

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И. И. Скорб

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УБОРКИ
НАВОЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Минск
БГАТУ
2020

УДК 631.22.018

Скорб, И. И. Совершенствование процесса уборки навоза при использовании гидравлических систем / И. И. Скорб. – Минск : БГАТУ, 2020. – 128 с.: ил. – ISBN 978-985-25-0047-0.

В монографии приведены физико-механические и реологические свойства навоза. Рассмотрены вопросы удаления жидкого бесподстильного навоза из каналов гидравлических систем уборки навоза с использованием гомогенизации. Проведены теоретические и экспериментальные исследования гомогенизатора для навоза.

Для специалистов НИИ сельскохозяйственного профиля, магистрантов, аспирантов, слушателей факультета повышения квалификации.

Табл. 22. Ил. 28. Библиогр.: 84 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»
(протокол № 1 от 20 января 2020 г.)

Рецензенты:

заведующий отделом испытаний ГУ «Белорусская МИС» *В. Н. Панцаков*;
кандидат технических наук, научный сотрудник РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» *А. С. Воробей*;
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и теории механизмов и машин УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» *Н. Л. Ракова*

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СНИЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С НАВОЗОМ	7
2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА, ПОЛУЧАЕМОГО НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ	12
3. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА	18
4. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ УБОРКИ НАВОЗА	35
5. ОБЗОР МЕХАНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ	36
6. ОБЗОР ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ	39
7. СРЕДСТВА ДЛЯ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ЖИДКОГО НАВОЗА	47
7.1. Гидравлические устройства	48
7.2. Пневматические устройства	49
7.3. Механические устройства	49
8. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ГОМОГЕНИЗАТОРА ЖИДКОГО НАВОЗА В ЗАМКНУТОЙ САМОТЕЧНОЙ СИСТЕМЕ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ	55
8.1. Анализ движения навоза по гидравлическому каналу. ...	55
8.2. Определение критической скорости потока	58
8.3. Математическая модель движения жидкого расслоившегося навоза по открытому замкнутому каналу ...	60
8.4. Определение скорости и времени осаждения частицы в жидком гомогенизированном навозе	66
8.5. Определение потребной мощности на процесс гомогенизации жидкого навоза	73

9. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГОМОГЕНИЗАТОРА ДЛЯ ГОМОГЕНИЗАЦИИ НАВОЗА В ЗАМКНУТОМ КАНАЛЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ	80
9.1. Программа и методика исследований, обработка полученных экспериментальных данных	80
9.2. Обоснование выбранного плана эксперимента	85
9.3. Анализ гомогенности перемешанной навозной массы по длине канала	87
9.4. Построение математической модели процесса гомогенизации с помощью регрессионного анализа	89
9.5. Оптимизация процесса гомогенизации	92
9.6. Определение мощности на процесс гомогенизации жидкого навоза	96
10. РАЗДЕЛЕНИЕ НАВОЗА НА ФРАКЦИИ	101
11. ТРАНСПОРТИРОВКА НАВОЗА ИЗ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ К МЕСТУ ХРАНЕНИЯ (ПЕРЕРАБОТКИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЯ)	107
12. ХРАНЕНИЕ НАВОЗА	109
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	121

ВВЕДЕНИЕ

На состояние экологических систем в Беларуси большое влияние оказывает сельскохозяйственное производство, особенно животноводство.

Хозяйства населения и большинство крестьянских (фермерских) хозяйств используют традиционные способы утилизации навоза, и у них, как правило, проблем с использованием навоза нет. Иное положение складывается в сельскохозяйственных организациях. Здесь ежегодно разной степени очистки и переработке необходимо подвергать более 20 млн т жидких навозных стоков. До недавнего времени сельскохозяйственные организации также не испытывали проблем с утилизацией навоза (помета) – он традиционно хранился в специально оборудованных на комплексах и фермах навозохранилищах и (или) на специально подготовленных полевых площадках в течение 6–9 месяцев, где в результате естественных процессов ферментации происходило его обеззараживание, уничтожение семян сорных растений, после чего навоз вносили на поля под различные культуры [1].

Основной причиной низкой оснащенности сельскохозяйственных и животноводческих предприятий современным оборудованием для переработки и утилизации отходов является недостаток средств.

Применение индустриальных технологий в животноводстве привело к тому, что в общем объеме навоза более 59 % приходится на бесподстилочный, и доля эта с каждым годом увеличивается.

Бесподстилочный навоз по уровню химического загрязнения окружающей среды в 10 раз более опасен по сравнению с коммунально-бытовыми отходами. Бесподстилочный навоз, по данным Всемирной организации здравоохранения [1], является фактором передачи более 100 видов различных возбудителей болезней животных и человека. Кроме того, навоз является благоприятной средой для сохранения и развития различных микроорганизмов и гельминтов, что создает угрозу заражения водоемов, почвы, подземных вод, кормов и пастбищ опасными для людей и животных возбудителями болезней. При нарушении технологии хранения и использования навоз нередко накапливается вблизи комплексов, ферм и птицефабрик и представляет для окружающей среды серьезную экологическую проблему: загрязняются грунтовые воды,

реки и озера, почва, образуются огромные озера зловонных масс. При длительном хранении навоза на грунтовых площадках (открытых для атмосферных осадков) в поверхностном слое почвы (0,4 м) содержится до 4950 кг/га минерального азота, в том числе 2500 кг/га нитратного, что в 17 раз выше по сравнению с незагрязненной почвой. В грунтовых водах содержание (мл/л) нитратного азота превышает содержание его в дренажных водах с поля в 2 раза, аммиачного азота – в 8, фосфора – в 11, калия – в 10 раз [1].

Наибольший уровень экологических нагрузок испытывают поля утилизации бесподстилочного навоза.

Таким образом, одна из главных задач, стоящая перед учеными и работниками АПК, – создать в ближайшем будущем экологически безопасное сельскохозяйственное производство, способное, не разрушая окружающую среду, обеспечивать население страны необходимым продовольствием.

Необходимость охраны окружающей среды особенно остро проявляется в Республике Беларусь в силу специфики ее местоположения (наличие большого количества водных источников и близкого залегания грунтовых вод) и высокой интенсивности производства продукции животноводства.

Все это обуславливает необходимость:

- совершенствования существующих технологий уборки, переработки и использования навоза;

- создания новых технологий и комплексов машин, отвечающих современным технологиям производства сельскохозяйственной продукции с учетом различных типов товаропроизводителей и форм организации труда; экологическим требованиям, т. е. обеспечение гарантии минимального загрязнения окружающей среды, получения экологически безопасных продуктов питания человека и кормов животных.

1. СНИЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С НАВОЗОМ

Загрязнение – это процесс отрицательного видоизменения окружающей среды (воздуха, воды, почвы) путем ее интоксикации веществами, которые угрожают жизни живых организмов. Загрязнение характеризуется поступлением в окружающую природную среду любых твердых, жидких и газообразных веществ, микроорганизмов или энергий (в виде звуков, шумов, излучений) в количествах, вредных для здоровья человека, животных, состояния растений и экосистем. Неблагоприятное изменение окружающей среды прямо или косвенно меняет распределение приходящей энергии, уровни радиации, физико-химические свойства окружающей среды и условия существования живых существ. Источники загрязнений, выделяемые животноводческими предприятиями в окружающую среду, делятся по видам на следующие:

- газопылевые выбросы – продукты разложения или сжигания органических отходов: микроорганизмы, пыль, органические соединения, окислы азота, серы, углерод;

- сточные воды, содержащие полидисперсную массу с твердыми включениями пыли, пуха, остатков корма, а также азот, нитриты, нитраты, хлориды, сульфаты, фосфаты, патогенные микробы, жиры, железо, бактериологические (БПК) и химические (ХПК) загрязняющие вещества, нефтепродукты;

- органические отходы производства (навоз) с множеством микроорганизмов;

- непищевые отходы переработки животных: перо, шкуры, внутренности, малоценные продукты, а также павшие животные.

Объектами загрязнения являются поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, почва, околоземное космическое пространство. Большинство загрязнений носит антропогенный характер, т. е. порожденный или вызванный деятельностью человека, то, что имеет происхождением вмешательство человека в качестве преобразующей, изменяющей его суть силы.

подавляющая часть антропогенных воздействий носит целенаправленный характер, т. е. осуществляется человеком сознательно во имя достижения конкретных целей; деятельность, связанная с реализацией экономических, военных, рекреационных, культурных

и других интересов человека, вносит физические, химические, биологические и другие изменения в окружающую природную среду. Существуют и антропогенные воздействия: стихийные, произвольные, имеющие характер последствий. Например, к этой категории воздействий относятся процессы подтопления территории, возникающие после ее застройки.

Источниками антропогенного загрязнения, наиболее опасного для популяций любых организмов, являются промышленное производство (химическое, металлургическое, целлюлозно-бумажное, строительных материалов и пр.), теплоэнергетика, транспорт, сельскохозяйственное производство и т. д. Нарушения основных систем жизнеобеспечения биосферы связаны в первую очередь с целенаправленными антропогенными воздействиями человека на окружающую среду. По своей природе, глубине и площади распространения, времени действия и характеру приложения они могут быть следующими:

- упрощение экосистемы и разрыв биологических циклов;
- концентрация рассеянной энергии в виде теплового загрязнения;
- рост числа ядовитых отходов от химических производств;
- введение в экосистему новых видов;
- появление генетических изменений в организмах растений и животных.

В процессе жизнедеятельности человечество старается нивелировать нанесенный окружающей среде вред и «смягчить» последствия своего вмешательства в природную среду. К положительным воздействиям человека на биосферу можно отнести:

- воспроизводство природных ресурсов;
- восстановление запасов подземных вод;
- полезащитное лесоразведение;
- рекультивацию земель на месте разработок полезных ископаемых и некоторые другие мероприятия.

Отрицательное (негативное) воздействие человека на биосферу проявляется в самых разнообразных и масштабных акциях: вырубка леса на больших площадях, истощение запасов пресных подземных вод, засоление и опустынивание земель, резкое сокращение численности, а также исчезновение видов животных и растений. Сельскохозяйственное предприятие – сложная природно-техническая система, которая, с одной стороны, использует природные ресурсы

(земля, вода, воздух) для решения большинства производственных задач, с другой – в процессе использования этих ресурсов выделяет (накапливает) продукты своей жизнедеятельности, одни из которых оказывают благоприятное воздействие на окружающую среду, другие – загрязняют ее [1].

Основными источниками воздействия на окружающую среду сельскохозяйственного предприятия являются: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, загрязнение почвы, недр, сбросы загрязняющих веществ в водные объекты, размещение отходов и пр.

Животноводческие предприятия, технологии и технические средства производства и переработки сельскохозяйственной продукции, пункты хранения, переработки минеральных удобрений, навоза и помета, а также средства доставки и внесения удобрений в почву выделяют огромное количество загрязняющих веществ в поверхностные воды, почву, атмосферный воздух. Неполное использование навоза ведет к недобору сельскохозяйственной продукции и является серьезным источником загрязнения окружающей природной среды: вызывает эвтрофикацию водных источников, подкисление почв, загрязнение прилегающей территории, изменение климата, разрушение озонового слоя, повышенную заболеваемость населения, снижение биоразнообразия животного и растительного мира [1].

Отсутствие должного контроля использования отходов животноводства и растениеводства в сельскохозяйственных предприятиях приводит к накоплению огромных количеств помета и навоза, что является серьезными источниками загрязнения окружающей природной среды.

В общем объеме загрязнителей атмосферы результатами антропогенной деятельности (энергетика, транспорт, промышленность, бытовые нужды и сельское хозяйство) выбросы собственно сельскохозяйственного производства, кроме аммиака, составляют в развитых странах менее 10 %. Основным источником выбросов в атмосферу аммиака, по различным оценкам, на 80 %–90 % признаны системы обращения с навозом при производстве сельскохозяйственной продукции [1].

Практически все сельскохозяйственные объекты и технологии оказывают химическое, биологическое, физическое и механическое воздействие на основные компоненты окружающей среды.

Из-за несовершенства технологий и техники для уборки, хранения, транспортировки и переработки получают жидкий навоз, разбавленный в 2–5 раз водой, с незначительным количеством питательных веществ в единице объема [2–7].

Установлено [8], что около 70 %–75 % органического вещества кормов, потребляемых животными, идет в отброс и выделяется в форме углекислоты, мочи и кала (навоза). Существующие способы транспортировки, хранения и переработки позволяют сохранять только до 50 % массы навоза и питательных веществ, что приводит к обесцениванию навоза как органического удобрения и загрязнению окружающей среды [9].

Внесение чрезмерно высоких доз свежего навоза может привести и к отрицательному воздействию – разрушению почвенного гумуса, потере углерода [10, 11]. В Беларуси для бездефицитного баланса гумуса пахотных земель требуется вносить ежегодно 6,5 т/га перепревшего навоза. Фактически же вносится не более 4,2 т/га, или меньше в 3,5 раза, чем в США, в 6 раз, чем в Англии, в 17 раз – по сравнению с Нидерландами [12].

На животноводческих предприятиях, в зависимости от содержания животных, получают подстилочный навоз, в состав которого (кроме экскрементов животных) входит подстилочный материал: солома, опилки и пр. Данный вид навоза требует дополнительных материальных затрат на транспортировку и распределение в стойлах животных подстилочного материала. Названные затраты исключены при бесподстилочном содержании животных. В этом случае также снижаются затраты и на удаление навоза из животноводческого помещения, транспортировку до поля и внесение.

Установлено, что в условиях Республики Беларусь при хранении жидкого навоза влажностью 93 % и выше в открытых навозохранилищах потери общего азота за летний период не превышают 10 %, аммиачного – 16 % от исходного количества; потери этих веществ из твердого подстилочного навоза в 2–3 раза выше.

По сравнению с твердым подстилочным навозом, жидкий бесподстилочный содержит на 50 % больше соединений азота в растворенной форме, калия – на 100 %; фосфор, хотя и находится в связанном состоянии, растениями используется лучше, чем из минеральных удобрений [13]. Кроме основных для растений питательных

веществ, в бесподстилочном навозе содержатся многие микроэлементы, что позволяет считать их комплексными многосторонними удобрениями [14].

Качественно приготовленный бесподстилочный навоз остается одним из основных источников сохранения плодородия почвы и окружающей среды.

Таким образом, необходимо совершенствовать процессы уборки и утилизации сельскохозяйственных отходов в целях обеспечения производства эффективного, экологически безопасного органического удобрения, формировать и развивать энергосберегающие инновационные технологии безотходного агропромышленного производства.

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА, ПОЛУЧАЕМОГО НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ

Вопросами изучения физико-механических и реологических свойств навоза занимались В. В. Калюга, И. Д. Красехин, А. И. Николаенков, О. Д. Чиченова, А. Е. Кузьмин и др. Перечисленные ученые в качестве основных показателей определяли влажность, плотность, предельное напряжение сдвига и вязкость. Величины реологических характеристик (предельное напряжение сдвига и вязкость) у всех исследователей различны. В своих работах А. Е. Кузьмин показал, что различие реологических характеристик объясняется не только видом половозрастной группы и способом содержания животных, но и разницей значений температуры в момент проведения опытов. При анализе работ по исследованию реологических свойств навоза [15–21] установлено, что исследователи не учитывают продолжительность отстаивания навоза от момента загрузки до начала эксперимента, из чего можно предположить, что продолжительность между загрузкой навоза и началом опыта у исследователей различна, а значит получаемые реологические свойства при прочих равных условиях не идентичны и не могут быть использованы без дополнительных исследований.

При бесподстилочном содержании животных получается жидкий навоз, в состав которого входят экскременты животных, некоторое количество кормов из кормушек, и вода, поступающая в систему навозоудаления во время мойки кормушек, полов, а также за счет утечки из автопоилок и водопроводной сети. Навозная масса может содержать также значительное количество песка и цемента, вытертых копытами животных из пола станка. Минеральные частицы составляют от 5 % до 20 % всех взвешенных веществ в навозе [22].

Таким образом, бесподстилочный навоз представляет собой текучую смесь кала и мочи животных, в которой могут содержаться остатки подстилки и корма (табл. 2.1) [14].

Таблица 2.1

Примерный суточный выход экскрементов от различных половозрастных групп свиней, кг/гол.

Вид животных	Экскременты		
	Кал	Моча	Всего
Хряки-производители	3,1	5,1	8,2
Свиноматки подсосные	3,1	4,9	8,0

Вид животных	Экскременты		
	Кал	Моча	Всего
Свиноматки супоросные	3,7	3,6	7,3
Свиноматки холостые	3,7	3,6	7,3
Свиньи на откорме	2,9	4,0	6,9
Отъемыши	1,8	2,6	4,4
Поросята-сосуны	0,6	0,9	1,5

Для подсчета выхода бесподстилочного навоза необходимо знать количество кала и мочи, накапливающееся за определенный отрезок времени, а также количество добавляемой воды. Изменения количества кала и мочи сравнительно невелики и в первую очередь зависят от вида животных, условий их содержания, количества и качества кормов. Степень же разбавления бесподстилочного навоза водой подвержена значительным колебаниям в зависимости от типа животноводческого помещения и навозохранилища. Поэтому в литературе можно встретить различные данные о выходе бесподстилочного навоза (табл. 2.2) [14].

Таблица 2.2

Среднесуточный выход бесподстилочного свиного навоза
в зависимости от способа удаления

Способ удаления	Кал и моча		Добавка воды на одно животное, кг	Всего бесподстилочного навоза от одного животного, кг
	от одного животного, кг	сухое вещество, %		
Канатный скрепер	4–10	10–6	0–5	4–15
Самотек	4–10	10–6	0–10	4–20

В зависимости от количества воды различают полужидкий и жидкий навоз. Бесподстилочный навоз, содержащий сухого вещества более 8 %, называют полужидким. При содержании сухого вещества менее 8 % текучесть бесподстилочного навоза резко увеличивается, и поэтому такой навоз называют жидким [14].

Значения влажности навоза и навозных стоков в зависимости от способа удаления, которые можно использовать при проектировании и реконструкции животноводческих ферм, приведены в табл. 2.3 [23, с. 65].

Таблица 2.3

Влажность навоза и навозных стоков в зависимости от способа удаления

Способ удаления навоза	Влажность навоза и навозных стоков, %	
	в каналах навозоудаления	при выходе с фермы, комплекса
Механический	88–90	–
Гидравлический:		
– самотечный:		
а) непрерывного действия	89–92	95,5–97,0
б) периодического действия	90–94	96,0–97,5
– смывной	92–96	97,0–98,5

Физико-механические свойства навоза зависят от кормового рациона, возраста свиней и некоторых других факторов. Основным фактором, определяющим физико-механические свойства навоза, является его влажность [22]. Чем выше влажность навоза, тем более он текуч и легче поддается удалению из помещений при применении гидравлических систем. Не разбавленный водой жидкий навоз (смесь кала и мочи) имеет значения влажности в пределах 88 %–90 % [24]. Он обладает достаточной текучестью, поддается погрузке в мобильные транспортные средства и перекачиванию по трубам с помощью насосов. Вместе с тем для надежной работы насосов и трубопроводов навоз необходимо систематически перемешивать.

В условиях производства в навоз попадает вода при уборке помещений, подтекании автопоилок, поэтому значения влажности достигают 90 %–93 %. Дальнейшее разбавление водой крайне нежелательно, так как ухудшается микроклимат в помещениях, увеличивается потребность в транспортных средствах, емкостях навозохранилищ [24].

В результате многочисленных исследований, установлено, что значения естественной влажности бесподстилочного навоза свиней зависят от вида, возраста и пола животных, способов их содержания, кормления и составляют 82 %–92 % [15, 25].

Многочисленными исследованиями установлено, что значения плотности свиного навоза изменяются в зависимости от влажности в пределах 1013–1400 кг/м³, значения плотности сухого вещества навоза составляют 1800 кг/м³ и 1208–1320 кг/м³ [26, 27].

Плотность жидкого навоза, жидкой фракции и осадка зависит от влажности этих масс или содержания в них сухого вещества.

У свиного навоза осадок имеет значения плотности 1120–1180 кг/м³. По данным [28], значения влажности осадка свиного навоза составляют 78 %–94 %, влажности жидкой фракции – 94 %–98 %.

Экспериментально установлено, что значения плотности сухого вещества экскрементов свиней составляют 1280–1320 кг/м³. Другой составляющей навоза, жидкой фракции или осадка является вода со значением плотности 1000 кг/м³. Поэтому с увеличением разбавления более плотного сухого вещества экскрементов менее плотной водой плотность продукта снижается.

Навозная смесь содержит коллоидно-растворимые элементы. В состоянии покоя она застывает, а при движении разжижается. Свиной навоз содержит в 5 раз меньше коллоидов и почти в 1,5 раза его структура слабее структуры навоза крупного рогатого скота. Поэтому он имеет значительно меньшую вязкость и предельное напряжение сдвига, которые характеризуют сопротивление перемещению навоза по каналам гидравлических систем, трубам, при перекачке его насосами или пневматическими установками. Свежий навоз крупного рогатого скота следует транспортировать при значениях влажности более 89 %, свиной – более 84 % [24].

