

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Д.Ф. Кольга, Н.В. Казаровец**

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ  
И КОМПЛЕКСАХ**

Минск  
БГАТУ  
2014

УДК 631.22.018.631.95

**Кольга, Д.Ф.** Новые технологии и технические средства утилизации навоза на животноводческих фермах и комплексах / Д.Ф. Кольга, Н.В. Казаровец. – Минск : БГАТУ, 2014. – 144 с. : ил. – ISBN 978-985-519-664-9.

Изложены сведения об удобрительных свойствах навоза, его влиянии на окружающую среду и проблеме его утилизации. Рассмотрены новые технологии и технические средства уборки навоза на молочно-товарных фермах. Дана математическая модель процесса разлива навоза в замкнутом канале. Обоснованы способы предотвращения отложения солей при гидротранспорте навозных стоков.

Для научных работников, преподавателей учреждений высшего и среднего специального образования, студентов и специалистов АПК.

Табл. 11. Ил. 27. Библиогр.: 30 назв.

*Рецензенты:*

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
первый заместитель генерального директора РУП

«НПЦ НАН Беларуси по животноводству» *В.Н. Тимошенко*;  
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник  
РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

*В.И. Передня*

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
Глава 1. УДОБРИТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА НАВОЗА.....	9
Глава 2. ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ ФЕРМЫ И КОМПЛЕКСЫ – ИСТОЧНИК ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	13
Глава 3. ТИПЫ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ, СПОСОБЫ СОДЕРЖАНИЯ КРС И ОСОБЕННОСТИ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА.....	20
3.1. Типы животноводческих помещений.....	20
3.2. Способы содержания крупного рогатого скота.....	22
Глава 4. ВИДЫ И НОРМЫ РАСХОДА ПОДСТИЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	25
Глава 5. ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ.....	28
Глава 6. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УБОРКИ НАВОЗА.....	42
6.1. Самотечная система непрерывного действия.....	43
6.2. Самотечная система периодического действия.....	45
6.3. Рециркуляционный способ удаления навоза.....	49
6.4. Энергосберегающий метод удаления навоза на свиноводческих комплексах.....	55
6.5. Машины и оборудование для подготовки навоза к использованию.....	58
6.6. Расчет оптимального количества машин для использования удобрений.....	62
6.7. Расчет гидронапорных трубопроводных установок.....	63
Глава 7. ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАЗМЫВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЗАМКНУТОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ.....	68
Глава 8. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА КОМПЛЕКСАХ И ФЕРМАХ.....	78
Глава 9. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕЙ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ ОТХОДОВ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	81

Глава 10. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ГИДРОТРАНСПОРТА, НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	84
Глава 11. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАВОЗНЫХ СТОКОВ И ОСАДКОВ СОЛЕЙ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	87
11.1. Изучение химического состава жидкой и твердой фаз.....	87
11.2. Изучение растворимости осадка в воде.....	90
11.3. Определение хрупкости осадка.....	91
Глава 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ НАВОЗНЫХ СТОКОВ.....	95
12.1. Причины, вызывающие выпадение солей в навозотранспортном оборудовании животноводческих ферм и комплексов.....	99
12.2. Методы борьбы с солеотложением в гидротранспортном оборудовании.....	103
Глава 13. ВЫБОР МЕТОДА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ.....	105
Глава 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕОРГАНИЧЕСКОГО КОАГУЛЯНТА СОВМЕСТНО С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ НАВОЗНЫХ СТОКОВ.....	109
Глава 15. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОАГУЛЯЦИИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	115
Глава 16. ОРОШЕНИЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМИ СТОКАМИ.....	118
Глава 17. САНИТАРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАВОЗА.....	123
17.1. Система контроля санитарного состояния животноводческих ферм.....	127
Глава 18. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО НАВОЗА.....	130
18.1. Обеззараживание навоза.....	130
18.2. Обеспечение экологической безопасности животноводческих предприятий.....	136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Концентрация и специализация животноводства на основе создания крупных животноводческих комплексов обоснована как экономическими, так и социальными условиями жизни.

Крупные животноводческие комплексы позволяют сократить затраты труда в 3–10 раз, расход кормов и себестоимость продукции – более чем в 2 раза. Механизированный труд становится более привлекательным, что позволяет решить кадровую проблему.

Однако перевод животноводства на промышленную основу выявил ряд проблем. Основные из них следующие: определение оптимального размера комплексов, соответствующего объему кормопроизводства; снижение себестоимости продукции и объемов капитальных вложений, вопросы утилизации отходов, влияющие на объемы капитальных вложений; воздействия на окружающую среду и многие социальные, экономические и экологические аспекты.

Высокая концентрация скота на комплексах и фермах обуславливает образование значительных объемов бесподстилочного навоза (60 % от всех органических удобрений), использование которого создает целый ряд трудностей.

С одной стороны, это огромный резерв питания растений, а с другой – при оптимальной норме азота в условиях республики 200 кг/га потребуется, без применения технологии, 300 тыс. га сельхозугодий для внесения навозных стоков.

Проведенные в нашей стране исследования, а также обобщение зарубежного опыта свидетельствуют о том, что бесподстилочный навоз, получаемый на животноводческих комплексах, с учетом требований по защите окружающей среды от загрязнения нитратами, тяжелыми металлами, может быть эффективно использован для удобрения. Но для этого требуется соблюдение целого ряда принципиальных положений:

- правильный выбор места строительства комплексов и выделение необходимой площади сельхозугодий для полного использования навоза в качестве удобрения;

- получение на животноводческих комплексах бесподстилочного навоза влажностью не более 95 %;

– предварительное выдерживание навоза в карантинных навозохранилищах, имеющих устройства для гомогенизации, дозаторы и химреагенты для обеззараживания;

– применение оптимальных норм навоза с учетом особенностей удобряемых культур;

– соблюдение максимально допустимых затрат на подготовку и внесение единицы питательных веществ навоза, используемого для удобрительных поливов.

Как показывает практика, при строительстве комплексов эти положения нарушаются, что создает трудности не только для развития промышленного животноводства, но и затрудняет использование на удобрение многотоннажных отходов животноводства.

Поэтому предстоит решить две задачи: 1) подбор участков для внесения стоков посредством компостирования, вывозки мобильным транспортом и орошения земель; 2) разделение стоков на фракции и подготовка их для утилизации на сельскохозяйственных угодьях различными способами. Вместе с тем отсутствие рекомендаций по утилизации стоков применительно к условиям республики затрудняет эффективное использование жидкой органики и обеспечение охраны окружающей среды. Применяемые технологии навозоудаления, обработки, утилизации жидкого навоза и стоков зачастую не в полной мере обеспечивают экологическую безопасность промышленного животноводства.

Утилизация стоков и природоохранные мероприятия ведутся не везде комплексно: отсутствует экологически обоснованная концепция развития животноводства на промышленной основе на длительную перспективу, нет единого генерального проектировщика, что приводит к несогласованности.

В Беларуси первые земельные поля орошения ЗПО введены в 1975 г. на свинокомплексе «Днепр» (Оршанский район) на 24 тыс. гол. Однако эффективность работы ЗПО до сих пор практически не изучена, строительство вводится без глубокой научной проработки. В республике нет ни одного законченного комплексного опыта по оценке влияния стоков на урожай, качество растениеводческой продукции и природные воды. Не изучена самоочищающаяся способность различных типов почв в зависимости от внесения стоков и других факторов; нет оценки конструкций мелиоративных систем, режимов орошения, дождевальной техники и

решения других вопросов, обеспечивающих рациональное функционирование полей утилизации стоков. Обобщение практики проектирования, строительства и эксплуатации полей орошения выявило, что пока не достигнуты главные цели орошения стоками: укрепление кормовой базы и очистка сточных вод. Одна из причин этого состоит в том, что практика утилизации стоков опережает научные разработки, а опыт других зон требует корректировки для условий нашей республики.

В зарубежных странах жидкий навоз и стоки используются, главным образом, для удобрения и увлажнения сельскохозяйственных угодий. Этот путь позволяет более экономно расходовать водные ресурсы, значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных угодий, а также предотвратить загрязнение водных источников и окружающей среды.

Как показал отечественный и зарубежный опыт, сточные воды, фильтруясь через почвенные слои, очищаются от различных взвешенных и растворенных веществ за счет физико-химических процессов и активного воздействия микроорганизмов, населяющих почву. Степень почвенной очистки и качество выращиваемой продукции зависит от химического состава стоков, количества содержащихся в них загрязнителей, способов утилизации и поливного режима.

Срок окупаемости капитальных вложений в строительство оросительной сети с использованием животноводческих стоков колеблется от 6 до 12 лет, что отвечает нормативам.

Экономическая эффективность жидкого навоза несколько ниже обычного твердого навоза и находится в тесной зависимости от степени разбавления экскрементов водой, расстояний транспортировки и технологии внесения.

Несовершенство технологических процессов удаления и использования навоза на животноводческих комплексах приводит к большим экономическим и экологическим издержкам. Так, потеря каждой тонны экскрементов, согласно нормам, эквивалентна потере 40 кг зерна. Если учесть, сколько органики теряется на крупных комплексах, то при правильном ее использовании возможно было бы получить дополнительно зерно без использования минеральных удобрений.

Один из факторов успешности животноводства – наличие квалифицированных специалистов. У нынешних хозяев животноводческих комплексов есть большой соблазн экономить на зарплате работников, устанавливая ее на минимальном уровне, особенно у низкого звена персонала, непосредственно обслуживающего животных. Добросовестный квалифицированный работник, знающий цену своего труда, за низкую зарплату работать не пойдет. Вот и принимают, с учетом дефицита квалифицированных рабочих рук на селе, на работу всех, кто соглашается. Поскольку в структуре затрат зарплата персонала составляет 7–10 %, поэтому определяет производительность цистерн-разбрасывателей и общую сумму затрат на зарплате нет смысла экономить, экономить следует на расходных материалах, запчастях, ГСМ, ликвидации потерь воды, кормов, электроэнергии, тепла и т. п.

## Глава 1. УДОБРИТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА НАВОЗА

Навоз – ценное органическое удобрение, в состав которого входят экскременты животных, подстилочный материал и вода. Навоз является главным поставщиком необходимых для роста растений органических минеральных веществ, микроэлементов, источником увеличения содержания в почве гумуса. Он играет важную роль в круговороте веществ в природе, так как с ним возвращается в почву значительное количество органического вещества и минеральных соединений. Навоз содержит почти все необходимые для растений питательные вещества и в первую очередь азот, фосфор, калий, магний, железо, а также микроэлементы – бор, молибден, кобальт, марганец, медь и др.

Внесение навоза в почву значительно повышает ее плодородие, улучшает физические и химические свойства. Каждая тонна внесенного в почву навоза обеспечивает дополнительный сбор урожая культур севооборота. С навозом в почву попадает огромное количество полевых микроорганизмов, что значительно увеличивает микробиологическую деятельность в почве. Навоз является одним из источников двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ), необходимого для усиления воздушного питания листьев и синтеза органических веществ.

Состав и удобриельные свойства навоза зависят от вида животных, корма, подстилки, системы уборки и хранения. Например, конский и овечий навоз содержат больше азота и калия, чем навоз от крупного рогатого скота (КРС) и свиней. Процентное содержание питательных веществ в навозе колеблется в зависимости от корма животных и применяемой для скота подстилки, а также от способа хранения. Торфяная подстилка способствует более полному, чем соломенная, сохранению в навозе азота и других элементов. При скармливании животным большого количества концентрированных кормов получается навоз более высокого удобриельного качества. Навоз, уложенный в штабеля или в навозохранилище, теряет азота меньше, чем при хранении в бесформенных кучах.

В процессе хранения под действием микроорганизмов навоз подвергается разложению. В зависимости от стадии разложения различают полуразложившийся и разложившийся (перегной) навоз. Свежим считается навоз, полученный сразу после удаления из животноводческого помещения и еще не подвергшийся разложению.

Удобрительное свойство навоза сохраняется в течение нескольких лет. Наиболее полезным для растений считается навоз перепревший и полуперепревший, но не свежий. Свежий навоз вреден для растений. Он содержит семена сорных трав, болезнетворные микробы, поэтому его надо компостировать или сложить на два-три летних месяца в штабеля для разложения. При внесении свежего навоза, особенно богатого соломой, в первое время (примерно месяц после внесения) растения часто испытывают недостаток азота. При внесении перегноя (перепревшего навоза) растения обычно не испытывают дефицита азота. Чистый, без подстилки, навоз считается более сильным удобрением, так как содержит больше питательных веществ, чем навоз с подстилкой, особенно из опилок и стружек. Однако подстилочный навоз больше рыхлит почву, прежде всего, на тяжелых суглинистых почвах. На почвах с высоким содержанием гумуса можно обойтись и без навоза, применяя только минеральные удобрения и компост из гниющих органических веществ.

Навоз в почве действует длительное время – до 3 лет. При перегнивании в штабеле навоз теряет от 30 до 75 % своей массы. Однако в перегное содержится больше азота, чем в свежем навозе (в свежем – 0,5 % в перегное – 0,73 %). Навоз должен храниться в плотных штабелях высотой до 1,5 м, сверху укрытых торфом или землей слоем 15 см. На зиму его покрывают еще и пленкой, чтобы не вымывались питательные вещества. За 2–3 года навоз при перегнивании превращается в перегной – сыпучую темную массу. Если держать его в небольших кучах, он быстро пересыхает, азот же при этом улетучивается. Если нет возможности хранить навоз отдельно, то его лучше компостировать с другими органическими гниющими веществами. Если навоз в навозной куче или компосте пересыхает, его увлажняют.

Различают четыре стадии разложения навоза. У слабо разложившегося (свежего) цвет и прочность соломы изменяются незначительно. У полуперепревшего навоза солома становится темно-коричневой, теряет прочность и легко разрывается. Навоз этой стадии теряет до 30 % первоначальной массы. Перепревший навоз представляет собой черную мажущую массу. Солома разлагается полностью, навоз теряет до 50 % массы.

Перегной – рыхлая землистая масса. В этой стадии разложения потери первоначальной массы достигают 75 %.

В зависимости от содержания воды различают твердый навоз (с влажностью 70–85 %), полужидкий бесподстилочный (менее 92 %), жидкий (более 93 %) и навозные стоки (более 93–97 %). Выход навоза находится в зависимости от вида и возраста животных, способов содержания и рациона кормления. Ориентировочно применяются следующие показатели: среднесуточный выход экскрементов составляет у крупного рогатого скота 8–10 %, у свиней – 5–8 % от живой массы.

Для получения твердого навоза животных содержат на подстилке (обычно глубокой) из расчета на 1 гол. КРС в сутки: соломы – 4–6 кг, подстилочного (сфагнового) торфа – 3–4 кг, фрезерной торфокрошки, отвечающей требованиям ГОСТа – 10–15 кг; на свиноматку с приплодом: соломы – 5–6 кг, сфагнового торфа – 3–4 кг. Полужидкий (пастообразный) навоз получается при содержании крупного рогатого скота и свиней без подстилки или в случае, когда применяется подстилка, из расчета 1,0–1,5 кг резаной соломы, торфа или опилок на 1 гол. КРС. Жидкий навоз получается при содержании крупного рогатого скота и свиней без применения подстилки при гидравлических методах уборки помещений. Он состоит из смеси кала и мочи. При получении жидкого навоза в навозные каналы для облегчения транспортировки навозной массы добавляется вода. Сточные воды получают при очистке, мойке и дезинфекции животноводческих помещений.

Об удобрительной ценности жидкого навоза можно судить по содержанию в нем основных питательных веществ, поглощаемых из почвы растениями, – азота, фосфора, калия. Специалисты отмечают значительное колебание их содержания в зависимости от вида животных, технологии кормления и содержания, состав кормов.

Жидкий навоз, получаемый в промышленном животноводстве, является ценным вторичным сырьем, так как свыше 40 % питательных веществ рациона остается в нем. Использование жидкого навоза в качестве удобрений является большим дополнительным резервом повышения плодородия почв и, в целом, упрочнения кормовой базы комплексов. Однако использование его без предварительной обработки, а также невыполнение санитарных правил могут привести к загрязнению среды.

По своему физическому составу и химическим свойствам навоз, получаемый на животноводческих комплексах, существенно отличается от традиционного подстилочного навоза, в частности высокой влажностью и другими свойствами, усложняющими его применение. Жидкий навоз удобнее использовать после разделения его на фракции, так как облегчается применение специализированной техники.

С повышением концентрации животных на комплексе увеличивается объем жидкого навоза, поэтому гидротранспортировка его по трубопроводам с распределением на полях орошения дождевальными и полевыми установками становится более выгодной, чем вывоз цистернами.

Ценность навоза сельскохозяйственных животных как высококачественного органического удобрения дополняется возможностью использования его как энергетического материала путем анаэробной переработки его в биогаз. Эта технология основана на свойстве навоза выделять горючий газ (метан) в процессе разложения без доступа воздуха. При этом кроме метана выделяются углекислый газ, сероводород и другие газы, но, благодаря высокому содержанию метана (до 70 %), смесь этих газов приобретает способность гореть с образованием соответствующего количества энергии. Оставшаяся после такой естественной переработки масса представляет собой качественное обеззараженное органическое удобрение.

## **Глава 2. ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ ФЕРМЫ И КОМПЛЕКСЫ – ИСТОЧНИК ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Опыт работы крупных животноводческих ферм и комплексов показывает, что интенсификация животноводства часто не сопровождается улучшением гигиенических и ветеринарно-санитарных условий в животноводческих помещениях, оказывает отрицательные воздействия на состояние здоровья животных, значительно увеличивает загрязнение окружающей среды. Большая концентрация и частые перегруппировки животных на ограниченной площади, интенсивное, но не всегда сбалансированное кормление, действие различных неблагоприятных факторов снижают их естественную резистентность.

У микроорганизмов, обитающих в воздухе животноводческих помещений и прилегающей к ним территории, под воздействием различных факторов могут изменяться морфологические, биохимические, серологические и другие свойства, в результате чего возникают формы микробов, которые нередко вызывают скрытые (латентные) инфекции, которые трудно диагностировать, а потому и сложно разрабатывать меры по их ликвидации. Потери от субклинических больных животных не менее, чем при вспышках эпизоотии.

Основными источниками загрязнений почвы и водоемов от животноводческих предприятий являются навоз, моча, техническая вода и дезинфицирующие средства, используемые при ветеринарно-санитарных мероприятиях. При производстве 1 кг молока получается до 5 кг навоза, 1 кг говядины – до 25 кг.

По данным Всемирной организации здравоохранения, навоз может быть фактором передачи более 100 видов возбудителей болезней животных, в том числе небезвредных для человека. Особенно опасен жидкий навоз, получаемый при бесподстильном типе содержания животных. Поточная микрофлора в жидком навозе остается жизнеспособной длительное время, что обеспечивается за счет высокой влажности и большого содержания в нем аммиака и хлоридов, препятствующих размножению термофильных микроорганизмов. В связи с этим биотермические процессы в сухом навозе не

развиваются, и биотермического его обеззараживания не происходит. По данным И.Д. Гришаева, внесение бесподстильного навоза КРС и свиней на поля в дозах 50–100 т/га сопровождается значительным бактериальным загрязнением почвы.

Как свидетельствует практика эксплуатации промышленных животноводческих комплексов, птицефабрик, игнорирование экологического подхода к утилизации полужидкого, жидкого навоза, помета, навозных, пометных стоков обусловило резкое снижение качества продукции растениеводства, опасное загрязнение грунтовых, поверхностных вод, воздушного бассейна, рост заболеваемости животных, населения экологической этиологии. Уровень заболеваемости населения в районах функционирования крупных животноводческих предприятий и птицефабрик в 1,6 раза превышает ее средний показатель (по данным Российской Федерации). Также установлено, что неблагоприятная экологическая обстановка на 15–20 % снижает репродуктивные способности животных и человека. Районы расположения промышленных животноводческих и птицеводческих объектов, как правило, являются экологически неблагоприятными, в ряде случаев определяются как зоны экологического бедствия, такие же примерно данные и в республике. Наибольший уровень экологических нагрузок испытывают поля утилизации бесподстильного навоза (помета). Наличие данных земель является постоянным источником загрязнения биосферы. Экологический ущерб от нарушения регламентов использования бесподстильного навоза (помета) может оцениваться и ущерб от заболевания населения и животных не поддаются оценке даже приблизительно.

В отличие от традиционных видов органических удобрений, бесподстильный навоз (помет) характеризуется низким содержанием органического вещества, биогенных элементов, их несбалансированным соотношением, высоким инфекционным, инвазионным потенциалом, значительным содержанием токсичных соединений (метана, скатола, меркаптана, фенолов, крезола, аммиака, сероводорода и пр.), угнетающих рост и развитие растений.

Известно, что одним из факторов, обуславливающих низкое качество бесподстильного навоза (помета), является чрезмерное содержание в них технологической воды, особенно при удалении навоза гидросмывом. Как правило, на существующих свинокомплексах влажность стоков составляет 98,3–99,1 %. Снижение влажности

лишь на 1,5–2,0 % позволяет сократить объемы бесподстилочного навоза вдвое, соответственно, увеличить содержание в нем биогенных элементов: азота – с 0,08 до 0,15 %; фосфора – с 0,035 до 0,07 %; калия – с 0,04 до 0,08 %. Однако гидросмыв по-прежнему является основной технологией навозоудаления и обработки животноводческих помещений.

Отходы животноводства и птицеводства остаются одними из основных факторов распространения инфекционных и инвазионных заболеваний. Со времен плановой экономики основной продукцией животноводческих предприятий считается только молоко, мясо, яйцо, а навоз и все остальное рассматриваются как отходы производства, представляющие серьезную проблему для руководителей, от решения которой стараются избавиться любыми путями, в том числе несущими экологическую опасность.

С одной стороны, молоко, яйца, сметана, диетическое мясо, нормы потребления которых на душу населения контролируются правительством, крайне необходимы населению. С другой стороны, чем больше поголовье так необходимых коров, свиней, кур-несушек, чем продуктивнее породы животных и птиц, чем лучше работает отрасль, тем больше становится рукотворных болот, где годами хранятся навозные стоки, отравляя своими испарениями воздух, а при вывозке на поля – почву и грунтовые воды. В то же время земледельцы, призванные при минимальных затратах создать прочную и качественную кормовую базу для животноводства, остро нуждаются в полноценных органических удобрениях для поддержания и повышения плодородия почвы.

Если навоз переработать, высушить и расфасовать, то он превращается в органическое удобрение, так необходимое земледельцам, и может составить конкуренцию минеральным удобрениям и даже заменить их. Навоз КРС и свиней технологиями аэробной и анаэробной ферментации перерабатывается в экологически безопасное концентрированное органическое удобрение, богатое питательными веществами, причем в форме, легко усваиваемой растениями. Таким образом, проблемной является переработка навоза и помета. Современная наука, как отечественная, так и зарубежная, предлагает сегодня широкий спектр технологий и оборудования, позволяющий эффективно и выгодно перерабатывать 60 % продукции животноводческого комплекса (те самые отходы). Разумеется,

это оборудование и технологии требуют серьезных затрат, и, в зависимости от конечного продукта переработки навоза, его производство по разным оценкам может стоить от половины до полной стоимости самого животноводческого предприятия. В этой связи разработка низкозатратных, но высокоэффективных технологий, обеспечивающих гарантированное производство обеззараженных и обезвреженных органических удобрений на основе бесподстилочного навоза (помета) приобретает большое значение в вопросах повышения плодородия почвы, охраны природы, сохранения здоровья животных, повышения безопасности труда обслуживающего персонала и здоровья населения, рентабельности производства.

Свиноводческий комплекс выбрасывает с вентиляционным воздухом более 56 кг аммиака, 1120 млрд микроорганизмов, 15–20 кг пыли за 1 ч. Высокая концентрация их сохраняется на расстоянии 100–150 м от помещений. В 80 м от свинарников бактериальная обсемененность воздушных масс превышает 30 тыс./м<sup>3</sup>, что создает опасность аэрогенного распространения патогенной микрофлоры не только на территории комплексов, но и за их пределами. Подтверждением служил тот факт, что микроорганизмы, характерные для животноводческих помещений, обнаруживали в атмосферном воздухе в 3 км от комплекса, а специфический запах, хотя и слабый и не постоянный, ощущался даже на удалении 5 км и более от свиноводческого предприятия. Особенно неприятным и сильным запах был в радиусе 100–200 м от зданий комплексов.

Быстрота рассеивания загрязнений в атмосфере зависит не только от количества вредных выбросов из свинарников, но и от объемно-планировочных решений комплексов, направления ветра и скорости движения воздуха, характера местности, наличия зеленой защитной зоны и других факторов. Например, лесозащитная полоса (лесной массив) шириной 300 м снижает бактериальную обсемененность атмосферы на расстоянии 1 км от комплекса в 3–4 раза.

Особую опасность для загрязнения окружающей среды представляет жидкий навоз. Промышленная технология производства свинины предусматривает бесподстилочное содержание животных, что приводит к накоплению громадного количества навозных стоков (на комплексах мощностью 108 тыс. гол. годового откорма свиней – более 1 млн м<sup>3</sup> в год). По экологическому давлению на ок-

ружающую среду такие предприятия довольно обоснованно приравнивали к городу с населением 220 тыс. чел.

Отходы свиноводческих комплексов (жидкий навоз и сточные воды) по степени загрязненности органическими веществами, бактериальной обсемененности, особенно кишечной палочкой (в том числе патогенной для человека), значительно превосходят хозяйственно-бытовые стоки предприятий пищевой промышленности. Они являются благоприятной средой для возбудителей ряда инфекционных заболеваний. Несмотря на высокую степень очистки жидкой фракции свиного навоза, достигнуть проектных норм по количеству взвешенных частиц, БПК<sub>3</sub>, ХПК, аммиачному азоту и общему микробному числу не удавалось.

Не менее значительным источником экологического неблагополучия являются также предприятия по выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота. Обычно количество загрязнений пропорционально объему производства. Так, по данным НПЦ РУБ НАН Беларуси по животноводству, на комплексе мощностью 6 и 12 тыс. скотомест в течение года выбрасывалось в атмосферу микроорганизмов соответственно  $4 \cdot 10^{15}$  и  $1,3 \cdot 10^{16}$ , пыли – 83,2 и 362,6 тыс. кг, аммиака – 57,8 и 178,7 тыс. кг. На расстоянии 50 м от зданий комплексов бактериальная обсемененность воздушных масс превышала фоновые величины в 13–18 раз.

Исследованиями выявлена высокая степень общего бактериального обсеменения почвы на различном удалении от животноводческих помещений (от  $1,3 \cdot 10^5$  до  $17,8 \cdot 10^6$  микробных тел в 1 г почвы), высокая концентрация бактерий группы кишечной палочки и жизнеспособных яиц гельминтов. Органическое загрязнение почвы по мере удаления от животноводческих помещений на расстояние 2 км практически не снижалось. В колодцах, расположенных в непосредственной близости от комплексов, содержание нитратов в воде превышало ПДК в 1,2–2,7 раза, а содержание бактерий группы кишечной палочки во всех колодцах превышало нормативы для децентрализованных водисточников в десятки и даже сотни раз (т. е. согласно оценочным показателям была отнесена к «сильно загрязненной»).

Источником загрязнения окружающей среды жидкий навоз становится при неправильном его хранении и при нарушении правил использования.

Загрязнение окружающей среды жидкими стоками животноводческих предприятий становится более опасным в том случае, если они используются в качестве органического удобрения на полях орошения без предварительного обеззараживания или проведении его с нарушением соответствующей технологии. По существующим представлениям доза внесения жидкого навоза не должна превышать 50–100 м<sup>3</sup>/га. Однако, по наблюдениям некоторых исследователей, при систематическом (в течение 15 лет) внесении его в количестве 160 м<sup>3</sup>/га на одни и те же участки происходит увеличение содержания азота и его основных форм в почве (общего азота – до 59,3 мг/л, нитратного – 52,6, аммиачного – до 6,7 мг/л). Неконтролируемый вывоз жидких стоков на поля приводил к тому, что на близлежащих участках содержание азота в почве превышало оптимальные величины в несколько раз.

В жидком навозе, в отличие от обычного, процесса самосогревания не происходит, что связано с его высокой влажностью (до 98 %), поэтому сроки выживания патогенной микрофлоры и яиц гельминтов значительно увеличиваются.

Выращивание кормовых культур на таких участках приводит к избыточному содержанию нитратов в получаемом растительном сырье. В связи с этим расчеты показывают, что эффективное и безопасное для окружающей среды использование жидкого навоза возможно лишь в том случае, если комплекс на 108 тыс. свиней годового откорма будет располагать 5 тыс. га земельных пахотных угодий.

Неправильное хранение и использование навоза и жидких стоков животноводческих предприятий, наряду с нарушением землеиспользования, ведет к загрязнению поверхностных и грунтовых вод. В результате этого экологическая ситуация водоемов республики становится все более тревожной.

Источником загрязнения окружающей среды и водоемов являются не только крупные комплексы, но и мелкие фермы. К сожалению, в Беларуси нередко фермы располагаются вблизи от рек и озер, в результате чего значительное количество их отходов смывается в водоемы, вследствие чего количество нитратов в почве вблизи ферм увеличивается в 10–20 раз. Водоемы, расположенные на расстоянии 40 м от фермы, адсорбируют до 40 кг аммиака на 1 га, на расстоянии 1000 м – 2,2 кг.

В подземных водах также отмечается наличие нитратов, солей других вредных элементов, высокая бактериальная обсемененность, в том числе и патогенными микроорганизмами. Коли-индекс, свидетельствующий о степени загрязнения воды кишечной палочкой, в летний и осенний периоды нередко превышает допустимые нормативы более чем в 5 раз. Особенно высока загрязненность кишечной палочкой источников водоснабжения, находящихся на территории комплексов. Опасность усугубляется тем, что в Беларуси комплексы снабжаются водой из скважин с неглубоким залеганием грунтовых вод, а также мелководных рек и открытых водоемов.

Неудовлетворительное состояние воздушной среды в животноводческих помещениях неблагоприятно сказывается на здоровье и работоспособности обслуживающего персонала, учащаются случаи головных болей, респираторных болезней и т. д. Нередко поступают жалобы от жителей населенных пунктов, расположенных вблизи крупных животноводческих предприятий.

Повышение технической оснащенности предприятий привело к значительному усилению на них звукового фона за счет работы механизмов и внутреннего оборудования по обеспечению работы вентиляции, кормораздатчиков, доильных агрегатов, навозоуборочной техники. Шум поражает не только органы слуха, но и центральную и вегетативную нервную системы, а через них – сердечнососудистую систему и внутренние органы. В частности, у коров звук в 65 дБ приводит к повышению температуры тела, изменению физико-химических свойств кожи и т. д. Надои молока снижаются. Следовательно, ненормальный звуковой фон – сильный патогенный раздражитель, оказывающий неблагоприятное влияние на функциональное состояние не только человека, но и животных, а у последних, в конечном итоге, и на продуктивность.

Таким образом, из приведенных кратких данных очевидно неудовлетворительное экологическое состояние самих животноводческих предприятий и окружающей их внешней среды. Очевидно и то, что эти данные являются фрагментами, полученными при разовых исследованиях и наблюдениях, без учета многочисленных сопутствующих факторов, и не дают полной картины экологического давления ферм и комплексов на окружающую среду. Более полную картину экологического состояния этих предприятий может дать постоянный контроль, мониторинг экологической обстановки. Это позволит разработать и осуществить более эффективные мероприятия по охране окружающей среды.

### **Глава 3. ТИПЫ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ, СПОСОБЫ СОДЕРЖАНИЯ КРС И ОСОБЕННОСТИ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА**

#### **3.1. Типы животноводческих помещений**

Рациональная организация хозяйства и эффективное использование навоза является важным элементом любой технологии производства продуктов животноводства. Это положение непременно необходимо учитывать при проектировании, строительстве и реконструкции животноводческих помещений.

