шлам выгружается в емкость 8.

В третьем разделе "Теоретическое обоснование повышения эффективности процесса разделения на фракции навозных стоков" приведено теоретическое описание процессов по разделению навозных стоков на фракции и полученные аналитические зависимости влияния конструктивно-режимных параметров усовершенствованных технических средств на качество получаемых продуктов разделения.

Целевая функция – характеристика объекта, математически связывающая между собой факторы объекта исследований;

Ограничения – пределы, сужающие область осуществимых, приемлемых и допустимых решений и фиксирующие основные внутренние и внешние свойства объекта. Ограничения определяют область исследования, протекания процессов, пределы изменения параметров и факторов объекта. Для этого была разработана факторная модель (рисунок 10).



Рисунок 10 – Факторная модель системы очистки

Рассмотрим процесс первичного обезвоживания исходной массы навозного стока, протекающий в сгустителе. Предварительно сгущенная в гидроциклоне масса поступает на фильтровальную поверхность сгустителя (рисунок 11).

Процесс фильтрации подчиняется закономерностям фильтрации суспензии с образованием осадка. Рассмотрим движение элементарного объема исходной массы суспензии в зоне фильтрации сгустителя (рисунок 12).

В данном случае для описания процесса применим общий гидравлический закон фильтрации (закон Дарси), который выражается следующим уравнением

$$\frac{dV}{F dt} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{oc} + R_{фп})}, \quad (3)$$

где V – объем фильтрата, выделенный из исходной массы за время t , m^3 ; t – время фильтрации, с; ΔP – давление фильтрации, H/m^2 ; μ – динамическая вязкость фильтрата, $Pa \cdot s$; R_{oc} – сопротивление осадка, m^{-1} ; $R_{фп}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, m^{-1} .

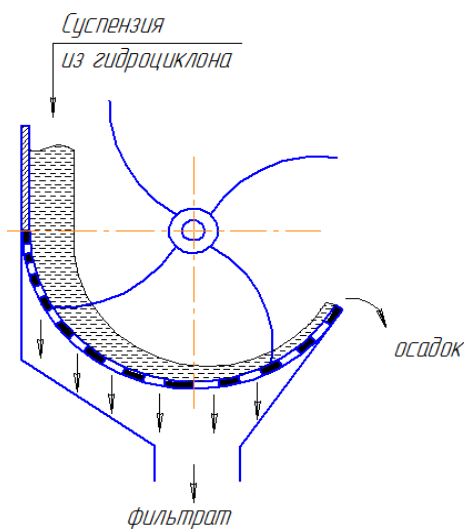


Рисунок 11 – Схема сгустителя в гидроциклоне

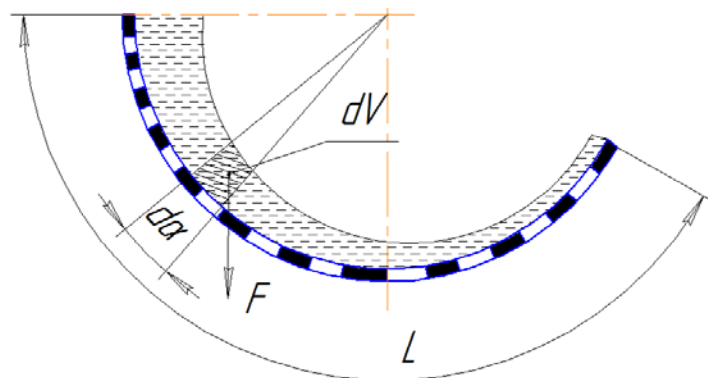


Рисунок 12 – Схема процесса фильтрации в сгустителе

Сопротивление осадка можно выразить через соотношение

$$R_{oc} = r_{oc} m_{oc} V, \quad (4)$$

где r_{oc} – удельное сопротивление осадка, m^{-2} ; m_{oc} – масса осадка, кг; V – объем выделенного фильтрата, m^3 .

Элементарный объем сгущенной массы движется по некоторому радиусу. Для определения угла α поворота её по фильтровальной поверхности выразим dt через $d\alpha$

$$dt = \frac{d\alpha}{\omega}, \quad (5)$$

где $d\alpha$ – элементарный угол поворота объема V_n , рад; ω – угловая скорость движения элементарного объема массы суспензии, рад/с.

Давление фильтрования определяется из выражения

$$\Delta P = m_{oc} R_{cp} \omega^2, \quad (6)$$

где R_{cp} – средний радиус вращения массы m_{oc} , м.

Объем осадка на выделенной площадке фильтровальной поверхности, согласно уравнению материального баланса фильтрования

$$V_{oc} = V_{исх} - V. \quad (7)$$

С учетом изложенного уравнение (3) примет вид

$$\frac{dV\omega}{d\alpha F} = \frac{(V_{исх} - V)\rho_{oc} R\omega^2}{\mu[r_{oc}(V_{исх} - V)\rho_{oc} V + R_{фп}]}. \quad (8)$$

В результате преобразований получим выражение для определения предельного угла фильтровальной поверхности сгустителя

$$\alpha_{пр} = \frac{\mu}{\rho_{oc} R \omega F} \left[r_{oc} \rho_{oc} \frac{V_{пр}^2}{2} - R_{фп} \ln(V_{исх} - V_{пр}) \right]. \quad (9)$$

Предлагаемая конструктивно-технологическая схема гидроциклона - сгустителя с фильтрующим элементом наиболее эффективна в использовании на высоконцентрированных навозных стоках.

Сочетание принципа гидроциклонирования и осаждения в одном аппарате повышает эффективность разделения навозного стока. В предлагаемой схеме (рисунок 13) исходный поток навозного стока проходит разделение на фракции в зоне гидроциклона, а затем дополнительно обезвоживается в сгустителе.

Исходя из уравнения материального баланса, можно записать

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{T}} + V, \quad (10)$$

где $V_{\text{исх}}$ – объем исходной массы, м^3 , V_{T} – объем сгущенной массы, м^3 , V – объем осветленной массы, м^3 .

Величину V_{T} можно разложить на составляющие:

$$V_{\text{T}} = V_{\text{в}} + V_{\text{с}}, \quad (11)$$

где $V_{\text{в}}$ – объем жидкости, находящийся в сгущенной массе, м^3 ; $V_{\text{с}}$ – объем сухого осадка в сгущенной массе, м^3 .

Перепишав (10) с учетом (11), получим

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{в}} + V_{\text{с}} + V. \quad (12)$$

Выразив объем через массу, получим

$$m_{\text{T}} = (V_{\text{исх}} - V)\rho_{\text{T}}, \quad (13)$$

где m_{T} – масса сгущенного осадка, кг; ρ_{T} – плотность сгущенного осадка, $\text{кг}/\text{м}^3$.