По физическому состоянию жидкий свиной навоз представляет собой суспензию, где дисперсионной средой является водный раствор минеральных солей и органических соединений, входящих в состав экскрементов животных, дисперсной фазой – твердые частицы экскрементов, корма и некоторое количество минеральных включений. По форме и размеру частиц дисперсная фаза весьма неоднородна, в ней содержатся частицы размером более 10 и менее 0,1 мм. Гранулометрический состав твердой фазы свиного навоза в значительной мере зависит от вида кормов (табл. 2.4) [22].

Таблица 2.4

Фракционный состав твердой фазы свиного навоза

Размер частиц, мм	Содержание частиц в навозной массе при кормлении, %	
	кормами заводского производства	кормами, приготовленными в хозяйстве
От 0,05 до 0,1	14,9	8,0
0,1–0,5	25,0	19,8
0,5–1,0	23,3	14,5
1,0–2,0	17,8	29,8
2,0–5,0	12,0	21,4
Более 5,0	7,0	6,5

Из данных табл. 2.4 видно, что при скармливании сбалансированных концентрированных комбикормов заводского производства

в навозе свиней содержится большее количество мелкодисперсной фазы, чем в навозе, полученном при кормлении кормами, приготовленными в хозяйстве.

В табл. 2.5 приведены значения средней гидравлической крупности, эквивалентного диаметра и плотности твердых частиц жидкого навоза без подстилки [23].

Таблица 2.5

Средняя гидравлическая крупность, эквивалентный диаметр и плотность твердых частиц жидкого навоза без подстилки

Размер частиц, мм	4,5–5,5	3,5–4,5	2,5–3,5	1,5–2,5	1,0–1,5	0,5–1,0
Средняя гидравлическая крупность, м/с	0,0294	0,0328	0,0162	0,0104	0,0092	0,0056
Эквивалентный диаметр, мм	1,80	1,70	1,15	1,07	0,98	0,75
Плотность, кг/м ³	1011	1163	1139	1138	1129	1128

В состав твердой фазы не входят тонкодисперсные частицы, находящиеся в составе коллоидов. Коллоидные растворы в совокупности с истинными составляют дисперсионную среду, так как сухое вещество, содержащееся в них, не может быть выделено без применения специальных методов обработки.

Количество сухого вещества, находящегося в твердой фазе навоза, составляет от 72,5 % до 80 % всего сухого вещества навоза. Остальная, меньшая, часть сухого вещества входит в состав растворов, представляющих дисперсионную среду [22].

Из физических свойств бесподстилочного навоза особое значение имеет содержание в нем крупных частиц и тонкодисперсных частиц, прежде всего, коллоидов.

Исследованиями ученых установлено, что гранулометрический состав свиного навоза зависит от рациона кормления и места приготовления корма [29, 30].

Исследования гранулометрического состава свиного навоза показали, что при концентратном типе кормления частиц размером 0,5 мм и меньше содержится более 50 %, частиц размером от 3 до 10 мм – около 30 %.

Гидравлическая крупность навоза КРС в зависимости от размера твердых частиц изменяется в пределах от 3 до 35 мм/с, свиного навоза – от 1,5 до 52,0 мм/с [28].

При увеличении количества сухого вещества в навозе коэффициент трения о стальную поверхность также увеличивается (табл. 2.6) [23].

Таблица 2.6

Коэффициент трения жидкого свиного навоза без подстилки
о стальную поверхность

Количество сухого вещества, %	6,65	9,93	12,67
Коэффициент трения	0,0217	0,043	0,0677

Физическое состояние навоза находится в тесной связи с его химическими и биологическими свойствами. Бесподстилочный навоз содержит большое количество неорганических и органических соединений, физико-химические свойства которых в многообразных условиях обработки и подготовки навоза еще недостаточно исследованы. Изучение физико-химических процессов затрудняется тем, что навоз подвержен постоянным микробиологическим превращениям. Значительное влияние на химико-биологические процессы оказывают:

- количество и свойства выделяемых с калом и мочой органических и неорганических веществ (зависят от вида животных, типа их использования, продуктивности и рациона);
- содержание воды в бесподстилочном навозе;
- внешние условия при обработке бесподстилочного навоза (температура, доступ воздуха и т. д.)

Таким образом, благодаря своим физико-механическим свойствам бесподстилочный навоз свиней способен перемещаться по каналам и трубам гидравлических систем под действием силы тяжести, перекачиваться насосами и пневматическими установками.

3. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

Большое значение для транспортировки навоза по каналам и трубопроводам имеют его реологические свойства. Бесподстилочный навоз является полидисперсной системой. Твердые частицы различных размеров находятся в виде суспензии и частично в коллоидном состоянии. Все растворенные соли и низкомолекулярные органические соединения находятся в молекулярно-дисперсном состоянии. Полужидкий навоз обладает квазипластическими свойствами текучести [31], в то время как жидкий навоз по мере разбавления приобретает свойство жидкости.

Характерным признаком пластического вещества является точка текучести (предельное напряжение сдвига). Эта величина показывает, какое напряжение сдвига необходимо для преодоления упругости навоза (он начинает течь под действием силы тяжести). Между точкой текучести и содержанием сухого вещества существует определенная, но не очень тесная связь [32]. Другим важным свойством полужидкого навоза является его тиксотропное состояние. Под тиксотропией понимают известный в коллоидной химии физический процесс, при котором коллоидные системы, находящиеся в состоянии покоя, переходят в студенистую форму, т. е. становятся тверже, консистентнее, а от напряжения сдвига снова превращаются в золь и приобретают свойства жидкости. Этот процесс наблюдается, прежде всего, в самотечных каналах и в навозохранилищах с полужидким навозом.

Полидисперсностью бесподстилочного навоза объясняется процесс отделения твердых частиц от жидких в определенных условиях, прежде всего, при высокой степени разбавления. Это приводит к образованию в каналах гидравлических систем уборки навоза осадочного и плавающего слоев с высоким содержанием твердых веществ и зоны расслоения. Под влиянием процессов брожения расслоение ускоряется.

Реологические свойства навоза зависят от целого ряда факторов, причем некоторые из них с трудом поддаются учету. Так, при одинаковом содержании сухого вещества свиной навоз обладает большей текучестью, чем навоз крупного рогатого скота, что объясняется меньшим содержанием коллоидных частиц [33].

Попадающие в навоз остатки корма ухудшают его текучесть. Величина отрицательного воздействия остатков корма зависит от того, сухие они или нет, т. е. от поглощения ими свободной воды (абсолютное или относительное уменьшение количества свободной воды) [34]. Непереваренные и свежие остатки корма, минеральные примеси, а также преднамеренно или случайно добавленная вода влияют на содержание сухого вещества в навозе. Испарение имеющейся в навозе воды приводит к повышению содержания в нем сухой массы.

Жидкий навоз медленно отдает свободную воду. Увеличение количества воды, добавляемой в процессе уборки навоза, приводит к более интенсивному расслоению массы, а наличие остатков кормов в навозе замедляет процессы осаждения, и тем более, чем выше их содержание.

Часто содержание сухого вещества служит показателем текучести навоза. Хотя между общим содержанием воды и текучестью навоза существует корреляционная связь (правда, при большом разбросе результатов) [33], все же содержание свободной воды является более точным показателем.

Решающее влияние на реологические параметры имеют частицы размером меньше 0,1 см. У свиного навоза их содержание не более 10 %. При детальном анализе жидкого навоза в его составе обнаруживается также большое количество частиц коллоидной и молекулярной дисперсии. Характерным для жидкого навоза является то, что твердые и мелкие частицы имеют так называемые водные (сольватные) оболочки, которые как бы прорастают друг в друга. В результате образуется структура, в которой твердые частицы оказываются связанными друг с другом дисперсионной жидкой фазой, содержащей растворимые соли, сырой жир, белковые вещества, придающие навозу свойства клейковидной многофазной дисперсной системы органического происхождения. Чем выше консистенция навоза и чем мельче частицы, тем прочнее структурные связи [28].

По мере хранения плотность навоза уменьшается вследствие процессов брожения, вязкость при этом снижается. Однако в результате тиксотропии вязкость навоза возрастает.

Текучесть зависит также от степени гомогенизации навоза, т. е. от степени перемешивания кала и мочи. Гомогенизированный навоз более текуч, чем негомогенизированный, это имеет большое значение при различных способах подготовки и использования навоза.

Химические добавки (родамид калия, суперфосфат и сульфат аммония) повышают текучесть навоза [35].

Отклонение рН от нейтральной реакции приводит к снижению вязкости. Обычные колебания температуры в животноводческом помещении существенно не влияют на текучесть навоза.

С увеличением влажности способность навоза течь резко повышается, однако и возрастает способность навоза к расслаиванию. Твердые частицы, содержащиеся в нем, при недостаточной скорости движения массы в канале выпадают на дно канала, образуя плотный осадок, который затрудняет нормальную работу самотечной системы навозоудаления. Объясняется это тем, что в смеси экскрементов без добавления воды дисперсионная среда и дисперсная фаза имеют примерно одинаковую плотность, поэтому масса не расслаивается. С добавлением воды дисперсионная среда разжижается, ее плотность уменьшается, а плотность твердых частиц остается практически неизменной, вследствие чего они интенсивно осаждаются [22].

Осаждение твердых частиц в свином навозе начинается при значении влажности выше 88 % [36]. Наибольшая скорость осаждения происходит, по одним источникам, в первые 15–20 мин [36], по другим – в течение 2–3 ч и заканчивается через 3–6 суток [37].

Наиболее интенсивно свиной навоз расслаивается при значении влажности 90 % и выше [28].

В навозе при значении влажности 98 % уже через 15 мин отстаивания в осадок выпадает до 80 % всех взвешенных частиц, через 2 ч осаждаются 90 % взвешенных частиц. На этом процесс седиментации практически прекращается, и дальнейшее спокойное состояние навозной массы не способствует дополнительному осаждению взвесей, а ведет к уплотнению осадка, слой которого уменьшается, и через некоторое время навозная масса теряет текучесть. На седьмые-восьмые сутки слой осадка начинает бродить, становится рыхлым за счет появляющихся внутри пузырьков газов и снова приобретает текучесть. Это явление используется при удалении навоза из гидравлических каналов [22].

При более длительном хранении навоза в покое за счет биохимических процессов происходит минерализация органических веществ, и на дно хранилища выпадает плотный осадок. Относительная глубина слоя осветленной жидкой фракции к концу периода

уплотнения (на пятый-шестой день) зависит от влажности исходной навозной массы. Так, например, при отстаивании навоза при значении влажности 88 % слой жидкой фракции составляет 8 %–9 %, при 92 % – 40 %, при 98 % – 84 % [22].

Исследованиями В. И. Якубаускаса установлено, что жидкий бесподстилочный навоз во время длительного хранения расслаивается на верхний слой со значениями влажности 73 %–78 %, высотой до 0,7 м, средний слой со значениями влажности 92,0 %–96,5 % – до 1 м и нижний слой (осадок) со значениями влажности 87 %–88,9 % – до 0,5 м [26].

При исследовании физико-механических свойств свиного навоза получены уравнения для определения количества частиц, выпавших в единицу времени в осадок [19]:

$$G_0 V = 0,84(100 - W), \quad (3.1)$$

где G_0 – масса взвешенных частиц в единице объема, г/см³;

V – объем, м³;

W – влажность исходного навоза, %.

При разделении жидкого навоза в цилиндрических отстойниках Н. М. Лукашевич [38] использовал понятие эффекта осветления суспензии (\mathcal{E}), который показывает, на сколько снизилось содержание взвешенных (твердых) веществ в жидкой фракции G_B , и который высчитывается в % к содержанию их в выходной массе G_r :

$$\mathcal{E} = \frac{G_r - G_B}{G_r} 100. \quad (3.2)$$

Чем выше величина эффекта осветления, тем меньше в жидком навозе взвешенных веществ.

Обосновать математически одним уравнением процесс осаждения твердых частиц в жидком навозе при значениях влажности 88 %–96 % практически невозможно, поскольку свойства жидкого навоза меняются не только с изменением значений влажности, температуры и плотности, но и срока хранения.

Твердую фазу жидкого навоза нельзя отнести (даже условно) по размерам частиц к суспензиям, так как размеры частиц имеют колебания от коллоидов до грубых, поэтому чаще всего жидкий навоз

называют грубой смесью. Чтобы твердая фракция отвечала агротехническим требованиям, значения влажности должны быть 70 %–75 % [38].

На скорость осаждения частиц влияют их размеры, влажность и температура [20, 39].

Интенсивное осаждение частиц происходит в течение часа и заканчивается через 4 ч. С повышением влажности, температуры и увеличением размеров частиц скорость осаждения повышается. В зависимости от размеров частиц скорость их осаждения составляет $(1,5–5,2) \cdot 10^{-2}$ м/с.

Анализ показывает, что скорость осаждения зависит только от влажности исходного навоза и времени осаждения (рис. 3.1) [40].

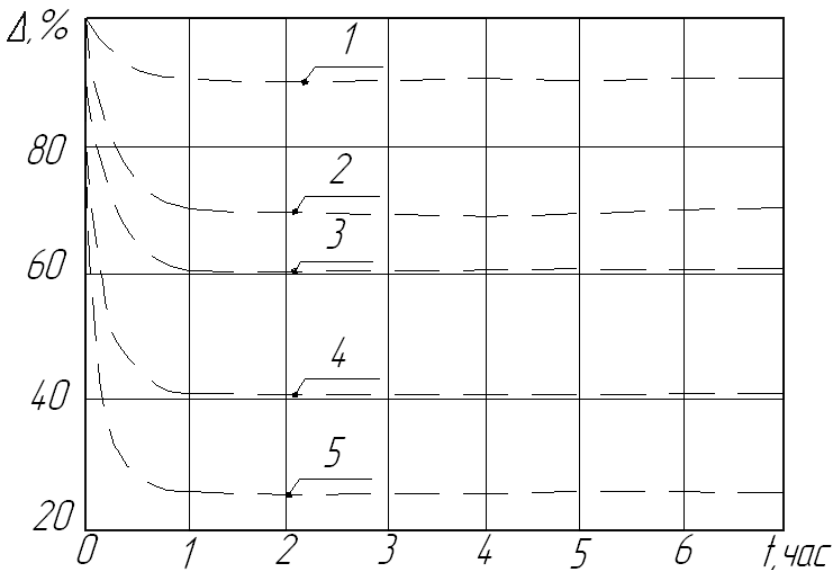


Рис. 3.1. График осаждения твердой фракции свиного навоза при различных значениях влажности:

1 – при $W = 90\%$; 2 – при $W = 92\%$; 3 – $W = 94\%$; 4 – $W = 96\%$; 5 – $W = 98\%$

Влажность осветленной жидкости и средняя влажность осадка к концу периода уплотнения также зависят от влажности исходной навозной массы. Это объясняется тем, что с увеличением влажности исходной навозной массы концентрация растворенных в дисперсионной среде веществ, составляющих основную часть сухого вещества жидкой фракции, уменьшается.

Нижний слой включает остатки корма, песок, ил, и образуется тяжелыми частицами твердых выделений животных. Замечено, что свиной навоз склонен образовывать очень плотный осадочный слой. Верхний слой почти не содержит твердых и волокнистых включений [28].

С увеличением срока хранения, по мере разложения навоза, происходит некоторое изменение в толщине слоя. Нижний слой несколько уменьшается, верхний – увеличивается. Намного быстрее процесс протекает в более жидком навозе. У такого навоза имеются резкие переходные зоны между слоями.

Динамическая вязкость, плотность и предельное напряжение навоза и навозных стоков свиней представлены в табл. 3.1 [23, с. 63].

Таблица 3.1

Динамическая вязкость, плотность и предельное напряжение навоза и навозных стоков свиней

Влажность навоза и навозных стоков, %	Характеристика навоза и навозных стоков свиней		
	η , Па·с	ρ , кг/м ³	τ_0 , Па
86	0,700	1054,4	50
87	0,520	1050,4	30
88	0,400	1046,4	20
89	0,320	1042,4	15
90	0,280	1038,4	9
91	0,220	1034,4	5
92	0,200	1030,3	1,8
93	0,150	1026,3	1,6
94	0,100	1022,3	0,9
95	0,020	1018,5	–
96	0,016–0,040	1014,3	–
97	0,011	1010,1	–
98	0,002–0,006	1005,0	–

При увеличении значений температуры от 10 С до 20 °С вязкость и напряжение сдвига уменьшаются на 25 %–40 % [38].

При хранении жидкого навоза в бункере под щелевым полом истечение его происходит несколько иначе, чем он движется в самотечном канале. В период хранения навоза в бункере образуются: осевший слой – внизу, плавающий слой – вверху, между ними – осветленная зона расслоения. Если бункер опорожняется быстро, плавающий слой скользит по поверхности осветленного слоя. При медленном выпуске навоза, наоборот, сначала вытекает жидкость промежуточного слоя. При этом большая часть плавающего слоя оседает на дно бункера и там остается. Поэтому скорость опорожнения в месте выпуска навоза

должна быть такой, чтобы жидкость плавающего слоя вытекала вместе с жидкостью промежуточного слоя. Это надо учитывать, иначе в бункере будет накапливаться твердая масса.

Если вследствие низкой влажности воздуха на плавающем слое образуется корка и у входного отверстия насоса скапливаются глыбы, то возможно забивание насоса. Необходимо разрушать эти глыбы путем рециркуляции навоза под давлением или механическими мешалками.

По агротехническим требованиям разность значений влажности жидкого навоза при вывозке по высоте резервуара не должна превышать 2 %–3 %. Установлено [68], что по истечении 2–3 ч разница значений влажности между слоями превышает норму агротехнических требований. Следовательно, в период использования жидкий навоз необходимо перемешивать через указанные промежутки времени.

Процесс течения навоза характеризуется зависимостью между напряжением сдвига, возникающим при движении, и скоростью, изменяющейся перпендикулярно к направлению движения (градиент скорости). Исследования, проведенные на вискозиметре с переливной трубкой [41] и на ротационном вискозиметре [42] показали, что навоз крупного рогатого скота и свиней начинает течь только при достижении напряжения, превышающего предельное напряжение сдвига. Далее напряжение сдвига увеличивается дегрессивно, по мере возрастания градиента скорости (рис. 3.2).

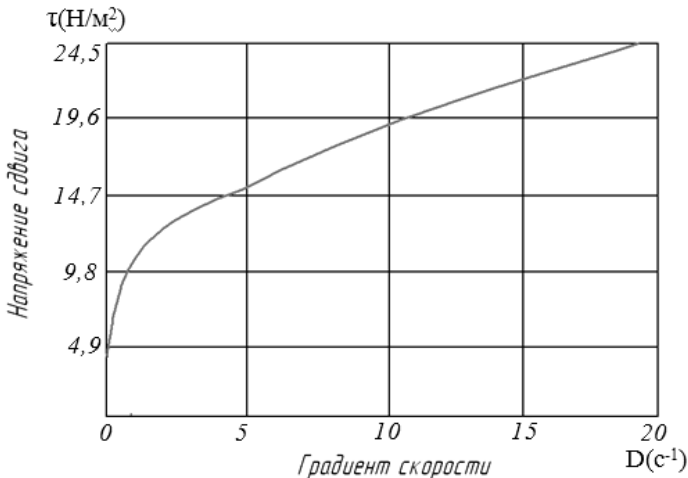


Рис. 3.2. Кривая течения бесподстилочного навоза, полученная на ротационном вискозиметре (содержание сухого вещества – 8,2 %)

Рассматриваемое свойство текучести характеризуется квазипластичностью и выражается уравнением

$$t = t_0 + kD^n \quad , \quad (3.3)$$

где τ – напряжение сдвига, Н/м²;

τ_0 – предельное напряжение сдвига (предел текучести), Н/м²;

k – жесткость, Нс^{*n*}/м²;

D – градиент среза, с⁻¹;

n – структурный показатель.

Показатели текучести τ_0 , k и n в совокупности или отдельно определяют следующие важные для проектирования каналов гидравлических систем параметры:

- глубина канала для отвода навоза самотеком;
- необходимая мощность при гомогенизации мешалками;
- потери напора при транспортировке по трубам и др.

Предел текучести τ_0 можно определить с достаточной точностью по кривой течения (рис. 3.3) [43].