В настоящее время в хозяйствах Беларуси эксплуатируются молочно-товарные фермы в основном на 200, 400, 800, 1000 и 1200 гол. КРС. За основу взят коровник на 200 гол. привязного содержания. Для фермы на 200 гол. такое здание одно, на 400 гол. – два, на 800 гол. – 4 здания. При привязном содержании удаление экскрементов животных производится транспортерами типа ТСН-3.055 и ТСН-160 А.

Молочно-товарные фермы на 400, 600, 800, 1000 и 1200 гол. в настоящее время проектируются, строятся и модернизируются для беспривязного содержания животных.

Фермы на 1000 и 1200 гол. включают в себя: здания вместимостью 400 гол. каждое, доильно-молочный блок, оборудованный доильными установками типа «Елочка 2×20» или «Параллель 2×20», и отдельный коровник для сухостойных коров с родильным отделением.

На ферме предусмотрены помещения для выращивания ремонтного молодняка телок до 6-месячного возраста и телок старше 6-месячного возраста.

Навозохранилища для всех типоразмеров ферм приняты по типовому проекту 815-28, для фермы на 200 коров – вместимостью 2000 т, на 400 – 4000 т, на 800 коров – 8000 т. На каждой ферме устраиваются выгульные дворы с твердым покрытием из расчета 8 м<sup>2</sup> на одну голову, родильные отделения с профилакторием или телятником из расчета на 12 мест на каждые 100 коров.

Фермы выращивания и откорма молодняка крупного рогатого скота рассчитаны на 1550, 3070 и 5100 гол. Ферма на 1550 гол. име-

ет один телятник на 720 гол., два здания доращивания на 360 гол. молодняка каждый. Выгульные площадки с твердым покрытием устраивают размером 5300 м<sup>2</sup>, что соответствует норме 3,4 м<sup>2</sup> на одну голову. Удаление экскрементов из зданий с решетчатыми полами осуществляется гидравлическим способом в станции перекачки и далее с помощью двух установок УТН-10 – в навозохранилище на 800 т. С выгульных площадок удаление навоза производится бульдозером.

Комплекс по выращиванию и откорму 5100 гол. молодняка КРС в год состоит из 3 телятников на 720 гол., 7 зданий молодняка на 720 гол., станции перекачки навоза, 4 навозохранилищ по 3300 т каждое и навозохранилища для жидкого фильтрата.

Свиноводческие фермы и комплексы рассчитаны на содержание 3000, 6000, 12 000 и 24 000 гол. в год.

Свиноводческая ферма на 3000 гол. включает в себя один свинарник на 150 холостых и супоросных маток, 20 гол. ремонтного молодняка, 2 хряка, 1000 поросят-отъемышей, свинарник для проведения опросов на 120 мест и 3 здания свинарников-откормочников на 1000 мест каждый. Кроме того, на ферме предусмотрен один навозонакопитель и 3 навозохранилища по 2000 т каждое.

Свиноводческая ферма на 6000 гол. откорма в год включает в себя свинарник на 300 холостых и супоросных маток, 40 гол. ремонтного молодняка и 4 хряков, 1040 поросят-отъемышей, свинарник для проведения опросов на 120 мест и 3 здания свинарников-откормочников на 1000 мест. Имеется также один навозонакопитель и 3 навозохранилища по 2000 т каждое.

Ферма (комплекс) для выращивания и откорма 12 тыс. свиней в год включает в себя одно здание свинарника для 600 холостых и супоросных маток, 70 ремонтных свинок и 9 хряков, два здания свинарников для проведения опросов на 120 мест, одно здание свинарника – для поросят-отъемышей на 2440 мест и четыре здания свинарников-откормочников на 1200 мест. В состав комплекса входят четыре навозоприемника по 50 м<sup>3</sup> каждый.

Межхозяйственный комплекс по выращиванию и откорму 24 тыс. свиней в год включает два свинарника для 600 холостых и супоросных маток, 70 ремонтных свинок и 9 хряков, четыре здания свинарников для проведения опросов на 120 мест, два здания

свинарников для поросят-отъемышей на 2440 мест и 8 зданий свинарников-откормочников на 1200 мест каждое. На комплексе предусмотрены 8 навозоприемников емкостью по 50 м<sup>3</sup>.

### 3.2. Способы содержания крупного рогатого скота

Типовыми проектами молочных ферм на 200 и 400 гол., как правило, предусматриваются стойлово-пастбищная система содержания коров летом и стойлово-выгульная зимой. Может быть стойлово-лагерная система, если пастбища удалены от фермы более чем на 3 км, тогда только стойлово-лагерная система экономически оправдана. Независимо от того, какая система содержания коров применяется летом, зимой она должна быть стойлово-выгульной с использованием активного моциона или коромовыгульных дворов.

Привязное содержание наиболее распространено в нашей стране. Главное его преимущество – обеспечение хороших условий для индивидуального нормированного кормления и раздоя животных, что способствует повышению их продуктивности. Над стойлом каждого животного висит табличка, где указаны номер коровы, кличка, возраст и продуктивность за последнюю лактацию.

Привязная система содержания имеет и ряд недостатков. В течение всего стойлового периода коровы большую часть времени проводят в помещении без движения. При привязном содержании велики затраты труда, связанные с доением, раздачей кормов, уборкой навоза, отвязыванием и привязыванием животных.

Как показал опыт, резкое сокращение трудоемкости производства молока дает только коренная модернизация технологии с переводом коров на беспривязной способ содержания и доения их в автоматизированных доильных залах. Преимущества беспривязной системы – благотворное влияние на физиологическое состояние и воспроизводительные способности животных; снижение заболеваемости пищеварительных органов и половой системы, уменьшение стоимости строительства ферм; снижение затрат труда на выполнение разных технологических процессов; улучшение зоогигиенических условий для животных.

Беспривязное содержание дает хорошие результаты лишь при высоком уровне зоотехнической и селекционно-племенной работы,

полноценном и сбалансированном кормлении животных и наличии высококвалифицированных кадров.

Внедрение интенсивной технологии с беспривязным содержанием коров позволяет снизить энергозатраты на производство продукции на 15 %, расход кормов – до 20 %, трудозатраты на производство 1 ц молока – с 2,0–2,5 до 0,9 чел.-г. При этом нагрузка повышается: на одного основного оператора машинного доения приходится до 150–200 коров.

Содержание животных в групповых станках на обильной подстилке требует минимальных затрат на реконструкцию помещений, но невозможно без большого запаса подстилочных материалов – около 8 т торфа или 1,5 т соломы на одну корову в год.

Проведенный анализ производственной деятельности ряда животноводческих предприятий показал, что для небольших животноводческих ферм и комплексов КРС при наличии достаточного количества подстилочных материалов и соответствующей техники для их внесения, содержание животных на подстилке может быть экономически оправдано и целесообразно с точки зрения обеспечения охраны окружающей среды от загрязнения.

Если подстилочных материалов недостаточно, следует использовать беспривязно-боксовый способ содержания коров и молодняка. Периодичность смены подстилки, в зависимости от вида и нормы ее внесения, может изменяться в очень широких пределах – от одного-двух раз в сутки до одного раза в неделю или месяц. Хорошая подстилка обеспечивает животным сухое, теплое, мягкое и чистое ложе. В качестве подстилки обычно применяют торф, солому, опилки. Качественный подстилочный материал играет важную роль в создании комфортных условий для коров. При использовании в качестве подстилки соломы, древесной стружки, опилок или другого материала рекомендуемая высота слоя подстилочного материала составляет 3 см. Важно, чтобы материал, применяемый в качестве подстилки, был сухим, чистым (без пыли) и предотвращал появление плесени. Материал должен впитывать максимальное количество влаги. Его необходимо хранить в месте, где крайне низкая возможность появления плесени. Также поддержанию чистоты в коровнике способствует ежедневная проверка подстилочного материала и уборка навоза.

При такой системе необходимо подсыпать в каждое стойло, рассчитанное на одну корову, по 1 кг материала ежедневно.

Уборка подстилочного навоза из зданий для содержания животных на периодически сменяемой подстилке должна осуществляться бульдозером на площадку для погрузки навоза. На площадке навоз ковшовым погрузчиком грузится в мобильный транспорт и вывозится на специальные полевые площадки.

Основная задача при выборе системы навозоудаления – обеспечение эффективного удаления навоза при сохранении биохимической ценности органических удобрений.

## Глава 4. ВИДЫ И НОРМЫ РАСХОДА ПОДСТИЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Состав навоза сильно меняется в зависимости от вида, количества и качества подстилки. Как отмечено ранее, для подстилки употребляются разнообразные материалы: солома, торф, древесная листва, опилки, костра и пр.

Подстилка должна создавать животным мягкое, теплое и чистое ложе, хорошо впитывать в себя жидкие выделения (табл. 1), сохранять питательные вещества для растений. Самое чистое и мягкое ложе для скота дают солома и сухой моховой (сфагновый) торф.

Таблица 1  
Поглотительная способность различных видов подстилки

Подстилка	Поглощение воды (частей) на 100 частей подстилки (по массе)
Солома озимой ржи	300
Солома пшеницы	170–300
Солома проса	340
Солома гречихи	280–700
Торф яровой низинный	500–700
Торф моховой (верховый)	1000–1500
Стружка древесная	300
Опилки	400–445

Хорошего качества навоз получается при использовании в качестве подстилки соломы и торфа или соломисто-торфяной смеси. При использовании в качестве подстилки древесных опилок навоз получается более низкого качества, т. к. в нем содержится мало азота и большое количество медленно разлагающейся клетчатки. Такой навоз лучше применять в качестве биотоплива в парниках и лишь на следующий год вносить на поля в виде перегноя. Костру в связи с ее относительно низкой влаги и газопоглотительной способностью лучше использовать с другими более влагоемкими материалами. В некоторых случаях ее используют и отдельно. Кроме указанного выше недостатка, она сильно пылит.

На подстилку можно использовать и сухую крошку топливного торфа фрезерной заготовки. Но учитывая, что ее поглотительная способность в 2–3 раза меньше, чем у сфагнового подстилочного торфа, дозу ее следует соответственно увеличить.

Химический состав различных видов подстилки представлен в табл. 2.

Химический состав различных видов подстилки (%)

Таблица 2

Подстилка	Влажность	Азот	Фосфор	Калий	Известь
Солома озимой пшеницы	14,0	0,50	0,20	0,90	0,28
Солома озимой ржи	14,3	0,45	0,26	1,00	0,29
Солома яровой пшеницы	14,0	0,56	0,20	0,75	0,26
Солома овса	14,3	0,65	0,35	1,60	0,38
Торф яровой низинный	30,9	2,30	0,30	0,20	2,00
Торф моховой (верховой)	25,0	1,05	0,10	0,02	0,30
Опилки	–	0,20	0,30	0,74	1,05

Наиболее ценными качествами подстилочного материала обладает сфагновый торф влажностью 45–50 %, степенью разложения 10–12 % и зольностью 6–7 %. При его применении снижается концентрация аммиака в воздухе помещений в 2–2,5 раза, его относительная влажность – на 7–8 %, количество микроорганизмов – в 2–3 раза. Использование фрезерного торфа влажностью более 50 %, большой зольностью, высокой степенью разложения и с большим количеством торфяной пыли дает отрицательные результаты. Такой торф в общей массе содержит около 60 % мелких фракций с размером частиц 3 мм (по ГОСТу их должно быть не менее 5 % для подстилки I категории и 15 % для II категории).

На содержание питательных элементов в навозе большое влияние оказывает количество расходуемой подстилки. Нормы ее должны быть дифференцированы в зависимости от вида животных и способа их содержания (табл.3).

Таблица 3

Примерные нормы расхода подстилки на одно животное в сутки, кг

Животные	Солома злаковых культур	Верховый слаборазложившийся торф	Сухая торфофокрошка переходного н.о.	Опилки, стружка
КРС (при стойловом содержании)	4–6	3–4	10–20	3–6
Лошади	3–5	2–3	8–10	2–4
Овцы и козы	0,5–1,0	–	–	–
Свиноматки с поросятами	5–6	3–4	–	–
Откормочные свиньи	1,0–1,5	0,5–1,0	2–3	1,5–2,0
Отъемочные	0,5–1,0	0,5–1,0	–	1,0–1,5

Примерные нормы расхода торфо-соломистой смеси следующие (табл.4).

Таблица 4

Примерные нормы расхода торфо-соломистой смеси

Торфо-соломистая смесь	Коровы	Ремонтный и откормочный молодняк
Торф	6–8	4–6
Солома	2–4	1–2

Использование подстилки, не соответствующей ГОСТу, ведет к повышению содержания вредных примесей (пыли) в воздухе помещений, к загрязнению кожного покрова животных и молока.

## Глава 5. ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

На современных животноводческих комплексах и фермах промышленного типа по производству молока и говядины применяются следующие системы содержания животных:

- подстилочная на неглубокой сменной подстилке;
- подстилочная на глубокой периодической сменяемой подстилке;
- бесподстилочная.

Наибольшее распространение в хозяйствах республики получила бесподстилочная система (около 91 %), поскольку она менее трудоемка, допускает широкое применение комплексной механизации и автоматизации работ, связанных с уборкой навоза из помещений, хранением, транспортировкой и внесением в поле.

Несовершенство технологий и технических средств уборки и утилизации навоза приводит к большим экономическим и экологическим издержкам. На большинстве комплексов бесподстилочный навоз удаляется гидравлическим способом. Это ведет к ряду отрицательных последствий: к увеличению объема навозохранилищ, резкому росту транспортных затрат, потере более половины органических веществ, к засорению почвы семенами сорных растений, а также служит источником экологического загрязнения прудов, озер, рек, колодцев с питьевой водой, воздушного бассейна и потенциально создает угрозу для здоровья людей и животных.

Поэтому сокращение потребления воды на удаление навоза из животноводческих помещений является одним из наиболее актуальных направлений в решении достаточно сложной экологической проблемы.

Удаление навоза из животноводческих помещений – наиболее трудоемкий процесс, составляющий 30–50 % трудовых затрат по выращиванию животных.

Расчет показывает, что увеличение влажности навоза обуславливает значительное увеличение его объема (рис. 1).

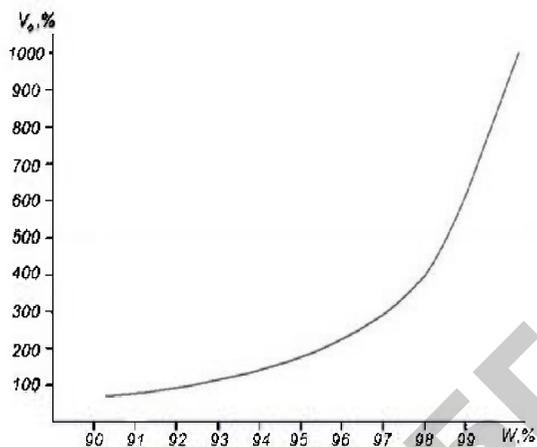


Рис. 1. График увеличения объема выхода навоза от его влажности

Исходя из требований охраны окружающей среды и практики использования навоза в качестве органического удобрения наиболее приемлемой технологией удаления должна быть та, которая обеспечивает получение навоза с минимальной влажностью.

В «Основных направлениях развития животноводства на период 2011–2015 годы» отмечается, что главенствующей должна стать экономическая составляющая получения конкурентоспособной продукции отрасли.

Дальнейшее наращивание объемов производства и повышение качественных характеристик продукции возможны только на основе передовых ресурсосберегающих технологий и новейших научных разработок.

Современные технологии в молочном скотоводстве предусматривают использование специализированных помещений с механизмами и оборудованием, которые должны обеспечивать комфортные условия для животных и получение высококачественной продукции при минимальной степени воздействия на окружающую среду.

В хозяйствах Республики Беларусь еще много ферм привязного содержания, на которых используют в основном механические средства удаления навоза: скребковые цепные транспортеры типа ТСН-3,0Б и ТСН-160А.

Как показала практика, резкое сокращение трудоемкости производства молока дает только коренная модернизация технологии с переводом коров на беспривязной способ содержания и доение их в автоматизированных доильных залах.

При беспривязном содержании КРС уборка навоза может быть следующей.

В тех хозяйствах, где имеется достаточное количество подстилки, содержание животных проектируется на глубокой или периодически сменяемой подстилке из торфа, опилок, резаной соломы, тресты.

Торфяная подстилка отличается большой гигроскопичностью и высокой поглощательной способностью. Имея кислую реакцию, торф – прекрасный антисептический материал, ограничивающий процессы развития болезнетворных микробов и обеспечивающий получение высококачественного удобрения. За счет применения торфа, выход навоза можно увеличить почти в 2 раза. Использование торфа на подстилку обеспечивает практически полную утилизацию жидкой фракции экскрементов.

Солому, предназначенную для подстилки, целесообразно измельчать на резку (50–100 мм). Измельченная солома лучше поглощает влагу и способствует плотному укладыванию навоза в штабеля и потере питательных веществ.

В настоящее время для измельчения выпускаются измельчители грубых кормов ИГК-5, ИРК-145, РВС-1500 и РВС-1500Д.

Норма подстилки должна быть оптимальной и обеспечивать получение подстилочного навоза с влажностью не более 75 %. Норму расхода подстилочного материала можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{п}} = P_{\text{э}} \frac{W_{\text{э}} - W_{\text{п}}}{W_{\text{п}} - W_{\text{п}}},$$

где  $P_{\text{э}}$  – выход экскрементов, кг.

$W_{\text{э}}$ ,  $W_{\text{п}}$ ,  $W_{\text{п}}$  – соответственно влажность экскрементов, подстилочного навоза, подстилки.

Для получения высококачественных удобрений и уменьшения потерь питательных веществ на 1 кг навоза должно приходиться торфа 1,0–1,5 кг, соломы 0,5–0,7 кг. Лучшую подстилку получают путем сочетания торфа и соломы, т. е. сначала вносят торф («подушка»), а сверху стелют солому. Основными требованиями для организации содержания скота на периодически сменяемой подстилке является наличие подстилочных материалов из расчета: торфяная крошка – 6,5 т и солома – 5 т на голову в год.

Уборка подстилочного навоза из зданий для содержания животных на периодически сменяемой подстилке должна осуществляться бульдозером на площадку для погрузки навоза. На площадках навоз ковшовым погрузчиком грузится в мобильный транспорт и вывозится на специальные полевые площадки.

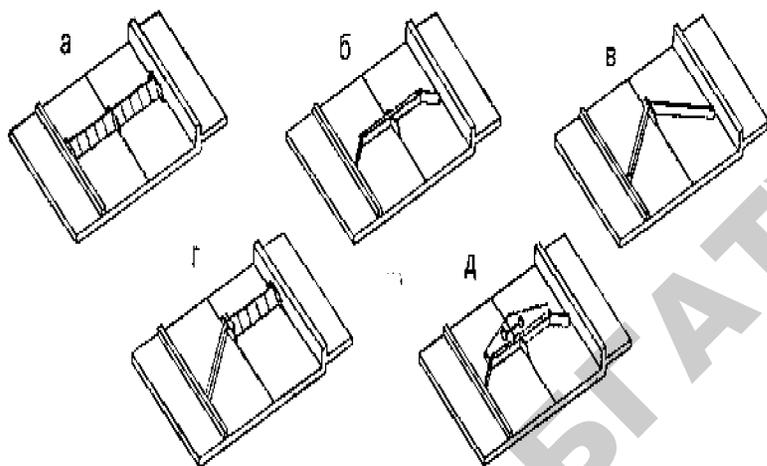
По данным профессора Н.С. Яковчика, в структуре всех энергозатрат производства продукции животноводства приходится на уборку и удаление навоза с помощью скребковых транспортеров – 4,2 % и с помощью бульдозера – 2,5 %.

При строении нового животноводческого комплекса в проект обязательно должна закладываться и разработка системы навозоудаления. Основная задача при ее выборе – обеспечить эффективное удаление отходов при минимумах воды и количества навозных стоков.

Эффективное удаление навоза способствует лучшему поддержанию гигиены доения и здоровья коров. Кроме этого, оно улучшает микроклимат в коровнике, поскольку при этом снижается уровень содержания аммиака и азотистых газов в воздухе. Правильно спроектированная и управляемая система удаления навоза позволяет сохранять биохимическую ценность навоза как удобрения.

Технические решения систем удаления навоза обеспечивает применение скреперных установок на всех типах животноводческих ферм во всех природно-климатических зонах страны.

При беспривязном содержании крупного рогатого скота для уборки навоза из навозного канала, расположенного между кормушкой и боксами для отдыха животных, используют скреперные установки различной конструкции (рис. 2).



*Рис. 2.* Скреперные установки для удаления навоза, применяемые при беспривязном содержании животных:  
*а* – качающийся скрепер; *б* – скрепер с регулируемой шириной захвата;  
*в* – дельта-скрепер (складывающийся); *г* – комбинированный скрепер;  
*д* – навозоуборочный робот

Дельта-скреперная установка применяется при беспривязном боксовом содержании крупного рогатого скота для уборки навоза из открытых навозных проходов. Очистка проходов при помощи дельта-скреперов, имеющих автоматический режим управления, происходит в относительно медленном темпе, не создавая препятствий для передвижения животных. Вся система, как и ее отдельные составляющие, разработана с учетом обеспечения безопасности животных. Таким образом, исключается вероятность возникновения травм животных при уборке прохода и не возникают проблемы с их размещением во время уборки.

Эффективность данной системы навозоудаления улучшает климат в помещении коровника, т. к. при этом снижается уровень содержания аммиака в воздухе и обеспечиваются чистота и комфортные условия для коров.

Скреперные системы оснащаются тросами (канатами, цепями) (рис. 3) или гидравлическим приводом (рис. 4).

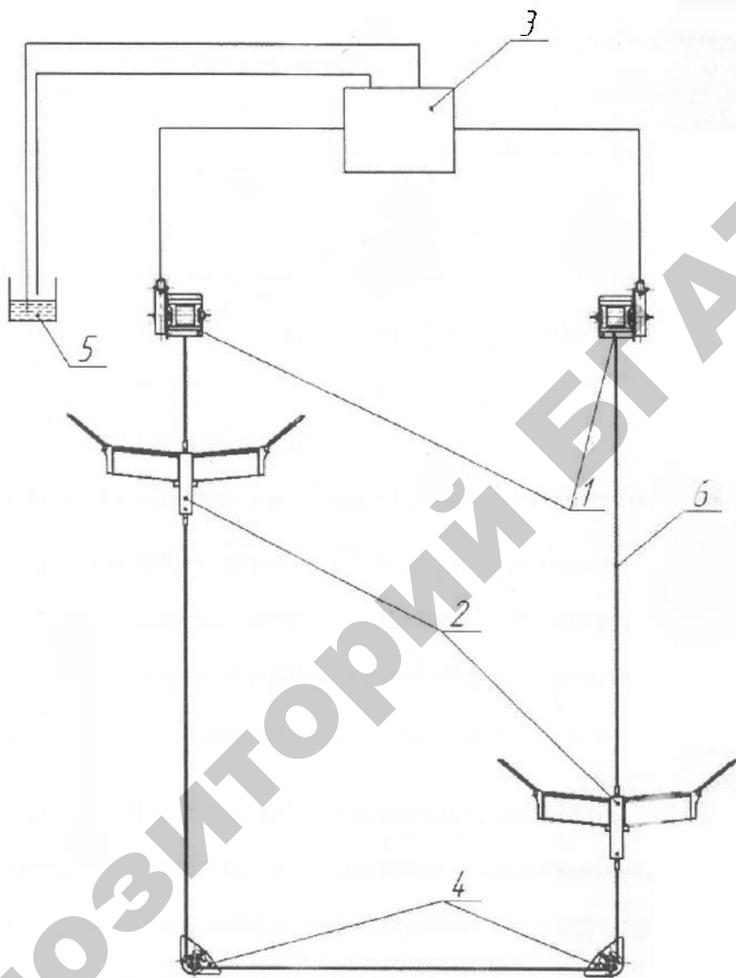


Рис. 3. Скрепер:

1 – лебедка, 2 – дельта-скрепер, 3 – гидропривод, 4 – блоки угловые, 5 – бак,  
6 – стальной трос

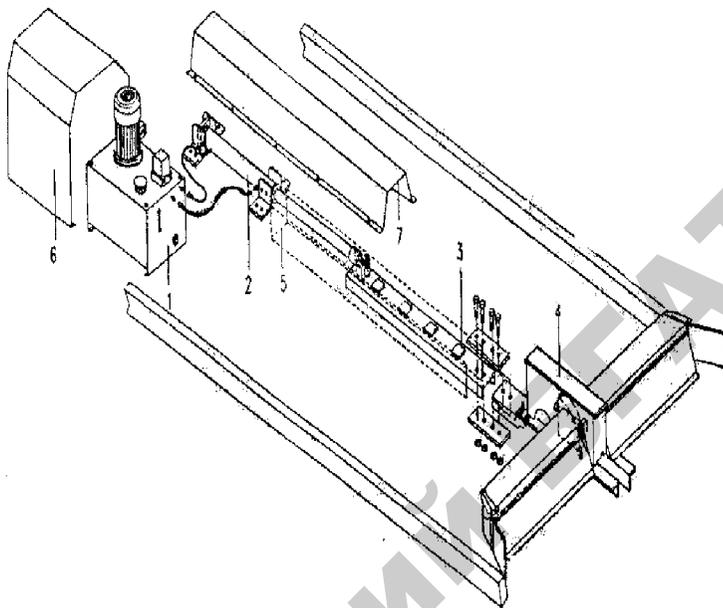


Рис. 4. Скрепер с приводным механизмом:

1 – станция приводная; 2 – гидроцилиндр; 3 – ползун; 4 – дельта-скрепер;  
5 – направляющая; 6 – кожух приводной станции; 7 – кожух гидроцилиндра

Рабочий процесс скрепера осуществляется следующим образом.

Барaban приводной станции, вращаясь, обеспечивает перемещение каната тягового контура, при этом дельта-скрепер одной ветви находится в рабочем положении, удаляя навоз из лотка, а скрепер другой ветви находится в положении холостого хода. Остановка оборудования происходит при соприкосновении дельта-скрепера с концевым выключателем, после чего канат тягового контура перемещается в противоположном направлении, и происходит удаление навоза из противоположного лотка.

Основным рабочим органом скрепера является дельта-скрепер (рис. 5).

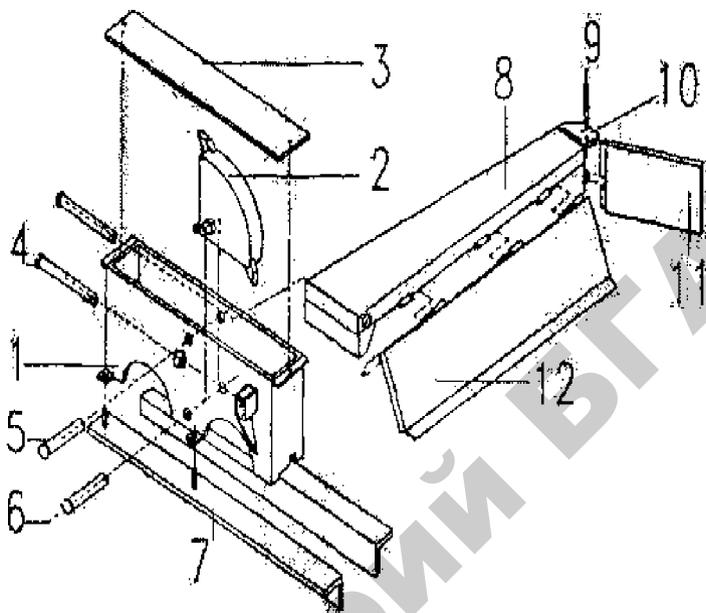


Рис. 5. Дельта-скрепер:

1 – рама; 2 – балансир; 3 – крышка; 4 – палец; 5 – стопор балансира; 6 – ось;  
7 – направляющие; 8 – консоль; 9 – палец крепления петли; 10 – пластина  
крепления петли; 11 – откидная петля; 12 – откидная лопатка

Принцип работы гидравлического скрепера (табл. 5) следующий. Вдоль навозного канала по центру изготовлен лоток  $70 \times 70$  см, куда устанавливается шинка с наваренными накладками на расстоянии, равном длине хода цилиндра. При включении насосной станции с гидромотором начинает движение гидроцилиндр. Благодаря ползуну, на котором установлен балансир, упирающийся в накладку шинки, перемещается скрепер. Крайние накладки с обеих сторон выполнены сферически, набегая на них, балансир не упирается, а скользит по ним, поднимается и опрокидывается в противоположную сторону. Скрепер начинает двигаться в другую сторону. Цикл повторяется.

Таблица 5

## Техническая характеристика скреперов

Наименования показателя	Привод	
	Трос	Гидроцилиндр
1. Тип	стационарный возвратно-поступательного действия	
2. Тип приводного механизма	Стальной трос/Гидроцилиндр	
3. Ширина захвата, мм	от 2000 до 5000	
4. Скорость перемещения скрепера, м/мин	1,5–4,0	
5. Продолжительность цикла удаления, мин (в зависимости от длины коровника и мощности приводной станции)	от 20 до 90	
6. Остаточная загрязненность навозных лотков, кг/м <sup>2</sup> , не более	1	
7. Высота остатка на дне лотка, мм, не более	5	
8. Габаритные размеры рабочего органа, мм, не более:		
– длина	от 1300 до 200	
– ширина (определяется при заказе)	от 2000 до 5000	
– высота	350	
9. Количество дельта-скреперов на один привод, шт.	1–2 / 1–2	
10. Масса, кг, не более	200–500 / 200–500	
11. Максимальный ход скрепера, м	120	
12. Диаметр стального каната, мм, не менее	12 / –	
13. Установленная мощность электропривода, кВт	3,0–6,0	
14. Напряжение силовой цепи, В	380	
15. Напряжение цепей управления, В	24; 36	
16. Частота переменного тока, Гц	50 ± 1	
17. Трудоемкость монтажа, чел.-ч, не более	40 / 30	
18. Количество обслуживающего персонала, чел.	1	

Наименования показателя	Привод	
	Трос	Гидроцилиндр
19. Срок службы, лет		6
20. Нарботка на отказ, ч, не менее		75
21. Коэффициент готовности, не менее		0,98
22. Удельная суммарная трудоемкость технических обслуживаний, чел.-ч/ч, не более		0,15
23. Ежемесячное оперативное время технического обслуживания, ч, не более		0,35
24. Ресурс до списания, ч		7000

Программа позволяет задать частоту очистки, количественные показатели проходов и другие параметры: оптимальные условия уборки – по одному разу в 2–3-часовой промежуток. При понижении температуры ниже запрограммированного уровня срабатывают настройки автоматического изменения работы скрепера, и включается непрерывный режим действия системы. Таким образом, исключается функциональный сбой в технологическом процессе. При встрече дельта-скрепера с каким-нибудь препятствием программа автоматически его останавливает, затем предпринимает повторную попытку, и если дальнейший ход невозможен, то подает сигнал о неисправности.

Навоз из продольных навозных каналов дельта-скрепером подается в поперечный канал, расположенный в центре или торце коровников ниже уровня пола здания. По поперечному каналу навоз самотеком поступает в навозосборник, расположенный в доильно-молочном блоке или отдельно возле здания коровника. В поперечном канале должна быть предусмотрена система циркуляции навоза.

Навозосодержащие стоки из доильного зала, с накопительной площадки и скотопрогонов доильно-молочного блока по системе каналов поступают в навозосборник, из которого

специальными насосами для откачки навозных стоков по системе навозопроводов подаются в навозохранилища. Система перекачки навозных стоков должна иметь возможность подачи навозных стоков в навозохранилища, в мобильный транспорт и в систему циркуляции навоза в поперечном канале навозоудаления.

Жидкие навозные стоки из навозосборников перекачиваются в навозохранилища, рассчитанные на полугодовой объем стоков. Для подачи навозных стоков в мобильный транспорт предусматривается насосная станция.

Заполнение навозохранилищ поочередное. Стоки отстаиваются в течение нескольких месяцев, происходит их обеззараживание и разделение на фракции.