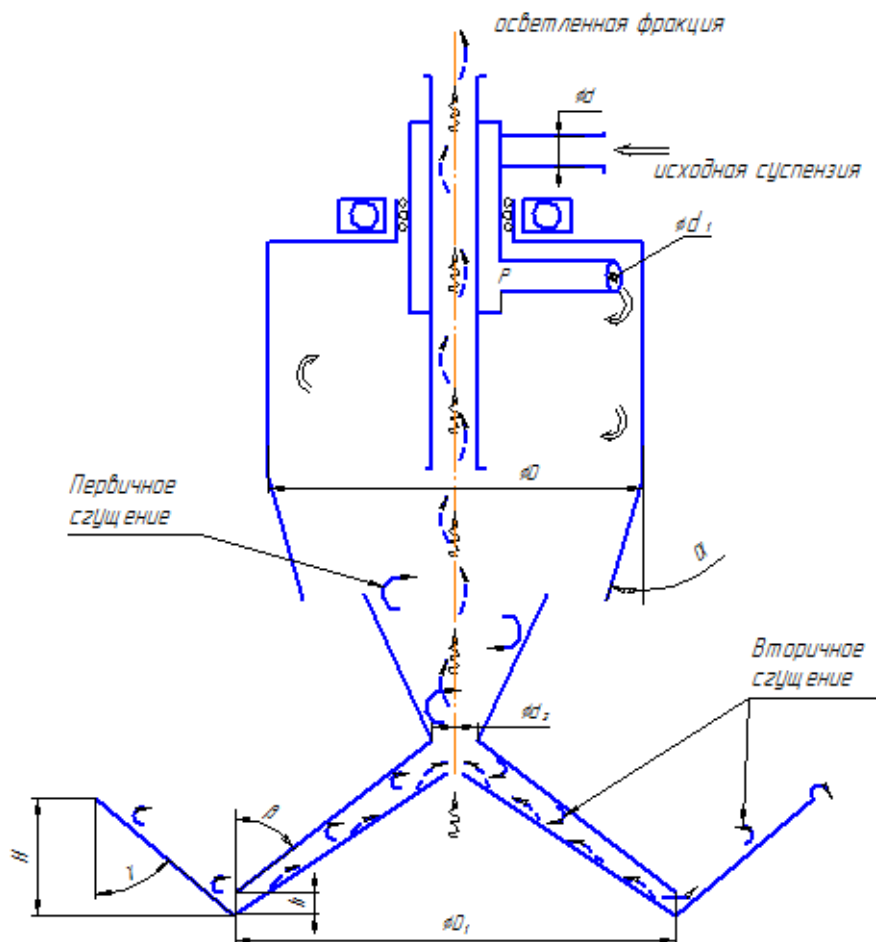


Рисунок 13 – Схема гидроциклона-сгустителя

После необходимых преобразований получим уравнение для определения влажности сгущенной массы стока в зависимости от объема осветленной массы

$$W = \frac{V_{\text{исх}}(100 - \kappa) - 100V}{(V_{\text{исх}} - V)\rho_{\text{T}}}. \quad (14)$$

Рассматривая движение твердой частицы, отделяемой от воды в сгустителе гидроциклона (рисунок 14) для любого момента времени dt на радиусе dr с учетом формулы Стокса для скорости осаждения частицы имеем

$$\frac{dr}{dt \cos \alpha} = \frac{d^2(\rho_{\text{T}} - \rho_{\text{ж}})\omega^2 r}{18\mu}, \quad (15)$$

где d – диаметр частицы, м; ρ_{T} – плотность твердой фазы, кг/м³; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкой среды, кг/м³; ω – угловая скорость, рад/с; r – радиус осаждения, м; μ – динамическая вязкость, Па·с, α – угол наклона поверхности сгустителя, град.

Разделив переменные, получим

$$\frac{18\mu}{d^2(\rho_{\text{T}} - \rho_{\text{ж}})\omega^2} \int_r^{r_0} \frac{dr}{dt \cos \alpha} = \int_{t_0}^{t_1} dt. \quad (16)$$

Проинтегрировав по dr и dt в пределах от r_0 до r и от t_0 до t_1 , получим выражение для определения времени движения твердой частицы по поверхности

$$t_1 = \frac{18\mu}{d^2(\rho_{\text{T}} - \rho_{\text{ж}})\omega^2 \cos \alpha} \ln \frac{r}{r_0}. \quad (17)$$

Исследованиями установлено, что скорость равномерного потока в сгустителе равна скорости потока в кольцевом пространстве между колпаком и диском:

$$v = \frac{4Q}{\pi(d_1^2 - d_2^2)}, \quad (18)$$

где Q – расход стока через сгуститель, м³/ч; d_1 и d_2 – диаметры соответственно колпака и диска, м.

Окончательно получим выражение для определения расхода

$$Q = \frac{\pi d^2 (d_1^2 - d_2^2) (r - r_0) (\rho_{\text{T}} - \rho_{\text{ж}}) \omega^2}{72\mu \ln \frac{r}{r_0}}. \quad (19)$$

После разделения осветленная фракция поднимается вверх по конусу и выводится из гидроциклона-сгустителя по воздушному столбу. Сгущенная масса стока через кольцевой борт подается в выгрузное устройство.

Дифференциальное уравнение движения твердой частицы по конусной поверхности борта

$$v_r \frac{dv_r}{dr} = \omega^2 r. \quad (20)$$

Разделив переменные и проинтегрировав в пределах от 0 до v_r и от r_0 до r

$$\int_0^{v_r} v_r dv = \omega^2 \int_0^r r dr, \quad (21)$$

$$\frac{v_r}{2} = \omega^2 \frac{1}{2} (r^2 - r_1^2), \quad (22)$$

получим

$$v_r = \omega \sqrt{r^2 - r_1^2}, \quad (23)$$

где v_r – радиальная скорость движения твердой частицы под действием центробежной силы, м/с; t – время движения частицы, с; r – максимальный радиус вращения частицы, м; ω – угловая скорость вращения частицы, рад/с.

Расход сгущенной массы стока через конусный борт сгустителя

$$Q_2 = \frac{V_{\tau}}{\omega} \frac{(r - r_0)}{\sqrt{r^2 - r_0^2}} \cos \beta. \quad (24)$$

Разработанная конструкция гидроциклона с осадительным сгустителем применима для разделения малоцентрированных навозных стоков.

Рассмотрим движение элементарного объема исходной массы жидкого навоза в зоне фильтрования центрифуги (рисунок 15). Согласно вышеизложенным рассуждениям, уравнение примет следующий вид

$$\frac{dV\omega}{d\varphi} = \frac{(V_{\text{исх}} - V)\rho_{\text{ос}}R\omega^2}{\mu[r_{\text{ос}}(V_{\text{исх}} - V)\rho_{\text{ос}}V + R_{\text{фп}}]}. \quad (25)$$

Разделив переменные, получим

$$\frac{\mu (r_{oc} (V_{исх} - V) \rho_{oc} V + R_{фп})}{(V_{исх} - V) \rho_{oc} R \omega} dV = d\varphi. \quad (26)$$

Проинтегрировав уравнение (26) от 0 до $V_{пр}$ и от 0 до $\varphi_{пр}$ и сделав необходимые математические преобразования, имеем

$$\frac{\mu}{\rho_{oc} R \omega} \left(\int_0^{V_{пр}} r_{oc} \rho_{oc} V dV + \int_0^{V_{пр}} \frac{R_{фп}}{V_{исх} - V} dV \right) = \int_0^{\varphi_{пр}} d\varphi. \quad (27)$$

Получим формулу для теоретического определения угла β_2 установки отжимающего ролика в крайнем верхнем положении

$$\beta_2 = \frac{3}{2} \pi - \frac{30\mu}{\rho_{oc} R \pi n} \left[\frac{r_{oc} \rho_{oc} V_{исх}^2}{2} \left(\frac{(100 - k) \rho_B - W_{пр} \rho_{oc}}{100 \rho_B - W_{пр} \rho_{oc}} \right)^2 - R_{фп} \ln V_{исх} \left(1 - \frac{(100 - k) \rho_B - W_{пр} \rho_{oc}}{100 \rho_B - W_{пр} \rho_{oc}} \right) \right]. \quad (28)$$