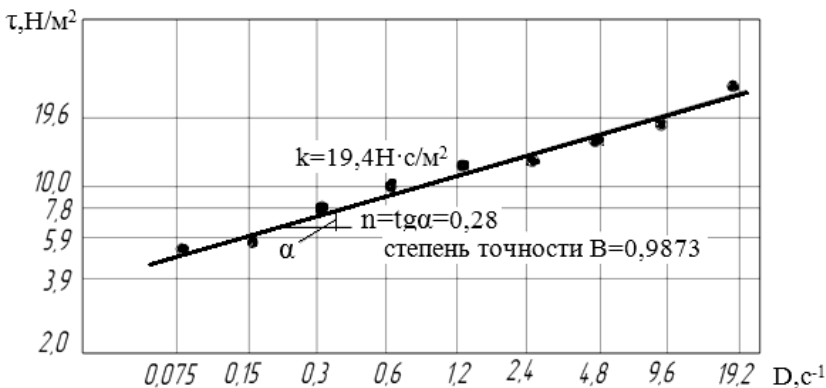


Рис. 3.3. Кривая течения в логарифмических координатах

Если прологарифмировать уравнение (3.3), то жесткость и структурный показатель получим из выражения

$$\lg(t - t_0) = \lg k + n \cdot \lg D. \quad (3.4)$$

В нашем случае $lg k$ соответствует точке пересечения ординаты при $D = 1$, n – наклону прямой (рис. 3.3).

Средние репрезентативные значения τ_0 , k и n приведены в табл. 3.2. Эти параметры можно использовать в практических целях, например, при расчетах потерь напора в трубопроводах.

Таблица 3.2

Показатели текучести свиного навоза

Содержание сухого вещества, %	Плотность ρ , кг/м ³	Предел текучести τ_0 , Н/м ²	Жесткость k , Н·с ^{n} /м ²	Структурный показатель n
17,40	1051	6,66	137,2	0,211
10,67	1044	1,37	5,20	0,361
7,38	1030	0,157	0,66	0,404

Если в уравнении (3.4) τ заменить на $\eta \cdot D$ и произвести перестановку, то получим выражение кажущейся динамической вязкости η' :

$$h' = \frac{t_0 + k \cdot D^n}{D} . \quad (3.5)$$

При малых значениях градиента скорости вязкость очень высокая. При $D \approx 15 \text{ с}^{-1}$ она принимает малое, почти постоянное значение. Сильное уменьшение вязкости навоза объясняется изменением его структуры вследствие увеличения скорости течения (структурная вязкость).

Реологические параметры τ_0 и η жидкого навоза определяются методами вискозиметрии и по анализу потерь напора в трубах (опытных установках).

Жидкий навоз обладает аномалией вязкости, а именно: η зависит от скорости вращения ротора вискозиметра (рис. 3.4) [28].

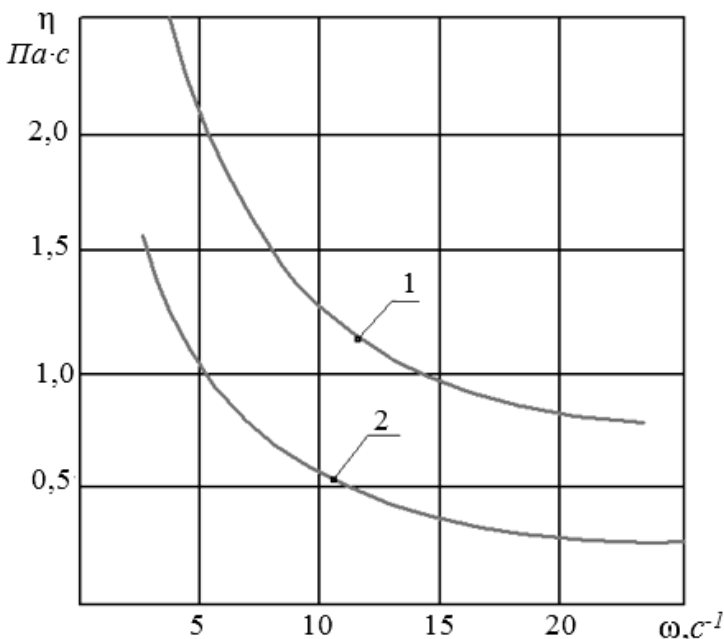


Рис. 3.4. График зависимости коэффициента динамической вязкости от угловой скорости ротора вискозиметра:

1 – навоз крупного рогатого скота ($C = 14\%$, $t = 4\text{ }^\circ\text{C}$);

2 – навоз свинной ($C = 5,5\%$, $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$)

Анализ данных [28] показывает, что изменение концентрации сухого вещества C влияет на вязкость и предельное напряжение сдвига жидкого навоза. Вязкость свиного навоза увеличивается в среднем в 5,9 раз с возрастанием C от 5 % до 16 %. Предельное напряжение сдвига при этом изменяется в 38,7 раза. С увеличением температуры жидкого навоза происходит снижение как τ_0 , так и η . Изменение значений температуры от $0\text{ }^\circ\text{C}$ до $20\text{ }^\circ\text{C}$ вызывает уменьшение τ_0 в среднем в 2,5 раза для свиного навоза, η при этом уменьшается в 2 раза. Вязкость свиного навоза и навоза КРС при содержании сухого вещества до 8 % примерно одинакова. Однако при дальнейшем увеличении содержания сухого вещества у навоза КРС происходит интенсивное возрастание η , в то время как для свиного растет медленно. Предельное напряжение сдвига свиного навоза во всех случаях ниже, чем у навоза КРС. Такое поведение τ_0 и η во многом объясняется разным гранулометрическим составом навоза КРС и свиней.

Динамическая вязкость η дисперсной фазы зависит от температуры (рис. 3.5).

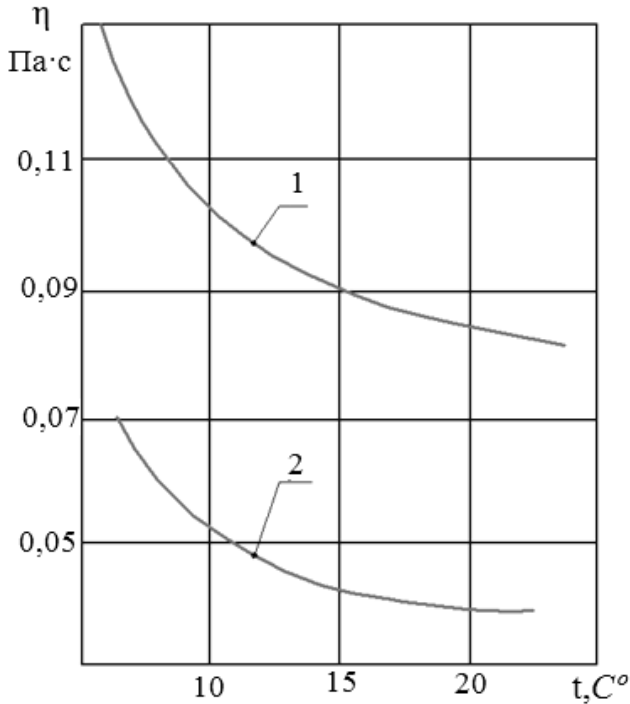


Рис. 3.5. График зависимости динамической вязкости от температуры дисперсной фазы:
1 – навоз крупного рогатого скота; 2 – навоз свиней

Из данных графика видно, что дисперсная фаза свиного навоза имеет значительно (в среднем в 2 раза) меньшую динамическую вязкость. Уменьшение вязкости и предельного напряжения жидкого навоза с увеличением температуры объясняется увеличением в нем газовых включений в связи с повышением брожения. Газовые оболочки между частицами жидкого навоза резко снижают τ_0 и η .

С увеличением влажности жидкого навоза значение η приближается к значению вязкости воды при данной температуре, то есть кривая $h = f(C)$ стремится к оси абсцисс. Предельное напряжение сдвига жидкого навоза в смеси с водой начинает проявляться только при некоторой концентрации в ней сухого вещества ($C = 3\% - 4\%$).

При описании процессов, происходящих в жидком навозе при разделении, а также оценке качества работы машин, важно знать значение кинематической вязкости (рис. 3.6) [44].

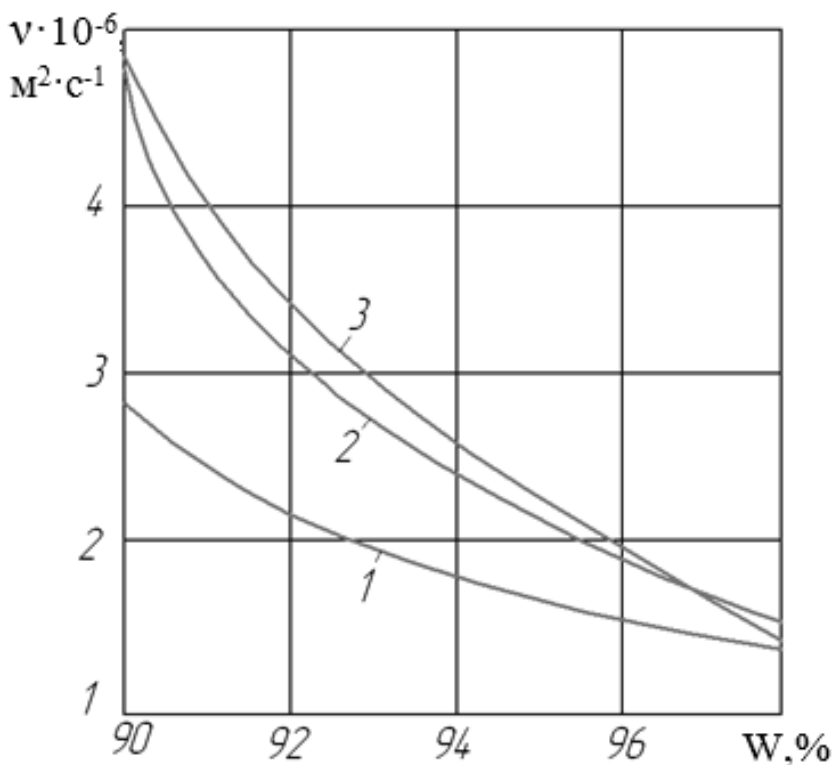


Рис. 3.6. График зависимости кинематической вязкости жидкого навоза от влажности:

- 1 – свежий навоз; 2 – навоз после 7 дней хранения;
- 3 – навоз после 15 дней хранения

График показывает, что с увеличением количества сухого вещества в жидком навозе значение кинематической вязкости увеличивается.

Физические и химические свойства твердого и жидкого компонентов зависят от свойств исходного навоза. Чем больше сухого вещества в навозе, тем выше его содержание в твердом и жидком компонентах (рис. 3.7). Такая же зависимость характерна для питательных веществ и вязкости.

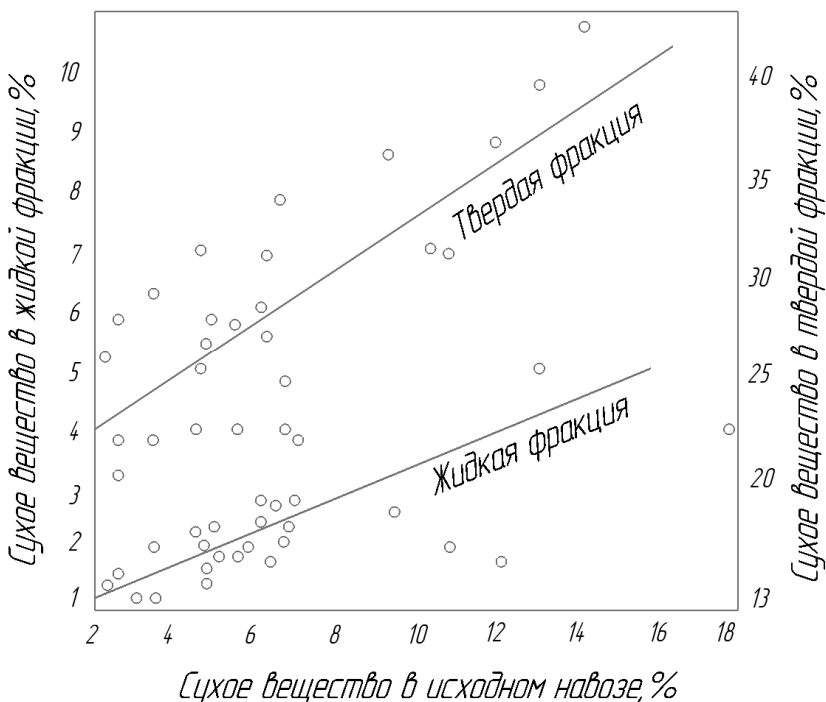
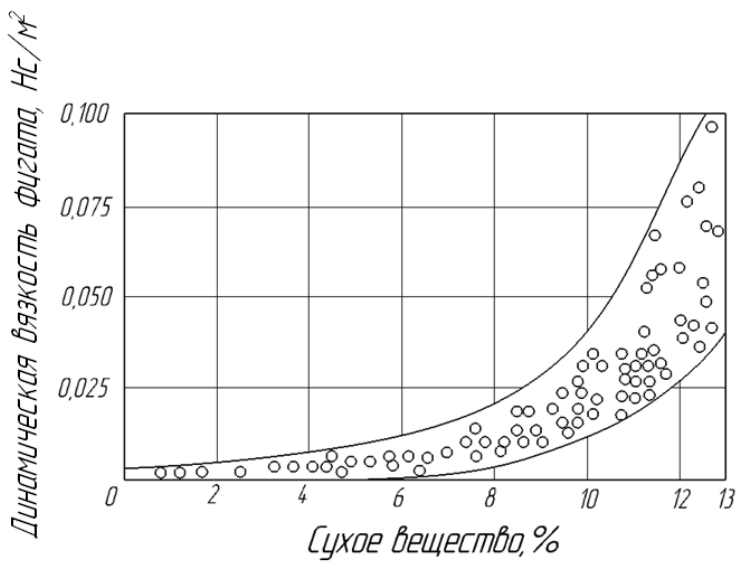
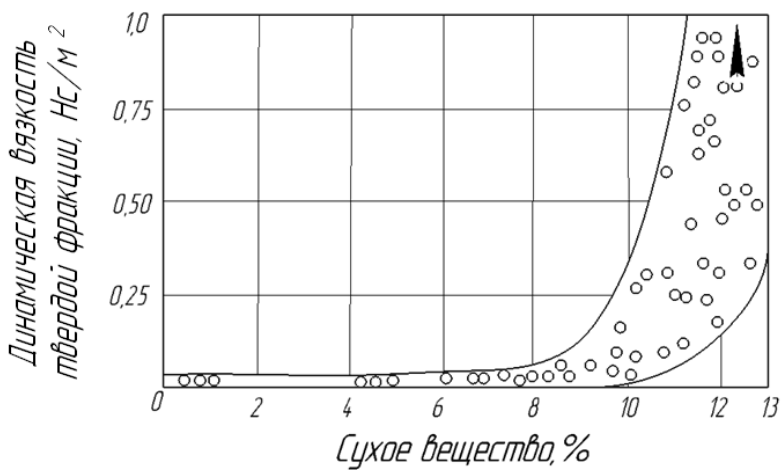


Рис. 3.7. График влияния концентрации сухого вещества в бесподстильном навозе на содержание сухого вещества в жидкой и твердой фракциях при механическом разделении на шнековой centrifуге

При определении вязкости исходного навоза установлено большое экспоненциальное увеличение динамической вязкости при содержании сухого вещества более 8 % (рис. 3.8). Для отсеянной с помощью грохота твердой фракции с содержанием сухого вещества 8 %–13 % значения динамической вязкости на вискозиметре Хеплера составляли от 0,1 до 4,0 Н·с/м², для соответствующей жидкой фракции (фугат) – от 0,01 до 0,1 Н·с/м².



a



б

Рис. 3.8. График зависимости динамической вязкости жидкой и твердой фракций навоза от содержания в них сухого вещества:

- a* – кривая динамической вязкости жидкой фракции навоза;
- б* – кривая динамической вязкости твердой фракции навоза

На свойства компонентов влияние оказывает способ разделения. При гидравлическом разделении свойства компонентов зависят от содержания сухого вещества в исходном навозе и от продолжительности отстаивания в фазе покоя. По мере уменьшения содержания сухого вещества в навозе прогрессивно возрастает скорость оседания твердых веществ. Однако доля осадка по отношению к общему объему снижается (рис. 3.9). Вследствие относительно низкого содержания сухого вещества в осадке отношение масс твердого и жидкого компонентов при гидравлическом разделении уже, чем при механическом разделении.

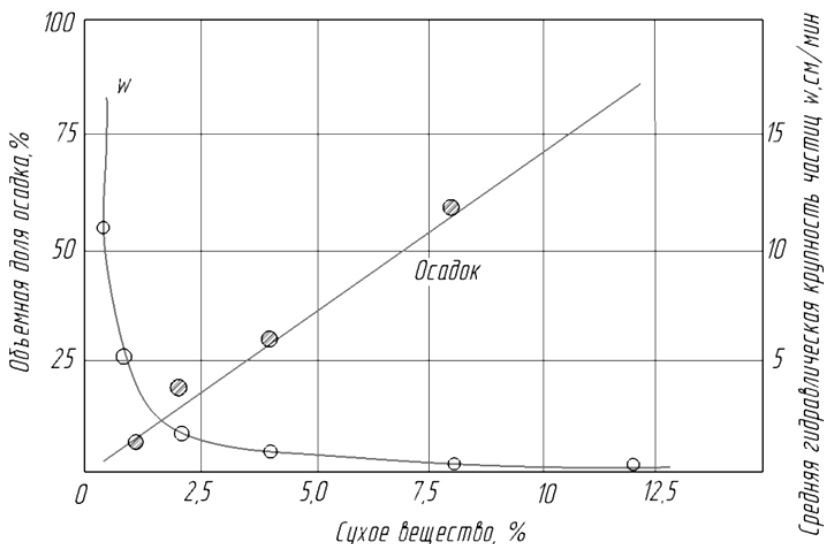


Рис. 3.9. График зависимости скорости седиментации и доли осадка от содержания сухого вещества в бесподстилочном свином навозе

Исследование навоза откормочных свиней показало, что содержание питательных элементов и других веществ в жидкой фракции лишь немного ниже, чем в исходном навозе. В выпадающем осадке содержалось около 10 % сухого вещества [14].

Консистенция твердой фракции зависит от способа разделения навоза. При механическом разделении твердая фракция содержит 25 %–28 % сухого вещества. Твердый компонент гидравлического разделения с содержанием сухого вещества примерно 20 % крайне

неустойчив; непрочно связанная вода выделяется из него даже при незначительных механических воздействиях, особенно во время погрузки и перевозки. В результате твердый компонент опять переходит в вязко-текучее состояние. Поэтому твердый компонент гидравлического разделения и естественного осаждения невозможно транспортировать и вносить навозоразбрасывателями [14].

При хранении навоз претерпевает значительные изменения, связанные с потерей большого количества органического вещества и элементов питания растений, и в первую очередь – азота [24].

Если в 100 т свежего подстилочного навоза содержится 21 т органического вещества и 610 кг азота, то после хранения в течение 4 месяцев останется 13 т органического вещества и 420 кг азота.

Потери общего азота, фосфора и калия в жидком навозе практически не происходят; потери аммиачного азота в открытых хранилищах за летний период составляют 10 %–16 %, в закрытых – 5 %–10 %.

При накоплении и хранении навоза в жидком виде потери органического вещества и питательных элементов снижаются до минимума. После хранения в течение 3–4 месяцев содержание питательных веществ в жидком и твердом навозе практически одинаковое, но поскольку большая часть их в жидком навозе находится в растворенном виде, то действие его значительно эффективнее, чем твердого [24].

Таким образом, одной из наиболее трудоемких работ является удаление навоза на строящихся и реконструируемых откормочных фермах.

Применение гидравлических систем, с одной стороны, позволяет на 20 %–50 % сократить трудовые затраты по сравнению с подстилочным содержанием и удалением навоза механическими средствами, с другой стороны, внедрение этого прогрессивного способа сталкивается с определенными трудностями.

Свиной навоз и навоз крупного рогатого скота в зависимости от консистенции и содержания свободной воды в разной степени подвержены расслаиванию. Особенно интенсивная седиментация и образование осадочного слоя происходят при хранении свиного навоза и сильно разбавленного навоза. Это объясняется высокой долей в нем свободной воды и незначительным содержанием коллоидов. Поскольку слои сильно различаются по консистенции, плотности, содержанию минеральных частиц, органического веще-

ства и питательных элементов, перед удалением из каналов гидравлических систем требуется перемешивание, или гомогенизация. Наличие остатков кормов в навозе также снижает эксплуатационную надежность таких систем. Хозяйственный опыт показывает, что выпускаемые отечественной промышленностью транспортные средства для жидкого навоза (АНЖ-2; ЗЖВ-1,8; ЗУ-3,6; фекальные насосы НЖН-200; АПН-300; НШ-50) не способны откачивать образовавшийся осадочный слой навоза после 10–15 суток хранения без перемешивания. Так как промышленность Республики Беларусь мешалок для жидкого навоза не выпускает, то вопрос перемешивания и выгрузки жидкого навоза после длительного хранения до сих пор не решен [45].

4. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ УБОРКИ НАВОЗА

Уборка, включающая очистку месторасположения животных (стойла, логова, станка) от навоза, удаление его из помещения к месту временного или постоянного хранения, является начальным этапом технологического процесса получения органического удобрения.

На животноводческих фермах применяются два основных способа уборки навоза из помещений скота – механический и гидравлический. Используют также комбинированный способ, который сочетает в себе оба названных.

Установлено, что затраты труда на очистку стойл, сбор и транспортировку навоза к месту временного хранения и его погрузку составляют от 10 % до 20 % всех трудовых затрат на ферме или комплексе [46].

Основными требованиями, предъявляемыми к уборке навоза, являются обеспечение максимальной чистоты животноводческих помещений с минимальными затратами средств и труда, выполнение санитарно-гигиенических и зооветеринарных требований.

5. ОБЗОР МЕХАНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ

Механические способы удаления и транспортирования навоза имеют преимущественное применение [1]:

- на предприятиях крупного рогатого скота при стойловом и стойлово-пастбищном содержании животных с применением подстилки, в родильных отделениях, профилакториях, при подпольном хранении навоза; в домиках для телят и на открытых откормочных площадках;
- свиноводческих предприятиях мощностью до 24 тыс. гол. в год, использующих корма собственного производства и пищевые отходы, в свинарниках-маточниках, на свинокомплексах, использующих технологию холодного содержания животных в легких ангарах;
- птицеводческих предприятиях.

Механический способ удаления и транспортирования навоза осуществляется с помощью скребковых транспортеров. Во дворах с привязным содержанием, как правило, используются устаревшие скребковые транспортеры типа ТСН-160, ТСН-2,0Б, ТСН-3,0Б, ТСН-160А, штанговые (ТШ-30-А, ТШПН-4, ШТУ и пр.), шнековые транспортеры (ТШГ-190, ТШГ-250, ТШН-250, ТШН-300), скреперные установки (УС-10, УС-15, ТСГ-170, ТСГ-250 и пр.).

Дельта-скрепер для удаления навоза из животноводческих помещений идеален для коровника, где используют солому. Скрепер удаляет навоз в конец навозного прохода, откуда навоз дальше транспортируется, например, с помощью круговой цепной системы, к месту хранения. С помощью новейшей электронной панели управления возможно поэтапное удаление навоза. Попадание большого количества соломы сразу в узкий канал круговой цепной системы или скреперно-стержневой системы новозоудаления может засорить канал. Поэтапное удаление навоза поможет избежать этой проблемы.

Дельта-скреперы используют для удаления навоза по навозному проходу или по каналу, перекрытому решеткой. Их применение целесообразно, когда навоз очень вязкий (навоз молодняка КРС, помет кур-несушек) или содержит подстилку (навоз подсосных свиноматок), что затрудняет применение гидротранспорта. При размещении дельта-скрепера под решеткой уменьшается загрязнение животных. Комбискрепер легко монтируется в коровнике любого типа, в том числе и в помещении, где навозный проход имеет

изменяющиеся длину и ширину. Скрепер разработан специально для бетонных полов в коровнике. Это могут быть как плоские бетонные полы, так и наклонные, где навоз стекает в середину. Кроме этого комбискрепер применяется в помещении с решетчатыми полами. В этом случае скребок выгребает навоз на решетки, под которыми находится навозный канал. Этот способ рекомендован для коровников, где животные содержатся без подстилки.

Наибольшее распространение нашли цепочно-скребковые транспортеры кругового движения. Они имеют прочную якорную цепь с металлическими скребками и отдельные приводы горизонтального и наклонного транспортеров. При правильной эксплуатации надежны и долговременны.

Круговая цепная система навозоудаления используется в сочетании с навозными скреперами. Скрепер удаляет навоз в конец навозного прохода, откуда навоз попадает на круговую цепную систему. При помощи навозного транспортера навоз быстро и надежно перемещается дальше к месту хранения. Слабым звеном является наклонный транспортер, так как верхний его конец с силовой станцией находится вне помещения. Цепь в морозы примерзает к дну транспортера; в месте погрузки в транспортное средство обычно на полу накапливается навоз, что ведет к загрязнению тамбура. Недостаток скребковых транспортеров – частые поломки приводного механизма.

Шнековые транспортеры навозоудаления ТШГ-190, ТШГ-250, ТШН-250 предназначены для уборки навоза крупного рогатого скота из закрытых решетками навозных проходов, что обеспечивает удобство работы персонала фермы и не травмирует скот при выгоне-загоне.

При использовании шнековых транспортеров навозоудаления в навозные каналы монтируют шнеки, представляющие собой трубу с навитой спиралью из металлической полосы. Привод каждого шнека – от индивидуального электродвигателя. Оборудуются продольные и поперечные шнеки, длина их зависит от длины навозных каналов. Шнеки собираются из соединяемых секций. Навоз убирают из одного-двух продольных шнеков, затем он попадает в поперечный шнек, из него – в наклонный выгрузной транспортер, устанавливаемый отдельно и не входящий в комплект шнековых транспортеров или в установку для транспортировки навоза УТН-10.

Штанговые транспортеры ТШ-300 предназначены для животноводческих помещений со стойловым содержанием КРС. Удаление навоза происходит в поперечный канал за счет возвратно-поступательного перемещения рабочих органов ползунов с закрепленными на них открывающимися скребками.

Бульдозеры и фронтальные погрузчики применяют для очистки навозных проходов и заблокированных свободных площадей, по которым передвигаются животные. Навозный проход должен быть ниже уровня стойл. Для сбора навоза в конце навозного прохода сооружают навозоприемник, перекрытый решеткой.

Механические способы уборки, в том числе и уборка с помощью бульдозера, имеют существенные недостатки, не позволяющие использовать их на крупных животноводческих фермах и комплексах. Транспортеры и скреперные установки металлоемки, ненадежны в работе (порывы цепи, соскакивание ее со звездочек, примерзание скребков выгрузного транспортера в зимний период и т. д.) имеют малый срок службы, значительный расход электроэнергии на выполняемый технологический процесс, требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала [4, 46, 47].

При уборке навоза с помощью бульдозера в зимнее время происходит охлаждение и наполнение выхлопными газами помещения.

6. ОБЗОР ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ

Используя реологические свойства жидкого навоза, в США, Англии, Нидерландах, Германии, Швеции и Норвегии гидравлические способы уборки начали применять в 60-е годы прошлого века [15, 16]. В СССР гидравлические системы уборки навоза начали применять позднее [17].

Гидравлические системы удаления навоза применяют как на мелких животноводческих комплексах, так и на крупных. Транспортировка жидкого навоза самотеком в навозохранилище или накопитель по спускным каналам или трубам является самым экономичным способом транспортировки. Гидравлические способы удаления навоза по сравнению с механическими способами характеризуются большей долговечностью и меньшей металлоемкостью, отсутствием электроприводов и движущихся частей в самих животноводческих помещениях.

Применение самотечных систем уборки навоза позволяет сократить затраты труда и приведенные затраты на 10 %–30 % по сравнению с механическими средствами [48]. Удельная металлоемкость гидравлических систем уборки и транспортировки навоза в 4–6 раз меньше, и удельные капитальные вложения на одно скотоместо ниже на 30 %–40 % по сравнению с механическими способами [9, 19].

Об экономической эффективности различных способов уборки навоза на свиноводческих фермах можно судить по данным, полученным учеными М. Королевой, В. П. Капустиным, В. Н. Письменным [24] (таблица).

Таблица

Эффективность способов удаления навоза на свиноводческих фермах

Показатели (на одно животное)	Уборка навоза	
	транспортерами	самосплавом
Капиталовложения, руб.	6,56	10,50
Эксплуатационные расходы, руб.	1,49	0,99
Приведенные затраты, руб.	2,31	2,30
Затраты труда, чел.-ч	0,86	0,57

Из данных табл. 6.1 видно, что гидравлические системы удаления навоза обеспечивают меньшие (по сравнению с механическими системами) затраты труда [24].

С учетом санитарно-гигиенических и ветеринарных требований гидравлические способы имеют преимущества, так как значительно снижается загрязненность пола по сравнению с уборкой транспортерами, скреперными установками и бульдозерами. В этом случае содержание вредных веществ в помещении не превышает значений предельно допустимой концентрации (ПДК). Однако при гидросмыве содержание их на 16 % – 18 % выше, чем при самотечных способах уборки [13, 20]. При самотечных способах уборки навоз наиболее доступен механизации и автоматизации на всех этапах процесса, начиная с удаления из его помещений и заканчивая внесением в почву. Использование гидротранспорта для перемещения жидкого навоза позволяет избежать загрязнения территории фермы, не допуская опасного распространения инфекций, инвазий в пределах фермы [21].

Из изложенного следует, что по степени механизации и автоматизации процессов, качеству получаемого навоза, затратам труда и энергии, потерям массы и питательных веществ и воздействию на окружающую среду гидравлический способ уборки навоза самотечком является менее энергозатратным по сравнению с механическими средствами и более полно отвечает зооветеринарным требованиям.

Распространение бесподстилочного содержания скота обусловлено ограниченностью подстилочных материалов, меньшими затратами труда на удаление навоза и, главное, тем, что при бесподстилочном содержании легче механизировать и автоматизировать процессы удаления навоза из помещений [24].

При бесподстилочном содержании скота на решетчатых полах применяют следующие системы.

Гидросмывная система. Такую систему удаления и транспортирования навоза допускается применять в исключительных случаях, только при реконструкции и расширении крупных свиноводческих комплексов (54 тыс. свиней/год и более) при невозможности применения других способов и технических средств для удаления навоза, а также с учетом утилизации всех его компонентов [23, с. 52].

Для удаления навоза из каналов или с пола используют воду, которая под давлением подается из сопла в торце продольного канала или из шланга. Недостаток такой системы – разбавление навоза водой в 5–10 раз от исходного количества [24].

Самотечная система (периодического или непрерывного действия). В самотечной системе непрерывного действия экскременты животных находятся на жидкостной поверхности и непрерывно стекают в поперечный канал [24].

Самотечная *система непрерывного действия* основана на течении пластичной навозной массы под действием собственного веса через открытый конец навозоприемного канала. Она предусматривает ежедневную чистку станков от навоза, который сбрасывается в навозоприемный канал. Эта система непрерывно действующая, так как навоз из канала удаляется не систематизированно, а по мере поступления в него новых порций. Система проста по устройству, но предъявляет особые требования к технологии содержания и кормления свиней, а также устройству и эксплуатации ее конструктивных элементов.

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

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

- попадание остатков кормов в канал;
- кормление животных кукурузным силосом;
- испарение влаги.

Чтобы увеличить текучесть навоза и уменьшить глубину канала рекомендуют устраивать в устье канала порожек или повышать уровень дна канала в направлении стока навоза. Как показали исследования, действие порожка зависит от коэффициента текучести навоза [49]. Порожек играет положительную роль при пуске канала в эксплуатацию. Перед пуском самотечный канал необходимо наполнить водой на 10–20 см. Вода смачивает сухие стенки канала и компенсирует испаряющуюся жидкость в начальный период. Навоз начинает течь при определенной толщине слоя. Через некоторое

время в канале образуется уклон поверхности слоя навоза, который колеблется около средней величины. Навоз должен постоянно течь, иначе его реологические свойства ухудшаются. Уменьшение текучести навоза может привести к увеличению слоя навоза и выходу его за решетку или щелевой пол [14].

Надежная работа самотечной системы непрерывного действия обеспечивается при кормлении свиней комбикормами мелкого помола заводского изготовления и бесподстилочном содержании их в групповых станках, где основным местом дефекации животных является щелевой пол, расположенный над навозоприемным каналом [22], а также при кормлении свиней сухими комбикормами или жидкими кормами заводского производства с добавлением в рацион небольшого количества травяной муки [50]. При добавлении в кормовые смеси зеленой массы, комбинированного силоса уменьшается текучесть навоза, и самотечное перемещение его по каналу нарушается.

В *системе периодического действия* экскременты накапливаются в продольном канале до тех пор, пока закрыт шибер. Такая система предусматривает их накопление в течение 7–15 дней [24], но не более 30 дней [23, с. 48], либо когда уровень навоза достигает решетки или щелевого пола [14]. При открывании шибера экскременты вытекают в поперечный канал. Жидкий навоз из поперечных каналов самотеком поступает в навозосборники, затем насосами перекачивается в навозохранилища [24]. Дно продольного канала выполняют с уклоном 0,01 м в сторону поперечного канала. Поперечные каналы, как правило, выполняют на 0,2–0,3 м ниже продольного с уклоном 0,005–0,01 м [24]. Каналы могут прокладываться без уклонов. При проектировании самотечной системы навозоудаления периодического действия секционного типа с закольцованными каналами длина продольных каналов должна быть не более 40 м [23, с. 19]. При этом длина секций принимается 6–10 м от начала канала со стороны шибера калиточного типа, устанавливаемого перед поперечным каналом. Для закольцовывания продольных каналов их глухие концы в нижней части попарно соединяются каналом высотой не менее 300 мм и шириной, равной ширине продольных каналов [23, с. 48].

При достаточном уклоне навоз может течь от навозосборника в хранилище по трубопроводу с внутренним диаметром не менее

400 мм самотеком [51]. Но, как правило, навоз подают в хранилище насосами. Вязкость навоза с повышением скорости движения его 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 канале, благодаря чему в поперечных каналах почти не наблюдается помех в самотеке.

Применение такой системы, в отличие от системы непрерывного действия, возможно при кормлении животных любыми кормами и не предъявляет жестких требований к ограничению потерь воды из автопоилок. Система периодического действия может быть рекомендована для применения на свинокомплексах до 24 тыс. гол./год [22] при кормлении свиней комбикормами собственного производства и включении в рацион местных кормов (зеленых и сочных) и при откорме крупного рогатого скота бардой и жомом, когда экскременты имеют высокую влажность (89 %–92 %) [24]. Согласно [23], самотечная система навозоудаления периодического действия может применяться на всех животноводческих предприятиях при бесподстилочном содержании животных.

Комбинированная система с рециркуляцией. При этой системе используется отстоявшаяся жидкая фракция ранее удаленного и предварительно обеззараженного навоза [24]. При такой системе необходимы насосы для подачи отстоявшейся жидкой фракции к форсункам, накопители, что усложняет ее эксплуатационную надежность относительно систем непрерывного и периодического действия.

Чтобы сократить затраты труда на уборку навоза, иногда применяют сдвоенные каналы с соответствующим увеличением ширины целевого пола. Однако это не оказывает существенного влияния на величину трудовых затрат, но значительно увеличивает капитальные затраты на устройство системы навозоудаления и ухудшает условия ее эксплуатации [22].

Способ удаления навоза из животноводческого помещения по самотечным каналам получил в последние годы в республике широкое распространение [52–54]. Этому благоприятствовали в основном два фактора. Во-первых, технически этот способ очень прост; во-вторых, к навозу свиней и крупного рогатого скота, как правило, не нужно добавлять воду. Кроме того, самотечные каналы можно устраивать при самых разнообразных типах содержания животных и формах стойл.

Транспортировка бесподстилочного навоза под решеткой или щелевым полом до навозосборника происходит автоматически и без технических затрат. Надежность функционирования каналов очень сильно зависит от текучести навоза. Глубина канала также определяется текучестью навоза. Слой навоза в канале должен иметь достаточную высоту, чтобы создавалось напряжение, превышающее предельное напряжение сдвига, и обеспечивалось постоянное течение навоза. При этом глубина канала должна быть рассчитана так, чтобы даже при экстремальных условиях навоз не поднимался до решетки или щелевого пола.

Самотечный канал должен иметь определенную глубину, даже если его длина не превышает нескольких метров. Каналы самотечной системы периодического действия выполняют длиной от 50 до 100 м, шириной 0,8–1,2 и глубиной 0,7–1,4 м с уклоном дна 0,005–0,02 м [48, 55]. Минимальная глубина самотечного канала составляет 0,6 м [14]. Оборудуют каналы гидрозатворами шиберного, калиточного, лоткового или шарнирно-рычажного типов [56].

Из приведенных данных видно, что каналы по длине отличаются в 1,8–3 раза, по ширине в 1,7–3,7 и глубине в 2–3 раза, откуда следует, что оптимальных параметров каналов не найдено.

Внутренняя поверхность каналов должна быть гладкой, с хорошей гидроизоляцией и заделкой стыков, не допускающих фильтрации жидкой части экскрементов через них и стенки.

В ряде хозяйств Республики Беларусь имеют место случаи нарушения работы гидравлических систем уборки навоза, основными причинами которых являются отсутствие или ненадежная гидроизоляция стен и дна каналов, попадание в них грубых кормов и посторонних предметов, нарушение правил эксплуатации [24]. В то же время использование механических средств для уборки навоза на крупных свинофермах и комплексах заметно усложняется. Объясняется это недостаточной эксплуатационной надежностью, малой долговечностью и большой металлоемкостью транспортеров, высокими удельными эксплуатационными расходами, наличием электроприводов и движущихся механизмов в свиноводческих помещениях. При передовой технологии содержания поголовья свиней без подстилки на щелевых полах при кормлении одно- и многокомпонентными кормами жидкий навоз эффективно удалять гидравлическими способами.

Гидравлические системы удаления навоза на свиноводческих фермах и комплексах в целом работают удовлетворительно.

Полностью исключить затраты ручного труда на очистку станков от навоза и создать необходимые санитарные условия для содержания животных можно только при применении в свинарниках для различных половозрастных групп животных сплошных решетчатых (щелевых) или перфорированных полов [50].

Основными причинами ограничения использования самотечных систем уборки являются следующие:

- системы периодического действия чувствительны к утечке жидкости по причине плохой герметизации гидрозатворов, шиберов, попадания инородных примесей, снижающих надежность их работы [57];

- в каналах систем уборки непрерывного действия образуется осадок, они переполняются, появляется сплошная корка, увеличивается трудоемкость и расход воды на удаление осадка.

Непрерывному самотечному перемещению навоза по навозоприемным каналам посвящены работы И. И. Лукьяненко, В. В. Калюги, С. В. Мельникова, М. С. Текучевой, Н. М. Марченко, Г. И. Личмана, В. П. Капустина, С. П. Захаревича и других исследователей [15–21, 58]. В работах этих ученых рассматривается процесс перемещения навоза по каналам гидравлических систем непрерывного действия, при этом параметры, особенности работы и функционирования гидравлических систем периодического действия не освещены и не изучены.

Значительный интерес представляют труды ученых смежных специальностей по разработке химико-технологических процессов, аппаратов и гидравлических машин.

Вопросы теории и расчета самотечного перемещения массы под действием собственного веса впервые сформулированы Н. В. Тябиным [59], который ввел понятие критической высоты формосохраняемости, изменяющейся прямо пропорционально предельному напряжению сдвига и обратно пропорционально плотности материала. Многочисленные исследования Ю. Бингама, И. Ф. Шведова, П. А. Ребиндера, М. П. Волоровича показали, что закон вязкопластического течения Шведова–Бингама объясняет значительное большинство грубодисперсных систем, к которым относится бесподстилочный навоз, обладающих свойством принимать форму наполняемого сосуда [60–62].

Сравнительный анализ работы гидравлических систем показал, что для удаления бесподстилочного свиного навоза наиболее перспективными являются самотечные системы непрерывного и периодического действия.

При этом наибольший интерес представляет самотечная система периодического действия, которая:

- не предъявляет особых требований к технологии содержания и кормления свиней и устройству и эксплуатации ее конструктивных элементов.

- не предъявляет жестких требований к ограничению потерь воды из автопоилок;

- может использоваться при кормлении свиней комбикормами собственного производства и включении в рацион зеленых и сочных кормов.

7. СРЕДСТВА ДЛЯ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ЖИДКОГО НАВОЗА

Существуют два вида гомогенизации навоза:

- однократное перемешивание перед внесением;
- систематическое перемешивание до гомогенного состояния через определенные промежутки времени.

Многократное перемешивание со значением скорости перемешивания более 4 см/с улучшает реологические свойства навоза и уменьшает вязкость. Это важно для последующей гидромеханической транспортировки, так как коэффициент полезного действия насосов и потери напора в трубопроводах зависят от текучести навоза. Повышенное содержание сухого вещества в осадочном слое затрудняет гидромеханическую транспортировку [14].

Гомогенизирующие устройства необходимы также для равномерного перемешивания вносимых в навоз дезинфицирующих средств при вспышках эпизоотии.

Благодаря хорошему перемешиванию достигается беспрепятственная выборка и транспортировка навоза, более равномерное распределение органического вещества и питательных элементов при внесении навоза (рисунок).