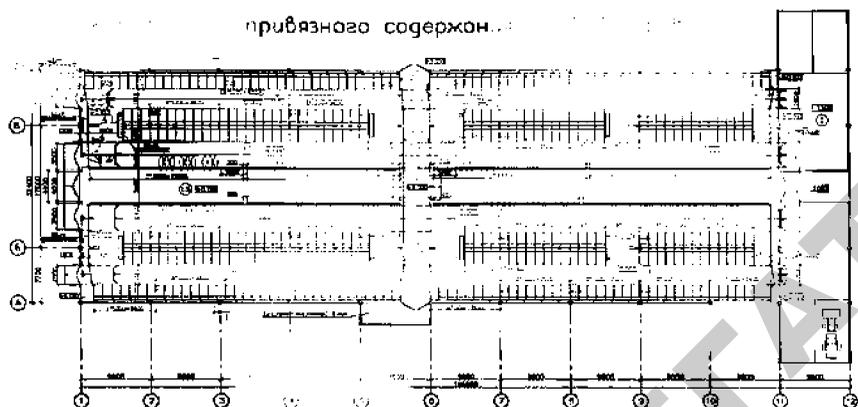
Жидкая и твердая фракции навоза после обеззараживания вносятся на поля под запашку в осенне-весенний период.

В навозохранилищах также происходит карантинирование навозных стоков. При возникновении эпизоотии навозохранилище с инфицированным навозом отключается из схемы для обеззараживания химическим методом по указанию ветслужбы.

На специальных полевых площадках подстилочный навоз подвергается дегельминтизации (биотермическое обеззараживание) в буртах. Срок выдержки подстилочного навоза составляет: в теплый период – 1 месяц, в холодный – 2 месяца. Обеззараженный подстилочный навоз вносится на поля под запашку в осенне-весенний период.

Большой интерес как с экономической, так и с экологической точек зрения представляет технология уборки навоза, разработанная в СП ООО «Унибокс», суть которой заключается в том, что в конце здания (с тыльной стороны) над навозным каналом имеется окно, через которое навоз из помещения удаляется в навозохранилище рядом со зданием (рис. 6)

Объем навозохранилища определяется из расчета недельного хранения навоза, удаляемого из помещения. Затем фронтальным погрузчиком навоз загружают в транспортные средства и отвозят на край поля для компостирования или в общее навозохранилище.



*Рис. 6. Технологическая система уборки навоза:  
1 – навозный канал; 2 – скрепер; 3 – стенка; 4 – навозохранилище*

Ценность данной технологической схемы заключается в том, что для удаления навоза не требуются дополнительные транспортеры или насосы, а также технологическая вода. Навоз получается влажностью не более 92 %, следовательно, уменьшается в объеме, а значит меньше нужно транспортных средств для его вывозки, меньше проездов по полю, что снижает энергозатраты. Термическое обеззараживание возможно благодаря компостированию: гибнут гельминты и патогенная микрофлора, а также семена единой растительности.

Стоки из доильного зала от промывки доильного оборудования площадок накопителей и после доек поступают в навозосборник, из которого насосом перекачиваются в навозохранилище или на поля орошения.

На роботизированных фермах, как правило, коровы находятся на щелевых полах. Навоз попадает в каналы под полом, в эти каналы стекает вода после промывки доильного оборудования после каждой дойки коровы. Следовательно, навоз получается большой влажности, и в дальнейшем происходит его расслоение. Перед выгрузкой навоз необходимо перемешивать, т. е. сделать каналы по всему помещению и их закольцевать в так называемую слаломсистему (рис. 7), миксеры могут быть стационарные или мобильные, смонтированные на тракторе.

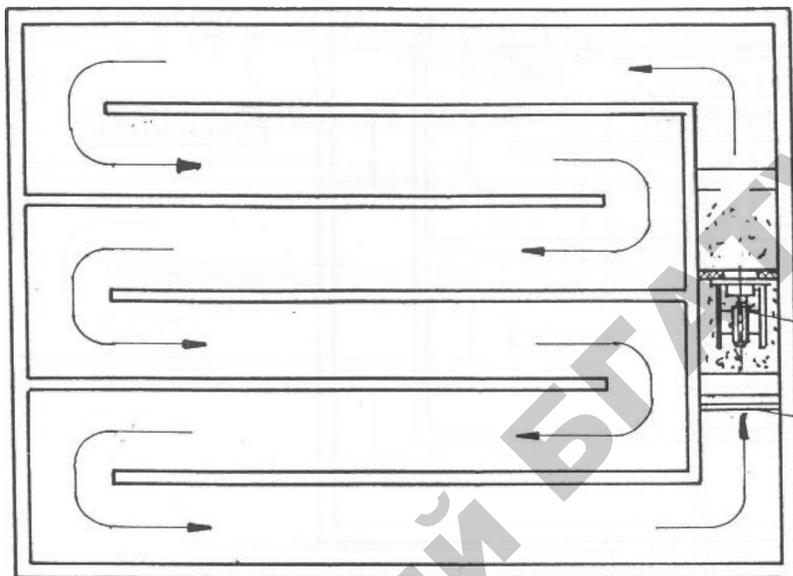


Рис. 7. Закольцованные слаломсистемы уборки навоза

В слаломсистеме не только два канала, но все каналы помещения выполнены в один длинный канал. В зависимости от размера помещения длина каналов достигает от 100 до 500 м. Каналы должны иметь примерно одинаковую ширину (максимальная ширина 3,5 м, глубина составляет от 1,5 до 3,0 м).

Перемешивание осуществляется миксером, преимущественно с электроприводом, который может устанавливаться в любом месте, но лучше всего в конце канала. При длине канала 100–120 м достаточно миксера с мощностью электродвигателя 10 л. с. Мощность привода при длине 200 м составит 15 л. с., при длине канала свыше 200 м необходима мощность 20 л. с.

При использовании миксера с электроприводом перемешивание, в принципе, можно производить каждый день (продолжительностью 5 мин). При приводе миксера от трактора перемешивание проводится один раз в неделю. Этот временной промежуток (в зависимости от состояния жижи) может удлиняться.

Преимущества слаломсистемы заключаются в следующем:

- все содержимое подпольного хранилища (ямы) можно перемешивать с одного места, нет необходимости постоянно переставлять миксер (как при обычной канальной системе);

- не нужно устраивать шибера и подпорные стенки, как при насосной системе;

- благодаря частому перемешиванию получают лучше перемешанную жижу;

- при перемешивании возникают только несущественные различия по высоте в различных каналах. Все внутренние стенки каналов могут дешево перестраиваться (устанавливают, например, бетонные блоки). Только внешние стенки изготавливают из железобетона;

- с помощью слаломсистемы можно подавать воздух в жижу;

- слаломсистема – экономичный метод перемешивания жижи КРС и очень проста в применении.

Благодаря движению массы по кругу образуется однородная масса, а затем машинами для внесения жидких органических удобрений (МЖТ) ее забирают и транспортируют в поле или в навозохранилище. Такая технология позволяет уменьшить аэрогенное распространение условно-патогенной и патогенной микрофлоры и возбудителей заболевания. Транспортировка машинами МЖТ (цистернами) не загрязняет дорогу от фермы до поля, следовательно, обеспечивается охрана окружающей природной среды от загрязнений.

## Глава 6. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УБОРКИ НАВОЗА

На крупных животноводческих комплексах применяют, как правило, гидравлические системы удаления навоза. При этом влажность его достигает 96–98 %. Перевозить такой навоз мобильным транспортом (средний радиус перевозки – 5–6 км) экономически невыгодно. Транспортировать по трубам ненадежно из-за наличия твердых включений. Подача жидкого навоза в навозохранилище по спускным каналам и трубам самотеком является самым экономичным способом транспортировки. Однако он может быть применен только в том случае, если навозохранилище располагается ниже уровня животноводческих помещений. Гидравлические способы удаления навоза по сравнению с механическими средствами характеризуются большей долговечностью и меньшей металлоемкостью, отсутствием электроприводов и движущихся частей в самих животноводческих помещениях.

К недостаткам гидравлической системы следует отнести требования высокого качества строительных работ. Все гидравлические системы состоят из продольных и поперечных каналов, навозосборников, насосных станций и вспомогательного оборудования (шибера, заслонки и т. п.). Сечения каналов могут быть прямоугольной формы, прямоугольной формы с закруглением углов у дна радиусом 10–15 см, трапециевидной формы с овальным дном и прямоугольной формы в виде двух полуокружностей (рис. 8).



Рис. 8. Формы гидравлических каналов навозоудаления

Различают два способа удаления жидкого навоза из помещений – смывной и самотечный. При смывной системе навоз удаляется струей воды (смывные насадки и бачки). Смывные бачки емкостью 0,5–1,0 м<sup>3</sup> устанавливают в начале каждого продольного канала на высоте 2 м. Сброс воды – 2 раза в сутки. Длина продольного канала – не более

40 м, поперечный канал – на 300 мм глубже продольного. Недостаток – большой расход воды и высокая влажность воздуха в помещении.

Лотково-отстойная система удаления навоза основана на периодическом накапливании навоза в каналах и удалении его самотеком при открывании шибером и пуском воды. Каналы при этом делают с полукруглым дном и шириной по верху 60–80 см. Поперечный канал соединяют с навозосборником. Накопление навоза в каналах длится 3–4 дня. Количество воды, добавляемое в навоз, составляет 10–15 л на голову КРС и 1,0–1,5 л на свинью. Недостатки – сильная загазованность помещения во время удаления навоза из каналов и относительно большой расход воды. Рециркуляционная система повторяет лотково-отстойную с той лишь разницей, что вместо воды используется осветленная жидкая фракция из навозосборника. Эта жижа перекачивается по асбоцементным или чугунным трубам диаметром 250–300 мм.

### **6.1. Самотечная система непрерывного действия**

Такая система основана на принципе самопередвижения смеси экскрементов, т. е. используются вязкопластичные свойства жидкого навоза. Система действует непрерывно по мере поступления навозной смеси. Через щели решеток жидкий навоз стекает в каналы, а менее жидкий проталкивается ногами животных. Толщина слоя навоза по длине канала увеличивается в сторону, противоположную его движению. Навозная смесь располагается под определенным углом к дну канала. Под действием подпора, создаваемого разностью толщины слоя, возникает сила, которая перемещает навоз к дну продольного канала, и навоз стекает в поперечные каналы, а по ним – во внешние навозосборники.

В конце продольных каналов установлены порожки, шиберы и затворы. С помощью порожков и шиберов производится запуск продольных каналов в самотечный режим, гидрозатвор препятствует проникновению газов из поперечных каналов в продольный.

Поверхность стенок каналов должна быть гладкой, иметь постоянный уклон, ширина канала – одинаковой по всей длине. Очень важно, чтобы каналы не допускали фильтрации воды и жижи, так как это ведет к неработоспособности всей системы. Поэтому каналы промазывают битумом или силиконовым лаком. Высота порожка обычно составляет

100–150 мм. При пуске системы продольный канал заполняют из трубопроводов водой на высоту порожка. Навозная смесь непрерывно вытекает из канала со скоростью 1–2 м/ч, и движение ее едва заметно. Самопередвижение навозной массы начинается спустя 2–3 недели после поступления свежего навоза в канал. При нормальной работе самотечной системы толщина слоя при движении навозной массы через порожек не превышает 10–15 см.

Навоз крупного рогатого скота обладает тиксотропными свойствами, т. е. он затвердевает в желе в состоянии покоя и разжижается при движении. Так как состояние навоза зависит от температуры воздуха, поперечные каналы внутри животноводческих помещений функционируют лучше, чем на открытом воздухе в холодный период года.

Вязкость навоза при повышении скорости его движения по каналу сильно уменьшается. Чем выше скорость движения, тем ниже вязкость. В поперечном канале из-за более высокой скорости течения вязкость ниже, чем в продольном. Благодаря этому в поперечных каналах почти не наблюдается помех в самотеке.

Для самотечной системы непрерывного действия содержание воды в навозе играет решающую роль, так как она является связующим звеном между твердыми частицами, коллоидами и стенками канала. Текучесть навоза можно значительно улучшить, добавив в канал небольшое количество воды.

В процессе эксплуатации самотечных систем непрерывного действия следует иметь в виду, что текучесть навоза уменьшится:

- при попадании остатков кормов в канал;
- кормлении животных кукурузным силосом;
- испарении влаги.

Установлено, что сплошная система надежно работает при бесподстилочном содержании животных на щелевых полах и кормлении их влажными и сухими кормами.

Длина каналов зависит от размеров животноводческих помещений и их планировки. Для сокращения продольных каналов поперечный коллектор обычно прокладывают посередине помещения, при этом рекомендуется длина продольных навозосборочных каналов не более 50 м.

Пуск системы в эксплуатацию осуществляется следующим образом. Очищают канал от строительного мусора и посторонних предметов. Устанавливают и герметизируют порожки. Затем заливают воду до тех

пор, пока она не станет переливаться через порожек. В течение суток наблюдают за каналами: если уровень воды в каналах понижается, то порожки уплотняются.

Убедившись в герметизации каналов и порожков, животных ставят на откорм, доразивание и т. д. В течение 2–3 недель через решетчатые полы каналы заполняются навозной массой, свободная поверхность ее принимает уклон под углом 1–4. В дальнейшем вновь поступающая масса начинает перетекать в самотечном режиме.

## 6.2. Самотечная система периодического действия

При такой системе применяют продольный навозосборочный канал, закрытый по всей длине решетками и имеющий определенный уклон в сторону поперечного канала. Продольный навозосборочный канал на выходе в поперечный перекрывается шибером, который открывают несколько раз в месяц для сбрасывания смеси мочи, кала и некоторого количества воды, добавляемой в канал.

Принципиальные технологические решения продольных навозосборочных каналов самотечных систем периодического действия показаны на рис. 9.

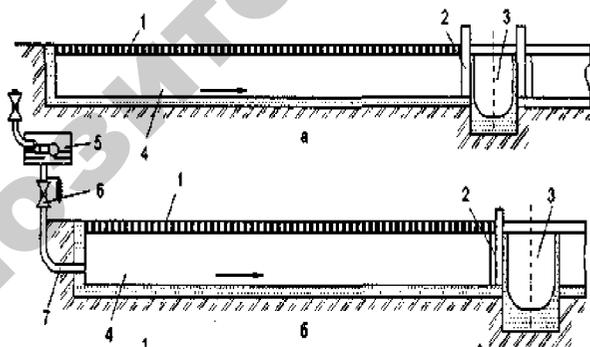


Рис. 9. Схемы систем навозоудаления периодического действия:

1 – целевой пол; 2 – шибер; 3 – поперечный канал; 4 – продольный навозосборочный канал; 5 – смывной бачок; 6 – кран; 7 – смывной патрубок

Опыт эксплуатации таких систем показывает, что при сливе навоза осадок со дна навозного канала не смывается, и постепенно толщина слоя осадка, накапливаемого на дне канала, увеличивается.

Навозосборные продольные каналы лучше делать прямоугольного сечения шириной от 0,6 до 1,2 м и глубиной от 0,6 до 1,0 м с уклоном дна 0,005–0,007 м в сторону поперечного канала. При большем уклоне жидкость будет быстро вытекать, а густой навоз – оставаться на дне. Длина продольных каналов не должна превышать 35 м, иначе будет затруднена их очистка, а также потребуется большой расход воды.

Емкость продольных навозосборочных каналов должна рассчитываться на накопление навоза от поголовья, содержащегося на период смены. При этом поверхность навоза в заполненном канале не должна доходить до решетки на 5–7 см. Емкость поперечного канала должна быть не менее емкости одного продольного канала.

Для обеспечения надежности и полного выпуска навозной массы из продольных каналов очень важно, чтобы перекрывающие их задвижки не пропускали воду, а также легко и быстро открывались. Наиболее простой в изготовлении и эксплуатации является шиберная задвижка из листовой стали толщиной 4–5 см. Ее вставляют в металлическую рамку или в пазы, сделанные непосредственно в стенках канала. Задвижка не должна плотно входить в пазы рамы, при этом допускаются довольно большие зазоры, чтобы она легко двигалась в раме.

Широкое применение получили шиберные задвижки, ширина которых составляет 60–80 % от ширины канала. В этом случае стенки канала перед рамкой задвижки сужают под углом 45°. В результате при выпуске жидкого навоза из каналов в местах сужения происходит задержка всплывающих на поверхность жижи твердых экскрементов, поэтому жидкая часть стекает быстрее, а твердая оседает на дне канала, и для ее смыва требуются большие физические усилия и значительный расход воды. Например, на смыв 1 т осевшего на дно навоза затрачивается 0,60–0,65 чел.-ч и до 2,5 т воды.

При применении шиберной задвижки трудно обеспечить герметическое перекрытие канала, так как между ней и пазами рамы необходимо создать большой зазор. Поэтому такие задвижки, как правило, пропускают жижу, что приводит к повышенному расходу воды на удаление навоза из каналов. Чтобы задвижка при пуске

системы в работу не пропускала жижу, пазы уплотняют солидолом, опилками или же навозом, а через некоторое время навоз сам герметизирует зазоры.

При размещении навозохранилища ниже животноводческого помещения навоз выпускают самотеком непосредственно в хранилище. При отсутствии уклона строят колодцы насосной станции (КНС) и насосом НЖН-200 перекачивают навоз в хранилище. В этих случаях навоз транспортируется по асбоцементным трубам диаметром не менее 500 мм или бетонированным каналам такого же сечения, как и труба, заложенным ниже глубины промерзания грунта и имеющим смотровые колодцы через каждые 20–25 м.

При использовании шиберной системы навоз протаптывается животными сквозь щели полов в подпольные каналы, в которые заранее налита вода. После заполнения продольного канала навозом заслонку открывают, и жидкий навоз через поперечный канал удаляется. Шиберная система функционирует нормально только при правильной ее эксплуатации.

Перед пуском в эксплуатацию нового помещения необходимо все продольные и поперечные каналы тщательно очистить от строительного мусора (гравия, кусков бетона, камней, деревянных щепок, песка) и различных посторонних предметов, иначе навоз будет задерживаться в каналах, что приведет к их забиванию. Затем продольные каналы перекрывают задвижками. При этом необходимо следить, чтобы шиберные задвижки плотно входили в пазы и герметично перекрывали каналы.

Удаляют навоз из каналов по мере заполнения. При выпуске навоза в начало продольного канала для смыва осадка подают воду из смывных бачков или просто из водопроводов. Удалив навоз, закрывают шиберную задвижку, и канал снова заполняют водой. Удалять навоз начинают с самого ближнего от навозоприемника канала. Через каждые 3 месяца каналы очищают от осадка водой из шланга с насадкой, предварительно сняв секции щелевого пола. После смыва осадка проверяют состояние дна и стенок канала.

Опыт эксплуатации таких систем показывает, что при сливе навоза осадок со дна навозного канала не смывается, и постепенно толщина слоя осадка, накапливаемого на дне канала, увеличивается.

Для удаления осадка и исключения его накопления в продольных каналах применялись различные способы смыва осадка водопроводной водой. Однако это приводило к увеличению влажности и возрастанию объема навоза, а также снижению его удобрительной ценности. С целью устранения этого недостатка была разработана и внедрена секционная система удаления навоза из продольных навозных каналов (рис. 10).

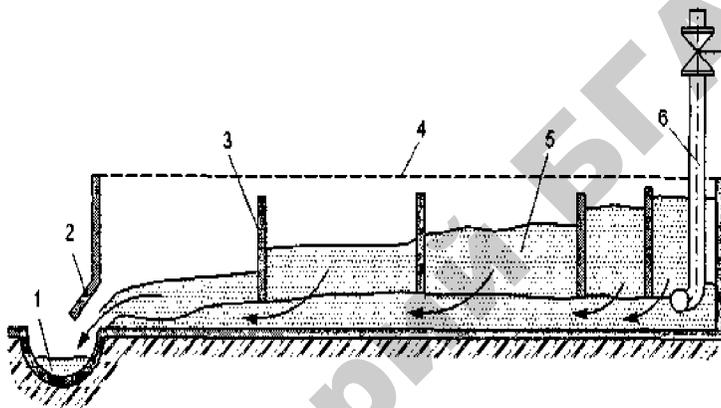


Рис. 10. Секционная система навозоудаления периодического действия:  
 1 – поперечный коллектор; 2 – шиберное устройство, 3 – неподвижная поперечная перегородка; 4 – целевой пол; 5 – поперечный канал;  
 6 – смывной трубопровод с задвижкой

Принципиальным отличием самотечной системы удаления навоза секционного типа является то, что по длине навозосборных каналов устанавливаются дополнительно неподвижные поперечные перегородки, разделяющие канал на секции. Ширину зазора между дном продольного канала и перегородкой принимают равной 0,25 м у первой перегородки и 0,20 м — у остальных. Навозосборные каналы секционных систем можно прокладывать без уклона. Перегородки продольных каналов секционной системы выполняют из металла и устанавливают на расстоянии 6–9 м одна от другой. Последняя перегородка установлена на расстоянии 2–3 м от задней стенки продольного канала. Преимуществами этой системы

являются сравнительно меньший расход воды для удаления навоза, независимость от технологии содержания и кормления животных и пр. Недостатки – возможность накопления придонного осадка и образование мертвой зоны в торце последней секции навозосборного канала. Для обеспечения нормальной и безотказной эксплуатации уклон дна продольных навозосборных каналов принимают не менее 0,005 м. Уклон поперечных каналов в пределах здания в зависимости от размеров каналов, влажности навоза, рельефа и гидрогеологических условий должен составлять 0,01–0,30 м. Для периодической очистки и промывки навозоприемных каналов от осадка в начальной части каналов проектные решения систем дополняют установкой трубопровода для подачи смывной воды.

### **6.3. Рециркуляционный способ удаления навоза**

Для слива навоза, который накапливается в самотечном навозопроводе этого помещения, используют осветленные стоки. Для этого на ферме сооружается насосная станция с навозосборником.

Внутри помещений лотки изготавливаются такие же, как и при лотково-отстойной системе, и сверху закрываются решетками. От насосной станции ко всем продольным лоткам прокладывается напорный трубопровод из асбестоцементных или чугунных труб диаметром 250–300 мм. Насос забирает осветленные навозные стоки из навозосборника (рис. 9) и подает по напорному трубопроводу в продольные лотки. Поток захватывает навоз и транспортирует его по трубопроводу в навозосборник.

Навоз крупного рогатого скота в зависимости от консистенции и содержания свободной воды, т. е. влажности, подвержен расслаиванию. Это объясняется высокой долей в нем свободной воды и незначительным содержанием коллоидов. Слои (рис. 11) сильно различаются по консистенции, плотности, содержанию минеральных частиц, органического вещества и питательных элементов.

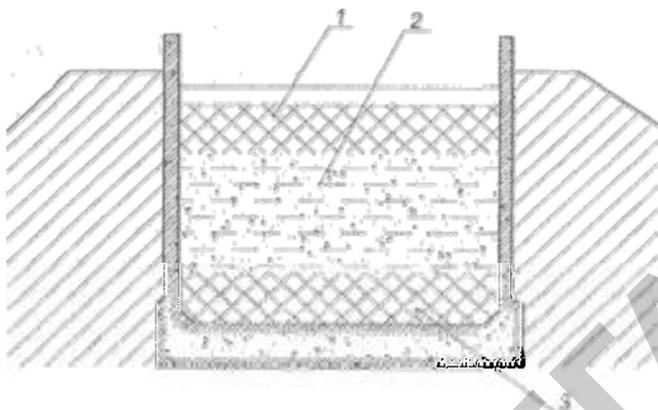


Рис. 11. Расслоение бесподстилочного навоза при хранении:

1 – плавающий слой; 2 – жидкая фракция (зона расслоения); 3 – осадочный слой

Питательные вещества распределяются следующим образом: в жидкой фазе содержится азот, а в твердой – фосфор и калий. Навоз жидкой фазы высасывается машинами МЖТ, а в оставшееся его количество, которое невозможно убрать этими машинами, добавляется торфокрошка. Потом такой навоз грузится в машины и в последующем вносится как органическое удобрение.

Следовательно, азотные удобрения вносятся на одно поле, а фосфорные и калийные – на другое, т. е. растения не получают полнорационного питания по НРК. Для того чтобы питательные вещества равномерно распределились в навозной массе, их необходимо предварительно перемешать. Для вывозки такого навоза из хранилища используют только машины МЖТ.

Накопившийся навоз в продольных каналах животноводческих помещений также расслаивается, и при открытии шиберов жидкая фаза быстро удаляется, а для удаления твердой необходимо смывание большим количеством воды. Для экономии воды навоз необходимо перемешивать, или гомогенизировать. При перемешивании (гомогенизации) навоз получается более однородным, удобным для механической погрузки в мобильные транспортные средства (или для подачи по трубопроводу), удаления из каналов и для равномерного распределения питательных веществ при внесении в почву. В БГАТУ под руково-

дством авторов разработали гомогенизаторы (рис. 12 и 14), прошедшие приемочные испытания и рекомендованные в производство.

Гомогенизатор навесной (рис. 12) состоит из навески 1, рамы 2, талрепа 3, вала 4, винта 5, упора 6, карданного вала 7. Агрегатируется с тракторами 1-го и 4-го классов. Для качественного перемешивания используется четырехлопастной винт. Гомогенизатор агрегатируется с трактором при помощи навески и подсоединяется к валу отбора мощности карданным валом.

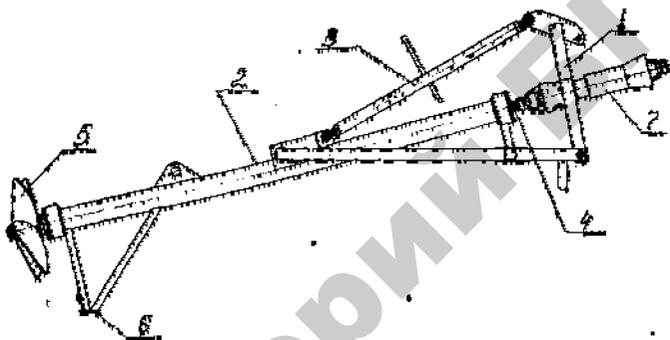


Рис. 12. Общий вид навесного гомогенизатора

Перед началом работы гомогенизатор с помощью талрепа 3 устанавливают предварительный угол уклона мешалки к горизонту дна канала или навозохранилища. Максимальный угол наклона устанавливается исходя из возможности карданного вала, но не должен превышать  $35^\circ$ . Трактор с агрегатом подъезжает задним ходом к навозохранилищу или каналу. Глубина погружения винта ко дну гомогенизатора регулируется гидросистемой из кабины трактора. Чтобы винт вала гомогенизатора не касался дна канала, установлен упор 6. Частота вращения вала гомогенизатора определяется влажностью навоза. Наиболее рационально ее устанавливать по частоте вращения ВОМ трактора  $500$  и  $1000 \text{ мин}^{-1}$ . Увеличение частоты вращения вала сказывается на энергоемкости процесса. Резко возрастает нагрузка на вал мешалки, появляется кавитация лопастей винта. При этом производительность

смешивания слоев навоза увеличивается незначительно, но резко возрастает мощность на привод.

Следует обратить внимание, что при влажности менее 92 % возникает явление тиксотропии – отсутствие перемещения слоев навозной массы. В этом случае перемешивание навозных слоев значительно осложняется, и теряется работоспособность гомогенизатора. Поэтому для повышения влажности навоза до 92 % желательно в перемешиваемую массу добавлять воду.

Наибольший эффект приносит использование гомогенизатора в открытых навозохранилищах.(рис. 13)



Рис. 13. Перемешивание навоза гомогенизатором в открытых навозохранилищах

Поскольку в нашей республике все животноводческие помещения имеют продольные каналы с тупиковыми устройствами, составляющими 40–50 м, перемешивание от гомогенизатора распространяется на расстояние 15–20 м. Из-за упора массы в противоположную стенку дальнейшее перемешивание не осуществляется. Поэтому гомогенизатор необходимо переставлять, что неосуществимо, т. к. вдоль продольного канала установлены боксы для содержания животных.

Чтобы перемешать навоз по всему объему канала, необходимо закольцевать каналы, возможно, два соседних канала, но для этого необходимо произвести реконструкцию помещения.

Для перемешивания (гомогенизации) навоза в продольных каналах разработан малогабаритный передвижной гомогенизатор с электроприводом (рис. 14).

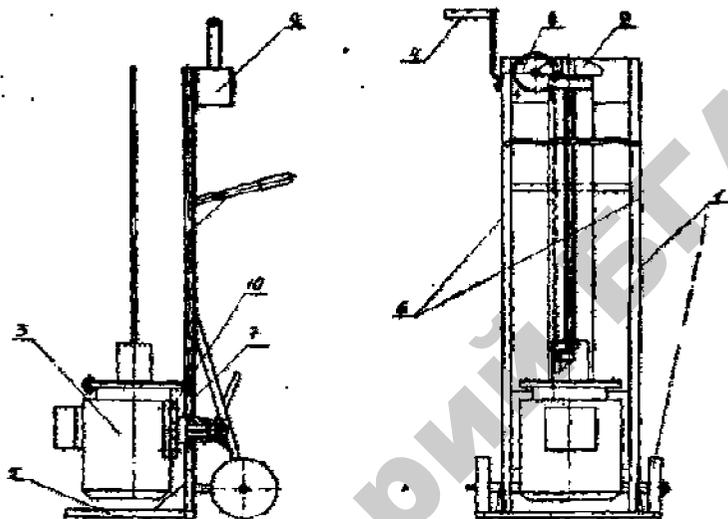


Рис. 14. Общий вид гомогенизатора передвижного:

- 1 – тележка; 2 – мешалка; 3 – электродвигатель; 4 – подъемное устройство;  
5 – рама; 6 – направляющая; 7 – каретка; 8 – полиспаст; 9 – червячный редуктор;  
10 – поворотная плита

Тележка представляет собой П-образную раму 5 сварной конструкции и двух лонжеронов. К раме перпендикулярно вверх приварены две направляющие 6 в виде швеллеров подъемной каретки 7. В нижней части направляющих приварена ось с двумя опорными колесами.

Подъемное устройство состоит из каретки 7, соединенной через полиспаст 8 с червячным редуктором 9, установленным в верхней части направляющих.

Электродвигатель 3 крепится на поворотной плите 10, установленной на подъемной каретке 7. На валу электродвигателя смонтирована мешалка, выполненная в виде вертикального вала с крыльцом в нижней части (на свободном конце) и соединительной

муфтой в верхней, посредством которой мешалка соединяется с электродвигателем. Вал мешалки вращается в направляющих, выполненных из двух шин.

Управление электродвигателем осуществляется пультом. Электропитание к пульту управления подается с трехфазной розетки. В транспортном положении и при переездах из одного места в другое электродвигатель с повернутой вверх мешалкой находится в нижнем положении. Для установки в рабочее положение электродвигатель с мешалкой на подъемной каретке поднимаются в верхнее положение и поворачивается на поворотной плите на 180°.

*Работа с миксером.* Важно, чтобы миксер не слишком глубоко погружался в жижу. Наиболее эффективно гомогенизатор работает, если плотность жижи плавающего слоя позволяет ему вращаться. При перестановке агрегата требуется установить винт гомогенизатора на определенную глубину, закрепить упор на направляющей. Погружают гомогенизатор в массу после того, как он поработает вхолостую. Для работы в плотных и сухих слоях гомогенизатор снабжен рукавом для воды, которая подается по узкой прямоугольной трубе рядом с валом под крыльчатку. Часто этого достаточно только в начальный период.

Гомогенизатор лучше перемешивает в наклонном положении, чем в вертикальном. Угол наклона ограничивается размером между решетками пола.

Основным вопросом является, на какой длине канала перемешивает гомогенизатор, поскольку необходимо решить, как часто и на какое расстояние переставлять его. Это зависит от плотности и вязкости слоя и от ширины канала. При проведении авторами исследований в СПК «Вишневка» Минского района и КСО «Колос» Каменецкого района, где ширина каналов составляла соответственно 0,8 и 1,8 и глубина – от 1,0 до 1,3 м, выяснилось, что агрегат необходимо переставлять через каждые 5–6 м. При этом гомогенизатор для лучшего перемешивания наклоняли один раз вправо и один раз влево. При такой работе смешивание происходило в канале на расстоянии 2,5–3,0 м.