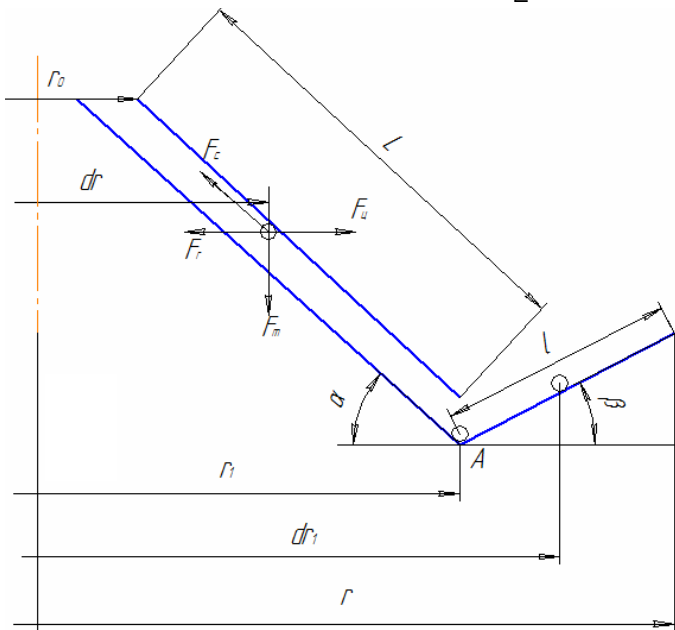


Рисунок 14 – Схема движения твердой частицы в рабочей зоне сгустителя

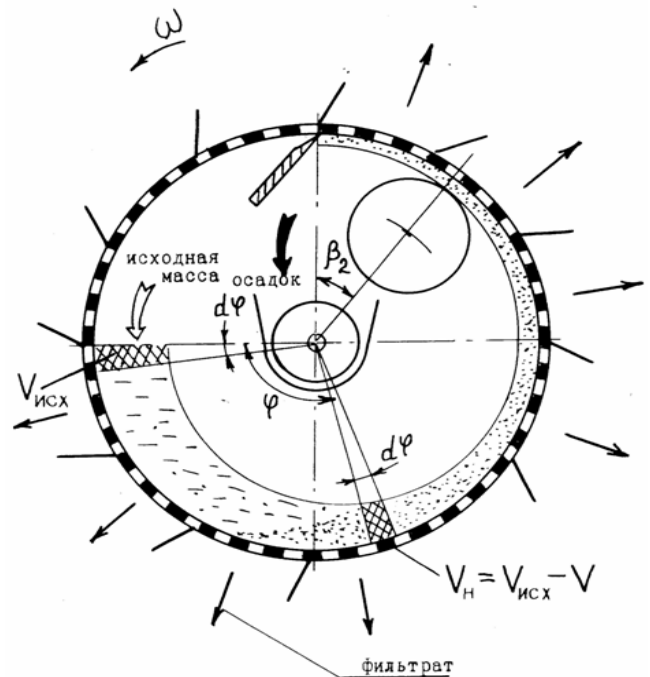


Рисунок 15 – Схема к определению угла β_2

Анализируя вышеизложенные рассуждения, можно сделать вывод, что угол установки отжимающего ролика определяется его параметрами и находится в зоне с граничными значениями β_1 и β_2

$$\beta_1 \leq \beta \leq \beta_2. \quad (29)$$

После электрофлотации на поверхности обрабатываемой воды образуется шлам, который сохраняет своё состояние и удерживается на поверхности лишь определенное время, и его необходимо быстро удалить с поверхности воды.

Шлам имеет повышенную влажность (около 88%), поэтому требуется снизить её до оптимального значения (65–70%) для биотермической переработки.

Исходный объем шлама, находящийся между соседними скребками (рисунок 16)

$$V_{\text{исх}} = bh_c \Delta l \phi, \quad (30)$$

где h_c – высота скребка, м; Δl – расстояние между скребками, м.

По мере продвижения шлама по фильтровальной перегородке часть воды из него удаляется. Определим время t , необходимое для выделения объема воды $V_{\text{доп}}$ до допускаемого значения влажности $W_{\text{доп}}$. Длина фильтровальной перегородки определится по следующей формуле

$$L = U_{\text{скр}} t + \Delta l. \quad (31)$$

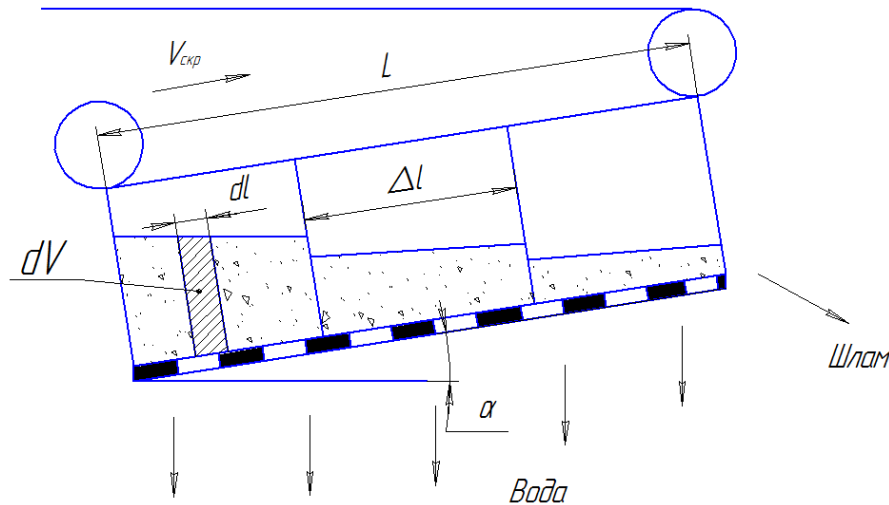


Рисунок 18 – Схема процесса фильтрации флотационного шлама

Влажность шлама определяется по выражению

$$W_{\text{исх}} = \frac{M_{\text{исх}}}{M_{\text{сн}} + M_{\text{исх}}} \cdot 100\%. \quad (32)$$

Скорость ламинарной фильтрации U_{ϕ} определяется формулой Дарси

$$U_{\phi} = K_{\phi} I = K_{\phi} \frac{\Delta h}{h_{\text{со}}}, \quad (33)$$

где K_{Φ} – коэффициент фильтрации, м/с; I – гидравлический уклон; Δh – потери напора, м; h_{CO} – толщина слоя осадка, м.

Сопротивление слоя осадка R_{OC}

$$R_{OC} = \frac{h_{CO}}{K_{\Phi}}. \quad (34)$$

Тогда

$$U_{\Phi} = \frac{\Delta P}{\mu_{\Phi} R_{OC}}, \quad (35)$$

а с учетом сопротивления фильтровальной перегородки $R_{ФП}$

$$U_{\Phi} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{OC} + R_{ФП})}, \quad (36)$$

где R_{OC} и $R_{ФП}$ – сопротивление соответственно слоя осадка и фильтровальной перегородки, м⁻¹.

За время dt через элемент фильтровальной перегородки длиной dl профильтруется объем dV_{Φ} , равный

$$dV_{\Phi} = U_{\Phi} b dl dt. \quad (37)$$

Объем V_{Φ} составит

$$V_{\Phi} = b \int_0^{\Delta l} \int_0^{\Delta t} U_{\Phi} dl dt. \quad (38)$$

С учетом (37) получим

$$V_{\Phi} = b \int_0^{\Delta l} \int_0^{\Delta t} \frac{\Delta P dl dt}{\mu_{\Phi} (R_{OC} + R_{ФП})} = b \int_0^{\Delta l} \int_0^{\Delta t} \frac{\rho_{\Phi} \zeta h dl dt}{\mu_{\Phi} (R_{OC} + R_{ФП})}. \quad (39)$$

Средняя глубина h_{CP} определится из выражения (осреднение по времени)

$$h_{CP} = \frac{(h_{CP})_0 + (h_{CP})_t}{2} = \frac{(V_{иш} + V_{дш}) \cos \alpha}{2b \times \Delta l}, \quad (40)$$

$$h_{CP} = \frac{V_{иш} \cos \alpha}{2b \Delta l} \left(1 + \frac{1 - W_{ИСХ}}{1 - W_{ДОП}} \right) = \frac{b h_{СКР} \Delta l \varphi \cos \alpha}{2b \Delta l} \left(1 + \frac{1 - W_{ИСХ}}{1 - W_{ДОП}} \right). \quad (41)$$

После сокращений имеем

$$h_{CP} = \frac{h_{СКР} \varphi}{2} \left(1 + \frac{1 - W_{ИСХ}}{1 - W_{ДОП}} \right) \cos \alpha. \quad (42)$$

Окончательно

$$t = \frac{2W_{\text{ИСХ}}\mu_{\Phi}(R_{\text{ОС}} + R_{\text{ФП}})}{\rho_{\text{В}} \cos \alpha} \times \frac{1 - \frac{W_{\text{ДОП}}}{W_{\text{ИСХ}}} \frac{1 - W_{\text{ИСХ}}}{1 - W_{\text{ДОП}}}}{1 + \frac{1 - W_{\text{ИСХ}}}{1 - W_{\text{ДОП}}}}. \quad (43)$$

Отметим, что: 1) увеличение исходной влажности приводит к росту L ; 2) уменьшение влажности на сходе с фильтровальной поверхности также требует увеличения L ; 3) увеличение угла наклона α фильтровальной поверхности приводит к увеличению требуемой длины L .