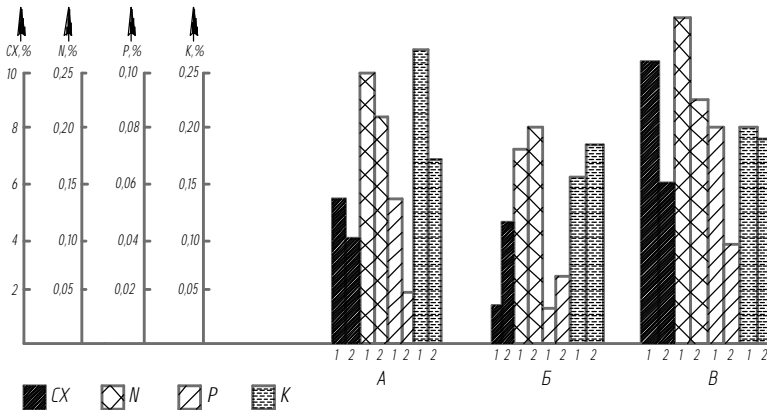


Рисунок. Диаграмма изменения содержания сухого вещества и питательных элементов в слоях хранящегося бесподстильного навоза при гомогенизации: CX – сухое вещество; N – азот; P – фосфор; K – калий; А – плавающий слой; В – жидкая фракция; В – осадочный слой; 1 – до гомогенизации; 2 – после гомогенизации

Текучесть зависит также от степени гомогенизации навоза, т. е. от степени перемешивания кала и мочи. Гомогенизированный навоз более текуч, чем негомогенизированный, что играет большую роль при различных способах подготовки и использования навоза [35].

Значения влажности навоза, при которых обеспечивается работа цистерн-разбрасывателей, не должна быть ниже 88 %–90 %, при значении более 94 % внесение навоза неэкономично [23, с. 146].

При проектировании устройств для перемешивания свиного навоза необходимо иметь в виду, что для его гомогенизации требуется более интенсивное вертикальное перемешивание в связи с сильным самоуплотнением осадка на дне [56, с. 83].

7.1. Гидравлические устройства

Для гидравлического перемешивания жидкого навоза используют фекальные насосы высокого давления, трубопроводы и гидравлические насадки. Перемешивается масса струей перекачиваемой жидкой фракции.

Качество перемешивания определяют по затраченному на него времени визуально, по цвету и консистенции поднимающегося снизу навоза и окончательно – по влажности. Принято считать качество перемешивания удовлетворительным, если его значения влажности по слоям не отличаются более чем на 1 % –2 %.

Скорость перемещения зависит от диаметра или вместимости хранилища и развиваемого насосом напора. В хранилище вместимостью свыше 2500 м³ наблюдается незначительное гомогенизирующее действие, а капитальные затраты на насосные агрегаты и арматуру высоки. К гидравлическим гомогенизирующим устройствам относят:

- гидравлический струйный аппарат;
- погружной насос для циркуляции жидкости;
- тангенциальные или радиальные насадки;
- насадки реактивной мешалки.

Перемешивание навоза с содержанием сухого вещества более 6 % с помощью насадок неэффективно. В жидком навозе поток создается легче, чем в полужидком.

Эффект гомогенизации зависит от достигаемой скорости течения и обусловленных ею противотоков. Последние образуются быстрее

и с меньшими затратами энергии в хранилищах вместимостью менее 1000 м³ по сравнению с большими хранилищами. Затвердевшие плавающий и осадочный слои не могут быть разрушены без дополнительного механического воздействия, поэтому необходимо поддерживать гомогенное состояние навоза путем частого кратковременного перемешивания. Гидравлические устройства практически невозможно применять для гомогенизации в каналах гидравлических систем [14].

7.2. Пневматические устройства

Пневматическая гомогенизация может осуществляться через проложенный в навозохранилище трубопровод сжатого воздуха или с помощью пневматического насоса с распределителями. В обоих случаях необходимы мощные компрессоры, и оба варианта применимы только в прямоугольных или круглых хранилищах вместимостью не более 200 м³ жидкого или полужидкого навоза. Эксплуатация таких систем затруднительна, так как трубопроводы, уложенные по дну навозохранилища, заиливаются осадком при перерывах в работе и очистка их довольно трудоемка. Следует отметить высокие эксплуатационные затраты при использовании компрессорных мешалок [14].

Применение гидравлических и пневматических мешалок затрудняется: 1) необходимо строить дорогостоящие насосные или компрессорные станции и 2) возникают антисанитарные, недопустимые условия для обслуживающего персонала. По этим причинам преимущество имеют механические устройства для гомогенизации, которые могут расслаивающийся жидкий навоз не только перемешивать, но и измельчать крупные примеси, а также погружать его в транспортные средства [14].

7.3. Механические устройства

К механическим устройствам для гомогенизации относятся мешалки различной конструкции: крестовидные, лопастные, веслообразные, рамные и мешалки с вращающимся корпусом.

В качестве рабочих органов механических мешалок служат различные крыльчатки, диски, пропеллеры, винты, лопасти и крестовины.

Крестовидные мешалки применяются только в прямоугольных хранилищах жидкого навоза, получаемого при гидросмыве, вместимостью не более 100 м^3 [63].

Горизонтальные веслообразные мешалки (гребные колеса) при использовании в прямоугольных хранилищах вместимостью до 500 м^3 обеспечивают лучшую гомогенизацию по сравнению с лопастной мешалкой, так как весло оказывает черпающее действие. Полная гомогенизация при этом не достигается, так как осадочный слой не перемешивается. Такие мешалки применяются только в хранилищах полужидкого навоза крупного рогатого скота.

Рамные обегаящие мешалки, или мешалки-волокуши, при кратковременном многократном включении и соответствующей скорости перемешивания обеспечивают хорошую гомогенизацию жидкого навоза, применяются как в круглых, так и в прямоугольных хранилищах. Режим гомогенизации преимущественно ламинарный [64]. Такие мешалки используют для гомогенизации жидкого и полужидкого навоза крупного рогатого скота и свиней при содержании в нем сухого вещества от 3 % до 12 %.

Шнековые мешалки с активным перемешивающим органом применяются в круглых и прямоугольных хранилищах вместимостью более 1000 м^3 , если навоз содержит менее 2 % сухого вещества [14].

Чтобы улучшить опорожнение навозных резервуаров, используются мешалки для щелевых полов. Такие мешалки оснащены складным перемешивающим винтом, который опускают сквозь щель в полу под бетонную решетку, без ее демонтажа. Недостаток таких мешалок – большие затраты ручного труда [44].

Механические мешалки, создающие аксиальное движение жидкости, по конструкции весьма схожи, они бывают винтовые и лопастные.

Винтовые мешалки преобразуют вращение вала двигателя в гидравлический напор. Лопасть винтовой мешалки представляет собой гидродинамический профиль, который работает под определенным углом наклона к потоку жидкости, отбрасывая его и таким образом образуя напор.

Винтовая мешалка состоит из центральной ступицы и нескольких лопастей, имеет легко измеряемый диаметр. Число лопастей незначительно влияет на КПД винтовой мешалки.

Увеличение площади лопастей увеличивает площадь действия сил, создающих гидравлический напор, но увеличивается и трение навозной массы о лопасти. Чтобы уменьшить трение, создаваемое лопастями, их количество должно быть минимальным, но не меньше двух.

Для повышения гидравлического напора увеличивают диаметр или шаг винта. При гомогенизации навоза винтовыми мешалками в гидравлических каналах животноводческого помещения увеличение диаметра проблематично, так как канал имеет ограниченные геометрические размеры. При недостаточном заглублении винтовой мешалки возможно захватывание воздуха с поверхности и образование воздушной воронки, что приводит к снижению гидравлического напора, возникновению кавитации и, как следствие, повреждению лопастей. Момент наступления кавитации зависит также от частоты вращения и площади лопастей. Так, чем меньше площадь лопастей и ближе к поверхности расположена мешалка, тем при меньшей частоте вращения возникает явление кавитации. У двух- и трехлопастных мешалок кавитация возникает раньше. Четырехлопастная винтовая мешалка, при том же диаметре, позволяет переработать большую мощность и снизить вибрацию за счет равного количества противостоящих лопастей, особенно в более вязкой или неоднородной среде, уменьшить время создания гидравлического напора.

Диаметр винтовой мешалки – это диаметр окружности, охватывающей все лопасти мешалки. Чем меньше обороты приводного вала, тем больше должен быть диаметр мешалки. При малых оборотах двигателя используют винтовую мешалку с большим диаметром, при высоких – с меньшим.

Лопастни могут иметь самую разнообразную форму: типа «круглое ухо», косые, овальные, ассиметричные, эллиптические, с наклепом на хвостовой кромке, серповидные или полусерповидные, сегментные и др.

Напор, развиваемый винтовой мешалкой, практически не зависит от площади ее лопастей. Однако необходимо учитывать, что при том же напоре на широких лопастях разрежение на засасывающей стороне меньше, чем на узких. Следовательно, в условиях, где возможно возникновение кавитации, и при высоких оборотах целесообразнее применять широколопастные мешалки.

Существенным недостатком винтовых мешалок, в отличие от лопастных, является более сложная конструкция, требующая тщательных расчетов, вычерчивания и изготовления модели, а также проверки

качества отливки, что увеличивает производственные расходы, поэтому мешалки этого типа не рекомендованы к использованию. В гидродинамическом же отношении они лишь незначительно отличаются от лопастных мешалок [60, с. 15].

Лопастные мешалки отличаются от винтовых простотой конструкции и сравнительно низкой стоимостью изготовления. Лопастная мешалка с наклоном лопастей вызывает в перемешиваемой системе практически такое же действие, как и винт того же диаметра, но при этом требует больших затрат времени и увеличенного расхода мощности. Более обтекаемая форма рабочего органа винтовой мешалки, при одинаковом числе Рейнольдса, потребляет меньше мощности, чем лопастная мешалка.

Поэтому для гомогенизации расслоившегося жидкого навоза в каналах гидравлических систем целесообразнее использовать лопастные мешалки с сегментными лопастями.

Мешалки этих типов предназначены для навозохранилищ различной вместимости и не применимы (кроме винтовых и лопастных) для гомогенизации навоза в каналах гидравлических систем. Для гомогенизации в каналах преимущества имеют быстроходные лопастные механические мешалки, однако их конструктивные элементы изучены недостаточно и не имеют научного обоснования. В работах И. С. Павлушенко, А. Н. Мильченко, Н. Е. Вишневого, А. Г. Касаткина, Н. М. Костина, Н. П. Худолий, Э. Штербачека и ряда других ученых освещены вопросы перемешивания жидкостей лопастными и винтовыми мешалками только в химической и пищевой промышленности [65–69].

Отечественная промышленность не выпускает мешалок для навоза, в Германии, например, производится множество их модификаций: стационарные, передвижные, с приводом от электродвигателя или ВОМ трактора.

Поэтому к созданию высокоэффективных и надежных перемешивающих устройств для расслоившегося жидкого навоза в каналах гидравлических систем необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований с обоснованием параметров рабочих органов мешалок.

Выводы

Исследования химического состава бесподстилочного навоза свидетельствуют, что он содержит достаточное количество питательных

веществ для использования его в качестве органического удобрения. Однако сдерживающими факторами непосредственного применения его в этом качестве являются: большая влажность и включение частиц длиной более 3 мм, наличие в нем возбудителей болезней, яиц и личинок гельминтов, для уничтожения которых требуется обеззараживание, наличие семян сорных растений и их обезвреживание.

Установлено, что основные физико-химические и реологические свойства бесподстилочного навоза определены. Однако полученные многими исследователями данные, например, по значению предельного напряжения сдвига и динамической вязкости, различаются в 2–3 раза.

Анализ способов уборки навоза показал, что гидравлические системы уборки бесподстилочного навоза на крупных животноводческих фермах и комплексах остаются доминирующими. Они позволяют, по сравнению с уборкой механическими средствами, снизить затраты труда на 10 %–30 %, металлоемкость – в 4–6 раз, уменьшить потери массы навоза и питательных веществ на 10 %, при улучшении условий труда обслуживающего персонала и содержания животных и уменьшении загрязнения окружающей среды.

Сравнительный анализ работы гидравлических систем показал, что для удаления бесподстилочного навоза наиболее перспективными являются самотечные системы периодического действия.

Несмотря на широкое применение самотечных систем уборки в реальных условиях получают навоз со значениями влажности 94 %–96 %, т. е. с увеличением по объему в 1,5–2 раза, в результате чего уменьшается количество питательных веществ в единице объема, повышаются затраты труда и энергии при транспортировке и переработке. С целью сохранения качества получаемого навоза ($W = 92\%–94\%$) в производство внедряются все более совершенные самотечные системы, обладающие повышенной надежностью функционирования.

Жидкий свиной навоз и навоз крупного рогатого скота со значениями влажности 88 %–91 % может быть классифицирован как неньютоновская система со сложными нестационарными реологическими свойствами. Перемещение навоза по навозоприемному каналу под действием гравитационных сил обусловлено его вязкопластичными свойствами и с высокой степенью достоверности соответствует модели Шведова–Бингама.

Гомогенизация навоза перед удалением из каналов гидравлических систем, навозохранилищ и накопителей – обязательный технологический прием, от которого в большей степени зависит

надежность работы насосов, цистерн-разбрасывателей и дождевальных установок, равномерность распределения питательных элементов и органического вещества, полнота опорожнения каналов.

Для осуществления гомогенизации в гидравлических каналах наиболее пригодны лопастные мешалки.

Поскольку в хозяйствах Республики Беларусь все продольные каналы в животноводческих помещениях имеют тупиковое устройство и длину 40–50 м, гомогенизация в них затруднительна любыми типами мешалок, в том числе из-за упора массы в противоположную стенку и необходимости перемещения гомогенизирующих устройств по длине канала. Поэтому каналы таких систем необходимо закольцовывать, т. е. объединять в один замкнутый канал.

Повышение эффективности качественных показателей работы замкнутой самотечной системы удаления навоза сводится к повышению гидротранспортабельности навоза путем гомогенизации и максимальному и безотказному опорожнению навозоприемных каналов. В реальных эксплуатационных условиях оптимизация данных показателей достигается минимизацией высоты остаточного слоя навоза h_0 , образующегося после опорожнения навозоприемного канала ($h_0 \rightarrow \min$).

8. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ГОМОГЕНИЗАТОРА ЖИДКОГО НАВОЗА В ЗАМКНУТОЙ САМОТЕЧНОЙ СИСТЕМЕ УДАЛЕНИЯ НАВОЗА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

В настоящее время для перемешивания жидкого навоза известны мешалки тихоходные и быстроходные механические, гидравлические и пневматические.

Применение гидравлических и пневматических мешалок затрудняется из-за необходимости строить дорогостоящие насосные или компрессорные станции и по причине возникновения антисанитарных, неприемлемых условий для обслуживающего персонала. Поэтому преимущества имеют мобильные быстроходные механические мешалки, гомогенизаторы, миксеры.

Изучение процессов перемешивания жидкого навоза тихоходными механическими или гидравлическими мешалками в Беларуси проводили Е. Н. Азимова, Н. М. Марченко, И. И. Кузьменко; за рубежом – Р. Зинке, К. Холл и другие авторы [70, 71].

Однако эти мешалки для перемешивания жидкого навоза изучены недостаточно и не имеют научного обоснования параметров рабочих органов. В работах И. С. Павлушенко, А. Н. Мильченко, А. Г. Касаткина, Н. М. Костина, Н. П. Худолий, З. Штербачека и ряда других авторов освещены вопросы перемешивания жидкостей винтовыми быстроходными мешалками только в химической и пищевой промышленности [65, 66–69].

Поэтому необходимыми предпосылками к созданию высокоэффективных и надежных перемешивающих устройств для расслоившегося жидкого навоза являются теоретические и экспериментальные исследования для обоснования параметров рабочих органов.

8.1. Анализ движения навоза по гидравлическому каналу

Согласно закону Шведова–Бингама силы, требуемые на перемещение, прямо пропорциональны скорости течения и влажности навоза. Причем навоз начинает движение по каналу только после достижения определенных напряжений, создаваемых собственной массой навоза, которые называются предельным напряжением сдвига [72].

Навоз в канале занимает определенное положение, ограниченное снизу дном и стенками канала, сверху – профилем свободной поверхности навоза, имеющим уклон в сторону шиберной заслонки. Размеры получаемого слоя определяются длиной и шириной канала. В практике капитального строительства животноводческих помещений распространение получили навозоприемные каналы различных типоразмеров.

Таким образом, движение и равновесие слоя навоза в канале обеспечивается гравитационными силами и обусловлено потенциальной энергией. Потенциальная энергия навоза в канале уравновешивается силами трения, препятствующими его движению, зависящими от геометрических размеров слоя в канале, и предельным напряжением сдвига [72].

Ученый В. В. Гордеев вывел уравнение высоты слоя навоза, находящегося в равновесном состоянии [58]:

$$s_p = \sqrt{\frac{Lh\tau_0}{(k_d h \rho_{\text{ж}} g - 2L_1 \tau_0)}}, \quad (8.1)$$

где L – длина канала, м;

h – ширина канала, м;

τ_0 – предельное напряжение сдвига, Н/м²;

k_d – коэффициент гидростатического давления ($k_d = 0,333$);

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность навоза, кг/м³;

L_1 – относительная длина канала ($L_1 = L/h$), м.

В полученном уравнении произведение $k_d h \rho_{\text{ж}} g$ определяет удельную гидростатическую силу движения, $2L_1 \tau_0$ – силу сопротивления сдвигу навоза в вертикальных плоскостях, $Lh\tau_0$ – силу сопротивления движению навоза в горизонтальной плоскости. Уравнение описывает статическое состояние навоза в канале до начала движения (гидравлическая система непрерывного действия) или после окончания (гидравлическая система периодического действия). Для определения начала движения навоза по каналу рассчитана толщина приращения слоя навоза Δs , которая составила 0,02–0,05 м. Высота слоя навоза в канале определяется по формуле [58]:

$$s = s_p + \Delta s. \quad (8.2)$$

Знание высоты слоя в канале, определяемой по этому выражению, обеспечивает стабильное удаление навоза из навозоприемного канала.

Ширину самотечного канала h можно рассчитать из условия [73]:

$$h \geq L_{\text{ж}} - (L_{\text{п}} + L_{\text{г}}), \quad (8.3)$$

где $L_{\text{ж}}$ – длина животного, м;

$L_{\text{п}}$ – ширина цельной бетонной полосы между кормушкой и каналом удаления навоза, м (для свиней 0,2–0,3 м);

$L_{\text{г}}$ – ширина той части кормушки, которую занимает голова животного во время поедания корма из нее, м (ее можно принять равной $2/3$ всей ширины кормушки).

При самотечном способе уборки навоза периодического действия высота гидрозатвора (шиберной заслонки) определяется глубиной канала [72], т. е.

$$s \leq s_{\text{зат}} \leq s_{\text{к}}, \quad (8.4)$$

где s – высота слоя навоза, м;

$s_{\text{зат}}$ – высота шиберной заслонки (гидрозатвора), м;

$s_{\text{к}}$ – высота канала, м.

За показатель эффективности работы самотечной системы принимают коэффициент надежности функционирования каналов $k_{\text{н}}$, представляющий собой отношение объема навоза $V_{\text{ост}}$, оставшегося в канале после опорожнения, к объему навоза $V_{\text{полн}}$, находящегося в канале перед пуском.

Если принять, что $V_{\text{ост}} = s_p L h$ и $V_{\text{полн}} = s L h$, то $k_{\text{н}} = 1 - V_{\text{ост}} / V_{\text{полн}}$ или $k_{\text{н}} = 1 - s_p / s$ [74].

При решении ряда технических задач, связанных с использованием жидкого навоза, необходимо знать закономерности его движения [75].

К жидкому навозу с достаточной степенью приближения может быть применена теория Бингама. Согласно этой теории пластичные тела могут характеризоваться двумя константами – предельным напряжением сдвига τ_0 и коэффициентом динамической вязкости η .

8.2. Определение критической скорости потока

В расслоившемся жидком навозе твердые частицы находятся на дне и на поверхности или только на дне. Как при одном, так и при другом характере расслоения в канале во время гомогенизации жидкая фаза навоза должна течь с такой скоростью u , чтобы частицы перемещались не только в горизонтальном направлении, но и были бы подняты со дна канала. Для определения необходимой скорости потока при гомогенизации рассмотрим, какие силы действуют на частицу, когда она находится на дне канала, и имеет, для определенности, форму шара диаметром d_0 и массу m (рис. 8.1).

При ламинарном потоке действующие на частицу силы показаны на рис. 8.1.