Гомогенизатор внутри животноводческих помещений передвигается при транспортном положении вручную.

#### **6.4. Энергосберегающий метод удаления навоза на свиноводческих комплексах**

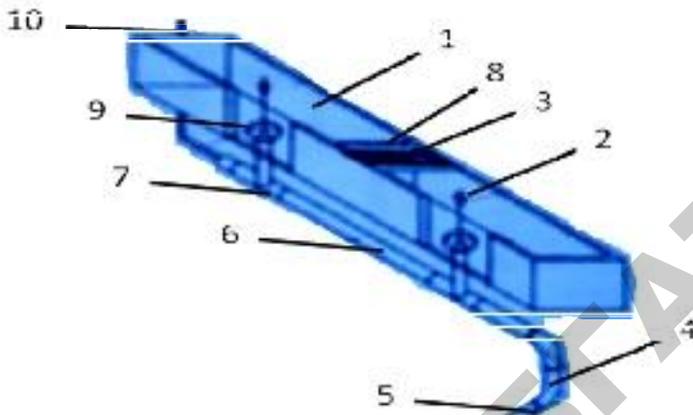
Удаление навоза из животноводческих помещений является одним из самых сложных процессов во всей технологической цепочке получения продукции.

Гидравлическая система удаления навоза имеет ряд преимуществ по сравнению с механической, однако в ней есть и существенные недостатки. Большинство систем периодического действия для закрытия продольных каналов используют шиберы, которые постоянно работают в агрессивной среде и подвергаются интенсивному коррозионному износу, поэтому плохо открываются и закрываются, в результате чего нарушается их герметичность. Это приводит к тому, что жидкая фракция навоза вытекает из каналов, а оставшаяся на дне твердая фракция требует дополнительных усилий на удаление. Для удаления плотной навозной массы используют пресную воду, подаваемую под давлением из брандспойта, поэтому влажность навозных стоков достигает 97,0–98,8 %.

В последнее время в западноевропейских странах при реконструкции свиноводческих ферм предлагают системы навозоудаления, прежде всего, исходя из требований экологов, сокращения трудозатрат, значительной экономии воды, повышения санитарно-гигиенического состояния свинарника.

Данную систему навозоудаления (рис. 15) можно представить как разновидность самотечной системы периодического действия. Реконструкция свиноводческих ферм по такой системе значительных капиталовложений не требует. Данная система может быть использована при содержании различных половозрастных групп свиней как при содержании в индивидуальных станках, так и в групповых, которые содержатся на щелевых полах.

Ее отличие от ранее разработанных гидравлических систем состоит в том, что под каждым навозоприемным каналом проложены пластиковые канализационные трубы, сверху канал перекрыт решетчатым полом. В канале установлены пластиковые тройники, соединяющие навозоприемный канал с пластиковой трубкой. Продольные и поперечные пластиковые трубы укладываются с уклоном в сторону навозоприемника.



*Рис. 15.* Канал усовершенствованный самотечной системы навозоудаления периодического действия:

- 1 – навозопремная ванна; 2 – задвижка пробкового типа; 3 – панель решетчатого пола; 4 – отвод; 5 – поперечный коллектор; 6 – продольный коллектор; 7 – тройник; 8 – перегородка; 9 – приямок; 10 – воздушный клапан

Система предусматривает установку навозных ванн вместо продольных навозных каналов, вместо поперечных – систему канализационных труб под навозными ваннами. Установка такой системы возможна как при полной, так и при частичной реконструкции существующих навозных каналов.

Навозные ванны (рис. 16) обычно выполнены из бетона. Дно ванны должно быть горизонтальным. Это позволяет удалять жидкую фракцию с небольшой скоростью. Удаляемая жидкая фракция навоза тянет за собой твердую фракцию, и ванна опорожняется практически без дополнительных усилий. При наличии уклона жидкость уходит быстро, а твердая фракция остается, и ее приходится смывать водой. Опыт показывает, что некоторые руководители хозяйств не используют возможность опорожнения ванн с горизонтальным полом и при проведении строительных работ уклон все же делают. Это приводит в дальнейшем к проблемам эксплуатации канализационных систем.

В средней части ванны устраивается приямок глубиной 10 см и радиусом 50 см. В приямке устанавливается заборная пластиковая горловина, герметично закрываемая прорезиненной утяжеленной

пробкой. Горловина соединена с помощью тройника с канализационной трубой. Таким же образом соединяется с трубой каждая ванна.

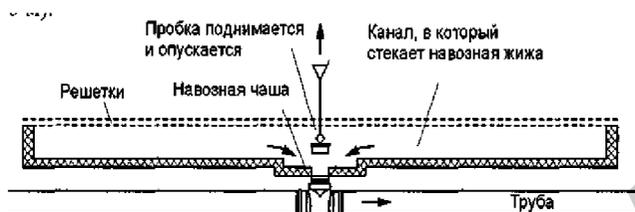


Рис. 16. Схема навозосборной ванны системы навозоудаления

Длина ванны должна быть не более 14 м, глубина – достаточной для двухнедельного накопления навоза, примерно 0,4–0,5 м, так как после 14 суток хранения навоза начинается активное выделение аммиака. Канализационные трубы укладывают с уклоном 0,005 м на каждый метр трубопровода.

Благодаря герметичному закрытию сливных отверстий исключается не только вытекание из ванн жидкой фракции навоза, но и доступ под решетки сквозняка, который губителен для всех групп животных, и особенно для поросят. Данная система позволяет освобождать навозные ванны под станками независимо одна от другой, т. е. по мере накопления, не остерегаясь попадания навоза в соседнюю ванну.

Система работает следующим образом. Твердая и жидкая фракции навоза поступают через щелевой пол в навозные ванны и, благодаря герметичному закрыванию сливных отверстий, накапливаются в емкости под ними. По истечении двух недель пробку слива поднимают вручную при помощи крюка. Навоз стекает в сливное отверстие пластикового коллектора, который прокладывается под навозоприемным каналом с уклоном 0,0035–0,0040 в сторону поперечного коллектора или навозоприемника, находящегося за пределами свинарника.

Преимущества такой системы удаления навоза из свиноводческих помещений:

– для реконструкции животноводческих помещений требуется небольшой объем строительных работ и, как следствие, небольшие капиталовложения;

– быстрый монтаж оборудования;

– низкая стоимость и эксплуатационные показатели позволяют производить быстрый слив навоза, значительно экономить воду, т. к. система не требует дополнительного смыва водой.

Такая система проста при монтаже и эксплуатации, а также полностью обеспечивает соблюдение санитарных и ветеринарных требований в свинарниках для содержания всех половозрастных групп свиней.

## 6.5. Машины и оборудование для подготовки навоза к использованию

В настоящее время находит распространение технология утилизации навоза на свиноводческих комплексах (рис. 17). Ее суть заключается в следующем. Из помещений навозные стоки самотеком поступают в приемный резервуар. Чтобы навоз не расслаивался, его перемешивают гомогенизатором, а затем насосом подают на сепаратор для разделения на фракции. Твердая часть идет на компостирование, жидкая – в навозохранилище, а затем на поля орошения.

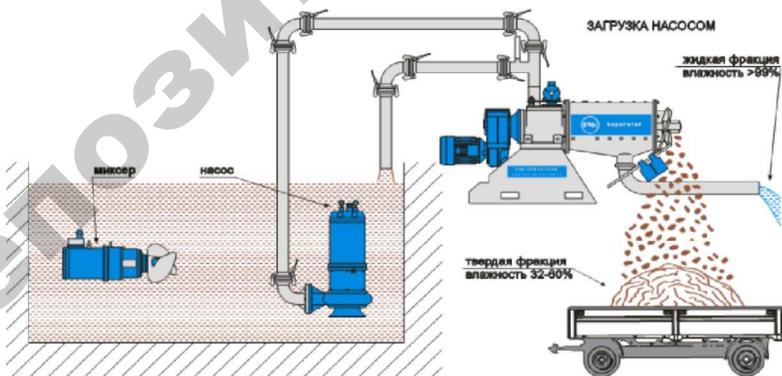


Рис. 17. Технология утилизации навоза на свиноводческих комплексах

*Сепаратор.* Представляет собой шнековый пресс, в котором прессование производится с помощью шнека, что позволяет выдавливать всю свободную воду и некоторую часть связанной воды. Эффективность же отделения твердых составляющих зависит от размера ячеек решета, шнека, модели, типа, твердых составляющих и расположения противовесов системы, определяющих степень обратного давления. При этом степень отделения сепаратором азота, фосфора, калия и других питательных веществ колеблется от 10 до 80 %.

Сепаратор (рис. 18) загружается с помощью погружного насоса с измельчающим механизмом, транспортером или самотеком из накопительного резервуара.

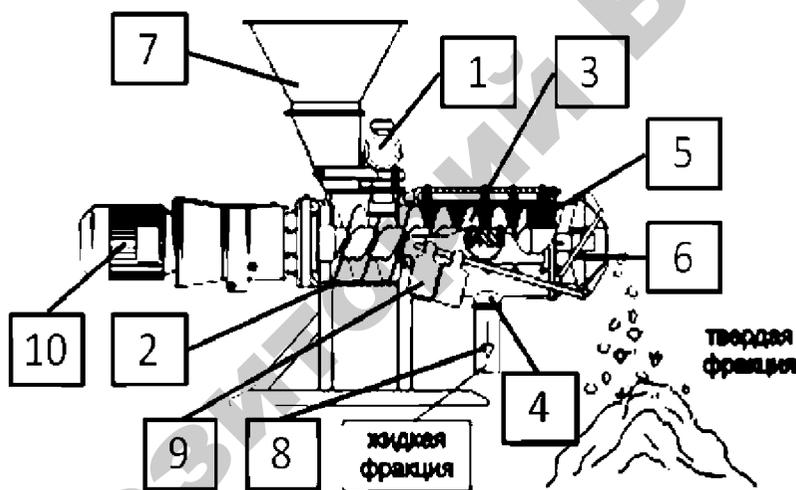


Рис. 18. Прессо-шнековый сепаратор FAN PSS:

- 1 – осциллятор; 2 – решето; 3 – шнек; 4 – выпускное отверстие; 5 – раструб;  
 6 – заслонка регулятора выходного отверстия; 7 – приемное устройство;  
 8 – выпускной патрубок; 9 – противовесы; 10 – электродвигатель

Внутри впускной секции осциллятор 1 создает колебательное давление в жидкости. Это ведет к улучшенной производительности и более высокой пропускной способности, особенно вязкой жидкости.

В решетке 2 волокнистые твердые вещества отделяются от жидкости. Волокна создают фильтрующий слой, который задерживает более мелкие частицы в жидкости. Винтовая поверхность шнека 3 продвигает этот слой к выпускному отверстию 4. Поверхность решетки 2 очищена и образуется новый фильтрующий слой. Конструкция решетки не допускает образования пробок.

Давление в первой части решетки 2 низкое и увеличивается по мере возрастания концентрации твердых веществ в выходящем продукте. Сила трения твердой заглушки в цилиндрическом раструбе 5 и двойной заслонки регулятора выходного отверстия 6 создает противодавление.

Благодаря встроенному перепускному клапану избыток стоков возвращается обратно в резервуар самотеком. Стоки попадают в приемное устройство 7, а из него, попав в камеру шнека, сначала обрабатываются вибрационным устройством. Это способствует более эффективному обезвоживанию на последующих стадиях сепарирования. Далее вначале часть свободной воды отделяется через решетку самотеком, отделенная вода выходит через выпускной патрубок 8 сепаратора. Вода, связанная в твердых составляющих, выжимается при прессовании массы, которое происходит на последних двух витках шнека. После отделения твердый материал может быть свален в кучу или перевезен обычными средствами механизации, например, трактором с прицепом. Отделенная жидкость может использоваться повторно, например, в промывочной системе, или может быть помещена на хранение в отстойник в качестве жидкого удобрения. Сила прессования регулируется противовесами 9, определяющими обратное давление, создаваемое на выходе сепаратора.

Конструкция корзины решетки предотвращает образование пробок. Давление в первой части решетки незначительно, но с увеличением концентрации твердого вещества и до выхода твердой фракции оно возрастает. Трение твердой пробки в цилиндрической насадке и двойной клапан регулятора выхода создают сопротивление на выходе твердой фракции и обеспечивают прессование, степень которого может регулироваться количеством и положением противовесов. Привод шнека сепаратора осуществляется посредством электродвигателя 10.

Технические характеристики пресс-сепаратора приведены в табл. 6.

Таблица 6

Технические характеристики пресс-сепаратора FAN в зависимости от модели

Модель прессо-шнекового сепаратора	Материал корпуса	Мощность двигателя, кВт	Рабочая длина шнека, мм	Масса, кг	Приблизительные размеры собранной машины, Д×В×Ш, мм
PSS 1.2-520	Чугун	4,0	520	490	1790×950×600
PSS 1.2-780	Чугун	5,5	780	530	2050×950×600
PSS 5-520	Нержавеющая сталь	5,5	520	490	1865×946×600
PSS 5-780	Нержавеющая сталь	5,5	780	505	2125×946×600

Приблизительная зависимость производительности сепаратора от величины ячеек решета и содержания твердых веществ в исходном продукте приведена в табл. 7.

Таблица 7

Зависимость производительности сепаратора ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) от величины ячеек решета и содержания твердых веществ в исходном продукте

Количество твердых веществ в исходном продукте, %	Размеры ячеек решета, мм			
	0,25	0,5	0,75	1,0
3	6–13	17–26	22–30	26–35
5	5–10	10–16	13–18	16–21
7	4–7	7–11	9–13	11–15
10	3–5	5–8	7–9	8–10
12	2–4	4–7	5–8	7–9
15	1–3	3–5	4–6	5–7

## 6.6. Расчет оптимального количества машин для использования удобрений

При любой технологии использования органических удобрений на производительность машин и себестоимость выполняемых работ влияют состав и расстановка средств механизации.

При транспортировке и внесении органических удобрений по прямоточной технологии количество машин для внесения  $n_p$  определяется по формуле

$$n_p = \frac{M}{D_p W_p t \tau_{см}}, \quad (6.1)$$

где  $M$  – масса навоза, подлежащего вывозке и внесению, т;

$D_p$  – число рабочих дней периода вывозки и внесения;

$t$  – количество часов работы в день, ч;

$W_p$  – норма выработки разбрасывателя, т/ч;

$\tau_{см}$  – коэффициент использования времени смены.

Производительность разбрасывателя определяется по формуле

$$W = \frac{V \beta G \gamma}{l + V \beta (t_{II} + t_B)}, \quad (6.2)$$

где  $V$  – средняя скорость агрегата, км/ч;

$\beta$  – коэффициент использования пробега;

$G$  – грузоподъемность разбрасывателя, т;

$\gamma$  – коэффициент использования грузоподъемности;

$l$  – радиус перевозки удобрений, ч.

Время погрузки определяется по формуле

$$t_{II} = \frac{n_p}{n_M}, \quad (6.3)$$

где  $n_p$  – необходимое количество разбрасывателей;

$n_M$  – количество машин, бесперебойную работу которых может обеспечить один погрузчик.

Количество разбрасывателей, обеспечиваемых одним погрузчиком:

$$n_p = 1 + \frac{W_{II} t_{чр}}{G}, \quad (6.4)$$

где  $t_{чр}$  – время, затраченное на транспортировку (с грузом и без груза) и внесение удобрений, ч.

## 6.7. Расчет гидронапорных трубопроводных установок

Одним из основных элементов гидронапорных установок для транспортирования навоза являются навозопроводы. Они бывают чугунные (выдерживают давление до 1 МПа), стальные (практически на любое давление), асбоцементные (до 0,2 МПа), полиэтиленовые, из армированных напорных шлангов (0,4–0,6 МПа).

Диаметр навозопроводов применяют не менее 100 мм, скорость движения навоза в них не ниже 1,2 м/с. При меньшей скорости навоза трубопровод будет забиваться. Для навозопроводов, которые прокладывают в земле, фланцевые соединения не рекомендуют.

Критическое число Рейнольдса во время транспортирования навоза КРС по стальным трубам принимают в среднем 2000–3000, свиней – 1500–2000, навоза КРС – 2700–4000.

Трасса навозопровода должна иметь как меньше поворотов, отклонений от прямолинейности. В самых нижних частях трубопровода, а также в местах изменения его направления следует строить контрольные колодцы со сливной трубой, к которой можно подсоединить шланги откачки навоза.

Диаметр  $D$  (м) напорного навозопровода высчитывают как

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0,785V}}, \quad (6.5)$$

где  $Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с ;

$V$  – скорость движения навоза в навозопроводе, м/с.

Необходимая подача гидронапорной трубопроводной установки навоза зависит от поголовья  $n$  каждой половозрастной группы скота, суточного выхода навоза от одного животного  $q_i$ , каждой названной группы, плотности навоза  $r$ , кг/ м<sup>3</sup>, и длительности  $t$ , с, работы установки в сутки:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^m n_i q_i}{tp}, \quad (6.6)$$

где  $m$  – количество половозрастных групп скота, которые обслуживает установка.

Расчетная мощность  $N_p$ , Вт, привода гидронапорной трубопроводной установки навоза равна

$$N_p = \frac{QH_H}{\eta_M \eta_H}, \quad (6.7)$$

где  $H_H$  – необходимый напор установки, Па;

$\eta_M \eta_H$  – КПД напорной машины установки, передач от электродвигателя к напорной машине.

Необходимый напор представляет собой сумму ряда составляющих:

$$H_H = H_{Tr} + H_M + H_r + H_c, \quad (6.8)$$

где  $H_{Tr}$  –напор для преодоления трения навоза о стенки прямолинейных участков трубопровода, Па;

$H_M$  – напор для преодоления местных сопротивлений от поворотов, отклонений от прямолинейности, переключателей и других местных устройств, ориентировочно  $H = (0,10-0,15)H$ , Па;

$H_r$  – напор для преодоления геодезических разностей между местами всасывания и подачи навоза, Па;

$H_c$  – свободный напор (не менее 10 000–20 000 Па), т. е. 1–2 м водяного столба.

В свою очередь:

$$H_{тр} = \lambda \frac{L \rho V^2}{D 2}, \quad (6.9)$$

где  $\lambda$  – гидравлический коэффициент трения;

$L, D$  – длина, диаметр трубопровода, м;

$V$  – скорость движения навоза, м/с;

$\rho$  – плотность навоза, кг/м<sup>3</sup>.

Гидравлический коэффициент  $\lambda$  зависит преимущественно от числа Рейнольдса ( $Re$ ). Для труб диаметром 150–400 мм и влажности навоза 86–93 %  $\lambda = 0,95–0,04$ , соответственно  $Re = 50–10\,000$ . Для навоза влажностью 93 %  $\lambda = 1,2–0,02$  при изменении  $Re = 50$  до 5500.

$$Re = \frac{1}{\frac{\eta}{\rho V D} + \frac{\tau}{6 \rho V^2}}, \quad (6.10)$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость, см/м<sup>2</sup>;

$\tau$  – граничное максимальное напряжение сдвига.

Для ламинарного движения навоза свиней  
влажностью 86–93 %

$$\lambda = (9,3 + 255) Re; \quad (6.11)$$

для навоза крупного рогатого скота

$$\lambda = 64/Re. \quad (6.12)$$

От ламинарного к турбулентному движению навоз свиной переходит, если  $Re = 1500-1800$ , навоз КРС – если  $Re = 2800-3000$ . В этих случаях, соответственно, для навоза свиной

$$\lambda = (0,735+7,3) / Re; \quad (6.13)$$

для навоза крупного рогатого скота

$$\lambda = 0,3184 / 0,25 Re. \quad (6.14)$$

Напор для преодоления трения навоза о стенки прямолинейных участков трубопровода может быть вычислен и с помощью удельных потерь  $l$  напора, Па/пог. м, на названном участке:

$$H_{тр} = il = I \left( \frac{30\eta V \rho_v}{\rho D^2} + \frac{6,4\tau \rho_v}{\rho D} \right), \quad (6.15)$$

где  $\rho_v$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Рабочий напор  $P$  установки должен быть большим или, в крайнем случае, равным необходимому расчетному  $P \geq H_n$ .

Мощность  $N$  двигателя, которым нужно оборудовать установку, должна составить:

$$N = K_3 N_p, \quad (6.16)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса, 1,11–1,15;

$N_p$  – расчетная мощность.

Если навоз перемещают по навозопроводу сжатым воздухом, который нагнетает компрессорная установка, подача последней может быть вычислена, как

$$Q_k = \frac{QP}{K_y P_k}, \quad (6.17)$$

где  $K_y$  – коэффициент утечки воздуха, 0,8–0,85;

$P_k$  – сжатие компрессором воздуха, Па.

Вместимость ресивера компрессорной установки  $V_p$ , м<sup>3</sup>, должна составить:

$$V_p = \frac{P(V_k + V_r)}{P_k}, \quad (6.18)$$

где  $V_k$  и  $n_p$  – вместимости котла выдавливания навоза, навозопровода, м<sup>3</sup>.

$$V_r = \frac{\pi D^2}{4} L. \quad (6.19)$$

Давление воздуха в ресивере должно превышать его давление в конце навозопровода примерно на 0,3–0,5 МПа.

## Глава 7. ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАЗМЫВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЗАМКНУТОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ

На большинстве животноводческих комплексов по откорму крупного рогатого скота используется гидравлическая система удаления навоза периодического действия. Навоз в этом случае подвергается расслоению (три слоя): плавающая корка (вверху); жидкая часть (в середине); твердая часть (на дне).

Поскольку слои сильно отличаются по консистенции и при открытии шибера жидкая фракция сплавляется, а твердая остается, то для ее удаления приходится возить чистую воду машинами МЖТ или вымывать брандспойтом под большим давлением. Недостатком существующих технологий навозоудаления является многократное разбавление водой экскрементов при их удалении, а это ведет к ряду отрицательных последствий: к увеличению навозохранилищ, нерациональным транспортным затратам по вывозке в составе стоков воды, потере более половины полученных органических удобрений, а также к заиливанию почвы и загрязнению окружающей среды. Для удаления экскрементов из животноводческих помещений без добавления воды разработан гомогенизатор, который позволяет перед открытием сделать однородную массу. Для более эффективного удаления навоза предлагаем все каналы закольцевать в один длинный канал (рис. 19, 20).

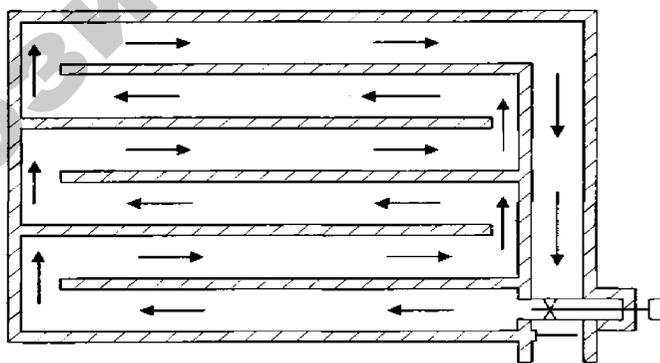


Рис. 19. Схема движения навозной массы

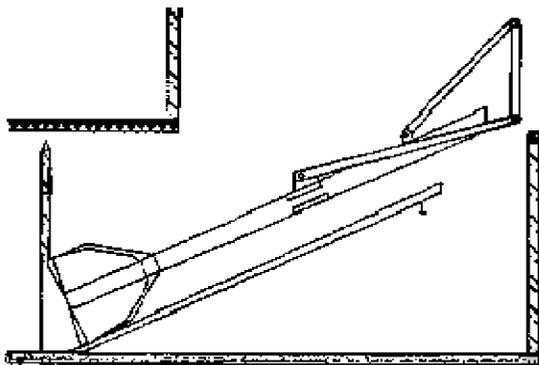


Рис. 20. Гомогенизатор в навозном канале

Преимущества такого способа удаления заключаются в том, что все содержимое в каналах можно перемешать с одного места, исчезает необходимость постоянно перемещать гомогенизатор (как при обычной канальной системе). Требуется также установка только одного шибера, а не на каждом канале, и герметизация только стенок каналов по периферии здания.

В работах авторов исследовано стационарное течение вязкой несжимаемой жидкости в плоском «распрявленном» канале, найдена форма свободной поверхности жидкости и проведен анализ влияния на нее параметров задачи и формы дна канала.

Рассмотрим плоский замкнутый канал длиной  $l$ , заполненный покоящейся вязкой средой. В системе координат  $xOy$  (ось  $Oy$  – вертикальна) дно канала задано равенством  $y = \psi(x)$ , а свободная поверхность  $y = h$ . Начало координат считаем выбранным так, что выполняется равенство

$$\int_0^l \psi(x) dx = 0. \quad (7.1)$$

В некоторый момент времени в начальное сечение  $x = 0$  канала вводится насос, создающий движение среды в направлении оси  $Ox$ .

Это приводит к повышению уровня среды перед насосом и понижению уровня за ним, что является причиной возникновения движения среды по всей длине замкнутого канала. Через небольшой промежуток времени после начала движения контур свободной поверхности перестает изменяться, т. е. движение среды устанавливается. Последнее обстоятельство свидетельствует об окончании первого временного этапа движения среды, в течение которого происходит интенсивный переход от состояния покоя к установившемуся движению. Этот этап является относительно коротким и не представляет практического интереса, поэтому мы ограничимся здесь лишь констатацией факта его существования.

На втором этапе движение среды можно считать стационарным, что несколько упрощает задачу и позволяет приближенно найти поле скоростей и форму свободной поверхности при заданной форме дна канала. В частности, установлено, что если порядок  $|\psi(x)|$

не превосходит порядок величины  $\varepsilon = \frac{h}{l}$ , то неровности дна канала не оказывают значительного влияния на профиль свободной поверхности.

Если геометрия канала остается неизменной, то рассматриваемый второй этап движения среды будет и последним. Если же дно размывается движущейся средой, то  $\psi = \psi(x, t)$  и течение в канале после первого этапа не будет стационарным. Однако в практически важных случаях процесс размыва донных отложений идет очень медленно, поэтому можно считать, что второй этап имеет место на любом относительно коротком временном интервале, на котором можно пренебречь влиянием изменения со временем функции  $\psi(x, t)$ .

Третий этап в исследовании движения относится к тому случаю, когда необходимо найти функцию  $\psi(x, t)$ , характеризующую процесс изменения дна канала.

Изменение функции  $\psi(x, t)$  на большом временном интервале значительно и соизмеримо с  $h$ , несмотря на малую скорость этого изменения. Задача в этом случае становится квазистационарной,

т. к. ее параметры зависят от времени не явным образом, а лишь посредством функции  $\psi(x, t)$ .

Остановимся более подробно на упомянутом условии, из которого должна быть найдена функция  $\psi(x, t)$ . Естественно предположить, что количество частиц осажденной фазы среды, срываемых в единицу времени со дна канала движущимся потоком, будет увеличиваться при увеличении силы, с которой движущаяся среда воздействует на дно в точке  $x$ . Если ограничиться простейшей формой зависимости – линейной, то это предположение запишется так:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -\chi P_{n\tau} \Big|_{y=\psi(x,t)} . \quad (7.2)$$

Здесь  $P_{n\tau} \Big|_{y=\psi(x,t)}$  – касательное напряжение на поверхности дна в точке  $x$ ,  $\chi$  – коэффициент, равный скорости перемещения границы раздела жидкости и осажденной фазы в направлении нормали к этой границе при равном единице напряжении  $P_{n\tau}$ ; раз-

мерность  $[\chi] = \frac{\text{М}^3}{\text{Н} \cdot \text{с}}$ . Коэффициент  $\chi$ , очевидно, зависит от механи-

ческих характеристик жидкости и осажденной фазы, а также от величины, характеризующей относительную толщину слоя фазы, размытого жидкостью к данному моменту времени. Зависимость  $\chi$  от толщины осажденного слоя необходимо учитывать, если, например, этот слой стратифицирован по толщине и сопротивляемость размыву частиц фазы растет при увеличении времени, прошедшего с момента осаждения этих частиц в результате естественного уплотнения осажденной фазы с течением времени.

Анализ процесса размыва дна канала будем проводить, оставаясь в рамках модели вязкой несжимаемой жидкости после ее необходимого обобщения. Это обобщение сводится к следующим допущениям:

– в результате размыва дна частицы осажденной фазы переходят в жидкость, что приводит к изменению ее плотности  $\rho$  и вязкости  $\mu$ ;

– указанное изменение величин  $\rho$  и  $\mu$  зависит от объема перешедших в жидкость частиц фазы и происходит одновременно во всех точках потока;

– общий объем жидкости и осажденной фазы в канале не изменяется в процессе размыва.

Уравнения и граничные условия квазистационарного движения среды в безразмерных величинах запишем в виде

$$\varepsilon \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\varepsilon \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{R} \left( \varepsilon^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \quad (7.3)$$

$$\varepsilon^2 \left( u \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right) = -1 - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\varepsilon}{R} \left( \varepsilon^2 \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} \right),$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = 0;$$

при

$$y = f(x, t) : u f' - \vartheta = 0, \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \quad (7.4)$$

$$p(1 - (\varepsilon f')^2) + \frac{2\varepsilon}{R} \frac{\partial u}{\partial x} (1 + (\varepsilon f')^2) = 0;$$

при

$$y = \psi(x, t) : u \psi' - \vartheta = 0, u = \frac{k}{R} \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (7.5)$$

Здесь  $u, \vartheta$  – компоненты вектора скорости среды,  $P$  – давление, штрих означает производную по  $x$ ,  
 $\varepsilon = \frac{h}{l}, R = \frac{Ch\rho}{\mu}, C = \sqrt{gh}$ .

Условие (7.2), из которого находится функция  $\psi(x, t)$ , записывается так:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\chi \mu}{h} \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=\psi}. \quad (7.6)$$

Здесь  $t$  – безразмерное время, равное отношению реального времени к величине  $\frac{h}{C}$ .

В отличие от общей постановки нестационарной задачи в уравнениях (7.3) и первом условии (7.4) отсутствуют производные  $\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial \vartheta}{\partial t}, \frac{\partial f}{\partial t}$ , поскольку зависимость функции  $u, f, \vartheta$  от времени обеспечивается, как уже указывалось, лишь функцией  $\psi(x, t)$ .

Для функций  $u, f, \vartheta$  получены выражения:

$$u = C_0 + C_1 y + C_2 y^2,$$

$$\vartheta = C'_0 y + C'_1 \frac{y^2}{2} + C'_2 \frac{y^3}{3} + C_3,$$

$$p = -y + \varepsilon^2 \int_0^y \left( \frac{\varepsilon}{R} \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x} - u \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial u}{\partial x} \right) dy - \frac{\varepsilon}{R} \frac{\partial u}{\partial x} + C(x),$$

$$C(x) = f + \frac{\varepsilon}{R} \frac{1 + 3(\varepsilon f')^2}{(\varepsilon f')^2 - 1} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{y=f} + \varepsilon^2 \int_0^f \left( u \frac{\partial \vartheta}{\partial x} - \vartheta \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\varepsilon}{R} \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} \right) dy,$$

$$C_0 = \frac{Q}{2\Delta} (\psi(\psi - 2f) + 2k(f - \psi)),$$

$$C_1 = \frac{Q}{\Delta} f, C_2 = -\frac{Q}{2\Delta}, \quad (7.7)$$

$$C_3 = -(C_0\psi + \frac{C_1}{2}\psi^2 + \frac{C_2}{3}\psi^3)',$$

$$\Delta = (f - \psi)^2 \left( \frac{1}{3}(f - \psi) + k \right).$$

А также получено уравнение, связывающее функции  $f$  и  $\psi$  :

$$\varepsilon \int_{\psi}^f \left( u \frac{\partial u}{\partial x} - \vartheta \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\varepsilon}{R} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) dy = -\frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=\psi}. \quad (7.8)$$

Подставив выражение для функции из (7.7) в (7.6), получим

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\chi \mu}{h} \frac{Q}{(f - \psi) \left( \frac{1}{3}(f - \psi) + k \right)}. \quad (7.9)$$

Нелинейные уравнения в частных производных (7.8) и (7.9) представляют собой систему для прохождения функций  $f(x, t)$  и  $\psi(x, t)$  при заданных зависимостях  $\rho(A)$ ,  $\mu(A)$ ,  $\chi(A)$ , где

$$A(t) = -\int_0^1 \psi(x, t) dx. \quad (7.10)$$

Величина  $A(t)$  представляет собой объем осажденной фазы, размытой жидкостью к моменту времени  $t$ .