В четвертой главе "Методика и результаты экспериментальных исследований технических средств для разделения на фракции навозных стоков" разработаны общая программа и методика экспериментальных исследований, включающая лабораторные и производственные исследования технических средств для разделения навозных стоков на фракции. Для проведения исследований спроектированы и изготовлены технические средства (гидроциклоны-сгустители, фильтрующие центрифуги, флотатор) для разделения навозных стоков на фракции. С учетом специфических особенностей предложенных способа и технических средств для разделения навозных стоков на фракции разработаны частные методики исследований, которые предусматривают использование оригинальных приборов и лабораторных установок, созданных в процессе выполнения диссертационной работы.

В основу методики экспериментальных исследований были приняты положения ГОСТ и ряда частных методик.

Для проведения лабораторных исследований была изготовлена установка (рисунок 19).

Она содержит раму, привод 2, цилиндрическую перфорированную поверхность 6 с возможностью поворота вокруг последней в вертикальной плоскости. На раме 1 закреплён отжимающий ролик 7, установленный на оси 8, которая закреплена на стойках 9, размещенных в направляющих 10 и подпружиненных относительно них пружинами сжатия 11. На свободных концах стоек 9, выступаю-

щих над направляющими 10, закреплена пластина 12, взаимодействующая с ножкой индикатора 13, установленного на раме 1.

Для определения влияния подачи исходной массы навозных стоков на степень сгущения отделяемой твердой фракции на экспериментальном образце гидроциклона - сгустителя в лабораторных условиях были проведены исследования, по результатам которых были построены графические зависимости (рисунок 20).

В фильтрующих центрифугах для разделения жидкого навоза на фракции одним из факторов, определяющих качество получаемого продукта, то есть влажность твёрдой фракции, является подача исходной массы жидкого навоза. По подаче исходной массы определяется производительность установки.

Определение качественных показателей фильтрующей центрифуги проводились при следующих режимах: подача исходной массы жидкого свиного навоза составляла: 16 м³/ч; 32 м³/ч; 48 м³/ч; 64,8 м³/ч; частота вращения ротора изменялась от 300 до 700 мин⁻¹.

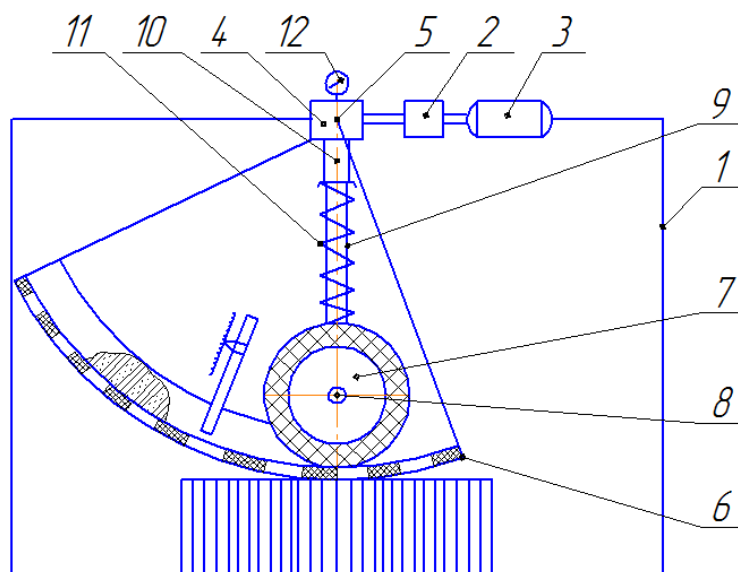


Рисунок 19 – Схема лабораторной установки

По полученным экспериментальным данным построены графические зависимости влажности твёрдой фракции от частоты вращения ротора центрифуги (рисунок 21).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что существует зона, в которой работа экспериментальной центрифуги ведёт к оптимальному качеству получаемого продукта – влажности твёрдой фракции.

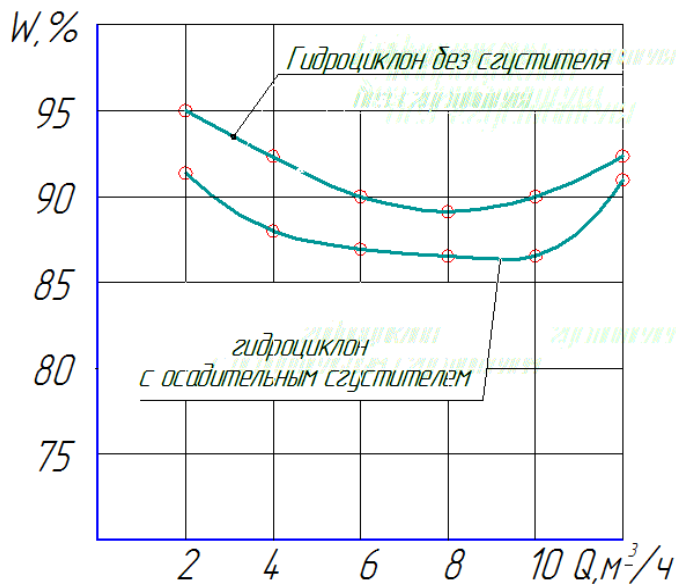


Рисунок 20 – Графические зависимости влияния подачи Q , $\text{м}^3/\text{ч}$ навозных стоков на влажность W осадка

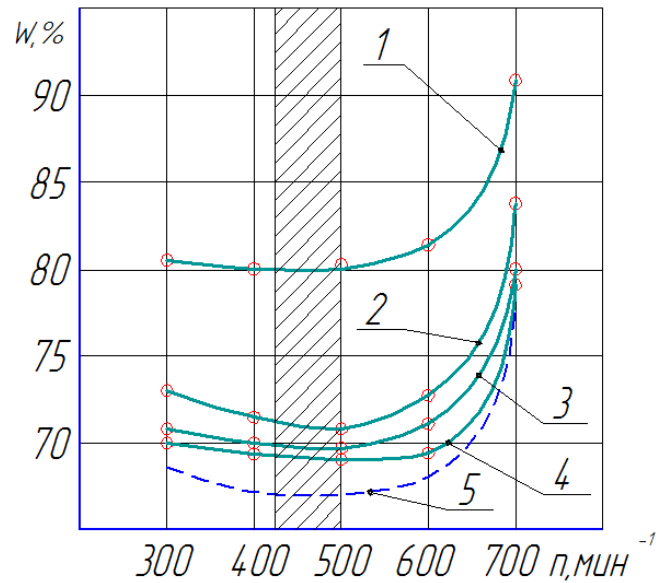


Рисунок 21 – Зависимости влияния частоты вращения ротора центрифуги на влажность твердой фракции навоза при различных величинах подачи исходной массы: 1 – $Q = 64,8 \text{ м}^3/\text{ч}$; 2 – $Q = 48,0 \text{ м}^3/\text{ч}$; 3 – $Q = 32,0 \text{ м}^3/\text{ч}$; 4 – $Q = 16,0 \text{ м}^3/\text{ч}$; 5 – теоретическая

Для определения предельного значения подачи исходной массы жидкого свиного навоза в зону фильтрования центрифуги были построены графические зависимости влияния подачи S исходной массы на влажность W твёрдой фракции (рисунок 22). Угол установки отжимающего ролика в зоне фильтрования центрифуги является одним из важнейших параметров, влияющих на качество получаемого продукта. Для экспериментального определения угла β отжимающий ролик устанавливался под разными углами к вертикальной оси ротора. Вместе с тем изменялась подача исходной массы жидкого навоза.