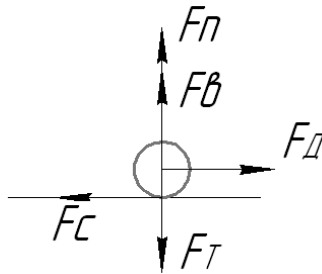


Рис. 8.1. Схема действующих на частицу сил:

F_T – сила тяжести; F_B – выталкивающая сила; F_{Π} – подъемная сила, возникающая в результате воздействия потока на частицу; F_C – сила сцепления; F_D – движущая сила потока

Чтобы частица была поднята, необходимо и достаточно выполнение неравенства:

$$F_{\Pi} \geq g(m - V_{\text{ч}} \rho_{\text{ж}}), \quad (8.5)$$

где $F_{\Pi} = g V_{\text{ч}} \rho_{\text{ж}}$ – выталкивающая сила, Н;

$$V_{\text{ч}} = \frac{\pi d_0^3}{6} \quad \text{– объем частицы, м}^3;$$

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Для переноса частицы в горизонтальном направлении необходимо и достаточно выполнение неравенства:

$$F_d \geq F_c + k_d(g(m - V_{ч} \rho_{ж}) - F_{п}), \quad (8.6)$$

где k_d – коэффициент трения между частицей и дном канала.

Вследствие условий (8.5) и (8.6) при некоторых естественных допущениях, используя формулы Бернулли и Ньютона, получаем формулу для скорости потока, при котором частица будет поднята:

$$u_{к,в} \geq 2 \sqrt{\frac{g d_0}{3} \left(\frac{\rho_{ч}}{\rho_{ж}} - 1 \right)}, \quad (8.7)$$

где $\rho_{ч}$ – плотность частицы, кг/м³;

d_0 – диаметр частицы, м.

Скорость потока, при которой частица будет перенесена в горизонтальном направлении:

$$u_{к,г} \geq 2 \sqrt{\frac{2g d_0 k_d (\rho_{ч} - \rho_{ж}) - 12\tau_0}{3\rho_{ж} (\xi + 2k_d)}}, \quad (8.8)$$

где τ_0 – тангенциальное напряжение сдвига, кг/м · с²;

ξ – коэффициент сопротивления, м/с.

Для вычисления ξ можно использовать соотношение Ритингера:

$$\xi = \frac{\omega_{СК}}{\sqrt{g d_0 \left(\frac{\rho_{ч}}{\rho_{ж}} - 1 \right)}},$$

где $\omega_{СК}$ – средняя гидравлическая крупность частицы, м³.

Из формул (8.7) и (8.8) несложными выкладками получаем, что $u_{к,в} > u_{к,г}$, т. е. скорость потока, при которой частица будет поднята,

больше скорости потока, при которой частица будет перемещаться в горизонтальном направлении.

При турбулентном потоке частица будет перемещаться, если выполнено соотношение:

$$F_d \geq F_c + g(m - V_c \rho_{ж}). \quad (8.9)$$

Аналогично предыдущему находим критическую скорость потока, при которой частица будет перемещаться:

$$u_k \geq 2 \sqrt{\frac{g d_0 k_d (\rho_{ч} - \rho_{ж}) - b \tau_0}{3 \rho_{ж} \xi}}. \quad (8.10)$$

Таким образом, для условия перемещения частицы по каналу скорость потока должна быть больше или равна критической скорости, при которой частица будет перемещаться, т. е. $u \geq u_k$.

8.3. Математическая модель движения жидкого расслоившегося навоза по открытому замкнутому каналу

В результате лабораторных исследований [72] процесса расслаивания и предельного напряжения сдвига свиного бесподстилочного навоза в зависимости от влажности и продолжительности отстаивания был определен диапазон влажности (89 %–92 %) для самотечного перемещения навоза в канале. Дальнейшее увеличение влажности навоза сопровождается расслаиванием и образованием осадка. Уменьшение влажности увеличивает предельное напряжение сдвига. Большие значения предельного напряжения сдвига требуют большей глубины канала, что экономически нецелесообразно [72].

Наибольшее влияние на остаточный слой навоза в экспериментальном канале оказывает влажность навоза. Остаток навоза после опорожнения канала с увеличением значений влажности с 88 % до 98 % изменяется с 0,04 до 0,138 м. Причем с ростом значений влажности с 88 % до 90 % остаток навоза после опорожнения уменьшается, с 90 % до 98 % – остаток увеличивается, так как при значениях влажности более 90 % начинается расслоение навоза на фракции.

При дальнейшем увеличении влажности расслоение навоза повышается. Как показали экспериментальные исследования других авторов, значения влажности навоза для его самотечного перемещения должны

составлять 89 %–92 %, т. е. приближаться к показателям естественной влажности экскрементов [14, 16, 19, 21]. При добавлении в рацион свиной пасты из зеленой массы, силоса и других местных кормов текучесть навоза уменьшается за счет волокнистых включений. При этом жидкая фракция, плохо связанная с волокнистыми включениями, стремится вытечь в коллектор через незагерметизированные шиберные заслонки, и самотечное непрерывное удаление нарушается. Это объясняется тем, что оставшаяся густая фракция (значения влажности 80 %–82 %) плохо перемещается по каналу самотеком [72]. Таким образом, удаление навоза из канала возможно только при задержании в нем жидкой фракции и создании текучей гомогенной массы без осадка на дне канала или с его минимальным количеством.

При накоплении в каналах гидравлических систем жидкий навоз расслаивается: образуется осадок и жидкая фракция. Для интенсификации процесса перемещения навоза по закольцованному каналу гидравлической системы используют гомогенизатор определенной производительности.

Предположим, что движущая сила гомогенизатора обеспечивает производительность Q ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Рассмотрим установившееся движение (рис. 8.2) двух вязких несжимающихся жидкостей в канале прямоугольной формы длиной L (м). Ось V прямоугольной системы координат направим вдоль канала, ось x – вертикально вверх.

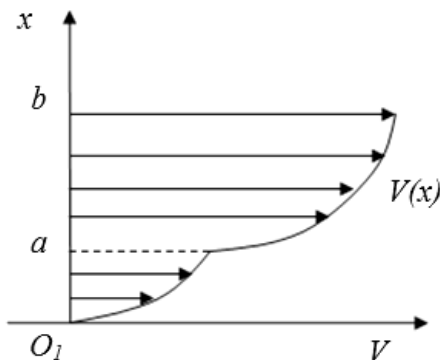


Рис. 8.2. Схема течения двух несмешивающихся жидкостей

В литературном источнике [76] приводится описание того, как исходя из уравнений Навье-Стокса и неразрывности потока может быть получено дифференциальное уравнение:

$$-\mu \frac{dV(x)}{dx} = c_0 x + c_1, \quad (8.11)$$

где μ – динамическая вязкость, Н·с/м²;

c_0, c_1 – произвольные постоянные интегрирования.

Далее обозначим:

$$c_0 = \frac{\Delta P}{L}, \quad (8.12)$$

где ΔP – перепад давления по длине канала, Па.

Данным дифференциальным уравнением будем описывать движение каждого слоя жидкости.

Интегрируя выражение (8.11), получим распределение скорости текущего осадка:

$$V_1(x) = -\frac{c_0}{2\mu_1} x^2 - \frac{c_1}{\mu_1} x + c_2, \quad (8.13)$$

и скорости верхнего слоя жидкости:

$$V_2(x) = -\frac{c_0}{2\mu_2} x^2 - \frac{c_1}{\mu_2} x + c_3, \quad (8.14)$$

где μ_1 – динамическая вязкость осадка, Н·с/м²;

μ_2 – динамическая вязкость верхнего слоя жидкости, Н·с/м²;

c_2, c_3 – произвольные постоянные интегрирования.

Произвольные постоянные интегрирования находим из граничных условий. Из условия прилипания по дну канала [77]:

$$x = 0, \quad V_1(0) = 0, \quad c_2 = 0.$$

На поверхности потока отсутствуют касательные напряжения сил трения, поэтому:

$$\left. \frac{dV_2(x)}{dx} \right|_{x=b} = 0, \quad -\frac{c_0}{\mu_2} b - \frac{c_1}{\mu_2} = 0, \quad c_1 = -c_0 b,$$

где b – высота слоя жидкой фракции, м.

Получаем зависимости:

$$V_1(x) = -\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_1}x; \quad (8.15)$$

$$V_2(x) = -\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_2}x + c_3. \quad (8.16)$$

Приравниваем скорости на границе раздела жидкостей $V_1(a) = V_2(a)$, получим:

$$\begin{aligned} -\frac{c_0}{2\mu_1}a^2 + \frac{c_0b}{\mu_1}a &= -\frac{c_0}{2\mu_2}a^2 + \frac{c_0b}{\mu_2}a + c_3; \\ c_3 &= \frac{c_0a(2b-a)}{2\mu_1} - \frac{c_0a(2b-a)}{2\mu_2} = \frac{c_0a(2b-a)}{2} \left(\frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2} \right), \end{aligned} \quad (8.17)$$

где a – высота слоя осадка, м.

Находим средние значения скоростей в канале:

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \frac{1}{a} \int_0^a V_1(x) dx = \frac{1}{a} \int_0^a \left(-\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_1}x \right) dx = \frac{1}{a} \left(-\frac{c_0x^3}{6\mu_1} + \frac{c_0bx^2}{2\mu_1} \right) \Big|_0^a = \\ &= \frac{1}{a} \left(-\frac{c_0a^3}{6\mu_1} + \frac{c_0ba^2}{2\mu_1} \right) = \frac{c_0a(3b-a)}{6\mu_1}; \end{aligned} \quad (8.18)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_2 &= \frac{1}{b-a} \int_a^b V_2(x) dx = \frac{1}{b-a} \int_a^b \left(-\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_2}x + c_3 \right) dx = \\ &= \frac{1}{b-a} \left(-\frac{c_0x^3}{6\mu_2} + \frac{c_0bx^2}{2\mu_2} + c_3x \right) \Big|_a^b = \frac{c_0(b-a)^2}{3\mu_2} + \frac{c_0a(2b-a)}{2\mu_1}. \end{aligned} \quad (8.19)$$

Составим условие материального баланса для канала прямоугольной формы:

$$\frac{\bar{V}_1 a h + \bar{V}_2 (b - a) h}{b h} = \frac{Q}{b h 3600} \text{ или}$$

$$\frac{\bar{V}_1 a + \bar{V}_2 (b - a)}{b} = \frac{Q}{b h 3600}, \quad (8.20)$$

где Q – производительность гомогенизатора, м³/с;

h – ширина прямоугольного канала, м.

Из последнего уравнения определяем постоянную c_0 и можем рассчитать все необходимые гидродинамические характеристики движения слоев жидкости.

Полученные распределения скоростей текучего осадка и верхнего слоя жидкости дают возможность рассчитать их средние скорости при некоторой заданной производительности гомогенизатора и время, необходимое для гомогенизации.

По полученным ранее зависимостям определим производительность гомогенизатора, необходимую для гомогенизации жидкого расслоившегося навоза в канале.

Критическую скорость потока, при которой частица навоза будет перемещаться по каналу, рассчитаем по формуле

$$u_{\text{к}} \geq 2 \sqrt{\frac{g d_0 k_{\text{д}} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) - 6 \tau_0}{3 \rho_{\text{ж}} \xi}},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

d_0 – диаметр частицы, м. Принимаем $d_0 = 0,0005 \text{ м}$ [22];

$k_{\text{д}}$ – коэффициент трения между частицей и дном, $k_{\text{д}} = 0,3$ [73];

$\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, кг/м³. Принимаем $\rho_{\text{ч}} = 1120 \text{ кг/м}^3$ [28,73];

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³. Принимаем $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ [28,73];

τ_0 – тангенциальное напряжение сдвига, кг / м · с². Принимаем $\tau_0 = 0,02 \text{ кг/м} \cdot \text{с}^2$ [14].

ξ – коэффициент сопротивления, м/с.

Для вычисления ξ используем соотношение Риттингера:

$$\xi = \frac{\omega_{\text{СК}}}{\sqrt{g d_0 \left(\frac{\rho_{\text{ч}}}{\rho_{\text{ж}}} - 1 \right)}},$$

где $\omega_{\text{СК}}$ – средняя гидравлическая крупность частицы, мм/с. Согласно [59, с. 6] $\omega_{\text{СК}} = 15$ мм/с при крупности частицы менее 1 мм.

Коэффициент сопротивления

$$x = \frac{0,015}{\sqrt{9,81 \cdot 0,0005 \left(\frac{1120}{1000} - 1 \right)}} = \frac{0,015}{0,024} = 0,625 \text{ м/с.}$$

Тогда

$$u_{\text{к}} \geq 2 \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,0005 \cdot 0,3(1120 - 1000) - 6 \cdot 0,02}{3 \cdot 1000 \cdot 0,625}} = 0,011 \text{ м/с.}$$

Таким образом, значение критической скорости потока, при которой частица навоза будет перемещаться по каналу, равно 0,011 м/с.

Далее, с использованием зависимостей (8.18), (8.19) и условия материального баланса (8.20), определяем средние скорости течения осадка \bar{V}_1 и жидкой фракции \bar{V}_2 в открытом канале прямоугольной формы при следующих исходных данных: динамическая вязкость осадка $m_1 = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$, динамическая вязкость верхнего слоя жидкости $m_2 = 0,01 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$, высота слоя осадка $a = 0,2$ м, высота слоя жидкой фракции $b = 1,0$ м, ширина прямоугольного канала $h = 1,2$ м.

Для приведенных данных получаем значения средних скоростей текучего осадка и верхнего слоя жидкой фракции, соответственно, $\bar{V}_1 = 0,012$ м/с и $\bar{V}_2 = 0,16$ м/с, при заданной производительности гомогенизатора $Q = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Таким образом, гомогенизатор производительностью $Q = 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ обеспечивает среднюю скорость текучего осадка $\bar{V}_1 = 0,012$ м/с больше

критической скорости $u_k = 0,011$ м/с, при которой частица навоза будет перемещаться по каналу, следовательно, может использоваться для гомогенизации жидкого навоза в канале с заданными параметрами.

Описанная выше математическая модель движения осадка и жидкой фракции в канале позволяет подобрать гомогенизатор требуемой производительности для гомогенизации навоза в каналах с различными геометрическими параметрами и реологическими свойствами гомогенизируемых сред.

Производительностью мешалки Q назовем тот объем смеси, который за 1 оборот мешалки приобретает линейную скорость V .

Пусть лопастная мешалка имеет радиус R , высоту H и совершает n оборотов в секунду. В частности, 1 оборот она совершает за время $T = 1/n$. За это время частица, находящаяся на расстоянии r от центра, проходит путь, равный $2\pi r$ и, соответственно, приобретает скорость, равную $\frac{2\pi r}{T} = 2\pi r n$. Следовательно, с точностью до

бесконечно малых порядка выше первого, смесь объемом $\pi((r + \Delta r)^2 - r^2)H \approx 2\pi H r \Delta r$ приобретает скорость, равную $2\pi r n$. Интегрируя по радиусу, получаем:

$$\int_0^R 2\pi r n \cdot 2\pi H r \Delta r = 4\pi^2 H n \int_0^R r^2 \Delta r = \frac{4\pi^2 H n R^3}{3}. \quad (8.21)$$

Следовательно, для производительности Q имеем равенство:

$$QV = \frac{4\pi^2 H n R^3}{3}, \quad (8.22)$$

откуда

$$Q = \frac{4\pi^2 H n R^3}{3V}. \quad (8.23)$$

8.4. Определение скорости и времени осаждения частицы в жидком гомогенизированном навозе

Рассмотрим процесс осаждения твердой частицы навоза после гомогенизации в канале гидравлической системы периодического

действия под воздействием силы тяжести, которая является движущей силой процесса.

Принимаем, что частицы имеют сферическую форму диаметром d , плотность ρ_T , объем V_T и массу m . Скорость частицы $\dot{\vartheta}$ по направлению совпадает с силой тяжести \vec{G} . При движении частицы на нее действует выталкивающая сила Архимеда \vec{F}_A и сила сопротивления среды (сила Стокса) \vec{F}_C (рис. 8.3).

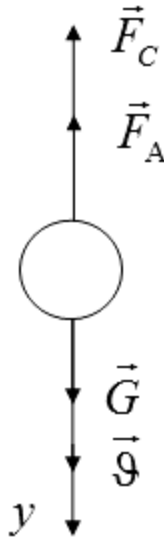


Рис. 8.3. Схема действующих на частицу сил

Напишем в декартовой системе координат уравнения движения твердой частицы в жидкости под воздействием силы тяжести [78].

$$m \frac{d\dot{\vartheta}}{dt} = \sum \vec{F}_i = \vec{G} + \vec{F}_C + \vec{F}_A. \quad (8.24)$$

Спроецировав на ось y , получим:

$$m \frac{d\dot{\vartheta}_y}{dt} = G - F_C - F_A. \quad (8.25)$$

Рассмотрим силы, входящие в уравнение движения (8.25).

Сила тяжести

$$G = mg = \frac{\pi d^3}{6} \rho_T g, \quad (8.26)$$

где m – масса частицы, кг;

d – диаметр частицы, м;

ρ_T – плотность частицы, кг/м³.

Сила Архимеда

$$F_A = \rho_E V_T g = \frac{\pi d^3}{6} \rho_E g, \quad (8.27)$$

где V_T – объем частицы, м³.

Сила гидродинамического сопротивления среды (сила Стокса), отнесенная к поперечному сечению:

$$F_c = \varphi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho_E, \quad (8.28)$$

где φ – коэффициент гидравлического сопротивления среды.

При условии постоянства скорости осаждения уравнение (8.25) примет вид:

$$G - F_c - F_A = 0.$$

Подставив выражения для действующих сил, получим:

$$\varphi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho_E = \frac{\pi d^3}{6} \rho_T g - \frac{\pi d^3}{6} \rho_E g. \quad (8.29)$$

Отсюда получаем скорость осаждения

$$\vartheta = \sqrt{\frac{4d(\rho_T - \rho_E)g}{3\varphi\rho_E}}. \quad (8.30)$$

Коэффициент сопротивления φ зависит от числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\vartheta d \rho_e}{\mu}. \quad (8.31)$$

В данном случае коэффициент сопротивления

$$j = \frac{18,5}{Re^{0,5}}. \quad (8.32)$$

Время осаждения частицы

$$t_{оч} = s / \vartheta, \quad (8.33)$$

где s – высота слоя жидкого навоза.

Полученное выражение (8.30) для определения скорости свободного осаждения u относится к режиму, при котором осаждающиеся частицы практически не оказывают влияния на движение друг друга. Процесс осаждения частиц в жидком навозе проходит в условиях, когда оседающие частицы влияют на движение друг друга, то есть концентрация твердых частиц такова, что происходит стесненное осаждение, скорость которого меньше, чем свободного, вследствие трения и соударений между частицами [65, с. 179].

Рассмотрим процесс отстаивания неоднородной системы, при котором наблюдается постепенное увеличение концентрации частиц на дне по направлению сверху вниз (рис. 8.4).

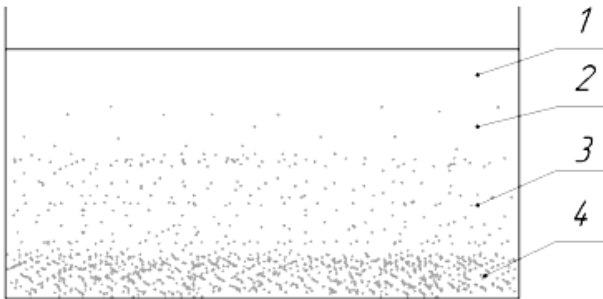


Рис. 8.4. Схема процесса отстаивания:
1 – осветленная жидкость; 2 – свободное осаждение;
3 – сгущенная суспензия; 4 – осадок

При этом образуются четыре зоны: зона 4 – слой осадка; зона 3 – сгущенная суспензия; зона 2 – свободного осаждения; зона 1 – осветленная жидкость.

В зоне сгущенной суспензии происходит стесненное осаждение частиц, сопровождающееся трением и взаимными столкновениями. При этом более мелкие частицы тормозят движение более крупных, а частицы больших размеров увлекают за собой мелкие частицы, ускоряя их движение. В результате наблюдается тенденция к сближению скоростей осаждения частиц различных размеров; возникает коллективное, или солидарное, осаждение частиц с близкими скоростями в каждом сечении сосуда [79].

Уменьшение скорости частиц по мере приближения ко дну объясняется тормозящим действием жидкости, вытесняемой осаждающимися частицами и движущейся в обратном направлении.

При этом высота отдельных зон изменяется во времени до момента полного расслоения неоднородной системы на осадок и осветленную жидкость. Это является следствием изменения скорости отстаивания u во времени t_{oc} (рис. 8.5) [80, с. 23].