В результате решения системы (7.8), (7.9) найдется профиль  $\psi(x, t)$  дна канала, резвившийся из заданного начального профиля  $\psi(x, 0)$ , и соответствующая ему свободная поверхность жидкости  $f(x, t)$ . Заметим в связи с этим, что:

1) получить решение системы (7.8), (7.9) трудно даже в численном виде;

2) нахождение функции  $A(t)$ , дающей закон изменения со временем объема размытой фазы, представляет больший практический интерес, чем детальное знание формы дна канала в любой момент времени. Поэтому получим уравнение для нахождения функции  $A(t)$ . С этой целью проинтегрируем по  $x$  обе части уравнения (7.9). Учитывая (10), получим

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{3\chi\mu Q}{h} \int_0^1 \frac{dx}{(f - \psi)(f - \psi + 3k)}. \quad (7.11)$$

Переменная  $x$  входит в подынтегральную функцию (7.11) и в правую часть уравнения (7.9) только через разность функций  $f$  и  $\psi$ , равную безразмерной толщине слоя жидкости  $H$  в точке  $x$ . Тогда из уравнения (7.9) следует, что в фиксированный момент времени  $t$  скорость размыва дна (скорость увеличения  $|\psi(x, t)|$ ) больше в тех точках  $x$ , в которых толщина этого слоя меньше, что приводит к относительно быстрому выравниванию толщины слоя со временем. Таким образом, можно приближенно считать, что при квазистационарном течении толщина слоя среды  $H$  зависит только от времени и не зависит от продольной координаты  $x$  канала:

$$f(x, t) - \psi(x, t) = H(t). \quad (7.12)$$

Проинтегрировав это равенство почленно по  $x$ , получим

$$\int_0^1 f(x, t) dx - \int_0^1 \psi(x, t) dx = 1 + A(t) = H(t). \quad (7.13)$$

С учетом равенств (12) и (13) уравнение (11) записывается в виде

$$\frac{dH}{dt} = \frac{3\chi\mu Q}{hH(H+3k)}. \quad (7.14)$$

Входящую в (7.14) величину  $Q$ , равную расходу жидкости через любое сечение канала, при постоянном расходе насоса  $q_x$  найдем по формуле (7.2):

$$Q(H) = \frac{6q_x H^2 (H+3k)}{(H^2 - 1 + 2kH)(h_2 - h_1) + h_2^2 - h_1^2 - \frac{1}{3}(h_2^3 - h_1^3)}, \quad (7.15)$$

если гомогенизатор введен под свободную поверхность жидкости и  $0 \leq h_1 < y < h_2 \leq 1$  – сечение его струи, либо  $Q = q_x$ , если гомогенизатор (см. рис. 20) вмонтирован в стенку, перегородившую канал.

Таким образом, при заданных зависимостях  $\mu(A), \chi(A)$  уравнение (7.14) всегда может быть проинтегрировано в квадратурах и его решение записывается так:

$$t = F(H), F(H) = -\int_1^H \frac{H(H+3k)dH}{3 \mu(H-1)\chi(H-1)Q(H)}. \quad (7.16)$$

В частности, если  $A_1$  – средняя толщина слоя осажденной в канале фазы, то время размыва  $t_1$  этого слоя найдем по формуле

$$t_1 = F(A_1 + 1).$$

Анализ формулы (7.15) показывает, что расход  $Q \geq q_x$  и растет с увеличением  $H$ . Это значит, что при прочих равных условиях подынтегральное выражение в (7.16) при  $Q = q_x$  больше, чем при расходе  $Q$ , определяемом формулой (7.15). Следовательно, время размыва  $t_1$  при введении насоса под поверхность жидкости будет меньшим, чем в том случае, когда насос вмонтирован в поперечную перегородку канала.

Из формулы (7.16) следует, что наличие проскальзывания на границе раздела между жидкостью и осажденной фазой ( $k > 0$ ) приводит к увеличению времени размыва  $t_1$

Из уравнений функций ясно, что коэффициент  $\chi(A)$  является убывающей функцией своего аргумента, если плотность в слое осажденной фазы – возрастающая функция аргумента  $A$ . Вязкость же среды  $\mu(A)$  всегда возрастает с увеличением  $A$ . Поэтому произведение  $\mu(A)\chi(A)$  в большинстве случаев будет мало отличаться от постоянной, равной произведению значений этих функций для любого фиксированного  $A$ . Тогда функция  $F$  примет вид

$$F(H) = \frac{h}{3\mu\chi} \int_0^H \frac{H(H+3k)}{Q(H)} dH,$$

при  $Q = q_x$  и  $k = 0$  получим

$$t = \frac{h}{9\mu\chi q_x} (H^3 - 1).$$

Отсюда имеем:  $H = \sqrt[3]{\frac{9\mu\chi q_x}{h} t + 1}$ , то есть глубина жидкости в процессе размыва растет со временем пропорционально

$$\sqrt[3]{t + \frac{h}{9\mu\chi q_x}}.$$

## Глава 8. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА КОМПЛЕКСАХ И ФЕРМАХ

Действие животноводческих предприятий осуществляется непосредственно в природной среде и тесно связано с ней. На них накапливается значительное количество навоза, отходов боен, отходов силоса, кормовых и растительных отходов и даже трупов животных. Навоз – ценнейшее средство увеличения урожайности почвы, а при неправильной утилизации – огромнейшая разрушающая природу сила.

Снизить загрязняющее влияние животноводческих комплексов на прилегающую к ним территорию возможно лишь за счет грамотного проектирования технологии производства и застройки ферм. Для этого необходимо:

- воздержаться от проектирования и строительства на территории республики комплексов по откорму КРС свыше 3–5 тыс. гол. и свиноводческих – свыше 24–27 тыс. гол. и категорически отказаться от проектирования и строительства новых комплексов с системами навозоудаления на гидросмыве;

- значительно сократить общее число животных на ферме, в отдельных помещениях, секциях;

- включить в технологию содержания животных принцип «все пусто»–«все занято» и профилактические перерывы с целью постоянного поддержания на фермах высокой санитарной культуры;

- проводить общие ветеринарно-санитарные мероприятия, способствующие снижению количества микрофлоры в помещениях и предупреждения разноса их по прилегающей территории. Вокруг комплексов и на их территории создавать санитарно-защитные зеленые зоны;

- максимально снизить расход воды на удаление навоза, переходить на широкое использование механических способов их удаления;

- больше использовать в качестве подстилочного материала соломенную резку, позволяющую создавать для животных теплое логово и значительно повысить удобрительные качества навоза. Для этого потребуется на каждой ферме строить цехи для его утилизации;

– постоянно совершенствовать систему обеспечения микроклимата помещений, не допускать внутренней и внешней рециркуляции отработанного воздуха;

– производственные группы животных любой формы размещать с соблюдением ветеринарно-санитарных разрывов. Между фермами, комплексами и населенными пунктами создавать санитарно-защитные зоны;

– усилить гигиенический контроль качества проектирования, обязательно проводить комиссионную экологическую экспертизу проектов будущих ферм и комплексов.

Проектирование, строительство и эксплуатация животноводческих ферм и комплексов должны осуществляться с учетом действующих агротехнических, мелиоративных, санитарно-гигиенических и ветеринарных мероприятий. В первую очередь, это обеспечение безопасности хранения и утилизации навоза в эпидемиологическом и эпизоотическом отношении, уменьшение возможности загрязнения воздуха и распространения инфекций аэрогенным путем: создание санитарно-защитных зон и лесных полос, своевременная запашка навоза при его внесении мобильным транспортом, внедрение дождевальных машин с насадками и агрегатами для близкопочвенного дождевания. Все это может значительно снизить интенсивность загрязнения атмосферного воздуха и распространения неприятных запахов и микроорганизмов.

Важно, чтобы комплекс природоохранных мер способствовал естественному биологическому круговороту веществ в природе, процессам естественного обеззараживания, разложения и превращения в составную часть почвы; чтобы эти меры не только предусматривались в проектах, воплощались при строительстве, но и строго соблюдались в процессе эксплуатации животноводческих ферм и комплексов. Кроме того, строительство и ввод в эксплуатацию очистных сооружений, оросительных систем с использованием навозных стоков, навозохранилищ и цехов по утилизации навоза должны предшествовать вводу в эксплуатацию самих ферм и комплексов.

В проектах обязательно следует предусматривать защиту водоемов от загрязнения сточными водами путем перехвата поверхностного и дренажного стока и аккумуляции его в прудах-накопителях с целью создания водооборотных систем.

Сдавать в эксплуатацию ЗПО необходимо не позднее сдачи самого комплекса. Обязательными мероприятиями является планировка поверхности орошаемых земель.

Участки, на которых предусматривается дождевание животноводческими стоками, располагаются с учетом направления преобладающих ветров и размещения территории застройки. Защитная полоса между удобряемым участком и населенным пунктом должна составлять не менее 300 м.

По санитарно-гигиеническим требованиям необходимо, чтобы при использовании животноводческих стоков уровень грунтовых вод залегал на глубине ниже 1,0–1,2 м от поверхности. Эти условия исключают использование всех низинных почв, заливаемых поверхностными водами.

Животноводческие стоки подаются, прежде всего, под однолетние растения в сроки, когда возможно немедленное их перемешивание с почвой, а также под многолетние кормовые растения, главным образом, во вневегетативный период.

При использовании животноводческих стоков в период вегетации растений необходимо учитывать следующие сроки, когда внесение запрещается:

- для сахарной и кормовой свеклы, кормовых растений зеленой продукции – за 21 сутки до уборки;
- для пищевого картофеля – после цветения;
- для овощей – в течение всего периода вегетации.

Удобряемые животноводческими стоками площади должны строго соответствовать поголовью комплекса. При этом количество азотных удобрений, приходящихся на единицу площади, не должно превышать предельно допустимые нормы с учетом типа почв, вида выращиваемых культур, их продуктивности и оросительной нормы.

Один из характерных показателей животноводческих стоков – биологическая потребность в кислороде (БПК) – не является лимитирующим при поливе стоками, поскольку он определяет удобрительную ценность органических удобрений. БПК – это общее количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ аэробными микроорганизмами и выражается количеством кислорода в миллиграммах на 1 л стока, навоза

## **Глава 9. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕЙ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ ОТХОДОВ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

В последние годы на ряде крупных свиноводческих комплексов сложилась критическая ситуация с утилизацией бесподстилочного навоза. Имеющиеся поля орошения осветленными навозными стоками, поступающими из РОСов, из-за закупорки гидротранспорта стоков кристаллическими отложениями не работают, вследствие чего приходится заново перекаладывать напорные трубопроводы и часто ремонтировать перекачивающие насосы.

Одной из основных причин отложения солей является то, что по причине длительного хранения и перепада температур имеющиеся в осветленных стоках органические частицы кристаллизуются и в процессе движения оседают на внутренних поверхностях труб и рабочих органах.

Наиболее простым техническим решением проблемы является коагуляция осветленных стоков, т. е. выделение из стоков в РОСах органических веществ, тем самым происходит разделение осветленных навозных стоков на твердый осадок и технически чистую воду.

Кроме того, отходы свиноводческих комплексов (жидкий навоз и сточные воды) по степени загрязненности органическими веществами, бактериальной обсемененности, особенно кишечной палочкой (в том числе патогенной для человека), превосходят хозяйственно-бытовые сточные воды и являются благоприятной средой для возбудителей ряда инфекционных болезней.

Загрязнение окружающей среды становится еще более опасным и в том случае, когда жидкие стоки используют в качестве органических удобрений на полях орошения без предварительного обеззараживания, т. к. они в этом случае становятся источником распространения возбудителей инфекционных и инвазионных болезней.

В этой связи возникает необходимость осветления навозных стоков с их обеззараживанием.

Гарантия бесперебойной работы оборудования транспортировки (трубопроводов, сепараторов, насосов и арматуры) – дос-

таточные знания процессов кристаллизации (отложения солей) в системе трубопроводного транспорта.

Отложения представлены преимущественно магний-аммоний фосфатом ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) или минеральным струвитом, на долю которого приходится свыше 80 % их массы. В меньших количествах могут присутствовать в отложениях оксиды железа, кальция и другие соединения. В инкрустации солей основную роль играет фосфор. Поэтому в ряде стран Запада, с целью уменьшения содержания фосфатов в экскрементах животных, вводят в рацион свиней фермент фитазу. В немалой степени сказывается на инкрустации солей нарушение поливного режима на сельскохозяйственных полях орошения: в большинстве случаев не проводится промывка трубопроводов чистой водой после прокачки навозных стоков, также как и посевов кормовых культур. В результате усиливается образование кристаллических отложений и ухудшается качество урожая из-за отсутствия смыва стоков с поверхности растений.

Для удаления минеральных отложений предпочтительна соляная кислота. Применение же для этой цели серной кислоты должно быть исключено. Нежелательно использовать здесь и азотную кислоту из-за ее агрессивного воздействия на металлические конструкции. Подкисления жидких органических удобрений опасаться не следует, поскольку объемы стоков не сопоставимы с дозами добавляемых реагентов. К тому же, подкисление стоков уменьшает непроизводительные потери аммиака вследствие улетучивания в атмосферу.

Для повышения эффективности удаления минеральных отложений, по возможности, надо применять нагретый пар для ускорения растворения путем повышения температуры внутри труб, хотя бы расположенных вблизи комплекса. При этом наблюдается совместное действие двух способов очистки от кристаллических отложений: термического и химического, что существенно экономит расход реагентов.

При этом следует строго соблюдать технику безопасности при выполнении подобного рода работ. Исполнитель должен быть обеспечен спецодеждой (халат, фартук прорезиненный, защитные очки, резиновые сапоги и резиновые перчатки).

В качестве мероприятия по предотвращению инкрустации солей и создания нормальных условий работы гидротранспорта стоков необходимо использовать пластмассовые трубы вместо чугунных или железобетонных со стальным сердечником. Это увеличит долговечность трубопроводов и снимет проблему инкрустации солей в зоне действия крупных свиноводческих комплексов.

Репозиторий БГАТУ

## Глава 10. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ГИДРОТРАНСПОРТА НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Обследовано и изучено техническое состояние систем гидротранспорта навозных стоков свиноводческих комплексов в ОАО «Беловежский» Каменецкого района, «Сож» Гомельского района, УКСП «Восточное» Барановичского района, свинокомплексах «Южное» Пинского района, СПК «Гвардия» Дятловского района, СК «Боровицы» Ивановского района. В ходе эксплуатации этих комплексов возникает ряд серьезных проблем по охране окружающей среды от загрязнения отходами свиноводства.

Технологические схемы гидротранспорта навозных стоков в основном типичны и состоят из следующих стадий:

1. Механическое разделение на твердую и жидкую фракции.
2. Подача насосами жидкой фракции в карантинные отстойники.
3. Транспортировка по трубам частично осветленных стоков из карантинных отстойников в промежуточные накопители.
4. Перемещение осветленных стоков из накопителей в резервуары-осветлители стоков (РОСы).
5. Подача стоков из РОСов насосами на поля орошения.

При транспортировке навозных стоков наблюдаются кристаллические отложения на насосном оборудовании и в самих трубопроводах. Это в большей степени обусловлено особенностями химического состава стоков, вибрацией и шероховатостью поверхности металлических деталей. На существующих свиноводческих комплексах трубопроводы заросли этими отложениями, что приводит к осложнению их эксплуатации. По этим причинам по республике требует ремонта и восстановления оборудование на 12 тыс. га (более 60 %) площади ЗПО (земледельческих полей орошения).

Кристаллические отложения, осаждающиеся на поверхности, имеют очень прочное с ней сцепление. Попытка их удаления вручную или механическим способом заканчивается повреждением оборудования. Отложения на внутренней поверхности навозопроводов уменьшают их диаметр, увеличивают сопротивление движению жидкости, что в конечном итоге снижает пропускную способность гидротранспорта навозных стоков, и даже иногда делают невозможным их эксплуатацию. При этом наблюдаются порывы

трубопроводов, что приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод животноводческими стоками со всеми вытекающими отрицательными последствиями.

Отложение солей отличается высокой интенсивностью. За год отложение прирастет на 0,3 см и более. Особенно активен этот процесс на фасонных деталях, задвижках, крыльчатках насосов и т. д. Он обусловлен кристаллизацией малорастворимых соединений, находящихся в навозных стоках в перенасыщенном состоянии. Значительная роль здесь принадлежит реакции среды. В животноводческих стоках в результате подготовки их к поливу (разделение на твердую и жидкую фракции) удаляется  $\text{CO}_2$ , что способствует повышению pH, величина которой нередко превышает 7,5 единиц. С повышением pH процесс отложения солей активизируется.

Полное забивание транспортных систем происходит после 700–900 ч на отказ, при интенсивной работе – 180–200 ч.

Химический состав кристаллических отложений – соли  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (гидратированная соль). Они имеют растворимость в воде при  $20^\circ\text{C}$  –  $5,0 \cdot 10^{-2}$  г/100 г воды, при  $40^\circ\text{C}$  –  $4,0 \cdot 10^{-2}$  г/100 г воды. Соль на воздухе быстро разлагается до моногидрата с еще меньшей растворимостью.

На интенсивности солеотложения сказываются также механические колебания и турбулентность в транспортном потоке, возникновение которых обусловлено состоянием внутренней поверхности трубопроводов, наличием местных сопротивлений в коленах и отводах. Это наряду с высоким pH способствует образованию фосфорнокислых солей магния и аммония. Данный процесс можно разделить на две стадии: зародышеобразование и рост кристаллов. На первой стадии происходит рост образующихся зародышей путем осаждения на их поверхности ионов, молекул растворенного вещества. Причем соли откладываются преимущественно на шероховатых металлических поверхностях, а не в пластмассовых трубопроводах.

Ослабляется процесс отложения солей при подаче в трубопроводы стоков из мясоперерабатывающих цехов, как, например, в ОАО «Беловежский» Каменецкого района. Это обусловлено колебаниями температуры (отходы мясоцеха теплее, чем навозные стоки), а также смазывающим действием жира. В итоге происходит

даже частичное разрушение кристаллических отложений и с последующим выносом их из напорных трубопроводов.

На комплексах по выращиванию крупного рогатого скота отложения солей в трубопроводах практически не наблюдается, что объясняется особенностями состава экскрементов отдельных видов животных. Жидкий навоз КРС (при прочих равных условиях) отличается от экскрементов свиней повышенным содержанием коллоидных частиц с относительно низким содержанием фосфора. Кроме того, он намного медленнее расслаивается при хранении, чем свиной, отличающийся высоким содержанием воды.

## Глава 11. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАВОЗНЫХ СТОКОВ И ОСАДКОВ СОЛЕЙ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

До сих пор не выяснены и не изучены причины отложения солей при гидротранспорте навозных стоков и отсутствуют технические решения по предотвращению их образования и ликвидации. Предполагают, что это обусловлено особенностями химического состава навозных стоков, вибрацией и шероховатой поверхностью металлических деталей.

Так как в литературе практически отсутствуют данные о химическом составе этих отложений, нами проведены исследования по определению составляющих компонентов, а также изучен химический состав навозных стоков и некоторые физико-химические свойства твердой фазы.

### 11.1. Изучение химического состава жидкой и твердой фаз

На основании литературных данных, жидкие и твердые фазы навоза анализировали на содержание в них наиболее распространенных ионов с использованием следующих методов анализа: калий определяли с помощью тетрафенилбората натрия, ион аммония – формальдегидным методом, общий азот – по методу Къельдаля, сульфат ион – весовым, ион хлора – методом Мора, фосфор – колориметрическим, а кальций и магний – титрованием трилоном Б.

Результаты химического состава двух проб жидкой фазы, отобранных из промежуточных наполнителей и твердой фазы, образованной в трубопроводах на свиноводческом комплексе совхоза-комбината «Сож» Гомельского района, представлены в табл. 8.

Стоки свиноводческих комплексов по всей технологической схеме имеют слабощелочную реакцию, рН которых находится в области 7–8. Они представлены, в основном, карбонатами калия, аммония и кальция. Твердая фаза в основном состоит из фосфатов, содержание  $\text{PO}_4^{3-}$  в которой высокое и составляет 37,1 %, много свободного азота – 5,67 % в виде  $\text{NH}_4^+$ , кальция, магния и калия.

Следует отметить, что ни в твердой, ни в жидкой фазах не обнаружено карбамида – основного продукта мочи. Это вызвано,

возможно, тем, что он уже через несколько дней хранения переходит в аммиак и углекислый газ.

Таблица 8

Химический состав жидких и твердой фаз (мас. %)

Название ионов	Состав жидкой фазы пробы № 1, мас. %	Состав жидкой фазы пробы № 2, масс. %	Состав твердой фазы, мас. %
$\text{Ca}^{2+}$	0,07	0,05	4,30
$\text{Mg}^{2+}$	0,005	0,005	2,70
$\text{NH}_4^+$	0,13	0,10	5,67
$\text{N}_{\text{общ}}$	0,14	0,12	5,70
$\text{PO}_4^{3-}$	0,05	0,013	37,1
$\text{SO}_4^{2-}$	0,01	–	0,43
$\text{Cl}^-$	0,03	0,04	–
$\text{K}^+$	0,08	0,04	4,70

На химические составы как жидкой фазы, так и осадка влияет рацион кормления животных. Изменение их состава происходит также в результате механической обработки, температуры окружающей среды, погодных условий и других факторов.

С данными химического анализа согласуются результаты рентгенографического анализа исходного твердого продукта. Запись рентгенограммы проводили на установке УРС-50 М (излучение  $\text{CuK}$ ). На рис. 21 приведена его рентгенограмма, дифракционные линии могут быть отнесены к кристаллическим соединениям:  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Эти соединения, в частности фосфаты аммония, – наиболее распространенные фосфоразотные удобрения.

Термическая стойкость аммонийных фосфатов повышается в следующем порядке:  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$  и  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ . Ортоаммоний фосфат  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  начинает разлагаться при температуре выше  $70^\circ\text{C}$ ,  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$  еще не разлагается при  $100\text{--}110^\circ\text{C}$ .

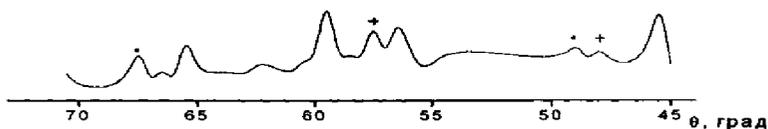
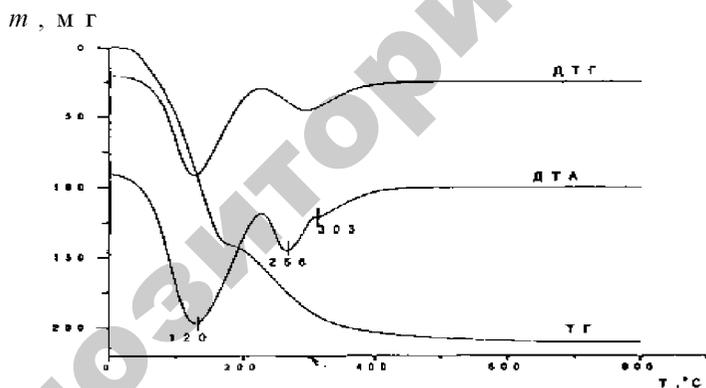


Рис. 21. Рентгенограмма исходного твердого продукта

Полученные результаты дериватографических исследований (рис. 22) показывают, что разложение твердой фазы начинается при температуре выше  $70^{\circ}\text{C}$ . Эта температура совпадает с температурой термической стойкости соединения  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , которое, разлагаясь, теряет аммиак, что составляет 29,3 мас. %. Наибольший эффект соответствует потере массы  $\Delta m = 3,1$  мас. %, т. е. до  $150^{\circ}\text{C}$ , где  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  практически теряет весь аммиак. После этой температуры происходит распад соединения  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , которое в интервале  $165\text{--}190^{\circ}\text{C}$  расплавляется. Это может быть обусловлено как окончанием распада диаммоний фосфата, так и плавлением моноаммоний фосфата.



Примечания:  $m$  – масса продукта (400 мг), скорость нагрева –  $10$  град/мин

Рис. 22. Дериватограмма исходного твердого продукта

Дальнейшая термообработка приводит к началу поликонденсации фосфатных групп, образованию конденсированных фосфатов и их термодеструкции. Одновременно происходит разложение и других составляющих компонентов твердого продукта. Конденсированные фосфаты по мере нагревания теряют аммиак и воду с образованием

оксида фосфора, который при температурах выше 550–600 °С медленно испаряется. Потеря массы при этих температурах составляет 70–75 %. Конечными продуктами разложения других составляющих компонентов:  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  могут быть соответственно  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$  и  $\text{MgP}_2\text{O}_7$ , образующиеся вследствие поликонденсации фосфатных групп.

Таким образом, на основании химических и физико-химических исследований установлен наиболее вероятный состав осадка, который содержит кристаллические продукты: фосфаты аммония, кальция и магния.

## 11.2. Изучение растворимости осадка в воде

Одной из характеристик твердой фазы является ее растворимость в воде. Нами было изучено влияние времени перемешивания, температуры и pH раствора на растворимость осадка, образуемого в трубопроводе. Опыты проводили следующим образом. В дистиллированную воду в количестве 100 мл вводили при определенной температуре и pH 10 г осадка и перемешивали суспензию при помощи механической мешалки. После окончания перемешивания суспензию фильтровали на воронке Бюхнера через бумажный фильтр. Отфильтрованный осадок снимали с фильтра, помещали на чашку Петри и сушили в сушильном шкафу при температуре не выше 70 °С (при более высокой температуре он начинает разлагаться). Затем высушенный осадок взвешивали на аналитических весах и рассчитывали процент растворения осадка в воде. Полученные данные показывают, что данный осадок практически в ней не растворяется (табл. 9). Повышение температуры также практически не оказывает влияния на его растворимость. Так, при температуре 20 °С и 90 °С за 1 ч растворимость осадка составила 1,0 % и 1,3 % соответственно.

В то же время с увеличением кислотности наблюдается определенная тенденция повышения растворимости осадка в воде. Так, если в дистиллированной воде (pH = 5,6) растворимость данной соли составляет 1,0 %, то при pH = 3,6 она повышается до 7,2 %, а при pH = 1,28 – до 23,2 %. Полное растворение осадка происходит в кислой среде при кипячении.

Таблица 9

Влияние времени перемешивания, температуры и рН раствора на растворимость осадка

Время перемешивания, ч	Температура раствора, °С	рН раствора	Растворимость осадка, мас. %
1	20	5,60	1,0
5	20	5,60	1,3
1	45	5,60	1,4
1	75	5,60	1,4
1	90	5,60	1,3
1	20	3,60	7,2
1	20	1,28	23,2

### 11.3. Определение хрупкости осадка

Механические свойства материала характеризуются твердостью. Под твердостью понимают степень сопротивления материала какому-либо воздействию. С твердостью материала связана его хрупкость. Чем большей хрупкостью обладает вещество, тем легче оно будет подвергаться дроблению и измельчению.

Нами изучена хрупкость осадка, образующегося при отложении в стоковых трубопроводах свинокомплексов, и влияние на нее различных факторов: температуры нагрева, рН раствора. Хрупкость определяли следующим образом. Навеску исследуемого вещества фракции –  $(10 \pm 3)$  мм засыпали в цилиндрическую форму и на прессе марки Perkin–Elmer при определенном давлении подвергали сжатию в течение 10 мин. Затем давление снимали и пробу классифицировали по 0,5 мм, после чего определяли количество подрешеточного продукта. Надрешетный продукт 0,5 мм подвергали

повторному сжатию при большем давлении и снова просеивали через сито 0,5 мм и т. д. Полученные данные представлены в табл. 10.

Таблица 10

Влияние температуры подогрева и pH раствора на хрупкость осадка

Условия опыта	Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Вес осадка	Выход осадка, %
Исходный продукт	4,8	0,60	8,7
—«—	7,2	1,80	25,7
—«—	12,0	3,50	49,7
Температура подогрева 50 °С	4,8	0,64	9,5
—«—	7,2	1,84	2,3
—«—	12,0	3,44	51,8
Температура подогрева 100°С	4,8	1,20	17,4
—«—	7,2	2,75	39,9
—«—	12,0	4,40	69,6
pH = 3,5	4,8	0,93	13,6
—«—	7,2	2,41	34,7
—«—	12,0	4,06	58,7
pH = 1,28	4,8	1,00	14,5
—«—	7,2	2,50	36,7
—«—	12,0	4,30	62,7
Водный раствор при 75 °С	4,8	0,90	13,8
—«—	7,2	2,20	33,5
—«—	12,0	4,05	63,0

Данные табл. 9 показывают, что при нагреве продукта до 50 °С выход осадка составил 0,5 мм при небольшом давлении, равном 4,8 кгс/см<sup>2</sup>, практически такой же, как и для исходного продукта, нагретого до 100 °С при этом давлении, выход осадка 0,5 мм составил 17,4 %, а при давлении 7,2 кгс/см<sup>2</sup> – 39,9 и 25,7 соответственно. При максимальной нагрузке 12 кгс/см<sup>2</sup> при температуре 100 °С выход частиц 0,5 мм достигает 69,6 %, тогда как без подогрева – только 49,7 %. Это свидетельствует о том, что вследствие физико-химических изменений, связанных с разложением аммонийных соединений при температуре (что было показано также дериватографическими исследованиями), увеличивается хрупкость данного осадка.

Повышение кислотности воды, используемой для растворения данного осадка, оказывает такое же действие на его хрупкость, как и повышение температуры. Так, при рН, равном 3,5 и 1,28, под действием небольшого давления (4,8 кгс/см<sup>2</sup>) выход фракции 0,5 мм составляет 13,6 и 14,5 %, а при максимальной нагрузке (12 кгс/см<sup>2</sup>) – 58,7 и 62,7 % соответственно. В случае обработки осадка водой, нагретой до 75 °С, выход фракции 0,5 мм при всех исследуемых нагрузках достигает таких же величин, как и при обработке его подкисленными растворами. На основании вышесказанного следует, что обработка осадка нагретой водой имеет значительно большее практическое значение, чем применение подкисленных растворов, использование которых при растворении осадка будет вызывать дополнительные затраты при их утилизации.

Таким образом, на основании химических и физико-химических методов анализа установлено:

1. Осадок, образующийся в трубопроводах, представляет собой смесь фосфатов аммония, магния, кальция и сульфата кальция.
2. Полученный осадок в трубопроводах мало растворим в воде, несколько повышается его растворимость в кислых средах при нагревании.
3. Обработка осадка горячей водой уменьшает его твердость (хрупкость), что может являться положительным фактором при выборе метода удаления его из трубопровода.

Факторами, способствующими отложению солей, в первую очередь следует назвать коэффициент насыщения (разбавление) жижи водой как доминирующий фактор для наступления выпадения осадков (кристаллизация).

При высоком содержании воды адсорбированное действие коллоидов на солеобразующие ионы повышается. Кристаллизация солей  $MgNH_4PO_4$  происходит от pH (кислотности) жижи, возникающих механических колебаний и турбулентности. Опыты показывают, что жижка имеет более высокое значение pH на основе уменьшенной буферной возможности (способность). Напротив, снижения N-соединений благоприятствуют образованию осадков  $MgNH_4PO_4$ .

Следует отметить, что из-за турбулентности при транспортировке и переработке жижи на сепарирующих устройствах pH повышается преимущественно из-за выделения  $CO_2$ . Наряду с повышением значения pH, отделение твердого вещества в разделительных агрегатах (сепараторах) способствует осаждению отложений на стенках. Колебания грохота (решет) и вибрации насоса также форсируют выпадение  $MgNH_4PO_4$  из жижи. Решающим для образования кристаллов на поверхностях является их шероховатость. По этой причине отложения оседают преимущественно на шероховатых металлических поверхностях.