По результатам полученных данных построены экспериментальные зависимости влияния угла установки отжимающего ролика в зоне фильтрования центрифуги на влажность получаемой твёрдой фракции навоза при изменении подачи исходной массы жидкого навоза (рисунок 23).

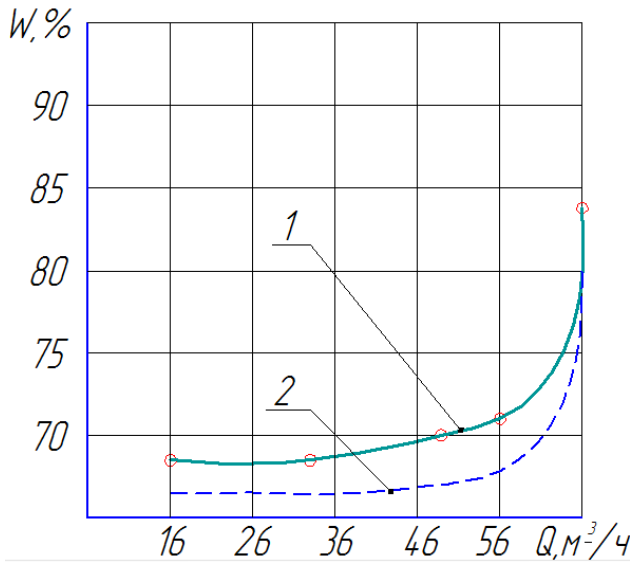


Рисунок 22 – Зависимость влажности W твердой фракции навоза от подачи исходной массы навоза Q : 1 – экспериментальная, 2 – теоретическая

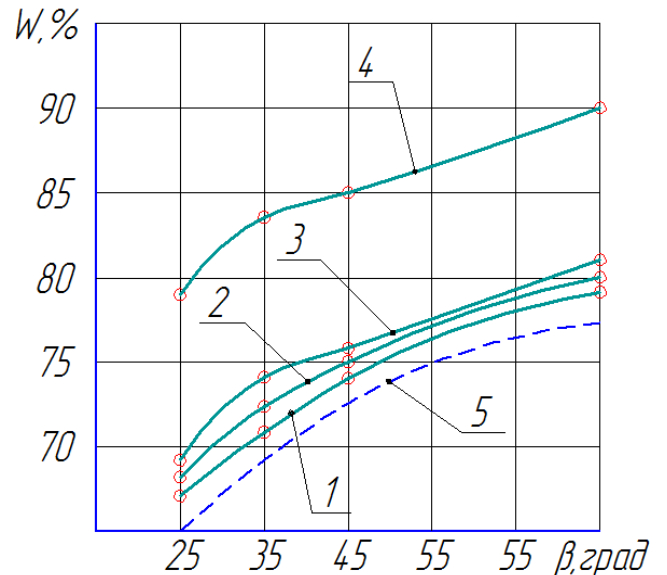


Рисунок 23 – Графические зависимости влияния угла β установки отжимающего ролика на влажность W , % твердой фракции навоза: 1 – $Q = 16,0 \text{ м}^3/\text{ч}$; 2 – $Q = 32,0 \text{ м}^3/\text{ч}$; 3 – $Q = 48,0 \text{ м}^3/\text{ч}$; 4 – $Q = 64,8 \text{ м}^3/\text{ч}$; 5 – теоретическая

Используя построенные графические зависимости, можно определить зону возможного угла установки ролика в зоне фильтрования центрифуги.

Предельный угол установки отжимающего ролика в зоне фильтрования центрифуги, по результатам проведенных исследований для подачи исходной массы, равной $50 \text{ м}^3/\text{ч}$, соответствует 35° . То есть в этом диапазоне углов установки работа отжимающего ролика эффективна и удовлетворяет необходимому и достаточному качеству получаемого продукта – влажности твердой фракции навоза.

В результате проведенных экспериментальных исследований рабочего процесса разделения и очистки жидкой фракции навозных стоков на опытном образце электрофлотационной установки были определены качественные показатели её работы.

Для проверки теоретических исследований были проведены экспериментальные исследования влияния угла наклона α фильтровальной поверхности относительно горизонтальной поверхности на влажность флотационного шлама. В результате проведенных опытов были получены данные, которые позволили построить графические зависимости (рисунок 24).

Анализируя полученные графические зависимости, можно сделать следующие выводы. Исходя из физико-механических свойств такой дисперсной среды, какой является флотационный шлам и конструктивных особенностей фильтровальной перегородки, существует некоторое предельное значение угла её наклона $\alpha = 30..35^\circ$, при увеличении которого процесс фильтрования неэффективен. Поэтому, для проведения экспериментальных исследований был установлен диапазон изменения угла наклона фильтровальной поверхности относительно горизонтальной поверхности, который соответствует $0 \leq \alpha \leq \alpha_{\text{пр}}$, где $\alpha_{\text{пр}}$ - предельное значение угла наклона ($\alpha_{\text{пр}} = 30...35^\circ$).

Анализируя полученные графические зависимости, можно сделать вывод о том, что с увеличением длины фильтровальной поверхности увеличивается и время пребывания флотационного шлама в зоне воздействия сил гравитационного фильтрования, а, следовательно, и снижается влажность осадка (шлама).

Но, так как по зоотехническим требованиям необходимо, чтобы влажность флотационного шлама соответствовала определенному значению, то и длина фильтровальной поверхности не должна превышать определенного значения. В противном случае, при малом значении длины фильтровальной поверхности, из объема флотационного шлама не будет успевать выделяться избыточная влага, и влажность не будет удовлетворять принятым требованиям. И, наоборот, при большой величине длины фильтровальной перегородки, из того же объема флотационного шлама уже не будет выделяться избыточная влага в силу своих физико-механических свойств.

Поэтому увеличение длины фильтровальной поверхности ведет лишь к увеличению материалоемкости устройства и затрат на весь процесс сбора и удаления флотационного шлама (рисунок 25).

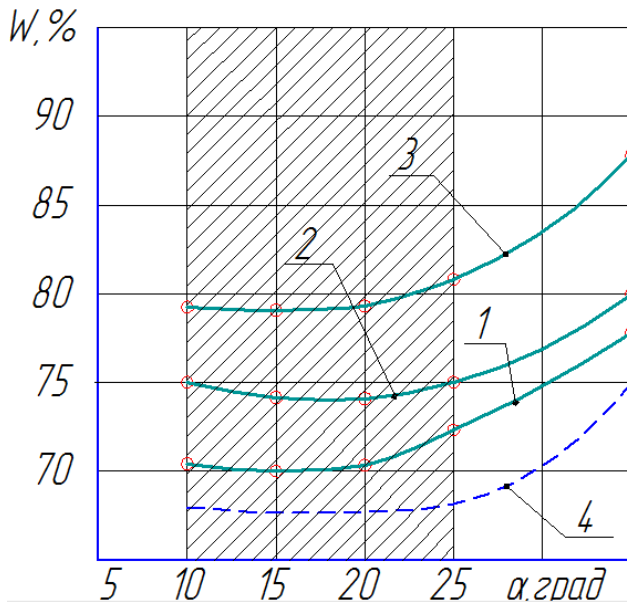


Рисунок 24 – Зависимости влияния угла наклона α фильтровальной поверхности на влажность W флотационного шлама, при различных скоростях транспортера: 1 – $v = 0,2$ м/с; 2 – $v = 0,3$ м/с; 3 – $v = 0,6$ м/с; 4 – теоретическая

Следовательно, как видно из приведенных графических зависимостей, длина фильтровальной поверхности должна соответствовать $L = 0,65 \dots 0,7$ м.