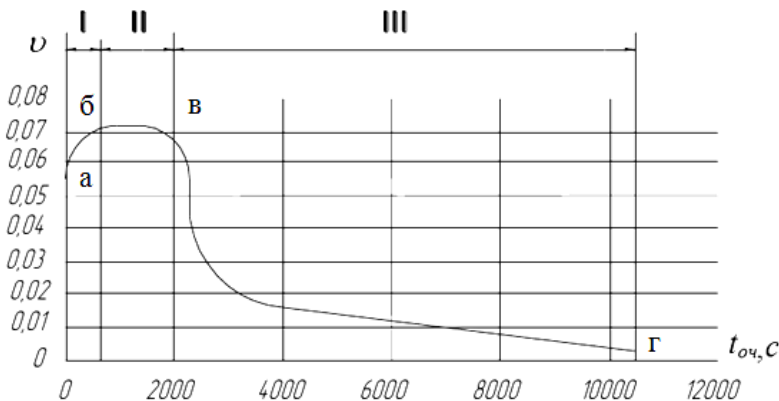


Рис. 8.5. График зависимости скорости отстаивания от времени

В начале отстаивания осаждаются преимущественно более крупные частицы, вызывающие наиболее интенсивное обратное движение жидкости. Однако по мере уменьшения концентрации этих частиц тормозящее влияние обратного тока жидкости ослабевает, и скорость отстаивания возрастает (см. рис. 8.5, отрезок а–б)

до момента установления динамического равновесия между действующей силой и силой сопротивления жидкости. В последующий период времени совместное осаждение частиц происходит с постоянной скоростью (см. рис. 8.5, отрезок $\bar{b}-\bar{в}$). На завершающей стадии процесса происходит уплотнение осадка, т. е. частицы располагаются близко друг к другу, и вытеснение жидкости становится затруднительным. При этом процесс отстаивания протекает с уменьшающейся скоростью (см. рис. 8.5, отрезок $\bar{в}-\bar{z}$).

Скорость стесненного осаждения меньше скорости свободного осаждения. Это объясняется тем, что при стесненном осаждении частицы испытывают не только большее сопротивление жидкости, но и добавочное сопротивление, обусловленное трением и соударениями частиц.

При осаждении частиц в стесненных условиях, когда их концентрация велика, проявляются следующие эффекты: столкновения частиц, приводящие к гашению скорости и как бы к увеличению сопротивления; увлечение меньших по размеру тихходных частиц более крупными, быстроходными, – консолидирование. Поэтому в естественных условиях расчетную скорость осаждения умножают на поправочный коэффициент ε , зависящий от концентрации C_v :

$$\varepsilon = \frac{(1 - C_v)^2}{1 + 2,5 \cdot C_v + 7,35 \cdot C_v^2}. \quad (8.34)$$

Необходимо учитывать, что если форма осаждающихся частиц отличается от сферической, сопротивление их движению возрастает, а скорость уменьшается. В этом случае используется поправочный коэффициент ψ , то есть $\vartheta_c = \psi \cdot \vartheta$.

Коэффициент ψ называется коэффициентом формы и определяется по формуле

$$\psi = \frac{F_{III}}{F}, \quad (8.35)$$

где F_{III} – поверхность шара, имеющего тот же объем, что и рассматриваемое тело, имеющее поверхность F .

В упрощенном виде для некоторых форм частиц коэффициент ψ можно определить по табл. 8.1.

Таблица 8.1

Поправочные коэффициенты ψ к скорости осаждения

Форма частиц	Коэффициент ψ
Округлая	0,77
Угловатая	0,66
Продолговатая	0,58
Пластинчатая	0,43

Таким образом, подставив в выражение (8.30) поправочный коэффициент ε и коэффициент ψ получаем скорость стесненного осаждения частиц в жидком навозе:

$$v_c = \varepsilon \psi \sqrt{\frac{4d(\rho_T - \rho_{Ж})g}{3\varphi\rho_{Ж}}} \quad (8.36)$$

Рассчитаем скорость и время осаждения твердых частиц различного диаметра в гомогенизированном жидком навозе. Плотность твердой частицы навоза принимаем равной 1120 кг/м^3 , динамическая вязкость гомогенизированного жидкого навоза при значении влажности 92 % составит $0,2 \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$, высота слоя навоза в канале 1 м. Результаты расчета сводим в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Скорость и время осаждения частиц различного диаметра в гомогенизированном свином навозе (значение влажности 92 %)

d , мм	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
v , м/с	0,00012	0,00031	0,00052	0,00071	0,00088	0,001	0,0012	0,0013	0,0014	0,0016	0,0017
Re	0,057	0,286	0,571	0,857	1,142	1,428	1,714	1,999	2,285	2,57	2,856
$t_{оч}$, с	8334	3225	1923	1408	1136	1000	833	769	714	625	588

Из данных табл. 8.2 видно, что с увеличением диаметра твердой частицы увеличивается скорость и уменьшается время ее осаждения, и чем меньше частица, тем большее время она находится во взвешенном состоянии.

При перемешивании жидкого навоза в канале частицы дисперсной фазы имеют сложное движение: вместе с потоком, создаваемым лопастями рабочего органа, они движутся вдоль канала со

скоростью V . При прекращении действия мешалки и открытии шиберной заслонки частицы некоторое время продолжают двигаться со скоростью V и одновременно опускаются со скоростью стесненного осаждения ϑ_c . Траектория частицы будет, очевидно, представлять собой годограф вектора абсолютной скорости, как геометрической суммы векторов V и J_c . Необходимо учитывать, чтобы при данной скорости осаждения J_c и скорости движения потока V , после прекращения действия гомогенизатора и открытии шиберной заслонки, время осаждения частиц $t_{оч}$ было равно времени движения жидкого навоза по каналу длиной L :

$$t_{оч} = \frac{s}{J_c} = \frac{L}{V}, \quad (8.37)$$

где s – высота слоя жидкого навоза, м;

ϑ_c – скорость стесненного осаждения частицы, м/с;

L – длина канала, м;

V – скорость движения навоза по каналу, м/с.

Сравнивая формулы (8.36) и (8.37), вычисляем длину канала

$$L = \frac{V \cdot s}{J_c}. \quad (8.38)$$

Полученные зависимости можно использовать для расчета процесса удаления навоза из каналов гидравлических систем животноводческих помещений с использованием гомогенизатора.

8.5. Определение потребной мощности на процесс гомогенизации жидкого навоза

При выполнении технологического процесса гомогенизации жидкого расслоившегося навоза, на перемещение лопастной мешалки в навозной массе затрачивается определенная мощность, величина которой главным образом зависит от геометрических параметров мешалки.

Основные геометрические размеры лопастных мешалок – диаметр и ширина лопасти.

Так как минимальная глубина навозного канала 0,6 м, принимаем максимальный диаметр лопастной мешалки 0,5 м, чтобы не повредить внутренние стенки канала и рабочий орган мешалки.

Ширину лопасти мешалки принимают исходя из выражения [65]:

$$l = 0,25D. \quad (8.39)$$

Тогда минимальная ширина лопасти мешалки:
 $l = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125$ м.

Так как расслоившийся жидкий навоз классифицируется как неньютоновская система со сложными нестационарными реологическими свойствами, представляет собой многофазную систему (плотный осадок и жидкая фракция), то для увеличения поверхности межфазного контакта, уменьшения кавитации и достижения требуемого потока, развиваемого мешалкой, используем лопастную мешалку с расширяющимися лопастями в форме сектора. Тогда длина внешней кромки лопасти $L_k = 0,2$ м, длина внутренней кромки лопасти $l = 0,125$ м.

Исходя из выбранных параметров лопасти, определим затраты мощности на преодоление сил сопротивления при вращении лопастной мешалки. Пусть лопасть мешалки симметрична, OO_1 – ее ось симметрии (рис. 8.6), а сама лопасть поставлена под углом α к плоскости, перпендикулярной оси мешалки. Пусть длина внешней кромки лопасти равна L_k , длина ее внутренней кромки, т. е. части лопасти, примыкающей к ступице, равна l . Пусть также внутренняя кромка отстоит от центра вращения O на расстояние e , внешняя кромка отстоит от внутренней на расстояние u .

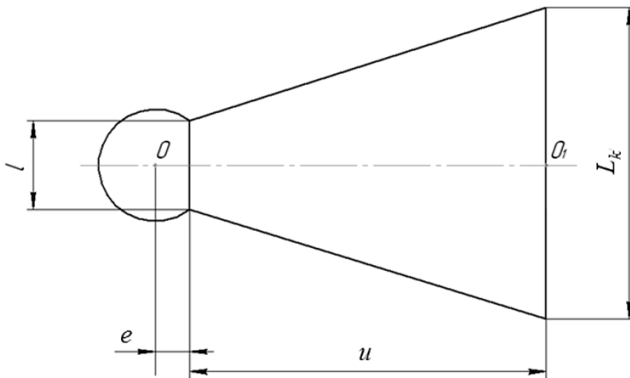


Рис. 8.6. Схема лопасти мешалки

Примем за начало координат центр вращения винта и направим ось Ox вдоль оси симметрии лопасти (рис. 8.7). Найдем уравнение прямой $y = kx + c$, содержащей боковую часть лопасти.

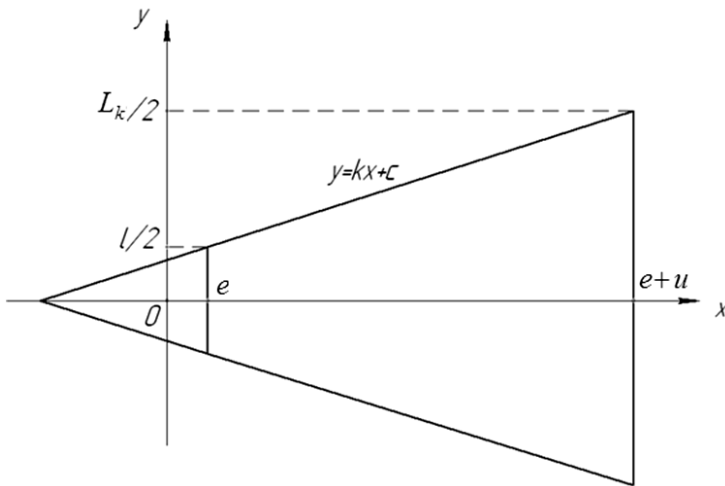


Рис. 8.7. Схема к расчету потребной мощности на гомогенизацию

В силу принятых обозначений и выбора осей координат эта прямая проходит через точки $(e, l/2)$ и $(e+u, L_k/2)$, значит, ее уравнение запишем как:

$$\frac{y-l/2}{L_k/2-l/2} = \frac{x-e}{(e+u)-e},$$

то есть

$$y-l/2 = \frac{(L_k-l)(x-e)}{2u}, \quad \text{или} \quad y = \frac{L_k-l}{2u}(x-e) + \frac{l}{2}. \quad (8.40)$$

Для определения затрат мощности на преодоление сил сопротивления вращения в жидкости лопасти винта возьмем на ней элементарную площадку $dS = 2L_k(x)dx$ (рис. 8.8).

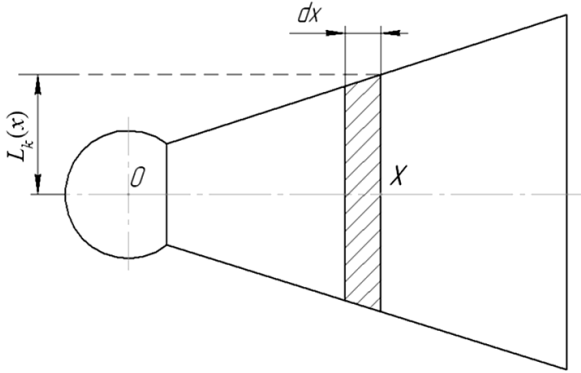


Рис. 8.8. Схема расположения элементарной площадки на лопасти мешалки

В силу выражения (8.40):

$$L_k(x) = \frac{L_k-l}{2u}(x-e) + \frac{l}{2},$$

то есть

$$dS = \left(\frac{L_k-l}{u}(x-e) + l \right) dx. \quad (8.41)$$

Так как лопасть поставлена под углом α к плоскости, перпендикулярной оси винта, то проекция dS_1 элементарной площадки будет равна:

$$dS_1 = \sin \alpha dS,$$

т. е. вследствие выражения (8.41):

$$dS_1 = \left(\frac{L_k - l}{u} (x - e) + l \right) \sin a \, dx. \quad (8.42)$$

Тогда элементарная сила сопротивления dF для этой площадки (выражение (8.42)) равна:

$$dF = k_{\text{уд.}} dS_1 = k_{\text{уд.}} \left(\frac{L_k - l}{u} (x - e) + l \right) \sin a \, dx,$$

где $k_{\text{уд.}}$ – удельное сопротивление движению в рассматриваемой жидкости, Н/м².

Элементарный момент dM сопротивления вращению этой элементарной площадки равен:

$$dM = k_{\text{уд.}} x dF = k_{\text{уд.}} \left(\frac{L_k - l}{u} (x - e) + l \right) x \sin a \, dx. \quad (8.43)$$

Суммарный момент M сопротивления равен интегралу от e до u от дифференциала (8.43), т. е. равен:

$$\begin{aligned} M &= \int_e^u dM = k_{\text{уд.}} \int_e^u x dF = k_{\text{уд.}} \sin a \int_e^u \left(\frac{L_k - l}{u} (x - e) + l \right) x dx = \\ &= k_{\text{уд.}} \sin a \int_e^u \left(\frac{L_k - l}{u} x^2 + \frac{l(e + u) - eL_k}{u} x \right) dx = \\ &= k_{\text{уд.}} \sin a \left(\frac{L_k - l}{u} \cdot \frac{x^3}{3} \Big|_e^u + \frac{l(e + u) - eL_k}{u} \cdot \frac{x^2}{2} \Big|_e^u \right) = \\ &= k_{\text{уд.}} \sin a \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e + u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right). \quad (8.44) \end{aligned}$$

Работа A сил сопротивления при вращательном движении при одном обороте ($\beta = 2\pi$) лопасти равна произведению момента сил относительно оси вращения на угол поворота:

$$A = 2pM = 2pk_{\text{уд.}} \sin a \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e+u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right).$$

Затраты мощности N_1 на перемещение одной лопасти в жидкости составят:

$$N_1 = \frac{Aw}{2p} = k_{\text{уд.}} w \sin a \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e+u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right), \quad (8.46)$$

где ω – частота вращения винта, для винта с z лопастями затраты N мощности равны:

$$N = N_1 z = k_{\text{уд.}} wz \sin a \left(\frac{L_k - l}{3u} (u^3 - e^3) + \frac{l(e+u) - eL_k}{2u} (u^2 - e^2) \right). \quad (8.47)$$

Из уравнения (8.47) видно, что мощность, затрачиваемая на перемещение лопастной мешалки в жидком навозе, зависит от геометрических параметров рабочего органа, физико-механических свойств навоза, частоты вращения рабочего органа.

В результате расчета по полученному выражению определено значение затрачиваемой мощности на перемещение лопастной мешалки в жидком навозе (значение влажности 92 %), равное 22,9 кВт, при значениях: удельное сопротивление движению лопасти мешалки в жидком навозе – 2,0 Н/м², частота вращения мешалки – 1000 мин⁻¹, количество лопастей мешалки – 4, угол установки лопастей – 35°.

Выводы

На основании уравнений Навье–Стокса и неразрывности потока построена математическая модель распределения скоростей осадка и жидкой фракции в замкнутом канале гидравлической системы.

На основании анализа построенной математической модели установлено, что скорости течения осадка и жидкой фракции под действием напора, создаваемого гомогенизатором, зависят главным образом от их физико-механических и реологических свойств и распределения слоев по высоте.

В результате анализа полученной зависимости установлены значения средних скоростей осадка и жидкой фракции при гомогенизации, соответственно, 0,013 и 0,17 м/с, при этом значение динамической

вязкости осадка – $0,2 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$, жидкой фракции – $0,01 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; производительность гомогенизатора принималась $430 \text{ м}^3/\text{ч}$, ширина прямоугольного канала – $1,2 \text{ м}$, высота слоя осадка – $0,2 \text{ м}$, высота слоя жидкой фракции – $0,8 \text{ м}$.

Аналитически получены уравнения для определения скорости и времени осаждения частиц различного диаметра в жидком гомогенизированном навозе.

На основании анализа полученных уравнений установлено, что с увеличением среднего диаметра частицы с $0,1$ до $5,0 \text{ мм}$ скорость ее осаждения увеличивается с $0,0014$ до $0,027 \text{ м/с}$, время осаждения уменьшается с 714 до 37 с .

Теоретическими исследованиями получено уравнение, позволяющее определить мощность, потребляемую гомогенизатором при гомогенизации жидкого навоза, учитывающее тип и геометрические параметры рабочего органа и физико-механические свойства навоза.

В результате расчета затрачиваемая мощность на гомогенизацию составила $22,9 \text{ кВт}$, при этом значение удельного сопротивления движению лопасти мешалки в жидком навозе – $2,0 \text{ Н}/\text{м}^2$, частота вращения мешалки – 1000 мин^{-1} , количество лопастей мешалки – 4 , угол установки лопастей – 35° .

9. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГОМОГЕНИЗАТОРА ДЛЯ ГОМОГЕНИЗАЦИИ НАВОЗА В ЗАМКНУТОМ КАНАЛЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Гомогенизация навоза в каналах гидравлических систем удаления его из животноводческих помещений является важной технологической операцией, обеспечивающей полноту уборки навоза из таких каналов и влияющей на микроклимат в животноводческом помещении.

Целью экспериментальных исследований процесса гомогенизации жидкого бесподстилочного навоза является изучение влияния режимных и геометрических параметров гомогенизатора на процесс гомогенизации жидкого навоза, определение оптимальных параметров рабочих органов гомогенизатора и режимов его работы.

9.1. Программа и методика исследований, обработка полученных экспериментальных данных

Для оптимизации конструкции гомогенизатора необходимо рассматривать множество факторов, влияние которых исследовано методом математического планирования эксперимента. Достижение оптимума возможно, если в качестве критерия (целевой функции) выбрать один параметр оптимизации, а другие параметры процесса принять в качестве ограничений.

Эффективность технологического процесса характеризуется двумя показателями – качеством перемешивания и энергоемкостью процесса. Однако координаты экстремумов этих функций обычно не совпадают. Поэтому в качестве целевой функции целесообразно принять качество перемешивания навоза, при котором количество сухого вещества в осадочном слое соответствует значению влажности 92 %, при котором обеспечивается гидротранспортабельность жидкого навоза с наименьшими затратами энергии.

С целью обоснования конструкционных и режимных параметров гомогенизатора проведены экспериментальные исследования, программой которых предусматривалось:

– выявление априорным ранжированием факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество перемешивания навоза, обеспечивающее полноту удаления его из канала;

– проведение многофакторного эксперимента с использованием центрального композиционного ортогонального плана второго порядка 2^3 ;

– обработка полученных экспериментальных данных;

– построение поверхностей отклика, отображающих зависимость количества сухого вещества в осадочном слое от факторов, установленных в результате априорного ранжирования.

На первом этапе исследований определена область факторного пространства, в котором количество сухого вещества в осадочном слое соответствует значению влажности 92 %, при котором обеспечивается гидротранспортабельность жидкого навоза [15–17, 19].

Осуществлен отбор факторов, наиболее сильно влияющих на качество перемешивания (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Факторы, влияющие на качество перемешивания навоза

Обозначение факторов	Наименование фактора
1. Физико-механические свойства среды	
x_1	Влажность
x_2	Вязкость
2. Параметры экспериментальной установки	
x_3	Частота вращения мешалки
x_4	Угол установки лопастей мешалки
x_5	Количество лопастей
x_6	Наружный диаметр мешалки
3. Технологические факторы	
x_7	Высота навозной массы в канале
x_8	Точка установки мешалки в канале

На основании анализа конструкции машины установлено, что такие факторы, как частота вращения мешалки ω (мин^{-1}), угол установки лопастей мешалки α (град) к плоскости, перпендикулярной оси вала гомогенизатора, количество лопастей z (шт.), угол β установки вала мешалки ко дну канала (град), наружный диаметр D мешалки (м), высота s навозной массы в канале (м), являются наиболее значимыми и недостаточно изученными.

Экспериментальные исследования выполнялись на специально изготовленной установке (рис. 9.1, 9.2).

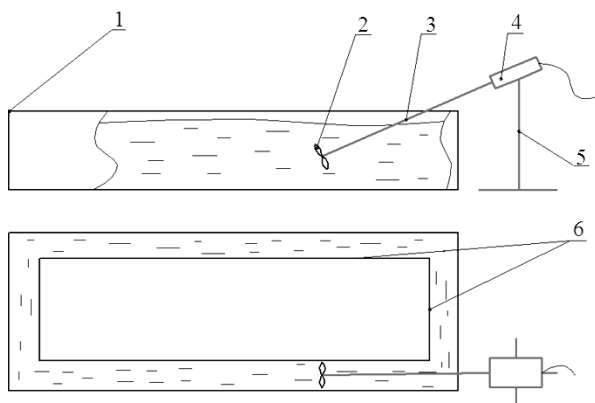


Рис. 9.1. Схема лабораторной модельной установки:
 1 – резервуар; 2 – лопастная мешалка; 3 – вал; 4 – электродвигатель;
 5 – стойка; 6 – перегородка

Установка создана с учетом основных законов теории подобия. При сохранении геометрического подобия выдерживалось и гидродинамическое.