В меньшей мере отложения встречаются в асбестоцементных, каменных или глиняных трубах, в пластмассовых трубопроводах и пластмассовом оборудовании. Можно установить, что их гладкая внутренняя поверхность препятствует прилипанию кристаллов. Исследования трубопроводов, в течение 10 лет проводимые в условиях гидромеханической транспортировки жижи, подтвердили эти показания. Особенно отчетливо видна зависимость кристаллизации от состояния поверхности. На обработанных наждачной бумагой пластмассовых трубах после 6 мес. эксплуатации слой отложений составил 3 мм и существенно не отличался от металлических труб.

Наряду с образованием отложений  $MgNH_4PO_4$  при специальной микробиологической обработке жижи может возникать кристаллизация солей из карбоната кальция ( $CaCO_3 \cdot 6H_2O$ ).

Давление, концентрация и температура образования осадка  $CaCO_3$  сильно зависят от назначения pH жижи. В области pH от 7,0 до 8,3 происходит преобразование растворимого кальцийбикарбоната  $Ca(HCO_3)_2$  в труднорастворимый карбонат кальция. Определенную роль на отложения  $CaCO_3$  играет содержание свободной углекислоты в жиже. Особенно сказывается шероховатость поверхности.

## Глава 12. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ ПРИ ГИДРОТРАНСПОРТЕ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

Процесс кристаллизации в основном состоит из 3 стадий:

1. Достижение перенасыщения или переохлаждения.
2. Образование центров кристаллизации.
3. Рост кристаллов.

Под перенасыщением понимается такое состояние раствора, когда концентрация растворенного вещества в растворителе больше растворимости данного вещества при данной температуре, т. е. больше равновесия концентрации растворенного вещества при данной температуре. В таком перенасыщенном растворе могут образовываться (и образуются) зародыши, или центры кристаллизации, которые представляют собой ассоциаты отдельных ионов (молекул) растворенного вещества. Скорость образования зародышей может быть увеличена путем повышения (понижения) температуры, давления, перемешиванием раствора, внешним механическим воздействием (трением, ударом и т. д.).

Большое влияние на процесс кристаллизации могут оказывать шероховатость стенок кристаллизатора, материал мешалки, присутствие поверхностно-активных веществ (ПАВ). Закономерности зародышеобразования описаны уравнением Гиббса–Фольмера, которое показывает, от каких основных факторов зависит скорость образования зародышей. Это уравнение справедливо лишь для сравнительно небольшого перенасыщения.

При образовании новой фазы изменение свободной энергии  $\Delta F$  системы обусловлено появлением фазы как таковой и созданием поверхности раздела фаз.

$$\Delta F = \Delta F_p - \Delta F_v, \quad (12.1)$$

Изменение поверхностной энергии равно произведению площади образовавшейся поверхности на удельную поверхностную энергию:

$$\Delta F_p = j l^2 \beta, \quad (12.2)$$

где  $j$  – коэффициент формы;

$l$  – линейный размер зародыша;  
 $\beta$  – удельная поверхностная энергия.

Изменение энергии, обусловленное появлением новой фазы, равно:

$$\Delta F_v = (\mu_1 - \mu_2) \Delta n, \quad (12.3)$$

где  $\mu_1$  – химический потенциал перенасыщенного раствора;  
 $\mu_2$  – химический потенциал твердой фазы, равный химическому потенциалу насыщенного раствора;  
 $\Delta n$  – число образовавшихся молей твердой фазы;

По определению,

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \mu_0 + RT \ln f_1 c_1, \\ \mu_2 &= \mu_0 + RT \ln f_2 c_2, \end{aligned} \quad (12.4)$$

Отсюда

$$\Delta F_v = RT \ln \frac{f_1 c_1}{f_2 c_2} \approx RT \ln \frac{c_1}{c_2}, \quad (12.5)$$

где  $f_1, f_2$  – коэффициент активности;  
 $c_1, c_2$  – концентрации насыщенного и пересыщенного растворов.

Таким образом,

$$\Delta F = \frac{jv^3 \rho}{M} RT \ln \frac{c_1}{c_2}, \quad (12.6)$$

где  $\rho$  – плотность твердой фазы;  
 $M$  – молекулярный вес твердого вещества.

Тогда

$$\Delta F = jv^2 \delta - \frac{jv^3 \rho}{M} RT \ln \frac{c_1}{c_2}. \quad (2.7)$$

При  $l < l_{кр}$  частицы новой фазы растворяются, а при  $l > l_{кр}$  – частицы новой фазы растут.

При этом размер критического зародыша равен

$$I_{\text{кр}} = \frac{2\sigma\mu}{3\rho RT \ln \frac{c_1}{c_2}}, \quad (12.8)$$

максимальное изменение свободной энергии системы при гомогенном образовании зародышей равно

$$\Delta F_{\text{max}} = \frac{4}{27} j \frac{\sigma^3 \mu^2}{\rho^2 \left( RT \ln \frac{c_1}{c_2} \right)^2}, \quad (12.9)$$

Образование центров кристаллизации является случайным процессом, т. е. скорость зародышеобразования определяется экспоненциальным членом

$$I = K_{\text{exp}}(-\Delta F_{\text{max}}/RT). \quad (12.10)$$

Таким образом, с ростом перенасыщения  $\frac{c_1}{c_2}$  скорость образования центров кристаллизации резко возрастает. Опыт показывает, что при очень большом перенасыщении скорость  $I$  уменьшается, что связывается с увеличением вязкости раствора. Поэтому Беккет и Деринг предложили модифицировать уравнение Гиббса–Фольмера:

$$I = K_{\text{exp}}[-(\Delta F_{\text{max}} + A)/RT], \quad (12.11)$$

где  $A$  – член, зависящий от вязкости.

Если зародышеобразование происходит на поверхности (стенки, примеси, граница нескольких фаз и т. д.), то  $\Delta F_{\text{гет}}^{\text{max}} < \Delta F_{\text{max}}$ , где  $\Delta F_{\text{max}}$  – максимальное изменение свободной энергии в гетерогенных условиях.

По Фольмеру имеем,

$$\Delta F_{\text{гет}}^{\text{max}} = \Phi \Delta F_{\text{max}}, \quad (12.12)$$

где  $\Phi$  – фактор, равный

$$\Phi = \frac{(2 + \cos \theta)(1 - \cos \theta)^2}{4} . \quad (12.13)$$

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{тж} - \sigma_{кт}}{\sigma_{кж}} . \quad (12.14)$$

Рост кристалла, по нашему мнению, определяется двумя последовательно протекающими процессами:

- 1) диффузией из раствора вещества на поверхности кристалла;
- 2) образованием кристаллической структуры на поверхности раздела фаз.

Относительное значение каждого из 2 указанных процессов зависит от ряда факторов:

1. Когда перенасыщение раствора велико, процесс застройки поверхности протекает относительно быстро и скорость всего процесса определяется в основном диффузией.

2. Когда перенасыщение раствора мало, контролирующим является процесс, протекающий на поверхности кристалла.

3. При этом термодинамические процессы увеличивают скорость диффузии, следовательно, и процесса роста кристалла (в особенности, если скорость последнего определяется скоростью диффузии).

4. Малые количества примесей изменяют скорость роста кристаллов, например, адсорбируясь на гранях, они тем самым мешают нормальному ходу процесса.

В настоящее время предложено несколько теорий роста кристаллов, но ни одна из них не получила всеобщего признания ввиду своей ограниченности для объяснения всей совокупности явлений, связанных с кристаллизацией неорганических солей.

Образование фосфатов, кальцитов на гидротранспортном навозном оборудовании является малоизученным явлением как с точки зрения кинетики, так и с точки зрения термодинамики кристаллизации, поскольку не представляется возможным исследовать этот процесс в реальных условиях. Поэтому для выяснения основных закономерностей кристаллизации неорганических солей на гидротранспортном оборудовании необходимо использовать результаты модельных экспериментов, правильная постановка которых во многом зависит от уровня понимания экспериментаторами основ

теории кристаллизации. То же самое можно сказать об адгезии кристаллов солей к поверхности оборудования, которая также практически мало изучена.

Ниже остановимся, в основном, на причинах, вызывающих перенасыщение навозных стоков фосфатами и кальцитом, как основными компонентами, входящими в состав неорганических отложений.

### **12.1. Причины, вызывающие выпадение солей в навозотранспортном оборудовании животноводческих ферм и комплексов**

Основными компонентами органоминеральных соединений являются фосфаты, карбонаты кальция и калия.

Поэтому общепризнанной является точка зрения, связывающая важнейшие процессы, протекающие при солеотложении, с образованием фосфатов и карбонатов, отложением их на поверхности навозотранспортного оборудования. Остальные компоненты отложений – продукты коррозии, NaCl, органические вещества навоза – рассматриваются как включения, почти всегда присутствующие в продуктах кристаллизации. Такая точка зрения может быть вполне применима для термодинамического описания процесса кристаллизации и солеотложения. Известно, что даже незначительное содержание примесей может привести к ускорению или замедлению процесса образования кристаллов. Не исключено, что такие примеси, в особенности органические соединения, влияют на скорость процессов отложения и кристаллизации.

В настоящее время основными причинами образования фосфатов и карбонатов в гидротранспортном оборудовании считают следующие факторы:

- смешивание слабощелочных вод с  $\text{pH} = 7-8$ .
- содержание ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , Mg,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{HCO}_3$  в навозных стоках.
- минерализация навозных стоков;
- образование перенасыщенных растворов в результате падения в трубопроводе давления, что приводит к выделению двуокиси углерода из движущейся совместно с навозом воды;

- содержание газовой фазы в навозных стоках;
- структура потока, его гидродинамика;
- уменьшение растворимости фосфатов и карбонатов в воде при уменьшении давления.

Рассмотрим систему образования карбоната кальция  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ , входящую в состав отложений и как наиболее близкую по структуре кинетики выпадения неорганических солей в гидротранспортном оборудовании навозных стоков.

В общем случае большое влияние на скорость реакции образования неорганических отложений может оказывать растворенный в воде углекислый газ, особенно при больших парциальных давлениях. Согласно уравнению Лозовского, учитывающему влияние температуры, давления и минерализации на растворимость углекислого газа, в изучаемой нами системе содержится  $\sim 10^{-6}$  моль/л  $\text{CO}_2$ . В таком случае, растворением  $\text{CaCO}_3$  углекислым газом можно пренебречь при  $[\text{Ca}^{2+}]$ ,  $[\text{HCO}_3^-]$  порядка  $10^{-3}$  моль/л. Термодинамическое равновесие в подобных системах наступает при равенстве произведения активностей S-ионов  $[\text{Ca}^{2+}]$  и  $[\text{CO}_3^{2-}]$  произведению растворимости  $S_0$  при определенной температуре, т. е. при  $S_0 = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] \cdot f_{\text{Ca}^{2+}} \cdot f_{\text{CO}_3^{2-}}$ , где  $f_{\text{Ca}^{2+}}$ ;  $f_{\text{CO}_3^{2-}}$  – коэффициенты активностей ионов. При  $S/S_0 > 1$  система находится в неравновесном состоянии, при  $S/S_0 = 1$  наступает термодинамическое равновесие. Поскольку, согласно Дж. Батлеру, равновесие  $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CO}_3^{2-}$  устанавливается за  $10^{-6}$  с, то концентрация ионов  $[\text{CO}_3^{2-}]$  равна

$$K_{\text{гp}} \frac{[\text{HCO}_3^-] f_{\text{HCO}_3^-}}{[\text{H}^+] f_{\text{CO}_3^{2-}}},$$

где  $K_{\text{гp}}$  – константа диссоциации угольной кислоты,

$$K_{\text{гp}} = 6,05 \cdot 10^{-11} \quad (t = 41,8 \text{ } ^\circ\text{C}),$$

$$K_{\text{гp}} = 7,25 \cdot 10^{-11} \quad (t = 61,4 \text{ } ^\circ\text{C}).$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]}{S_0} \frac{K_{\text{гp}} f_{\text{Ca}^{2+}} f_{\text{HCO}_3^-}}{[\text{H}^+]}. \quad (12.15)$$

Например, при  $[Ca^{2+}] = 6 \cdot 10^{-3}$  г·ион/л;  
 $[HCO_3^-] = 12 \cdot 10^{-3}$  г·ион/л;  
 $f_{Ca^{2+}} \approx 0,3 f_{HCO_3^-} \approx 0,7$  (ионная сила  $I \approx 0,28$ ).

$S_{o_{41,8}} \approx 3 \cdot 10^{-9}$ ;  $S_{o_{61,4}} \approx 1,7 \cdot 10^{-9}$ ;  $[H^+] \approx 10^{-7,5}$  перенасыщение будет приблизительно равно 10 (41,8 °С) и 20 (61,4 °С).

Таким образом, исследуемая система находится в существенно неравновесном состоянии, причем степень этой неравновесности (перенасыщение) возрастает при увеличении температуры. Переход в равновесное состояние происходит тем быстрее, чем выше перенасыщение раствора.

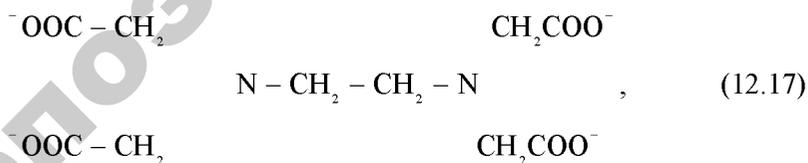
Переход в состояние термодинамического равновесия определяется кинетическими закономерностями. Кинетика выпадения, согласно нашим данным, удовлетворительно описывается уравнением

$$W = \frac{d[Ca^{2+}]}{dt} \approx -k [Ca^{2+}] [HCO_3^-], \quad (12.16)$$

где  $\frac{d[Ca^{2+}]}{dt} \approx -\frac{d[CaCO_3]}{dt}$ .

Определяем тригонометрическим методом концентрацию ионов кальция, которая равна суммарной концентрации иона  $Ca^{2+}$ ,  $CaHCO_3^+$ ,  $Ca(HCO_3)_2$ , т. е. содержанию  $Ca^{2+}$  во всех формах из-за высокой стабильности хелатного комплекса  $Ca Y^{2-}$ :

$Y^{4-}$  – гексадентантный лиганд

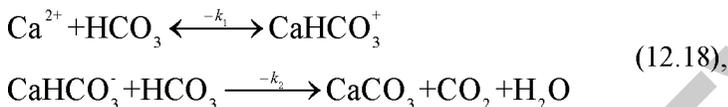


имеющего реальную константу устойчивости 10,7 при рН титрования 12.

Следовательно, уменьшение концентрации ионов кальция обусловлено образованием  $CaCO_3$ , что и отражено в приведенном выше выражении. Для описания кинетики выпадения кальцита можно

предложить схемы, позволяющие дать определенную интерпретацию уравнению (12.16):

а) образование  $\text{CaCO}_3$  через «ионную пару»  $\text{CaHCO}_3^+$ :



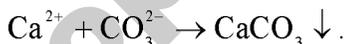
где  $k_1, k_{-1}$  – константы скорости.

В предложении о равенстве скоростей образования и расходования ионной пары, а также, что  $k_{-1} \leq k_2$  [ $\text{HCO}_3^-$ ] получаем  $W = k_1[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]$ , где  $k$  – константа образования  $\text{CaHCO}_3^+$ ;

б) образование  $\text{CaCO}_3$  по реакции



Поскольку концентрация гидрокарбонатных ионов  $\text{HCO}_3^-$  определяется pH раствора, то в общем случае скорость образования  $\text{CaCO}_3$  будет зависеть от pH. Полученные нами данные относятся к  $7,2 < \text{pH} < 7,8$ . При  $\text{pH} \leq 7$  будет происходить растворение кальцита, а при  $\text{pH} \gg 7$  образование кальцита будет идти в основном по реакции



Зависимость констант скоростей от ионной силы, согласно уравнению Бренстеда–Бьеррума, указывает на то, что в лимитирующей стадии реакции участвуют ионы противоположных знаков. Подстановка экспериментальных констант в один из вариантов этого уравнения для  $I > 0,1$  М приводит к величине произведения зарядов, равной приблизительно 2, что согласуется с предложенными кинетическими схемами.

Зависимость скорости выпадения кальцита от гидродинамического режима, а также аномально низкий порядок предэкспоненциального члена  $A \sim 10^6$  л/моль мин, указывают на значительную роль диффузионных процессов при образовании солеотложения, в частности диффузии на границе кристалл–раствор.

Практический интерес представляет изучение кинетики в широком диапазоне pH, влияние ингибиторов и поверхностно-активных веществ на механизм и кинетику кристаллизации. Использование представлений кинетики реакций в открытых системах позволяет

оценить степень влияния гидродинамического режима в навозотранспортном оборудовании на величину выпадения неорганических отложений.

Из рассмотренных представлений о кинетике образования кальцита можно сделать следующие выводы:

1. Степень минерализации, концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$ , гидродинамический режим перемешивания определяют кинетику выпадения солей из раствора. Указанные параметры оказывают значительное влияние на процесс отложения солей и могут быть использованы для регулирования его скорости.

2. Установлена приближенная кинетическая модель выпадения кальцита для навозоводных смесей для  $7,2 < \text{pH} < 7,8$ . В указанном диапазоне pH скорость образования кальцита равна  $W = k [\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]$ , где  $k \approx 1,7 \cdot 10^6$  л/моль мин ( $t \approx 20 \div 70$  °C).

## **12.2. Методы борьбы с солеотложением в гидротранспортном оборудовании**

В первом приближении все методы борьбы с солеотложением можно условно разделить на химические и безреагентные (физические, механические, комбинированные).

Химические методы основаны на применении различных химических реагентов.

Ко второй группе относятся: обработки газожидкостного потока акустическими, магнитными, электростатическими отложениями, бурение засоленных каналов, применение защитных покрытий поверхностей гидротранспортного оборудования.

Применение акустических полей для борьбы с солеотложением в настоящее время находится в состоянии разработки. Магнитные методы не дали ожидаемых положительных результатов. Электростатические методы в СНГ до настоящего времени не разработаны. Весьма органичные сведения имеются за рубежом.

Удаление отложения солей с помощью скребков различной конструкции и бурение засоленных каналов не решают проблемы и не увеличивают межремонтные периоды работы, а позволяют лишь сохранить фонд эксплуатационного оборудования.

В настоящее время наиболее технологически отработанными из названных методов являются химические.

Химические реагенты, применяемые для предупреждения солеотложения, по своей природе разделяются на неорганические, органические, элементоорганические.

К химическим методам борьбы можно также отнести закачку 5–10 % растворов кислот в гидротранспортное оборудование с последующей промывкой системы большим количеством воды во избежание коррозии.

К комбинированному методу можно отнести защиту поверхности гидротранспортного оборудования путем покрытия его внутренней поверхности лаком, полимером или другим защитным слоем для уменьшения адгезии осадка к поверхности.

К технологическим методам можно отнести, например, способ уменьшения отложения солей на оборудовании, а именно, уменьшение времени простоя навозных стоков, поскольку установлено, что в период работы отложения могут накапливаться очень интенсивно.

### Глава 13. ВЫБОР МЕТОДА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЯ СОЛЕЙ

Навозные стоки свиноводческих ферм представляют собой неоднородную систему, дисперсионной средой которой являются растворимые в воде соли и низкомолекулярные органические соединения экскрементов животных, а дисперсной фазой – твердые частицы экскрементов, нерастворимые примеси минерального и органического происхождения. Нерастворимые примеси могут находиться в грубодисперсном (крупные взвеси), тонкодисперсном (грубые и тонкие дисперсии) и коллоидном состоянии. Нерастворимые примеси в виде суспензий, находящиеся вместе с коллоидными частицами, представляют собой продукты выделения животных и являются частью потребления животными кормовых компонентов и воды.

Обычно грубодисперсные примеси выделяются отстаиванием в отстойниках, а мелкодисперсные примеси удаляются из воды методом коагуляции. Коагулирование – это обработка растворов реагентом, приводящая к укрупнению частиц с целью ускорения их осаждения. Дозу коагулянта определяют пробным коагулированием, выявляя при этом кинетику осаждения взвеси. Оптимальной дозой будет наименьшая концентрация коагулянта, дающая наибольшее снижение мутности. В качестве коагулянтов используют как органические, так и неорганические соединения. Изучено влияние органических электролитов (коагулянтов) на степень осветления навозных стоков. В качестве коагулянтов были исследованы полиакриламид, карбоксиметилцеллюлоза, тапиоковая мука. Полученные результаты показали, что они являются малоэффективными коагулянтами для навозных растворов.

Более эффективное влияние оказывают неорганические электролиты на степень осветления навозных стоков свиноводческих ферм.

Механизм действия неорганических электролитов на коагуляцию коллоидных растворов выглядит следующим образом.

Коагуляция коллоидных растворов возможна под влиянием повышения температуры, действия света, высокочастотных колебаний в ультразвуковом поле, встряхивания, перемешивания и пр. Но наиболее важным фактором коагуляции для навозных систем является действие электролитов. Добавление даже небольших коли-

чество солей в коллоидные растворы приводит к выпадению в осадок частиц дисперсной фазы. Наименьшая концентрация электролита, вызывающая этот эффект за определенный короткий промежуток времени будет коагулирующей концентрацией или порогом коагуляции.

Коагулирующая способность солей определяется ионом, имеющим знак заряда, противоположный знаку заряда коллоидной частицы и порог коагуляции очень быстро падает с увеличением валентности этого иона.

Так как коллоидные частицы имеют электрический заряд, то в обычных условиях они отталкиваются друг от друга, поэтому не происходит их сближения и выпадения в осадок. В случае введения электролита наблюдается снижение электрического заряда частиц вследствие тех или иных причин адсорбции потенциалопределяющих ионов. В результате уменьшения заряда электрические силы отталкивания между частицами ослабевают, частицы при сближении слипаются и выпадают в осадок.

В качестве коагулянтов были испытаны следующие неорганические электролиты:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , а также смеси этих солей с природными минералами – доломит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) и отходы производства фосфорной кислоты (фосфогипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )).

Было изучено влияние концентрации этих реагентов на скорость осветления, уплотнение осадка, мутность осветленных растворов, а также на содержание некоторых ионов в растворе после их осветления.

Исследования по осветлению сточных вод свиноводческих комплексов проводили в калиброванных цилиндрах, в которые помещали 25 мл исследуемого раствора. После введения определенного количества коагулянта суспензию перемешивали в течение 30 с и следили за ее осветлением во времени. Об интенсивности осветления судили по величине осветленного объема за определенный промежуток времени. Одновременно следили за объемом полученного осадка, рН и мутностью раствора. Мутность раствора определяли на колориметре – нефелометре марки ФЭК-Н.

В результате исследований (рис. 23 и 24) показано влияние различных концентраций неорганических солей на осветление стоков. Установлено, что на осветление навозных стоков влияет как состав

стоков, так и концентрация неорганического электролита. Было установлено, что коагулирующее действие оказывают только электролиты, содержащие 3-валентные катионы, а именно ионы  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ . Реагенты, содержащие 2-валентные катионы, не оказывают коагулирующего действия. Так, в присутствии солей  $FeSO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$  практически не наблюдалось осветления данных растворов. Даже в течение 2 ч и более при их расходах от 1000 до 3000 г/м<sup>3</sup> степень осветления растворов составила только 1–3 мл, в то время как при использовании солей, содержащих 3-валентные катионы уже в течение 10–20 мин объем осветленной жидкости достиг 15–20 мл.

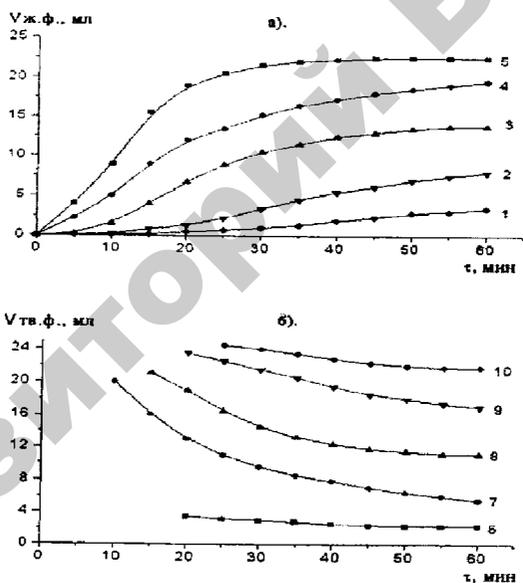


Рис. 23. Зависимость объема осветленного раствора  $V(a)$  и объема осадка  $V(b)$  от времени наблюдения суспензии, содержащей электролит  $AlCl_3$ : концентрации  $AlCl_3$  в растворе, г/м : 1, 10 – 150; 2, 9 – 300; 3, 8 – 450; 4, 7 – 750; 5, 6 – 500

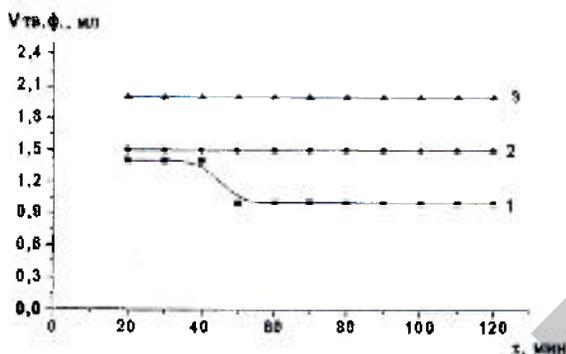


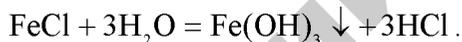
Рис. 24. Зависимость объема осветленного раствора  $V$  от времени наблюдения суспензии, содержащей электролит  $\text{FeSO}_4$ ; концентрации  $\text{FeSO}_4$  в растворе,  $\text{г/м}^3$ : 1 – 1000; 2 – 1500; 3 – 3000

Следует отметить, что коагулирующее действие неорганических электролитов зависит также и от их содержания в жидкой фазе. Это особенно ярко выражено при использовании коагулянта  $\text{AlCl}_3$ . Установлено, что степень осветления навозных стоков с увеличением его концентрации повышается до определенной величины, а затем резко падает. Так, при введении  $\text{AlCl}_3$  в количествах 150, 500, 750  $\text{г/м}^3$  за 20 мин высота осветленного объема составила 0,5; 19,0 и 11,0 мл соответственно. В данном случае максимальное осветление наблюдается при расходе  $\text{AlCl}_3$  – 500  $\text{г/м}^3$ . Наименьшая концентрация электролита, при которой достигается наибольшая коагуляция, называется порогом коагуляции данного вещества. Для  $\text{AlCl}_3$  она равна 500  $\text{г/м}^3$ .

## Глава 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕОРГАНИЧЕСКОГО КОАГУЛЯНТА СОВМЕСТНО С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

Было изучено влияние концентрации  $\text{FeCl}_3$  на содержание ионов железа как в твердой, так и в жидкой фазах, а также его влияние на содержание других элементов (кальция, магния, хлора, азота, и фосфора). В качестве жидкой фазы использовали навозные стоки, отобранные из КНС (канализационно-насосной станции) свино-комплекс «Восточный» Барановичского района.

В результате исследований было обнаружено отсутствие ионов  $\text{Fe}^{3+}$  в жидких фазах при всех испытанных расходах хлорного железа. Так как концентрация хлорного железа в растворе была небольшой (от 0,01 до 0,05 %), то его гидролиз практически прошел полностью по реакции



Полученный  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , имеющий низкое произведение растворимости, выпал в осадок. В случае неполного прохождения гидролиза образовавшийся при гидролизе  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  с непрореагировавшим хлорным железом образуют мицеллы типа  $[n\text{Fe}(\text{OH})_3 + (m - n)\text{FeCl}] + 3n\text{HCl}$ , которые также выпадают в осадок.

Для определения содержания железа в твердой фазе предварительно было определено количество выпавшего осадка после проведения коагуляции. Данные исследования проводили следующим образом. Сначала в цилиндр вливали испытуемую жидкость (50 мл), вводили определенное количество  $\text{FeCl}_3$  и доломитовой муки. После встряхивания в течение 30 с, судили по величине осветленного раствора за определенный промежуток времени.

На следующие сутки методом декантации сливали жидкую фазу, которую использовали для определения находящихся в ней ионов, а оставшуюся суспензию фильтровали на воронке Бунзена через фильтровальную бумагу. Осадок сушили в сушильном шкафу до постоянного веса и взвешивали.

Так как ионы железа не были обнаружены в жидкой фазе, принимали, что они все выпали в осадок. Исходя из материального баланса, было рассчитано содержание ионов железа в твердой фазе. Полученные данные свидетельствуют о том, что если в качестве коагулянта используется только  $\text{FeCl}_3$ , то с его увеличением количество выпавшего осадка повышается. Так, при расходах  $\text{FeCl}_3$ , равных 100, 200 и 400 г/м<sup>3</sup>, его выпало 0,5; 1,12 и 1,58 кг/м<sup>3</sup> соответственно. При совместном введении  $\text{FeCl}_3$  и доломитовой муки количество выпавшего осадка пропорционально количеству введенных реагентов.

Подтверждено, что с увеличением расходов вводимого флокулянта ( $\text{FeCl}_3$ ) содержание ионов железа в твердой фазе достигает максимума при расходе 200 г/м<sup>3</sup> и равно 11,1 %. При дальнейшем повышении расхода хлорного железа до 300 и 400 г/м<sup>3</sup> их концентрация уменьшается до 9,1 и 8,6 % соответственно. По-видимому, это объясняется тем, что при последних расходах повышается количество выпавшего осадка, что и приводит к уменьшению концентрации иона  $\text{Fe}^{3+}$  в нем. В случае введения флокулянта в виде смеси (хлорное железо + доломитовая мука) с повышением расхода последней содержание ионов  $\text{Fe}^{3+}$  уменьшается. Так, если при расходе только одного хлорного железа 100 г/м<sup>3</sup> концентрация  $\text{Fe}^{3+}$  равна 6,8 %, то при введении его в смеси с доломитовой мукой в количестве 2,5 кг/м<sup>3</sup> содержание иона железа в осадке уменьшается до 1,2 %, а при расходе ее 10 кг/м<sup>3</sup> – до 0,32 %. Такая же зависимость наблюдается и при расходах  $\text{FeCl}_3$ , равных 200, 300 и 400 г/м<sup>3</sup>.

Таким образом, нами показано, что при использовании флокулянта  $\text{FeCl}_3$  находящийся в растворе ион  $\text{Fe}^{3+}$  переходит в нерастворимую форму  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , который выпадает в осадок, в результате чего наблюдается его отсутствие в жидкой фазе.

В присутствии коагулянтов также несколько изменился состав сточных вод. Полученные данные показывают, что сточные воды, взятые из КНС, подвергаются химическому изменению под действием химреактивов, как и исследованные нами ранее сточные воды, полученные из РОСов.

В водах, отобранных из КНС, концентрация ионов несколько выше, чем отобранных на РОСах. Так, если содержание кальция, магния, хлора, азота и фосфора в сточных водах, отобранных на РОСах, равны 142, 20, 303, 230, 40 мг/л соответственно, то в водах, отобранных с КНС, они равны 254, 23, 215, 570, 96 мг/л соответственно. Введение коагулянтов в сточные воды, отобранные на КНС, также уменьшает содержание каль-

ция, магния, азота и фосфора. Однако это понижение значительно меньше, чем в случае использования сточных вод, отобранных на РОСах.

Из полученных результатов видно, что в данном случае наблюдается осаждение твердой фазы, величина которой зависит от концентрации флокулянта. При расходах флокулянта, равных 100 и 200 г/м<sup>3</sup>, жидкая фаза оставалась мутной, хотя и наблюдалось некоторое выделение твердой фазы. Однако ее образовывалось значительно меньше, чем при введении FeCl<sub>3</sub> в количествах 300 г/т и более.