В пятой главе "Производственные испытания и экономическая оценка эколого-безопасной технологии утилизации и технических средств для разделения на фракции навозных стоков" производится расчет и сравнивается экономическая эффективность существующей и проектируемой технологии и технических средств для разделения навозных стоков на фракции.

Производственные испытания проводили на очистных сооружениях свинокомплекса ОАО «Алексеевский» Самарской области.

Экспериментальный образец центрифуги устанавливался в цехе разделения и подключался к напорному трубопроводу технологической линии очистных сооружений по которому насосами подавались свиные навозные стоки из приемного резервуара.

Согласно разработанной методике проведения экспериментальных исследований, необходимо было провести сравнительную оценку показателей

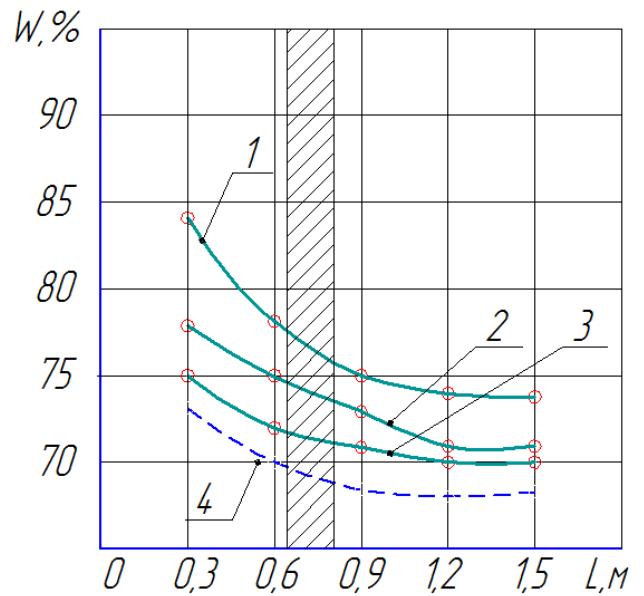
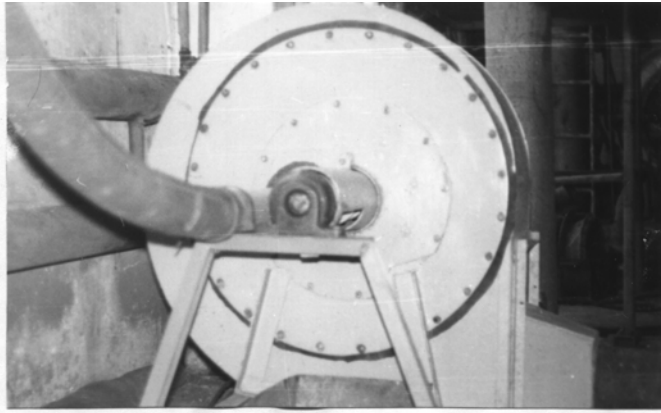


Рисунок 25 – Зависимости влияния длины фильтровальной поверхности L (м) на влажность флотационного шлама W (%), при различных скоростях движения транспортера v : 1 – $v = 0,6$ м/с; 2 – $v = 0,3$ м/с; 3 – $v = 0,2$ м/с.

работы исследуемой фильтрующей центрифуги с известной центрифугой конструкции ВНИИМЖ УОН-700М, на базе которой разработан и изготовлен экспериментальный образец центрифуги (рисунок 26).



а



б

Рисунок 26 – Центрифуга в производственных условиях: а – общий вид, б – выгрузка твердой фракции навоза

Разработанная технология обработки и утилизации навозных стоков позволяет получать на выходе качественные продукты разделения (твердая фракция навоза $W = 68\%$, а жидкая фракция – содержание взвешенных частиц не превышает 60 мг/л, также позволяет снизить прямые затраты на доочистку жидкой фракции навозных стоков до 221,3 руб/т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан способ переработки навозных стоков свиноводческих ферм и комплексов, предусматривающий первичное, вторичное и окончательное разделение на твердую и жидкую фракции. Для первичного разделения разработаны гидроциклоны – сгустители; для вторичного разделения – фильтрующие центрифуги; для окончательного разделения – тонкослойный отстойник и флотатор. В результате исследований решена проблема создания рациональных технологических способов и высокоэффективных средств механизации для разделения навозных стоков на фракции, которые отвечают зоотехническим, санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям.

2. Анализ научно-технической, патентной и специальной литературы позволил выявить наиболее перспективный способ обработки и утилизации навозных сто-

ков и выбрать наиболее эффективные в использовании технические средства для разделения навозных стоков на фракции, в соответствии с зоотехническими и экологическими требованиями.

3. По разработанным функциональной и операторной схемам процесса разделения навозных стоков на фракции на основе уравнений (1) и (2) материального баланса построен материальный граф системы, позволяющий оптимизировать потоки разделяемых навозных стоков по участкам всей технологической линии. Для каждого участка технологической линии переработки стоков были разработаны новые технические средства: для первичного разделения (сгущения): гидроциклоны - сгустители (патенты РФ №2257268, №117322, №122915), инерционные сгустители (патенты РФ №2465063, №117307); для вторичного разделения: центрифуги (авторские свидетельства СССР №1507451, №1585006); для глубокого (окончательного) разделения: тонкослойный отстойник (патент РФ №111770), флотатор (патент РФ №111847), устройство для разделения навоза (патент РФ №112584).

3. Математически смоделированы рабочие процессы разделения навозных стоков на фракции технических средств (8), (15), (19),. Теоретически обоснованы конструктивно-режимные параметры технических средств для разделения навозных стоков на фракции. Теоретически описан процесс фильтрования навозного стока в гидроциклоне - сгустителе фильтрующего типа, обоснованы параметры угла и длины дуги рабочей фильтровальной поверхности.

Для вторичного разделения жидкой фракции навозных стоков изучены научные предпосылки повышения эффективности разделения навозных стоков в центрифуге, математически описан процесс фильтрования под действием центробежных сил и определены основные конструктивные параметры ротора центрифуги, размеры отжимающего ролика и угла его установки в зоне фильтрования. Результаты экспериментальных исследований показали, что центрифуга имеет высокий показатель по обезвоживанию навозных стоков со свиного комплекса и соответствует 68%, что соответствует зоотехническим требованиям, предъявляемым к твердой фракции свиного навоза.

Для окончательного разделения навозных стоков обоснована конструкция электрофлотатора и механизма съема флотационного шлама.

В процессе экспериментальных исследований была подтверждена правильность теоретических предпосылок и определены конструктивные и технологические параметры новых технических средств для разделения навозных стоков на фракции.

Разработаны и изготовлены опытные образцы технических устройств для разделения навозных стоков на фракции. Проведены лабораторные исследования конструктивно-режимных параметров гидроциклона-сгустителя и определены следующие рабочие параметры: угол наклона рабочей части сгустителя соответствует 30° относительно вертикальной оси, длина рабочей части сгустителя $L = 0,30 \dots 0,38$ м. Опыты на экспериментальной установке гидроциклона, обеспеченного принудительно вращающимся корпусом с встроенным тарельчатым сгустителем предложенной конструкции. Установлено снижение влажности исходной суспензии на 8... 10% и повышение производительности процесса ее разделения.

4. Для опытной конструкции центрифуги экспериментально установлены следующие оптимальные конструктивно-режимные параметры: частота вращения ротора $n = 450 \dots 500$ мин⁻¹, угол установки отжимающего ролика $\beta = 35^\circ$, оптимальная производительность центрифуги 50 т/ч. Установлены параметры технических средств разделения навозных стоков на фракции и их влияние на качественные показатели работы. Разработаны частные методики и специальное оборудование для проведения исследований.

Проведены исследования и испытания в производственных условиях по оценке качества продуктов разделения навозных стоков; обоснована экономическая эффективность использования усовершенствованной эколого-безопасной технологии обработки и утилизации навозных стоков свинокомплексов и технических средств для разделения их на фракции. В результате проведения испытаний в производственных условиях были подтверждены преимущества предлагаемой технологической линии и оборудования для утилизации навозных стоков по сравнению с серийной.

Разработанный способ позволит получить экономию эксплуатационных затрат 221,3 руб. на тонну исходной массы навозных стоков свиноводческого комплекса.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

разработать и теоретически обосновать параметры технических средств для разделения свиных навозных стоков на фракции с целью повышения их производительности и снижения энергоемкости.

Основные результаты исследований опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Киров, Ю.А. Центрифуга для фракционного разделения свиного навоза [Текст] / Ю.А. Киров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. - №2. - С.57-58.

2. Киров, Ю.А. Результаты исследований процесса разделения на фракции навозных стоков в тонкослойном отстойнике [Текст] / Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им.Н.И.Вавилова. - 2010. - №2. - С.31-33.

3. Киров, Ю.А. Обоснование рабочего процесса обезвоживания навоза при его уборке из животноводческих помещений [Текст] / Ю.А. Киров, Ф.Г. Забиров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2010. - №3. - С.89-92.

4. Киров, Ю.А. Теоретическое обоснование рабочего процесса разделения на фракции навозных стоков в центрифуге [Текст] / Ю.А. Киров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2011. - №3. - С.109-113.

5. Киров, Ю.А. Исследование рабочего процесса сгущения навозных стоков в гидроциклоне-сгустителе [Текст] / Ю.А. Киров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2011. - №3. - С.128-132.

6. Киров, Ю.А. Совершенствование технологического процесса и технических средств утилизации навозных стоков путем разделения их на фракции [Текст] / Ю.А. Киров // Научное обозрение. - 2011. - №6. - С.141-146.

7. Киров, Ю.А. Теоретическое обоснование рабочего процесса разделения навозных стоков на фракции в гидроциклоне-сгустителе [Текст] / Ю.А. Киров // Научное обозрение. - 2011. - №6. - С. 158-163.

8. Киров, Ю.А. Результаты исследований установки для разделения навоза на фракции при удалении из животноводческих помещений [Текст] / Ю.А. Киров, Ф.Г. Забиров, Д.Н. Котов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2012. - №2. - С.71-74.

9. Киров, Ю.А. Отстойник для разделения навозных стоков на фракции [Текст] / Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин, Д.Н. Котов // Техника в сельском хозяйстве. - 2012. - №1. - С.14-16.

10. Киров, Ю.А. Обоснование конструктивно-режимных параметров флотационной установки для разделения на фракции и очистки навозных стоков [Текст] / Ю.А. Киров // Техника и оборудование для села. - 2012. - №2. - С.17-19.

11. Киров, Ю.А. Повышение эффективности рабочего процесса сгущения навозных стоков в гидроциклоне [Текст]/ Ю.А. Киров // Техника и оборудование для села. - 2012. - №3. - С.25-27.

12. Киров, Ю.А. Результаты экспериментальных исследований центрифуги для разделения навозных стоков на фракции [Текст] / Ю.А. Киров // Научное обозрение. - 2012. - №1. - С.140-145.

13. Киров, Ю.А. Результаты лабораторных исследований рабочего процесса сгущения навозных стоков в гидроциклоне-сгустителе [Текст] / Ю.А. Киров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И.Вавилова. - 2012. - №4. - С.44-46.

14. Киров, Ю.А. Разработка технологической линии для разделения навозных стоков [Текст] / Ю.А. Киров // Техника и оборудование для села. - 2012. - №4. - С. 24-26.

15. Киров, Ю.А. Совершенствование рабочего процесса разделения на фракции навозных стоков во флотационной установке [Текст] / Ю.А. Киров // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - 2012. - № 26. - С. 396-400.

16. Киров, Ю.А. Инерционный сгуститель навозных стоков [Текст] / В.А. Мухин, Ю.А. Киров, Д.Н. Котов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2013. - №1. - С.12-14.

17. Киров, Ю.А. Основные конструкционно-режимные параметры флотационной установки [Текст] / В.А. Мухин, Ю.А. Киров. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2013. - №2. - С.14-15.

Авторские свидетельства и патенты

18. А.с. 1507451 СССР, МКИ³ В04 В3/00.. Центрифуга [Текст] / В.Г. Коба, Ю.А. Киров (СССР). - № 4348833/30-13 ; заяв. 24.12.87 ; опубл. 15.09.89, Бюл. №34. - 3 с. : ил.

19. А.с. 1585006. СССР, МКИ³ В04 В3/00. Центрифуга [Текст] / В.Г. Коба, Ю.А. Киров, А.А. Киров (СССР). . - № 4412530/30-13 ; заяв. 29.02.88 ; опубл. 15.08.90, Бюл. №30. - 2 с. : ил.

20. Пат. 2471402 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Способ переработки животноводческих стоков [Текст] / Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин, Т.Ю. Козлова, Д.Н.Котов, В.С. Зотеев ; заявители и патентобладатели : Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин, Т.Ю. Козлова, Д.Н.Котов, В.С. Зотеев - № 2011130105/13 ; заявл. 19.07.2011 ; опубл. 10.02.2013, Бюл. №4. - 4 с. : ил.

21. Пат. № 2257268 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Гидроциклон-сгуститель [Текст] / Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова, Ю.В. Ларионов ; заявитель и патентобладатель ФГОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия - №2004121788/15 ; заяв. 15.07.2004 ; опубл. 27.07.2005, Бюл. №21. - 7 с. : ил.

22. Пат. № 117322 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Гидроциклон-сгуститель [Текст] / Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин , Т.Ю. Козлова ; заявитель и патентобладатель ФГОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия - №2011146391/05 ; заяв. 15.11.2011 ; опубл. 27.06.2012, Бюл. №18. - 2 с. : ил.

23. Пат. 122915 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Гидроциклон-сгуститель [Текст] / Ю.А. Киров, Н.В. Батищева, Т.Ю. Козлова ; заявитель и патентобладатель ФГОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия - №2012107361/05 ; заяв. 28.02.2012 ; опубл. 20.12.2012, Бюл. №35. - 2 с. : ил.

24. Пат. 2465063 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Инерционный сгуститель [Текст] / Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова, Д.Н. Котов ; заявители и патентобладатели : Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова, Д.Н. Котов - №2011145625/05 ; заяв. 09.11.2011 ; опубл. 27.10.2012, Бюл. №30. - 6 с. : ил.

25. Пат. 117307 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Инерционный сгуститель [Текст] / Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин , Т.Ю. Козлова ; заявитель и патентобладатель ФГОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия - №2011151025/05 ; заяв. 14.12.2011 ; опубл. 27.06.2012, Бюл. №18. - 2 с. : ил.

26. Пат. 111770 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Тонкослойный отстойник [Текст] / Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин, Д.Н. Котов; заявитель и патентобладатель ФГОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия - №2011125278/05; заяв. 20.06.2011; опубл. 27.12.2011, Бюл. №36. - 2 с. : ил.