Следует отметить, что мутность растворов не исчезла даже при фильтрации их через очень плотный стеклянный фильтр № 4. Это свидетельствует о нахождении в системе большого количества примесей в коллоидном состоянии, для коагуляции которых расходов FeCl<sub>3</sub>, равных 100–200 г/м<sup>3</sup>, недостаточно.

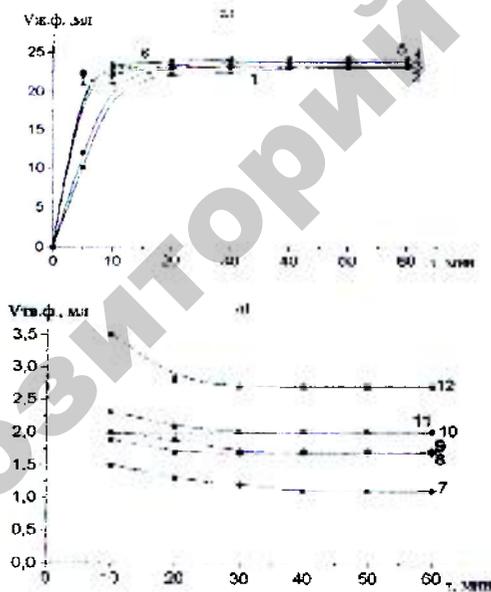


Рис. 25. Зависимость объема осветленного раствора  $V(a)$  и объема осадка  $V(b)$  от времени наблюдения суспензий, содержащих 300 г/м<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub> и доломитовую муку: концентрации доломитовой муки, кг/м<sup>3</sup>: 1, 12 – без доломитовой муки; 2, 11 – 2,5; 3, 10 – 20,0; 4, 9 – 5,0; 5, 8 – 7,5; 6, 7 – 10

Присутствие доломитовой муки при расходах хлорного железа 100 и 200 г/м<sup>3</sup> практически не влияет на скорость осветления данных растворов. При расходах FeCl<sub>3</sub>, равных 300, 400 и 500 г/м<sup>3</sup>, объем осветленного раствора за 10 мин составляет 24 мл против 18 мл без нее (расход FeCl<sub>3</sub> равен 300 г/м<sup>3</sup>) (рис. 25).

В настоящее время на многих очистительных станциях используют в качестве флокулянта гидрохлорид алюминия (Al(OH)<sub>3</sub>Cl). Было установлено, что при расходах коагулянта в количествах 50, 100, 200 г/м<sup>3</sup> даже в течение 4 часов никакой коагуляции не наблюдалось. Зато при введении его в количестве 300 г/м<sup>3</sup> скорость осветления жидкой фазы уменьшилась, и за 10 мин при этих расходах объема осветленного раствора сократился до 13 и 9,5 мл соответственно. Следует отметить, что осветленные растворы были прозрачными.

Было определено также количество твердой фазы, выпавшей в осадок. Так, в присутствии Al<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl при его расходах 50, 100, 200, 300, 400, 500 г/м<sup>3</sup> количество твердой фазы составило 0,017; 0,016; 0,016; 0,0108; 0,152; 0,208 г/л соответственно.

Наиболее эффективным коагулянтом при осветлении навозных стоков, получаемых на свиноводческих фермах, является хлорное железо в присутствии доломитовой муки (CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>). Однако эти исследования были проведены только при расходах FeCl<sub>3</sub> – 500, 750 г/м<sup>3</sup>, доломитовой муки – 4, 10, 20 кг/м<sup>3</sup>. Было установлено, что при этих расходах наблюдалась быстрая коагуляция коллоидных частиц, которая сопровождалась интенсивным образованием флоккул и высокой скоростью осветления раствора, а также уменьшением мутности растворов и изменением химического состава.

Однако использование таких расходов в промышленности не экономично. Поэтому представляло интерес провести данные исследования с использованием небольших количеств FeCl<sub>3</sub> так и доломитовой муки и определить их минимальный расход.

С этой целью были проведены опыты при значительно меньших расходах как FeCl<sub>3</sub>, так и доломитовой муки, а именно: расход FeCl<sub>3</sub> составил 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600 г/м<sup>3</sup>, а доломитовой муки – 1, 2, 3, 4, 10, 20 кг/м<sup>3</sup>.

Опыты проводили по ранее описанной методике.

Полученные результаты представлены в виде графической зависимости  $V_{\text{жф}} = f(\tau)$  (рис. 26, а; 27, а) и  $V_{\text{тв.ф.}} = f(\tau)$  (рис. 26, б; 27, б), где  $V_{\text{жф}}$  – объем осветленной жидкости за определенный

промежуток времени,  $V_{\text{тв.ф.}}$  – объем осадка за определенный промежуток времени,  $t$  - время наблюдения.

Результаты, полученные при использовании 50 г/м  $\text{FeCl}_3$  и 1 кг доломитовой муки, не представлены, так как при этих количествах не было получено положи тельного эффекта.

При введении в систему 100 г/м  $\text{FeCl}_3$  (рис. 26) присутствие доломитовой муки практически не влияет на степень осветления жидкой фазы. В данном случае осветление проходило медленно, и равновесие достигло только через 30–35 мин.

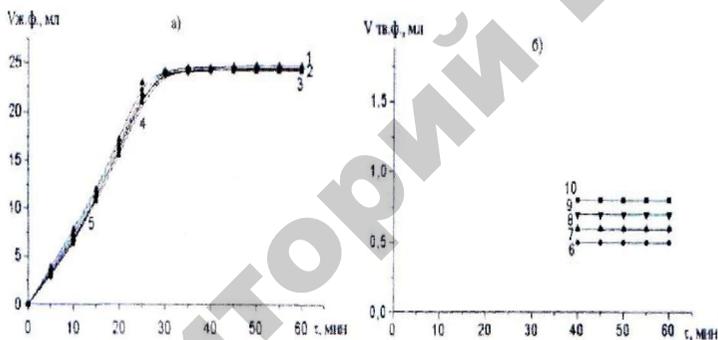


Рис. 26. Зависимость объема осветленного раствора  $V$  (а) и объема осадка  $V$  (б) от времени наблюдения суспензий, содержащих 100 г/м<sup>3</sup>  $\text{FeCl}_3$  и доломитовой муки различной концентрации, кг/м<sup>3</sup>:

5, 10 – без доломитовой муки; 4, 9 – 4,0; 3, 8 – 4,0; 3, 8–10,0; 2, 6 – 2,0; 1, 7 – 3,0

Анализируя данные (рис. 26, б), пришли к выводу, что при 100 г/м  $\text{FeCl}_3$  и исследуемых расходах доломитовой муки осветление жидкой фазы проходит не полностью, так как величина конечного объема осадка, даже при расходе 10 кг/м<sup>3</sup>, доломитовой муки составила только 0,6 мл, тогда как этот показатель при более высоких концентрациях  $\text{FeCl}_3$  достигает 2–3 мл.

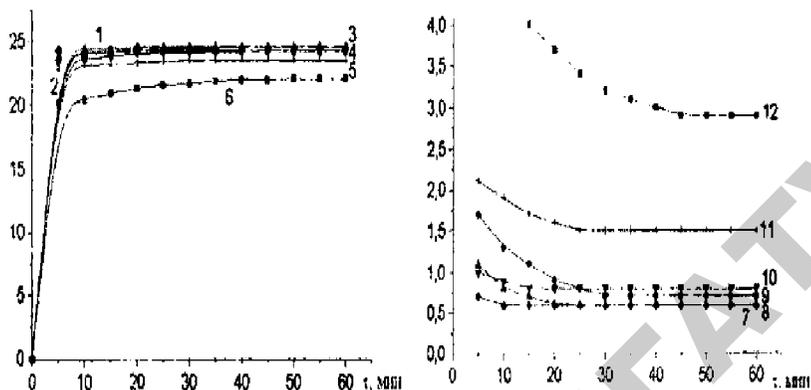


Рис. 27. Зависимость объема осветленного раствора  $V(a)$  и объема осадка  $V(b)$  от времени наблюдения суспензий, содержащих 200 г/м<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub> и доломитовой муки различной концентрации, кг/м<sup>3</sup>: 6, 12 – без доломитовой муки; 5, 11 – 20,0; 4, 10 – 4,0; 3, 8 – 3,0; 2, 9 – 2,0; 1, 7 – 10,0

При расходе 200 г/м<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub> в присутствии доломитовой муки (рис. 27, а и б) наблюдается резкое повышение скорости осветления навозных стоков. Так, если только в присутствии одного FeCl<sub>3</sub> система достигла равновесного состояния за 40 мин, а осветленный объем составил 22 мл, то при введении его в смеси с доломитовой мукой оно было достигнуто в течение 3–5 мин, а высота осветленного объема – 23–24 мл. Установлено, что с повышением концентрации доломитовой муки объем осветленного раствора повышается и достигает максимального значения при 10 кг/м<sup>3</sup>.

## **Глава 15. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОАГУЛЯЦИИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

По мере увеличения продолжительности эксплуатации комплексов эффективность их работы постепенно снижалась, возникал ряд проблем, среди которых особенно острыми были повышение заболеваемости животных и охрана окружающей среды.

Исследования, выполненные сотрудниками отдела зооигиены и экологии РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», показали, что животноводческие комплексы являются серьезным источником загрязнения окружающей среды. Так, например, установлено, что свиноводческий комплекс мощностью 108 тыс. гол. годового откорма выбрасывает с вентиляционным воздухом более 56 кг аммиака, 1120 млрд микроорганизмов, 15–20 кг пыли в 1 ч. Высокая концентрация их сохраняется на расстоянии 100–150 м от помещений. В 80 м от свинарников бактериальная обсемененность воздушных масс достигает 30 тыс./м, что создает опасность аэрогенного распространения патогенной микрофлоры из одного помещения в другое.

Микроорганизмы, характерные для животноводческих помещений, обнаруживали в атмосферном воздухе в 3 км от комплекса, а специфический запах, хотя и слабый и непостоянный, ощущался даже на удалении 5 км от свиноводческого предприятия. Особенно неприятен запах был в радиусе 50 м от зданий.

Быстрота рассеивания загрязнений в атмосфере зависит не только от количества вредных выбросов из свинарников, но и от объемно-планировочных решений комплекса, скорости движения воздуха и направления ветра, характера местности, наличия загрязненности органическими веществами, бактериальной обсемененности, особенно кишечной палочкой (в том числе патогенной для человека), значительно превосходят хозяйственно-бытовые сточные воды и стоки предприятий пищевой промышленности. Стоки являются благоприятной средой для возбудителей ряда инфекционных

болезней. Несмотря на высокую степень очистки жидкой фракции свиного навоза, достигнуть проектных норм по количеству взвешенных веществ, БПК<sub>5</sub>, ХПК, аммиачному азоту и общему микробному числу не удавалось.

Загрязнение окружающей среды становится еще более опасным в том случае, если жидкие стоки используют в качестве органических удобрений на полях орошения без предварительного обеззараживания, так как они в этом случае становятся источником распространения возбудителей инфекционных и инвазионных болезней. В 1 г свежих фекалий содержится до 2–3 млн бактерий.

В жидком навозе, в отличие от обычного, процессы самонагревания не происходят, что связано с высокой его влажностью (до 98 %), поэтому сроки выживания патогенной микрофлоры и яиц гельминтов значительно увеличиваются. Так, яйца аскарид сохраняются до 12–15 мес., а при попадании в почву на глубине пахотного слоя – до 2 лет. Источником загрязнения окружающей среды жидкий навоз становится не только при непрерывном хранении, но и при нарушении правил его использования. Согласно данным, доза внесения жидкого навоза не должна превышать 50–100 м<sup>3</sup>/га. Однако, по наблюдениям некоторых исследователей, при систематическом (на протяжении 15 лет) внесении его в количестве 160 м/га на одни и те же участки происходило увеличение содержания азота и его основных форм в почве (общего азота – до 59,3 мг/л, нитратного – 52,6, аммиачного – 6,7 мг/л). Неконтролируемый вывоз жидких стоков на поля приводил к тому, что на близлежащих участках содержание азота в почве превышало оптимальные величины в несколько раз.

Неудовлетворительное состояние воздушной среды в помещениях свиноводческих комплексов неблагоприятно сказывается на здоровье и работоспособности обслуживающего персонала, учащаются случаи респираторных болезней, возникновения головных болей и т. д. Нередко поступают жалобы на ухудшение состояния здоровья от жителей населенных пунктов, расположенных вблизи свиноводческих комплексов.

Таким образом, приведенные краткие данные свидетельствуют о неудовлетворительном экологическом состоянии свиноводческих комплексов. Очевидно и то, что эти данные являются фрагментарными, полученными при разовых исследованиях, без

учета многочисленных сопутствующих факторов, не дают полной картины экологического давления комплексов на окружающую среду. На наш взгляд, более полную картину экологического состояния этих предприятий может дать постоянный контроль, мониторинг экологической обстановки.

Проведенная обработка стоков коагулянтами выявила их высокую эффективность в уничтожении вредных организмов.

Показано, что использование в качестве коагулянтов для навозных стоков смесей, содержащих два компонента ( $\text{FeCl}_3$  + доломитовая мука,  $\text{FeCl}_3$  + известь и  $\text{FeCl}_3$  + фосфогипс) являются более эффективными, чем применение индивидуальных веществ.

Двухкомпонентные флокулянты проявляют синергизм действия. Наиболее эффективна смесь, состоящая из  $\text{FeCl}_3$  и доломитовой муки при их расходах  $500\text{--}700 \text{ г/м}^3$  и  $5\text{--}10 \text{ кг/м}^3$  соответственно.

## Глава 16. ОРОШЕНИЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМИ СТОКАМИ

Технология утилизации жидкой органики путем орошения животноводческими стоками применяется на многих животноводческих предприятиях. Площадь земледельческих полей орошения (ЗПО) в Республике Беларусь превышает 12 тыс. га и планируется ее дальнейшее расширение. Это позволит использовать в качестве удобрений свыше 10–12 млн м<sup>3</sup> животноводческих стоков.

ЗПО – это специализированные мелиоративные системы для приема предварительно подготовленной и обеззараженной жидкой фракции бесподстильного навоза с целью использования ее для удобрительного орошения преимущественно многолетних трав. Такие системы могут быть трех типов:

- с круглогодичным приемом животноводческих стоков и круглогодичным орошением;
- с приемом стоков и орошением сельскохозяйственных угодий только в вегетационный период;
- с круглогодичным приемом сточных вод животноводческих комплексов в регулирующие емкости с удобрением полей в вегетационный период.

Выбор той или иной технологии зависит от конкретных почвенно-климатических условий. Однако в Беларуси преимущество имеют ЗПО с круглогодичным приемом стоков в регулирующие емкости с дождеванием в вегетационный период.

Оросительные системы с использованием животноводческих стоков целесообразны при недостатке или неравномерном выпадении осадков в весенне-летний период и наличии значительных объемов бесподстильного навоза. ЗПО обычно создают вблизи свиноводческих комплексов мощностью 24 тыс. гол. и более, где применяется гидросмыв экскрементов животных. Строят такие системы и вокруг крупных предприятий промышленного типа по откорму крупного рогатого скота (мощностью 10 тыс. гол. и более). В остальных случаях, когда объем отходов животных незначителен, экономически целесообразнее вывозить бесподстильный навоз на поля мобильным транспортом или применять комбинированную схему: перекачка гомонизированного жидкого навоза по трубопроводам с последующим распределением его на сельскохозяйственные угодья с помощью цистерн-разбрасывателей типа РЖТ (МЖТ).

Оросительная система с использованием животноводческих стоков состоит из следующих основных элементов: насосных станций подачи чистой воды, стоков и подготовленной смеси; узла подачи жидкой фракции навоза (эжектор или смесительная камера), напорных трубопроводов, поливной техники, дорог, линии электропередач и связи, водохранилищ и других сооружений. Не исключается смешивание жидкой органики с водой и во всасывающем трубопроводе. Выбор оптимального варианта разбавления стоков водой во время дождевания выполняется на основе технико-экономических расчетов способа полива, месторасположения массива орошения.

Подготовка стоков к орошению заключается, прежде всего, в разделении их на твердую и жидкую фракции. Для этой цели на крупных свиноводческих комплексах используются специальные очистные сооружения, включающие дуговые сита типа СД-Ф-50, отстойники, центрифугу, систему транспортеров и другое оборудование. Все производственные процессы по разделению жидкого навоза и стоков на фракции автоматизированы. Однако имеющийся в республике опыт по использованию такой технологии показывает, что и здесь есть нерешенные вопросы. Прежде всего, это касается резервуаров осветленных стоков (РОС). Очистка их от осадка – сложная задача, поскольку можно легко повредить пленчатую гидроизоляцию дна и откосов этих сооружений. Устраивать же гидроизоляцию из твердых покрытий экономически не выгодно. Целесообразнее поступать по примеру совхоза-комбината «Сож» Гомельского района, где перед РОСами сооружены бетонированные горизонтальные отстойники с полезным объемом 4–5 тыс. м<sup>3</sup>. В случае необходимости очистка их от осадка не представляет особого труда. Причем жидкая фракция перед поступлением в РОС должна проходить гарантирование в течение не менее 6 суток, а в случае эпизоотии на комплексе, и обеззараживаться согласно нормам технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза.

Для облегчения эксплуатации РОСы должны иметь не менее трех секций. С целью уменьшения мощности насосных станций и длины магистральных трубопроводов эти сооружения следует размещать в пониженных элементах рельефа в зоне орошения. Наиболее подходят для таких целей разработанные карьеры и другие

несельскохозяйственные угодья. При обосновании же размеров полевых накопителей необходимо учитывать региональные особенности территории. В условиях Республики Беларусь РОСы должны вмещать не менее годового объема (лучше – 14-месячный) жидкой фракции бесподстилочного навоза, поступающей от животноводческого комплекса. Это обусловлено тем, что на торфяных (один раз в 3–5 лет) и на минеральных (один раз в 5–10 лет) почвах большинство сельскохозяйственных культур не нуждается в дополнительном увлажнении, особенно на севере республики.

Для дождевания стоками используются специальные машины, работающие от стационарной закрытой сети: ДНК-80, ДМУ-Асс, «Фрегат», «Коломенки-100», ДДН-100С, ДДФ-120, «Днепр». Но модифицированный «Фрегат» может работать только на хорошо подготовленных к поливу навозных стоках, содержащих сухого вещества до 1 % при размере твердых включений не более 2,5 мм. Остальные дождевальные установки предназначены для полива жидкой фракцией бесподстилочного навоза, содержащей до 2 % сухого вещества при размере частиц (кроме «Днепра») до 10 мм. Дождевальная машина «Волжанка» устойчиво работает лишь при наличии сухого вещества не более 1 % и диаметре включений до 3 мм. Причем среднесуточные дождевальные машины и аппараты качественно вносят жидкую фракцию на поля, когда скорость ветра не превышает 5 м/с, а длинноструйные (ДДН-100С, ДД-30, ДД-50, ДД-80) – 3 м/с.

Годовую норму стоков определяют для каждой культуры севооборота по выносу питательных веществ всем урожаем или только планируемой прибавкой. Расчеты показывают, что при утилизации жидкой фракции бесподстилочного навоза свиней в земледелии площадь ЗПО необходимо определять по фосфору, а при использовании стоков КРС – по калию. Недостающее же количество других элементов питания компенсируется внесением соответствующих минеральных туков. При этом площадь ЗПО для утилизации жидкой фракции стоков свиного комплекса мощностью 54 и 108 тыс. гол. должна составлять соответственно 1100 и 2200 га. Фактически на большинстве комплексов она меньше, что затрудняет использование бесподстилочного навоза в земледелии и создает реальную угрозу загрязнения окружающей среды, особенно – природных вод.

На орошаемых стоками угодьях многолетние злаковые травы должны занимать не менее 70–80 %. Создание луговых угодий на ЗПО имеет не только экономическое, но и экологическое значение. Обеспечивая высокую продуктивность, многолетние травы поглощают много воды и элементов питания, что препятствует вымыванию стоков из корнеобитаемого слоя. При необходимости (при высокой влажности почвы) их можно орошать жидкой фракцией навоза, содержащей 1,0–1,5 % азота на 1 л. Другие культуры, особенно свекла, кукуруза, плохо переносят полив неразбавленными водой стоками. Для них содержание азота в 1 л не должно превышать соответственно 500 и 80 мг. Примерно такая же концентрация этого элемента должна быть при орошении стоками зерновых культур. Причем общая норма азота за вегетационный период для многолетних злаковых трав обычно составляет до 300 кг/га, или в 2 раза больше, чем для ячменя, овса или озимой ржи.

Бобовые травы, как показывает практика, на ЗПО неустойчивы и нередко выпадают. Их поливать стоками целесообразно лишь тогда, когда доля клевера в травостое не превышает 40 %.

Для эффективного использования элементов питания и предохранения природных вод от загрязнения стоки следует вносить дробно под каждый укос злаковых трав. В условиях повышенной влажности, особенно в весенний период, целесообразно применять азотные туки, а под второй и третий укосы – жидкие органические удобрения. Причем перезалужение орошаемых угодий необходимо проводить через 4–5 лет, что объясняется нарушением дернины при уборке зеленой массы, а также некоторым ухудшением водно-физических свойств связанных почв при интенсивных поливах.

Ранние травостои должны занимать 25–30 % общей площади луговых угодий, средние – 40–50 и поздние – 25–30 %. Это позволит создать бесперебойный зеленый конвейер и хорошую сырьевую базу для приготовления высококачественной травяной муки, силоса и сенажа.

На ЗПО происходит не только утилизация стоков, но и их очистка. Взаимодействуя с почвой, они превращаются в минеральные соединения. Наиболее активен этот процесс в теплый период года и при оптимальных нормах жидких органических удобрений. Понижение температуры и переувлажнение уменьшают самоочищающуюся способность почвы. Более того, усиливается фильтра-

ция стоков из пахотного слоя. В этой связи особенно нецелесообразно так называемое вневегетационное орошение на почвах легко механического состава. Кроме того, разовая норма полива даже во время роста трав не должна превышать 150–200 м<sup>3</sup>/га. По окончании орошения стоками травы необходимо поливать чистой водой, что улучшает качество корма и уменьшает коррозию металла поливочного оборудования. Особое внимание следует уделять дальнеструйным аппаратам: при внесении ими удобрений целесообразны поинтервальные поливы. Суть их заключается в том, что дождевальные аппараты включают в работу примерно на 30 мин, а затем отключают. Так повторяют несколько раз, пока не внесут нужное количество жидкой фракции. В этом случае она впитывается почвой и поверхностного смыва не происходит. Кроме того, на осушенных угодьях дренажный сток необходимо аккумулировать для полива, а также устраивать лесозащитные полосы на ЗПО и вокруг сооружений по обработке навоза.

Окупаемость жидких органических удобрений урожаем и производительность дренажных машин возрастает на выровненных площадях, поэтому на участках с выраженным неровным микрорельефом необходимы планировочные работы, с помощью которых уклоны поверхности доводят до 0,02 и менее.

Косьбу трав на ЗПО следует проводить не раньше, чем через 2–3 недели после полива стоками. Если зеленая масса используется для заготовки обезвоженных кормов, этот срок можно несколько уменьшить.

Применение животноводческих стоков в качестве удобрений экономит средства на покупку минеральных туков. Становится излишней искусственная биологическая очистка жидкой органики, затраты на которую достигают 50 % сметной стоимости комплексов.

## Глава 17. САНИТАРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАВОЗА

Концентрация животных приводит к накоплению в окружающей внешней среде (воздух, почва) возбудителей бактериальных, вирусных, паразитарных болезней. В настоящее время установлено, что экскременты являются источником распространения более 100 заболеваний животных и человека. Использование зараженного навоза в качестве удобрения способствует рассеиванию возбудителей болезней на большом пространстве, что, в конечном счете, приводит к распространению инфекционных и инвазионных заболеваний среди животных.

Навоз является одним из важнейших вторичных источников инфекции, так как он служит благоприятной средой для различных микроорганизмов. Известно, что 14,7–18,7 % общей массы экскрементов крупного рогатого скота составляют бактерии. Количество бактерий в 1 мг достигает 20–165 млн клеток.

В навозной массе может также содержаться значительное количество семян сорных трав.

Инфекционные заболевания животных составляют лишь 2–4 % от всех заболеваний, однако вспышка острозаразных болезней сельскохозяйственных животных приводит к тяжелым последствиям и большому экономическому ущербу. При некоторых инфекционных заболеваниях (чума, ящур) все животные хозяйства подлежат убою, при других – ветеринарные требования менее жесткие, но во всех случаях вспышка инфекционных заболеваний оборачивается бедствием.

Навоз, полученный от больных животных, может содержать возбудителей многих опасных болезней сельскохозяйственных животных и быть фактором передачи возбудителей инфекции и инвазии. Навоз служит защитой для микробов, вирусов и яиц гельминтов от разных внешних воздействий (инсоляции, действия дезинфицирующих веществ и др.). В естественных условиях возбудители инфекционных и гельминтозных заболеваний животных длительно выживают в навозе (табл. 11).

Таблица 11

Продолжительность выживания в навозе возбудителей некоторых болезней

Болезнь	Срок выживания возбудителей
Туберкулез	Более 4 лет
Паратуберкулез	11 лет
Болезнь Ауески	2 года
Рожа свиней	157 сут.
Бруцеллез	174 сут.
Ящур	11–168 сут.
Пастереллез	72 сут.
Чума свиней	Более 2 сут.
Паратиф крупного рогатого скота	118 сут.
Паратиф свиней	180 сут.
Мыт	30–72 сут.
Трихофития	61–100 сут.
Личинки стронгилят	15–60 сут.
Яйца аскарид, параскарид, стронгилят	Более 6 мес.
Чума свиней	Более 2 сут.

Имеется много наблюдений, свидетельствующих об огромном ущербе, наносимом животноводству паразитарными заболеваниями. Если вспышки опасных бактериальных и вирусных инфекций обычно наблюдаются как эпидемическое явление, то зараженность животных возбудителями гельминтозных болезней во многих хозяйствах, к сожалению, еще очень высокая. Так, исследования И.С. Жарикова, М.В. Якубовского, С.С. Липницкого и других свидетельствуют о том, что на комплексах по производству молока значительное количество коров инвазировано фасциолами, парамфистоматидами и стронгилятами, соответственно, 21,83; 14,72 и 38,78 %.

В комплексах по откорму молодняка крупного рогатого скота инвазированность животных гельминтами находится в прямой зависимости не только от технологии комплектования, но и технологии кормления и содержания откармливаемого поголовья. Так,

в комплексах, где на выращивание и откорм ставится молодняк 5–6-месячного возраста, количество животных, инвазированных стронгилятами, достигает 56–64%, фасциолами – 5,65%, парамфистоматидами – 6,05% и трихоцефалами – 4,65%. Причем, с возрастом молодняка инвазированность одними гельминтами увеличивается, например, фасциолами до 11,0%, парамфистоматидами до 13,0%, а другими уменьшается – стронгилятами до 50,0%, трихоцефалами – до 3,5%.

В комплексах, где комплектование производится бычками-молочниками не старше 20-дневного возраста, зараженность молодняка гельминтами значительно ниже по сравнению с вышеописанными хозяйствами. Например, в совхозе-комбинате «Мир» Брановичского района, где в год откармливается около 10 тыс. гол. молодняка, инвазированность гельминтами незначительная, и только в начальном периоде дорастивания 16,1 % животных были заражены стронгилоидами. Причем за весь период выращивания и откорма животных наблюдали снижение зараженности молодняка стронгилоидами до 3,0 %. Инвазированность телят стронгилятами в период дорастивания не превышала в этом комплексе 0,5 %, и только в конце откорма достигала 7,5 %. Трихоцефалами в совхозе-комбинате «Мир» было инвазировано не более 1,5 % животных.

В свиноводческих хозяйствах-репродукторах Беларуси зараженность поросят до 2-месячного возраста аскаридами достигала 9,16 %, трихоцефалами – 10,3, эзофагостомами – 4,9 %. К 3-месячному возрасту зараженность поросят аскаридами возрастала до 58,0 % а затем к 7-месячному возрасту снижалась до 10 %. Аналогичная закономерность наблюдалась и при заражении свиней трихоцефалами.

В свиноводческих хозяйствах откормочного типа ситуация по гельминтозам зависит от ряда причин: степени зараженности гельминтами поступающего из репродукторных хозяйств молодняка, условий кормления и содержания, объема и уровня проведения ветеринарно-санитарных мероприятий и др. Однако общей тенденцией является снижение зараженности свиней гельминтами к концу откормочного периода.

Установлено, что в хозяйствах, где применяют сухой тип кормления, зараженность свиней гельминтами значительно ниже, чем в аналогичных хозяйствах, где используют жидкие корма. Самая

высокая степень зараженности гельминтами установлена в хозяйствах-репродукторах: аскаридами – 22,8 %, трихоцефалами – 34,16 и эзофагостотами – 33,86 %, в меньшей степени – в хозяйствах откормочного типа (соответственно 18,4 21,42 и 3,0 %). Проведение соответствующих ветеринарно-санитарных мероприятий позволяет значительно снизить зараженность свиней возбудителями гельминтозных заболеваний и в этом типе хозяйств.

Краткий анализ эпизоотической ситуации на животноводческих фермах и комплексах Беларуси позволяет предложить ряд мероприятий по ветеринарно-санитарной охране их от загрязнения отходами животноводческих предприятий.

1. Территория комплексов и крупных ферм должна организовываться по принципу «белая» и «черная» зоны, а использование помещений по принципу «все занято – все свободно».

2. Соблюдать технологию комплектования и содержания животных на фермах и комплексах (своевременное исследование на инфекционные и инвазионные заболевания животных и соответствующая их обработка).

3. Своевременные удаления навозных стоков из животноводческих помещений и транспортировка к местам хранения.

4. Определить оптимальный объем основных сооружений для хранения навозных стоков в зависимости от срока и цели хранения. При круглогодичном внесении их в почву объем сооружений рассчитывают на 2–3-месячное хранение.

5. Использовать в качестве органического удобрения навозные стоки, не содержащие возбудителей инфекционных и инвазионных заболеваний.

6. Инвазированные навозные стоки в качестве органического удобрения разрешается использовать только на поля под технические культуры, а также под кормовые, которые перед скармливанием скоту подлежат термообработке или силосованию (на период, пока не будут разработаны и внедрены эффективные методы обезвреживания).

7. Запретить внесение навозных стоков, содержащих возбудителей инфекционных и инвазионных заболеваний? на культурные пастбища, а также поля, на которых выращиваются овощные, пропашные и другие культуры, используемые для пищевых целей.

## 17.1. Система контроля санитарного состояния животноводческих ферм

1. В животноводческих помещениях должен постоянно поддерживаться оптимальный микроклимат, который находится в прямой зависимости от надежной работы системы вентиляции и навозоудаления. Вентиляция должна обеспечивать содержание в помещениях вредных газов в пределах допустимых концентраций (ПДК). Так, ПДК аммиака для взрослого крупного рогатого скота и свиней –  $20 \text{ мг/м}^3$ , для молодняка –  $10\text{--}15 \text{ мг/м}^3$ , ПДК для сероводорода – в 2 раза ниже.

В связи с тем, что жидкий навоз выделяет в окружающую среду повышенное количество вредных газов, системы гидроуборки навоза необходимо оборудовать местной вытяжной системой вентиляции. Количество удаляемого воздуха из каналов местной вентиляции должно составлять 70 % от общего воздухообмена, но не меньше 30 % в помещениях для КРС и 50 % для содержания свиней (согласно нормам технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета, ОНТП-17–81). Местная вытяжная система вентиляции способствует не только понижению содержания вредных газов в помещении, но и понижению загрязненности воздуха пылью и микроорганизмами, что очень важно для профилактики инфекционных болезней животных, возбудители которых могут распространяться и аэрогенным путем.

Контроль над состоянием микроклимата в помещениях осуществляют с помощью зоогигиенических приборов: психрометров, универсальных газоанализаторов с набором индикаторных порошков, кататермометров и др.