27. Пат. 111847 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Флотатор [Текст] / Ю.А. Киров, В.С.Шевяков, Д.Р. Костерин, Д.Н. Котов : заявители и патентобладатели: Ю.А. Киров, В.С.Шевяков, Д.Р. Костерин, Д.Н. Котов - №2011127717/05; заяв. 15.11.2011; опубл. 06.07..2012, Бюл. №36. - 2 с. : ил.

28. Пат. 112584 Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00. Устройство для разделения навоза на фракции при транспортировании [Текст] / Ю.А. Киров, Ф.Г. Забиров, Д.Н. Котов Российская Федерация, МПК⁷ А01С 3/00; заявитель и патентобладатель ФГОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия - №2011125275/13; заяв. 20.062011.2011; опубл. 20.01.2012, Бюл. №2. - 2 с. : ил.

В сборниках научных трудов и материалах научных конференций

29. Киров, Ю.А.Фильтрующие центробежные разделители жидкого навоза на твердую и жидкую фракции [Текст] / Ю.А. Киров // Повышение эффективности с/х техники : Тезисы докладов научно-производственной конференции. - Уфа, 1988. - С. 41-42.

30. Киров, Ю.А. Фильтрующая центрифуга для разделения жидкого навоза на фракции [Текст] / Ю.А. Киров, А.А. Киров // Тезисы докладов Всесоюзной научно – технической конференции по современным проблемам земледельческой механики. – М., 1989 - С. 149.

31. Киров, Ю.А. Исследование процесса очистки стоков животноводческих комплексов методом флотации [Текст] / Ю.А. Киров, В.С. Шевяков // Совершенствование механизированных процессов сельскохозяйственной техники : сборник научных трудов СГСХА. - Самара,1993. - С.84-89.

32. Киров, Ю.А. Разработка системы очистки и обеззараживания стоков животноводческих ферм и комплексов [Текст] / Ю.А. Киров, В.С. Шевяков // Со-

вершенствование механизированных процессов сельскохозяйственной техники : сборник научных трудов СГСХА. - Самара,1993. - С. 102-106.

33. Киров, Ю.А. Обоснование конструктивно - технологической схемы центрифуги для обезвоживания жидкого навоза [Текст] / Ю.А. Киров, В.А. Климанов // Совершенствование механизированных процессов с/х техники : сборник научных трудов СГСХА. - Самара. 1993. - С.99-101.

34. Киров, Ю.А. Обоснование линии по переработке и утилизации бесподстилочного навоза [Текст] / Ю.А. Киров, В.С. Шевяков // Энергосберегающие технологии механизации сельского хозяйства : сборник научных трудов СГСХА. - Самара, 2000. - С.64-65.

35. Киров, Ю.А. Определение степени очистки навозных стоков в электрофлотационной установке [Текст] / Ю.А. Киров, В.С. Шевяков // Энергоресурсосбережение в механизации сельского хозяйства : сборник научных трудов СГСХА. - Самара, 2000. – С.65-66.

36. Киров, Ю.А. Теоретическое обоснование процесса очистки жидкой фракции навоза на флотационной установке [Текст] / Ю.А. Киров, В.С. Шевяков // Актуальные агроинженерные проблемы АПК : сборник научных трудов СГСХА. - Самара, 2001. - С. 159 –161.

37. Киров, Ю.А. Флотатор для обработки навозных стоков [Текст] / Ю.А. Киров, В.С. Шевяков // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. - Самара. 2002. - С.342-344.

38. Киров, Ю.А. Перспективные методы обработки навозных стоков [Текст] / Ю.А. Киров, В.С. Шевяков // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. - Самара. 2002. - С.344-346.

39. Киров, Ю.А. Научные предпосылки совершенствования процесса разделения неоднородных дисперсных сред [Текст] / Ю.А. Киров, Ю.З. Кирова // Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в

АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. - Самара. 2003. - С.86-89.

40. Киров, Ю.А. Оптимизация рабочего процесса разделения неоднородных дисперсных систем в сельском хозяйстве [Текст] / Ю.А. Киров, Ю.З. Кирова // Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. - Самара. 2003. - С.89-92.

41. Киров, Ю.А. Исследование конструктивно - режимных параметров технологической линии по утилизации стоков животноводческих комплексов [Текст] / Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова // Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. - Самара. 2003. - С.92-95.

42. Киров, Ю.А. Сгуститель суспензии [Текст] / Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова // Актуальные инженерные проблемы АПК в XXI веке : сборник научных трудов инженерной секции Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - Самара. 2004. - С.331-334.

43. Киров, Ю.А. Гидроциклон [Текст] / Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова // Актуальные инженерные проблемы АПК в XXI веке: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - Самара. 2004. - С.334-338.

44. Киров, Ю.А. Оптимизация комплекта оборудования для утилизации стоков животноводческих предприятий [Текст] / Ю.А. Киров, Ю.З. Кирова // Актуальные инженерные проблемы АПК в XXI веке : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - Самара. 2004. - С.340-344.

45. Киров, Ю.А. Теоретические исследования процесса разделения животноводческих стоков в инерционном сгустителе [Текст] / Ю.А. Киров, А.А.

Егорова // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. - Самара. 2005. - С.270-273.

46. Киров, Ю.А. Классификация гидроциклонов для разделения на фракции навозных стоков [Текст] / Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. - Самара. 2005. - с.273-275.

47. Киров, Ю.А. Обзор конструкций центрифуг (декантеров) для обработки стоков животноводческих предприятий [Текст] / Ю.А. Киров, Д.Р. Костерин // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования: сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. - Самара. 2005. - с.284-288.

48. Киров, Ю.А. Состояние вопроса по механизации процесса разделения стоков животноводческих комплексов гравитационными методами [Текст] / Ю.А. Киров, В.В. Шигаева // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования: сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. - Самара. 2005. - с.288-291.

49. Киров, Ю.А. Инерционный сгуститель для разделения на фракции стоков животноводческих комплексов [Текст] / Ю.А. Киров, А.А. Егорова // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. - Самара. 2005. - с.291-294.

50. Киров, Ю.А. Теоретическое обоснование процесса обезвоживания стоков в гидроциклоне - сгустителе [Текст] / Ю.А. Киров, А.А. Егорова // Известия ФГОУ ВПО «Самарская ГСХА». - 2006. - №3. - С.191-193.

51. Киров, Ю.А. Гидроциклон - сгуститель [Текст] / Ю.А. Киров, Т.Ю. Козлова // Известия ФГОУ ВПО «Самарская ГСХА». - 2006. - №3. - С.193-194.

52. Киров, Ю.А. Разработка устройства для разделения навоза на фракции при его уборке из животноводческих помещений [Текст] / Ю.А. Киров, Ф.Г. Забиров // Известия ФГОУ ВПО «Самарская ГСХА». - 2009. - №3. - С.94-96.

53. Киров, Ю.А. Повышение эффективности технологического процесса и технических средств утилизации навозных стоков путем разделения их на фракции [Текст] / Ю.А. Киров // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. : сборник научных трудов СГАУ. - Саратов, 2011. - С. 82-84.

54. Киров, Ю.А. Разработка эколого-безопасной технологии утилизации навозных стоков [Текст] / Ю.А. Киров // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения профессора Рыбалко А.Г. : сборник научных трудов СГАУ. - Саратов, 2011. - С.62-64.

55. Киров, Ю.А. Повышение эффективности технологического процесса и технических средств утилизации навозных стоков путем разделения их на фракции [Текст] / Ю.А. Киров // Научно-технический прогресс в животноводстве – инновационные технологии и модернизация в отрасли . Материалы 14-й Международной научно-практической конференции ГНУ ВНИИМЖ : сборник научных трудов. - Подольск, 2011. - С.234-239.