2. С целью своевременного выявления в стадах КРС животных, больных инфекционными и паразитарными заболеваниями, все поголовье согласно плану, противозпизоотических мероприятий обследуют на туберкулез, бруцеллез, лейкоз, паразитарные заболевания (выборочно) при постановке на стойловое содержание и при выгоне на пастбище. В свиноводческих хозяйствах (за исключением племенных) обследование поголовья на бруцеллез, лептоспироз проводят также выборочно. Кроме того, для предупреждения возникновения инфекционных заболеваний у животных, с учетом

эпизоотической обстановки хозяйств, проводят необходимые прививки и обработки в соответствии с действующими инструкциями и наставлениями.

3. К работе на животноводческих фермах и комплексах допускают лишь совершенно здоровых людей после полного предварительного медицинского обследования. В дальнейшем медицинские осмотры обслуживающего персонала проводят не менее двух раз в год.

4. В системе ветеринарно-санитарных мероприятий исключительно важными являются профилактическая дезинфекция и дезинсекция, которые проводят по плану, где предусматривают сроки, методы, режимы работ, потребность в дезинфицирующих средствах. Работники районной ветеринарной лаборатории обязаны осуществлять контроль качества дезинфекции.

5. Для обеспечения высокой санитарной культуры на животноводческих фермах и комплексах (кроме текущей ежедневной уборки) 1–2 раза в месяц необходимо проводить санитарный день. В этот день после механической очистки в помещениях проводят текущий ремонт полов, кормушек, окон, инвентаря и оборудования. В санитарный день тщательно чистят и моют животных, убирают навоз, остатки кормов и всевозможный мусор.

6. Сооружения для обработки жидкого навоза должны располагаться за пределами ограждения промышленных животноводческих комплексов.

7. Все сооружения и строительные системы удаления жидкого навоза из животноводческих помещений, его обработки, хранения и транспортирования должны быть выполнены с гидроизоляцией, исключающей инфильтрацию грунтовых вод в технологическую линию, а также фильтрацию жидкого навоза и стоков в водоносные горизонты.

8. Территория сооружений для обработки и хранения жидкого навоза должна быть ограждена, защищена многолетними зелеными насаждениями, благоустроена и иметь проезды и подъездную дорогу с твердым покрытием шириной 3,5 м. Ширина лесозащитной полосы должна быть не менее 10 м.

9. На очистных сооружениях промышленных ферм должны быть предусмотрены карантинные хранилища, рассчитанные на шести-

суточное выдерживание жидкого навоза. В течение этого периода уточняют эпизоотическую обстановку на комплексе.

10. При появлении эпизоотии всю массу жидкого навоза, начиная с карантинных хранилищ, обеззараживают до его разделения на фракции. Обеззараженный навоз обрабатывают и используют по технологии, утвержденной в установленном порядке. Если в течение времени выдерживания жидкого навоза в карантинных хранилищах не зарегистрированы опасные заболевания животных, то навоз до его разделения на фракции не обеззараживают и транспортируют для дальнейшей обработки и использования.

Ветеринарно-санитарными требованиями предусматривается карантинирование бесподстилочного навоза в течение 6 суток. Если за это время на комплексе не наблюдались инфекционные заболевания, то навозные стоки после соответствующей подготовки и хранения используют в качестве удобрений. В случае эпизоотии стоки обеззараживают по указанию ветеринарной службы.

Сооружения по обработке навозных стоков необходимо располагать по отношению к животноводческому комплексу и жилой застройке с подветренной стороны господствующих в теплое время года направлений ветров, а также ниже водозаборных сооружений. Очистные сооружения на комплексах мощностью от 12 до 54 тыс. свиней следует располагать от животноводческих помещений на расстоянии не менее 60 м, от жилой застройки – 1500 м. На более мощных предприятиях (54 тыс. и более голов в год) они удаляются от жилья на 2000 м.

Конструкция накопителей жидкой фракции стоков должна исключать загрязнение подземных и поверхностных вод. На фильтрующих грунтах дно и откосы должны быть защищены противofiltrационным экраном, тип которого (бетонный, пленочный и др.) определяется технико-экономическим расчетом.

Объем резервуаров осветленных стоков проектируется из расчета годового поступления жидкой фракции бесподстилочного навоза. Для удобства эксплуатации перед ними целесообразно сооружать бетонированные горизонтальные отстойники полезным объемом 4–5 тыс. м<sup>3</sup>. Это улучшает подготовку стоков к поливу и облегчает очистку дна сооружений от осадка (ила).

## Глава 18. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО НАВОЗА

### 18.1. Обеззараживание навоза

Учитывая высокую опасность распространения инфекционных и инвазионных болезней сельскохозяйственных животных через навоз, необходимо при проектировании сооружений обеспечить возможность сбора, карантинирования и обеззараживания всего объема инфицированного (в случае эпизоотии) навоза любой влажности. Системы должны обеспечивать своевременное удаление навоза из помещений и исключать рассеивание инфекционного начала внутри помещений. Для исключения перезаражения животных личинками гельминтов в помещениях тщательная уборка навоза с полов должна проводиться не реже одного раза в 6 дней.

При возникновении инфекционных болезней и попадания возбудителей в навоз его обеззараживают одним из следующих способов: биологическим (длительное выдерживание), химическим (аммиаком или формальдегидом), физическим (термическая обработка).

При применении биологического способа обеззараживания путем длительного выдерживания (не менее 12 мес.) в секционных хранилищах количество секций должно быть не менее четырех из расчета, что две могут быть заняты инфицированным навозом, а две другие – обеспечивать прием неинфицированного навоза. Емкости (секции) должны иметь водонепроницаемые покрытия. Объем каждой секции, в зависимости от мощности фермы или комплекса, принимается из расчета сбора всего объема инфицированного навоза за период эпизоотии.

Сроки выдерживания инфицированного навоза при биологическом способе обеззараживания могут корректироваться органами районной или областной ветеринарно-санитарной службы, в зависимости от вида возбудителей заболевания.

Принципиальная схема систем сооружений и оборудования, обеспечивающих обеззараживание химическим способом, включает: приемный резервуар, контактный резервуар с оборудованием для гомогенизации, станцию перекачки и резервуаров для инфицированных стоков. Системы сооружений и оборудования, обеспечивающие обеззараживание термическим способом, включают: приемный резервуар, установку

для термообработки, станцию перекачки. Принципиальная схема системы сооружений и оборудования, обеспечивающих обеззараживание биологическим способом, включает: для анаэробного сбраживания – приемный резервуар, резервуар-усреднитель, устройство для подогрева навоза, реактор для сбраживания, сооружения для хранения биогаза, станцию перекачки; для биопрудов – систему разделения (отстойники), пруд-накопитель, водорослевый, рачковый и рыбный пруды, пруд чистой воды и насосную станцию; для выдерживания – приемный резервуар, емкость для инфицированных стоков, станцию перекачки.

В качестве емкости для инфицированных стоков может служить одна секция секционного прифермского или полевого навозохранилища, рассчитанная не менее чем на двухмесячный выход стоков.

Для обеззараживания навоза методом длительного выдерживания оборудуют секционное хранилище, секции которого заполняют поочередно.

Инфицированный твердый навоз укрывают торфом или обеззараженным навозом слоем не менее 10 см, а жидкий навоз, выдерживаемый в хранилищах, покрывают масляным альдегидом слоем 1–2 мм. Твердый и жидкий навоз, загрязненный возбудителями неспорообразующих инфекций (кроме туберкулеза), обеззараживают методом выдерживания в навозохранилище в течение 12 мес., а навоз, обсемененный бактериями туберкулеза, обеззараживают методом выдерживания в течение 2 лет.

Для ферм и комплексов по производству молока, построенным по действующим типовым проектам, возможно применять химические способы обеззараживания с использованием формальдегида и жидкого аммиака, биологические – с применением метантанков и емкостей для выдерживания. Выбор способа обеззараживания зависит от принятой в проекте технологии обработки и хранения навоза. Например, для молочных ферм на 400 коров, построенных по ТП 801-01-23, на 800 коров, построенных по ТП 801-01-2, 801-01-14 и 801-01-48.85, по всем показателям наиболее экономичным является биологический способ обеззараживания – выдерживанием. Обеззараживание жидкого (до разделения на фракции), а также полужидкого навоза, навозных стоков, ила и осадка, загрязненных возбудителями неспорообразующих инфекций и инвазий, проводят жидким аммиаком. Для доставки жидкого аммиака используют автоцистерны ЗБА-3,2 и МЖА-6. Аммиак подают после перемешивания навоза в хранилище непосредственно из цистерны с

помощью шланга, заканчивающегося иглой, спускаемой на дно емкости. Иглу перемещают в навозохранилище через каждые 2 м. После обработки навоза поверхность хранилища укрывают полиэтиленовой пленкой или наносят масляный альдегид слоем 1–2 мм. Обеззараживание достигается при расходе 30 кг аммиака на 1 м<sup>3</sup> массы и экспозиции 2 суток. Обеззараживаемый навоз в качестве удобрения рекомендуется вносить внутрпочвенным методом под запашку.

Жидкий навоз, загрязненный неспорообразующими патогенными микроорганизмами (кроме микобактерий туберкулеза), обеззараживают также формалином. На 1 м<sup>3</sup> жидкого навоза расходуют 7,5 л формалина с содержанием 38–40 % формальдегида при перемешивании массы в течение 6 часов. Длительность экспозиции – 72 часа. Формалин доставляют автоцистернами АЦ-4.2.130.

Твердый навоз, получаемый от животных больных или подозрительных по заболеванию сибирской язвой, эмфизематозным карбункулом, сапом, инфекционной анемией, бешенством, энцефаломиелитом, эпизоотическим лимфангоитом, браздотом, инфекционной энтеротоксимией, чумой крупного рогатого скота, африканской чумой лошадей, паратуберкулезным энтеритом, сжигают, а жидкий навоз подвергают термической обработке.

Твердый (подстилочный) и жидкий навоз, а также их фракции и избыточный ил, содержащие яйца и личинки гельминтов, подлежат дегельминтизации одним из способов биологической, химической или физической обработки в технологической схеме подготовки и использования навоза. При этом режимы обработки отличаются от применяемых для дезинфекции навоза некоторыми параметрами, учитывающими особенности устойчивости возбудителей инвазионных болезней.

Биотермическое обеззараживание инфицированного полужидкого навоза при компостировании, а также твердой фракции происходит при хранении на площадках с твердым покрытием. При хранении твердой фракции или компостов с полужидким навозом в штабеле под влиянием жизнедеятельности термогенных микроорганизмов развивается высокая температура, которая оказывает губительное действие на возбудителей инфекционных болезней животных. Размножение термогенных микроорганизмов в штабелях компостов возможно при достаточном поступлении воздуха и определенной влажности компоста. Необходимая степень аэрации компоста достигается путем рыхления укладки штабеля. Влажность компоста не должна превышать 70 %.

Компост укладывают в штабеля произвольной длины высотой 2,5–3,0 м, шириной 3 м. Боковые стороны штабеля делают пологими, что позволяет поддерживать равномерную температуру и экономить материал. Для укрытия штабеля используют обеззараженный компост, солому, торф и др. Толщина укладываемого слоя с боков и сверху должна быть летом 15–20 см, зимой – не менее 50 см.

Биотермическую обработку навоза проводят на специально отведенном огороженном месте, не ближе 200 м от жилых и животноводческих помещений, водоемов и колодцев. На участке вырывают котлован шириной 3–4 м и глубиной 25 см. Дно должно иметь уклон к середине, где по длине котлована делается желоб глубиной и шириной 50 см. Дно и боковые стенки желоба цементируют или облицовывают слоем жирной глины толщиной 15–20 см.

Перед укладкой навоза желоб закрывают жердями. На дно котлована настилают слой соломы или сухого соломистого незараженного навоза толщиной 25–40 см. На этот слой рыхло укладывают зараженный навоз в виде пирамиды высотой 1,5–2,0 м. Уложенный штабель сверху и с боков укрывают соломой, торфом или незараженным навозом толщиной 10–15 см (зимой – 40 см), а затем слоем земли (10 см).

Зараженный навоз должен выдерживаться в штабелях летом не менее одного месяца после окончания укладки штабеля, а зимой – этот же срок с момента подъема в нем температуры до 60–70 °С.

При биологическом обеззараживании твердую фракцию, получаемую в процессе гравитационного разделения жидкого свиного навоза в фильтрационно-осадительных сооружениях (отстойниках, оборудованных дренажным коллектором и шандорными устройствами для обеззараживания массы), выдерживают для естественной дегельминтизации после ее обеззараживания в весенне-летний период (май–август) в течение 3,5 мес.

При выгрузке твердой фракции из сооружений до истечения указанной эпизоотии ее складывают на площадке компостирования, которую оборудуют вблизи указанных сооружений. Приготовленную смесь твердой фракции с торфом и минеральными удобрениями выдерживают в буртах при параметрах, аналогичных для твердой фракции, получаемой на механических установках.

Твердая фракция, получаемая после механического разделения жидкого навоза КРС при влажности массы не более 70–72 %, подлежит биотермической обработке в буртах высотой 2–3 м произвольной

длины. Срок дегельминтизации – не менее месяца в весенне-летний и не менее двух месяцев – в осенне-зимний период. Началом срока обеззараживания считается день подъема температуры в центральной зоне штабеля до 60 °С.

Срок дегельминтизации полужидкого навоза КРС, накапливаемого в хранилищах, оборудованных под решетчатыми полами животноводческих помещений, при влажности массы 85–87 % составляет 5 мес. За этот период в нем погибают яйца стронгилят, мониезий. Срок дегельминтизации определяется после заполнения хранилища.

При искусственной биологической обработке жидкого навоза КРС (накапливанием) и свиней с влажностью массы 92–95 % методами аэробного и анаэробного сбраживания гибель яиц гельминтов достигается при достижении температуры массы во всех слоях 52–57 °С в течение трех часов.

На крупных овцеводческих фермах, где получают полужидкий навоз с влажностью 87–88 %, накапливаемый под решетчатыми полами в каналах, дегельминтизация его достигается в течение 4 мес. в процессе выдерживания массы или компостированием ее с торфом (1:1). Срок выдерживания компостов при общей влажности до 70 % составляет 3 мес.

Дегельминтизация твердого навоза КРС и овец при влажности массы 67–69 % достигается в буртах через месяц в весенне-летний период и через два месяца – в осенне-зимний период. Дегельминтизация жидкой фракции, получаемой после механического или гравитационного разделения стоков, обеспечивается путем отстаивания не менее 2 суток в отстойниках перед использованием на орошение. Для исключения поступления осадка в оросительную сеть патрубков трубопровода, по которому жидкая фракция подается из накопителя в оросительную сеть, устраивают на глубине 50 см от дна накопителя. Образующийся в накопителях осадок удаляют не реже одного раза в сезон и вносят под запахку под технические культуры или внутрпочвенным методом под многолетние травы.

В технологических системах двухступенчатой очистки жидкой фракции стоков свиноводческих комплексов (на 54 и 108 тыс. свиней в год) эффективность ее дегельминтизации составляет 97–100%, в зависимости от нагрузки стоков на сооружения. Основное направление использования получаемой жидкой фракции – для орошения сельскохо-

зайственных угодий, занятых многолетними травами, предназначенными для получения силоса, сенажа, травяной муки.

Биотермический метод использования для уничтожения возбудителей бактериальных и вирусных инфекций, а также яиц и личинок гельминтов. При обнаружении спорообразующих возбудителей твердую фракцию жидкого навоза или компоста необходимо сжигать или отвозить в отвалы для длительного хранения.

Для обеззараживания жидкого навоза в карантинных емкостях, оборудованных устройствами для перемешивания содержимого, применяют также химические реагенты. Метод основан на внесении в жидкий навоз химических средств (формальдегида, тизона и др.), и усиления их действия путем интенсивного перемешивания различными устройствами. В процессе перемешивания частицы навозной массы измельчаются и растворяются, в результате чего возбудители заболеваний частично освобождаются от защищающих их органических веществ, а плотность соприкосновения химических дезинфицирующих средств с поверхностью возбудителя увеличивается. Кроме того, при перемешивании интенсифицируются окислительные процессы, усиливающие действие химических средств на возбудителей инфекционных болезней.

Расход химических реагентов зависит от вида инфекции и при обеззараживании формальдегидом составляет для навоза, неблагоприятного по сальмонеллезам и колитантернозу, 0,04–0,16 % от объема навоза при времени экспозиции 24 ч и периодической гомогенизации в течение 3 ч. Для навоза, обсемененного возбудителями ящура и болезни Ауэкси, – 0,3 % от объема навоза при времени контакта 72 ч и периодическом перемешивании в течение 6 ч.

Для обеззараживания чаще всего применяют формальдегид, который транспортируют и используют в виде формалина (30–40%-го водного раствора формальдегида). При длительном хранении, особенно на холоде, формалин мутнеет вследствие выпадения осадка – параформальдегида. Поэтому в зимний период формалин перед использованием подогревают в цистерне и после этого подают в смеситель. Установку размещают в отдельном ветеринарном помещении с размерами в плане не менее 6×6 м и высотой не менее 3,5 м. Дегельминтизация жидкого навоза свиней и КРС, а также илового осадка, получаемого при биологической обработке стоков свиноводческих комплексов, обеспечивается путем обработки жидким аммиаком при параметрах, указанных выше.

Физический метод обеззараживания жидкого навоза, а также жидкой фракции, полученной в процессе обработки жидкого навоза на очистных сооружениях комплексов (например, на комплексах по выращиванию и откорму 108 тыс. свиней в год), может применяться с использованием пароструйных установок. Установка обеззараживает жидкий навоз, содержащий споровые и не споровые патогенные микроорганизмы, при наличии в дисперсной фазе фракций до 8 мм, и может нагревать продукт до 130 °С и выше. Устойчивый режим работы достигается за счет двухступенчатого прогревания продукта (до 80–90 и 120–130 °С).

Установка обеспечивает высокую эффективность обеззараживания за счет практически мгновенного нагрева продукта до требуемой температуры, отсутствия непрогреваемых зон и последующей выдержки массы под давлением. В случае недогрева до температуры инаktivации масса обеззараживается автоматически, возвращается в приемный резервуар для повторения термической обработки. Пуск установки, контроль технологических параметров обработки и регулирование процесса обеззараживания осуществляются дистанционно.

Одним из часто рекомендуемых методов обеззараживания навоза является его сушка. При сушке достигается полное обеззараживание навоза от инвазионного и инфекционного начал. Сушка чаще всего применяется для обработки птичьего помета. Однако этот метод обработки навоза требует значительных энергетических затрат.

Методы обеззараживания навоза с использованием электрической энергии (электрическая обработка, электрокоагуляция, очистка на базе электролиза и электроимпульсная обработка) находятся в стадии разработки.

## **18.2. Обеспечение экологической безопасности животноводческих предприятий**

Снизить загрязняющее влияние животноводческих ферм и комплексов на окружающую среду можно за счет всесторонне обоснованного их проектирования и строительства, применения прогрессивных технологий и строгого соблюдения природоохранных мероприятий.

Для этого необходимо:

1. Отказаться от строительства комплексов по выращиванию и откорму молодняка КРС мощностью свыше 3–5 тыс. гол., свиноводческих – свыше 24–27 тыс. гол., а также комплексов с системами удаления навоза путем гидросмыва.

2. Строительство и эксплуатацию крупных животноводческих предприятий осуществлять с выделением изолированных зон – «белой» и «черной».

3. Сократить число животных на фермах, в отдельных помещениях и секциях.

4. Технология содержания животных должна базироваться на принципе «все занято–все свободно» и предусматривать профилактические перерывы («биологический отдых») с целью постоянного поддержания высокой санитарной культуры.

5. Максимально снизить расход воды на удаление навоза, использовать механические способы его удаления.

6. Использовать в качестве подстилочного материала солому и кондиционный подстилочный торф, позволяющие создавать теплое ложе и значительно повысить выход качественного навоза.

7. Обеззараживать навоз предпочтительно естественным, экологически безопасным биотермическим способом в специально устраиваемых местах для его утилизации.

8. Совершенствовать систему обеспечения микроклимата животноводческих помещений, не допускать внутренней и внешней рециркуляции отработанного воздуха.

9. Усилить гигиенический контроль качества проектирования, проводить комиссионную экологическую экспертизу проектов и комплексов.

10. Проектирование, строительство и эксплуатация животноводческих предприятий должны осуществляться в комплексе с агротехническими, мелиоративными, санитарно-гигиеническими и ветеринарно-профилактическими мероприятиями. Необходимо создавать санитарно-защитные зоны и лесные полосы, своевременно запахивать навоз после его внесения, использовать дождевальные установки с насадками и агрегаты для внутрипочвенного дождевания.

11. Природоохранные меры должны способствовать естественному биологическому круговороту веществ в природе, процессам естественного обеззараживания отходов производства, разложения и превращения в составную часть почвы.

12. Строительство и ввод в эксплуатацию очистных сооружений, оросительных систем с использованием навозных стоков, навозохранилищ и цехов по утилизации должны предшествовать вводу в эксплуатацию ферм и комплексов.

13. Предусматривать в проектах защиту водоемов от загрязнения сточными водами путем перехвата поверхностных и дренажных стоков и аккумуляцией их в прудах-накопителях с целью создания водооборотных систем.

14. Земельные поля орошения сдавать в эксплуатацию не позже, чем само животноводческое предприятие. Обязательно производить планировку поверхности ЗПО.

15. Участки, на которых предусматривается дождевание животноводческими стоками, располагать с учетом направления преобладающих ветров и размещения территории застройки. Защитная полоса между удобряемыми участками и населенным пунктом – не менее 300 м. При использовании животноводческих стоков уровень грунтовых вод должен залегать на глубине 1,0–1,2 м поверхности, что исключает использование низовых почв, заливаемых поверхностными водами.

16. Животноводческие стоки подаются, прежде всего, под однолетние растения в срок, когда возможно немедленное их перемешивание с почвой, а под многолетние кормовые растения – во вневегетационный период.

17. Для эффективного использования бесподстильного навоза без загрязнения почвы и грунтовых вод следует строго придерживаться предельно допустимых норм вносимого азота – не более 200 кг/га на пашне и 300 кг/га при орошении. Ежегодно применять чрезмерно высокие дозы бесподстильного навоза на одних и тех же участках нецелесообразно, так как при этом не обеспечивается рост урожайности, возрастает содержание нитратов в кормах, появляется опасность загрязнения грунтовых вод.

Для контроля состояния экологической обстановки на животноводческом предприятии и вокруг него необходимо организовывать постоянное наблюдение за использованием бесподстильного навоза, не ранее двух-трех раз в квартал проводить агрохимические анализы органических удобрений, почвы, грунтовых вод и растительности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отложения солей представлены преимущественно магний-аммоний фосфатом ( $MgNH_4PO \cdot 6H_2O$ ), минеральным струвитом, на долю которого приходится свыше 80 % их массы. В меньших количествах могут присутствовать в отложениях оксиды железа, кальция и другие соединения. В кристаллизации солей в экскрементах животных основную роль играет фосфор, вводимый в рацион свиней. В немалой степени сказывается на кристаллизации солей и нарушение поливного режима на сельскохозяйственных полях орошения: в большинстве случаев не проводится промывка трубопроводов чистой водой после прокачки навозных стоков, равно как и посевов кормовых культур. В результате усиливается образование кристаллических отложений.

Для удаления минеральных отложений с внутренних поверхностей предпочтительна соляная кислота. Применение же для этой цели серной кислоты должно быть исключено. Нежелательно использовать и азотную кислоту из-за ее агрессивного воздействия на металлические конструкции.

Подкисления жидких органических удобрений опасаться не следует, поскольку объемы стоков не сопоставимы с дозами добавляемых реагентов. К тому же подкисление стоков не сопоставимо с дозами добавляемых реагентов. К тому же подкисление стоков уменьшает непроизводительные потери аммиака вследствие улетучивания в атмосферу.

Для повышения эффективности удаления минеральных отложений, по возможности, можно применять нагретый пар для ускорения растворения внутри труб, хотя бы расположенных вблизи комплекса. При этом наблюдается совместное действие двух способов очистки от кристаллических отложений: термического и химического, что существенно экономит расход реагентов.

В качестве мероприятия по предотвращению отложения солей и создания нормальных условий работы гидротранспорта стоков кроме коагуляции необходимо использовать пластмассовые трубы вместо чугунных или железобетонных со сталь-

ным сердечником. Это частично снимает проблему кристаллизации солей на крупных свиноводческих комплексах.

В результате производственных испытаний установлено, что добавление в навозные стоки коагулянтов и минеральных добавок снижает в них содержание солеобразующих элементов. Изучено коагулирующее действие ряда неорганических электролитов ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}$ ,  $\text{FeCl}$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}$  и др.) на степень осветления навозных стоков свиноводческих ферм. Установлено, что наиболее эффективное действие оказывают соли, содержащие 3-валентные катионы ( $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ). Оптимально требуемое содержание коагулянтов  $\text{FeCl}_3$  в навозных стоках должно составлять 150–200 г/м.

Показано, что использование в качестве коагулянтов для навозных стоков смесей, содержащих два компонента, эффективнее, чем применение индивидуальных веществ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березкина, Л.Г., Борисова С.И. Доклады АН СССР. 1978. Т. 239, № 3. С. 601–602.
2. Воспуков, В.К. Машины и оборудование для животноводства / В.К. Воспуков, Д.Ф. Кольга. Минск : Беларусь, 2005. 366 с.
3. Гриб, В.К. Техническое обеспечение процессов в животноводстве : учебник / В.К. Гриб [и др.] ; под общей ред. В.К. Гриба. Минск : Беларус. наука, 2004. 639 с.
4. Дашков, В.Н. Энергосберегающие аспекты применения новых технологий и оборудования для производства молока в Республике Беларусь / В.Н. Дашков, В.И. Передня, В.О. Китиков // Энергообеспечение и энергосбережения в сельском хозяйстве : труды 3-й междунар. науч.-техн. конференции (14–15 мая 2003 г., Москва, ГНУ ВНЭСХ). Ч. 3. М. : ГНУ ВНЭСХ, 2003. С. 147–152.
5. Добышев, А.С. Основные направления ресурсосбережения в сельском хозяйстве : практ. пособие / А.С. Добышев, А.Н. Карташевич. Гомель : Развитие, 2007. 166 с.
6. Добышев, А.С. Основные направления ресурсосбережения в сельском хозяйстве / А.С. Добышев, А.Н. Карташевич. – Гомель : Развитие, 2007. 168 с.
7. Животноводческие комплексы и охрана окружающей среды./ Ю.И. Ворошилов [и др.]. М. : Агропромиздат, 1991. 107 с.
8. Зарубежные машины и оборудование для животноводства : катег. 4.1. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 196 с.
9. Казаровец, Н.В. Организация и технология производства продукции животноводства / Н.В. Казаровец [и др.]. Минск : Беларусь, 2008. 361 с.
10. Кантере, В.М. Современные методы утилизации отходов свинооткормочных комплексов / В.М. Кантере [и др.]. М. : Агропромиздат, 1988. 158 с.
11. Кольга, Д.Ф. Исследование процесса разлива осадений фракции мелкодисперсной среды / Д.Ф. Кольга [и др.] // Агропанорама. 2006. № 2. С. 2–5.
12. Кольга, Д.Ф. О движении вязкой среды в замкнутом канале с криволинейным дном / Д.Ф. Кольга [и др.] // Агропанорама. 2007. № 2. С. 6–9.

13. Кольга, Д.Ф. Технология удаления и хранения навоза и приготовления компостов на животноводческих фермах : учеб. пособие / Д.Ф. Кольга. Минск : УМЦ Минсельхозпрода РБ, 2005. 40 с.

14. Кольга, Д.Ф. Экономические проблемы и пути утилизации навоза на свиноводческих комплексах / Д.Ф. Кольга. Минск : БГАТУ, 2007. 133 с.

15. Кольга, Д.Ф. Энергосберегающие технологии и технические средства уборки и утилизации навоза : учеб. пособие / Д.Ф. Кольга, В.С. Сыманович, С.Л. Коновалов. Минск : БГАТУ, 2009. 63 с.

16. Кольга, Д.Ф. Животноводческие фермы и комплексы – источник экологического давления на окружающую среду / Д.Ф. Кольга, И.М. Швед // Агропанорама. 2010. № 4. С. 32–35.

17. Лосев, И.П., Федотова О.П. Практикум по химии ВМС / И.П. Лосев, О.П. Федотова. М. : Химия. 1959. 56 с.

18. Лукашевич, Н.М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета : учеб. пособие / Н.М. Лукашевич. Мозырь : ИД «Белый ветер», 2000. 248 с.

19. Маргулис, Е.В. Прикладная химия / Е.В. Маргулис. 1966. Т. 39. № 10. С. 2364–2366.

20. Методические рекомендации по реконструкции и техническому перевооружению ферм. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2000. 228 с.

21. Михайлин, А.Д. Труды НИУИФ / А.Д. Михайлин. 1969. № 211. С. 36–42.

22. Мычко, И.А. Новые технологии содержания животных / И.А. Мычко // В кн. «Совершенствование существующих и создание новых генотипов и технологий содержания свиней». Жодино : БелНИИЖ, 1995. С. 82–83.

23. Новые технологии и оборудование для технического перевооружения и строительства свиноводческих ферм и комплексов. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 246 с.

24. Печковский, В.В. Атлас инфракрасных спектров фосфатов. Ортофосфаты / В.В. Печковский [и др.]. М. : Наука, 1981. 248 с.

25. Повышение эффективности функционирования технических систем подготовки навоза к использованию. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2000. 84 с.

26. Рекомендации по реконструкции свиноводческих комплексов и ферм. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 216 с.

27. Рекомендации по системам удаления, транспортирования, хранения и подготовки к использованию навоза для различных производственных и природно-климатических условий. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 180 с.

28. Слезкин, Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости / Н.А. Слезкин. М. : ГИТТЛ, 1955. С. 131–216.

29. Тараторкин, В.М. Сберегающие технологии в животноводстве / В.М. Тараторкин // Механизация сельского хозяйства. 2005. № 7. С. 32–33.

30. Тараторкин, В.М. Ресурсосберегающие технологии в молочном животноводстве и кормопроизводстве / В.М. Тараторкин, Е.Б. Петров. М. : Колос, 2009. 376 с.

31. Техническое обеспечение процессов в животноводстве : учеб. пособие / Д.Ф. Кольга [и др.]. Минск : ИВЦ Минфина, 2012. 576 с.

32. Технологии содержания молочного скота / А.Ф. Трофимов [и др.] // Сельскохозяйственный вестник. 2011. № 3. С. 22–23.

33. Технология использования жидких органических удобрений на луговых угодьях, исключая загрязнение почв и природных вод и инкрустацию солей на напорных трубопроводах / под общ. ред. А.П. Лихацевича. Минск : БГАТУ, 2005. 64 с.

34. Тиво, П.Ф. Эффективное использование бесподстилочного навоза / П.Ф. Тиво, С.Г. Дробот. Мн. : Ураджай, 1988. 166 с.

35. Установки для уборки навоза и навозной жижи. Технические требования. Требования безопасности. ГОСТ Р ИСО 5710–99. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2000. 4 с.

36. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства : монография / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. Минск : БГАТУ, 2008. – 183 с.

37. Энергосбережение в животноводстве / Н.С. Яковчик [и др.]. Мн. : Дэбор, 1998. 292 с.

38. Юхневич, Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды / Г.В. Юхневич. М. : Наука, 1973. 208 с.

39. ASTM. Standart X-ray Diffraction Powder Pattens Inorganik. Philadelphia, 1967. V. 6, № 125. V. 28., № 60. V. 15, № 762. V. 18, № 303.

Научное издание

**Кольга Дмитрий Федорович,  
Казаровец Николай Владимирович**

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ  
И КОМПЛЕКСАХ**

Ответственный за выпуск *М. А. Прищепов*  
Редактор *Т. В. Каркоцкая*  
Компьютерная верстка *Т. В. Каркоцкой*  
Дизайн и оформление обложки *И. А. Усенко*

Подписано в печать 2.06.2014. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 6,54. Тираж 100 экз. Заказ 363.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.  
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.  
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.