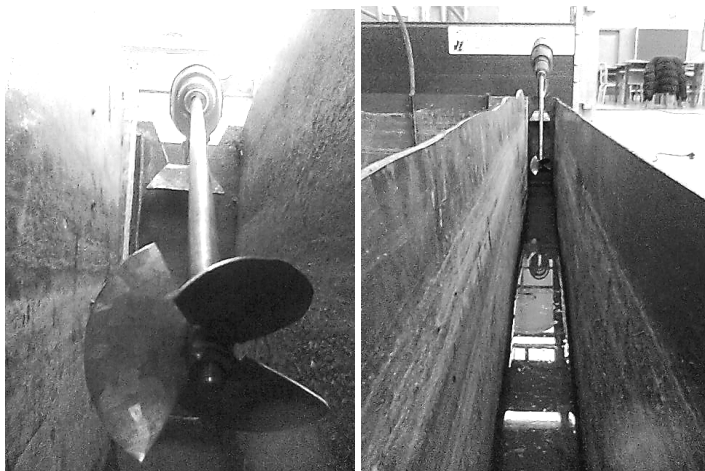


Рис. 9.2. Общий вид лабораторной модельной установки

Экспериментальная установка состоит из резервуара 1 (размер $2 \times 0,6 \times 0,3$ м), в котором имеются перегородки 6, стойка 5, на которой установлен электродвигатель 4 с валом 3, на конце которого закреплена

лопастная мешалка 2. Подставка имеет поворотную верхнюю часть, с помощью которой можно изменять угол наклона вала в резервуаре. Изготовлено 28 экспериментальных насадок, отличающихся количеством лопастей, разным углом их атаки и диаметром (рис. 9.3).

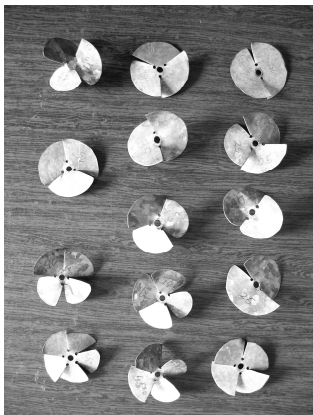


Рис. 9.3. Рабочие органы экспериментального гомогенизатора

Для измерения частоты вращения вала использовался электронный бесконтактный тахометр DeLaval VPR100 (рис. 9.4).



Рис. 9.4. Дисплей бесконтактного тахометра DeLaval VPR100 во время измерения частоты вращения лопастной мешалки

Из литературных источников известно [15–17, 19], что навоз становится гидротранспортабельным при значении влажности 92 %. Для проведения исследований был изготовлен аналог жидкого навоза со значением исходной влажности 92 %, в состав которого входили: вода, торфокрошка и 5 % от всей массы – силикатный клей. Готовый

аналог жидкого навоза загружался в лабораторную установку и выдерживался 48 ч. За это время происходило его расслоение на два слоя: нижний осадочный слой (осадок) и верхний слой (жидкая фракция). Измерения показали, что значения влажности составили: нижний осадочный слой – 78 %, верхний слой – 99 %. Далее в смесь погружался гомогенизатор, и происходило перемешивание.

При анализе качества перемешивания будем учитывать, что количество сухого вещества в осадке $m_{св}$ должно соответствовать гидротранспортабельности осадка жидкого навоза, а именно: количество сухого вещества в осадке должно соответствовать значению влажности 92 %, то есть влажности исходного навоза, загруженного в лабораторную установку. Опытным путем установлено, что при значении влажности навоза 92 % масса сухого вещества в пробе составляла не более 2,4 г.

Таким образом, описанная установка позволяет проводить исследования процесса перемешивания жидкого навоза в прямоугольном замкнутом канале и определять оптимальные технологические и конструкционные параметры рабочего органа и режимы работы.

Известны многочисленные методы определения влажности твердых тел и жидкостей. Их принято разделять на прямые и косвенные. Прямые методы подразумевают непосредственное разделение материала на сухое вещество и влагу, косвенные – измерение величины, функционально связанной с влажностью материала. Косвенные методы требуют предварительной калибровки с целью установления зависимости между влажностью материала и измеряемой физической величиной.

Наиболее распространенным прямым методом является метод высушивания (термогравиметрический), заключающийся в воздушно-тепловой сушке образца материала до достижения равновесия с окружающей средой; это равновесие условно считается равнозначным полному удалению влаги. На практике применяется высушивание до постоянной массы. В научных исследованиях и на машиноиспытательных станциях чаще применяют так называемые ускоренные методы сушки, когда сушка ведется при повышенной температуре.

Сущность метода заключается в следующем. После окончания процесса гомогенизации из готовой смеси отбирают пробы, которые подвергают ускоренной сушке в сушильном шкафу, далее пробы взвешивают на электронных весах.

Данный метод определения влажности обеспечивает необходимую точность результатов, доступен для использования как в лабораторных условиях, так и непосредственно в хозяйствах, и поэтому был принят при определении влажности и количества сухого вещества.

При контрольном отборе проб следует соблюдать условие равенства проб, взятых в разных точках экспериментальной установки. Для решения этой задачи предложен следующий способ отбора проб.

Объем емкости экспериментальной установки разбили на сорок равных частей вертикальной плоскостью. Таким образом, для взятия проб получили 40 равных объемов. По таблице случайных чисел в произвольном месте брали 15 чисел, не превышающих 40. Из объемов, обозначенных этими числами, пробоотборником брались пробы нижнего осадочного слоя, которые затем подвергали ускоренной сушке и взвешиванию. В каждой пробе определялось количество сухого остатка в соответствии с ГОСТ 31939–2012. В процессе определения массовой доли твердых частиц применялись стеклянные чаши диаметром 80 мм и высотой бортика 100 мм. Определялась масса чистой сухой чаши m_0 с точностью до 1 мг. В чашу отбиралась средняя проба материала по ГОСТ 9980.2–2014, масса пробы $(40 \pm 0,1)$ г. Взвешивалась проба для испытаний в чаше (m_1) с точностью до 1 мг. Затем чаша помещалась в сушильный шкаф, нагретый до значе- ний температуры 105 °С, и выдерживалась в шкафу в течение 240 мин. После окончания времени нагрева чаша переносилась в эксика- тор и охлаждалась до комнатной температуры. Затем взвешивалась чаша с остатком (m_2) с точностью до 1 мг. Массовая доля нелетучих веществ M рассчитывалась по следующей формуле:

$$M = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} 100\%. \quad (9.1)$$

Для ускоренной сушки использовался сушильный шкаф тип 2В-151. Взвешивание осуществлялось на электронных весах ВЛК-500 с точно- стью до 1 мг.

Согласно ОСТ 70.19.2–83 количество отбираемых проб должно быть равно 15, повторность опытов – трехкратная.

9.2. Обоснование выбранного плана эксперимента

Для построения уравнения регрессии выбран трехуровневый план эксперимента, приведенный в каталоге планов [81] для моде- лей второго порядка под № 58. Матрица плана в нормированных координатах представлена в табл. 9.2.

Матрица плана в нормированных координатах

X_1	X_2	X_3	X_4	$X_1(n)$	$X_2(\alpha)$	$X_3(z)$	$X_4(\beta)$
-1	-1	-1	-1	500	15	3	15
-1	-1	1	-1	500	15	5	15
-1	1	1	-1	500	35	5	15
-1	1	1	1	500	35	5	45
1	1	-1	-1	1500	35	3	15
-1	1	-1	1	500	35	3	45
-1	-1	-1	1	500	15	3	45
1	-1	1	1	1500	15	5	45
0	1	1	1	1000	35	5	45
1	0	-1	1	1500	25	3	45
1	0	1	-1	1500	25	5	15
1	1	0	1	1500	35	4	45
1	-1	0	-1	1500	15	4	15
1	1	1	0	1500	35	5	30
1	-1	-1	0	1500	15	3	30
0	0	-1	-1	1000	25	3	15
0	1	0	-1	1000	35	4	15
0	-1	1	0	1000	15	5	30
-1	1	0	0	500	35	4	30
-1	0	0	0	500	25	4	30

Выбор этого плана обоснован тем, что он имеет для нашего исследования ряд преимуществ, хотя в отличие от ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) не является ни композиционным, ни ортогональным. Композиционность не важна на этом этапе исследования, так как серия предварительных экспериментов показала, что в качестве модели следует выбрать полином не менее чем 2-го порядка [82, 83]. Неортогональность создает коррелированность коэффициентов регрессии, увеличив статистическую погрешность их оценки, но, согласно данным каталога, максимальный коэффициент корреляции коэффициентов уравнения регрессии второго порядка для плана № 58 равен 0,51, что некритично. Зато этот план обладает рядом полезных свойств для настоящего этапа исследований. В отличие от ОЦКП количество уровней варьирования каждого фактора не 5, а 3, что упрощает эксперимент. К тому же сочетания уровней факторов образует больше точек вблизи центра факторного пространства (с нулевыми точками), что позволяет получить больше информации о прогнозируемой зоне оптимума, а также оценить при необходимости взаимодействие квадратичных и главных эффектов факторов.

Уровни варьирования факторов приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Кодирование варьируемых факторов

Показатель	Варьируемые факторы			
	n , частота вращения мешалки, мин ⁻¹	α , угол установки лопастей мешалки, град	z , число лопастей мешалки, шт.	β , угол установки вала мешалки ко дну канала, град
Кодовое обозначение факторов	X_1	X_2	X_3	X_4
Основные уровни ($X_i = 0$)	1000	25	4	30
Интервалы варьирования	500	10	1	15
Нижние уровни ($X_i = -1$)	500	15	3	15
Верхние уровни ($X_i = +1$)	1500	35	5	45

9.3. Анализ гомогенности перемешанной навозной массы по длине канала

Анализ гомогенности перемешанной навозной массы по длине канала выполнен на основании результатов определения сухой массы в пробах, взятых в 4 точках с нарастающим удалением от мешалки (рис. 9.5).

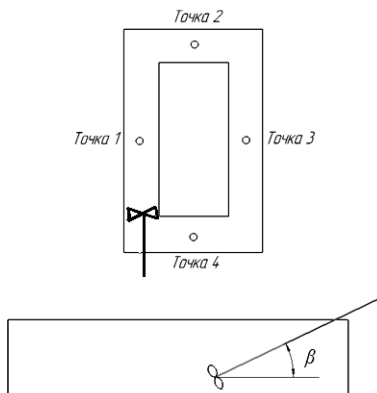


Рис. 9.5. Точки отбора проб

В каждой точке брали по 3 пробы при всех режимах перемешивания в соответствии с планом эксперимента (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Масса сухого вещества в осадке после перемешивания

Масса сухого вещества в осадке, г											
точка 1			точка 2			точка 3			точка 4		
3,9	3,5	3,6	3,8	3,7	3,7	3,5	3,8	3,6	3,9	3,5	3,8
3,8	3,6	3,5	3,7	3,5	3,6	3,5	3,7	3,6	3,7	3,8	3,5
3,4	3,2	3,3	3,3	3,2	3,5	3,2	3,2	3,4	3,5	3,3	3,2
3,5	3,4	3,6	3,4	3,5	3,7	3,6	3,6	3,4	3,4	3,4	3,6
2,3	2,4	2,1	2,1	2,3	2,2	2,3	2,2	2,4	2,2	2,4	2,2
3,5	3,6	3,5	3,4	3,7	3,5	3,6	3,6	3,7	3,5	3,7	3,5
3,8	3,9	3,7	3,7	3,8	3,7	3,9	3,8	3,7	3,7	3,9	3,9
3,5	3,6	3,3	3,3	3,5	3,4	3,3	3,7	3,4	3,4	3,6	3,2
2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4	2,3	2,5	2,4	2,3	2,3	2,5
2,5	2,6	2,8	2,7	2,8	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,7	2,6
2,5	2,4	2,6	2,4	2,6	2,5	2,4	2,6	2,6	2,7	2,4	2,6
2,2	2,4	2,3	2,3	2,4	2,2	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2
3,3	3,5	3,4	3,4	3,6	3,5	3,3	3,4	3,3	3,6	3,3	3,4
2,2	2,1	2,3	2,1	2,1	2,4	2,3	2,1	2,2	2,3	2,1	2,4
3,4	3,6	3,6	3,3	3,6	3,5	3,4	3,6	3,5	3,5	3,6	3,5
2,6	2,9	2,7	2,8	2,6	2,9	2,8	2,9	2,8	2,8	2,9	2,6
2,2	2,4	2,3	2,5	2,4	2,2	2,4	2,4	2,2	2,4	2,1	2,2
3,6	3,8	3,5	3,5	3,8	3,8	3,6	3,8	3,7	3,7	3,8	3,7
3,5	3,4	3,5	3,4	3,5	3,6	3,4	3,4	3,6	3,5	3,4	3,6
3,6	3,5	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,5	3,7	3,4	3,5	3,5

Для оценки влияния режимов перемешивания и точки отбора пробы выполнен двухфакторный дисперсионный анализ проведенных измерений ($20 \cdot 4 \cdot 3 = 240$).

На этом этапе все режимы рассматриваем как один фактор, варьируемый на 20 уровнях, точку отбора проб – как второй фактор, варьируемый на 4 уровнях. Цель дисперсионного анализа – установить, существует ли статистически значимое различие между режимами, между точками отбора и взаимовлияние режим–точка отбора.

Результаты анализа (табл. 9.5) показывают, что только режим перемешивания является статистически значимым фактором. Точка отбора и взаимовлияние точки отбора с режимом не оказывают существенного влияния на массу сухого вещества. Перемешанная масса гомогенна по всей длине канала перемешивания.

Таблица 9.5

Результаты дисперсионного анализа влияния режима перемешивания и точки отбора проб на массу сухого вещества

Эффект	Сумма кв. откл. <i>SS</i>	Степени свободы	Средний кв. откл. <i>MS</i>	Критерий Фишера <i>F</i>	Уровень значимости α
Точка	0,013	3	0,004	0,3	0,822
Режим	77,702	19	4,090	276,5	0,000
Точка×Режим	0,287	57	0,005	0,3	0,999
Ошибка	2,367	160	0,015		

Таким образом, результаты замеров сухого вещества при разных режимах обработки по всем 4 точкам взятия проб можно рассматривать как дубли опытов. Тогда реализованный план эксперимента представляет собой план из 20 опытов с 12 дублями.

9.4. Построение математической модели процесса гомогенизации с помощью регрессионного анализа

В соответствии с выбранным планом реализован эксперимент для исследования влияния режимов гомогенизатора на величину сухого остатка в пробах, результаты которого приведены в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Результаты статистической обработки экспериментальных данных

План эксперимента и результаты опытов						Расчетные значения и остаточные квадраты			
						Полином 2-го порядка		Полином неполного 3-го порядка	
X_1	X_2	X_3	X_4	\bar{Y}	S^2	Y^p	SR^2	Y^p	SR^2
-1	-1	-1	-1	3,692	0,02265	3,648	$1,899 \cdot 10^{-3}$	3,714	$4,903 \cdot 10^{-4}$
-1	-1	1	-1	3,625	0,01295	3,732	0,012	3,597	$7,787 \cdot 10^{-4}$
-1	1	1	-1	3,308	0,01356	3,204	0,011	3,311	$7,278 \cdot 10^{-6}$
-1	1	1	1	3,508	0,01174	3,446	$3,787 \cdot 10^{-3}$	3,507	$1,007 \cdot 10^{-6}$
1	1	-1	-1	2,258	0,01174	2,266	$5,630 \cdot 10^{-5}$	2,245	$1,770 \cdot 10^{-4}$
-1	1	-1	1	3,567	0,00970	3,540	$7,079 \cdot 10^{-4}$	3,531	$1,303 \cdot 10^{-3}$
-1	-1	-1	1	3,792	0,00811	3,809	$2,831 \cdot 10^{-4}$	3,817	$6,402 \cdot 10^{-4}$
1	-1	1	1	3,433	0,02242	3,496	$3,946 \cdot 10^{-3}$	3,429	$1,364 \cdot 10^{-5}$
0	1	1	1	2,375	0,00568	2,491	0,013	2,383	$5,840 \cdot 10^{-5}$
1	0	-1	1	2,658	0,01174	2,676	$3,416 \cdot 10^{-4}$	2,683	$6,250 \cdot 10^{-4}$
1	0	1	-1	2,525	0,01114	2,530	$2,611 \cdot 10^{-5}$	2,543	$3,397 \cdot 10^{-4}$
1	1	0	1	2,325	0,00750	2,199	0,016	2,308	$2,942 \cdot 10^{-4}$
1	-1	0	-1	3,417	0,01242	3,391	$6,871 \cdot 10^{-4}$	3,425	$6,018 \cdot 10^{-5}$
1	1	1	0	2,217	0,01424	2,223	$3,100 \cdot 10^{-5}$	2,226	$7,642 \cdot 10^{-5}$
1	-1	-1	0	3,508	0,00992	3,561	$2,760 \cdot 10^{-3}$	3,482	$6,646 \cdot 10^{-4}$
0	0	-1	-1	2,775	0,01477	2,711	$4,104 \cdot 10^{-3}$	2,771	$1,895 \cdot 10^{-5}$
0	1	0	-1	2,308	0,01538	2,426	0,014	2,303	$2,987 \cdot 10^{-5}$
0	-1	1	0	3,692	0,01356	3,522	0,029	3,694	$4,737 \cdot 10^{-6}$
-1	1	0	0	3,483	0,00697	3,554	$5,080 \cdot 10^{-3}$	3,537	$2,909 \cdot 10^{-3}$
-1	0	0	0	3,542	0,00629	3,582	$1,638 \cdot 10^{-3}$	3,503	$1,527 \cdot 10^{-3}$

Дисперсии всех опытов однородны по критерию Кохрена [84, с. 54]:

$$G_9 = 0,093 < 0,126 = G_{11, 20, 0,95}.$$

Следовательно, дисперсию воспроизводимости эксперимента можно оценить, как среднюю дисперсию по всем опытам плана $S_y^2 = 0,01213$.

Для аппроксимации полученной зависимости используем уравнение регрессии в виде полинома 2-го порядка:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i X_i + \sum_{i=1}^4 \sum_{k=i+1}^4 b_{ik} X_i X_k + \sum_{i=1}^4 b_{ii} X_i^2.$$

Статистически значимые коэффициенты регрессии, рассчитанные по алгоритму пошагового исключения незначимых по критерию Стьюдента коэффициентов, и 95 % доверительных интервалов приведены в табл. 9.7.

Таблицы 9.7

Коэффициенты уравнения регрессии 2-го порядка и их доверительные интервалы

Коэффициенты регрессии	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_{12}	b_{13}
	2,895	-0,399	-0,413	-0,022	0,066	-0,214	-0,020
Доверительные интервалы	$\pm 0,049$	$\pm 0,016$	$\pm 0,017$	$\pm 0,018$	$\pm 0,017$	$\pm 0,019$	$\pm 0,020$
Коэффициенты регрессии	b_{23}	b_{14}	b_{34}	b_{11}	b_{22}	b_{44}	
	-0,065	-0,035	0,021	0,289	0,171	-0,162	
Доверительные интервалы	$\pm 0,019$	$\pm 0,020$	$\pm 0,020$	$\pm 0,038$	$\pm 0,037$	$\pm 0,033$	

Расчетные значения параметра оптимизации по уравнению регрессии 2-го порядка со статистически значимыми коэффициентами (табл. 9.7) и остаточные квадраты приведены в табл. 9.6.

Однако анализ адекватности уравнения по критерию Фишера показывает, что уравнение регрессии 2-го порядка не позволяет адекватно описать результаты эксперимента:

$$S_{\text{ад}}^2 = 0,2054; F_9 = 16,93; F_{7, 220, 0,95} = 2,051.$$

Анализ точек плана, в которых наблюдаются наибольшие отклонения расчетных и экспериментальных значений, позволил предположить, что может быть существенным взаимодействие квадратичных и линейных эффектов. Для проверки этой гипотезы уравнение регрессии расширено до неполного кубического полинома:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ k=i+1}}^4 b_{ik} X_i X_k + \sum_{i=1}^4 b_{ii} X_i^2 + \sum_{\substack{i,k=1 \\ k \neq i}}^4 b_{iik} X_i^2 X_k.$$

Статистически значимые коэффициенты регрессии, рассчитанные по алгоритму пошагового включения, и 95 % доверительных интервалов приведены в табл. 9.8.

Таблица 9.8

Коэффициенты уравнения регрессии неполного 3-го порядка
и их доверительные интервалы

Коэффициенты регрессии	b_0	b_1	b_2	b_4	b_{12}	b_{14}	b_{34}
	2,895	-0,387	-0,675	0,055	-0,225	-0,020	0,023
Доверительные интервалы	$\pm 0,053$	$\pm 0,016$	$\pm 0,044$	$\pm 0,018$	$\pm 0,019$	$\pm 0,019$	$\pm 0,020$
Коэффициенты регрессии	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{44}	b_{112}	b_{113}	
	0,221	0,177	-0,053	-0,040	0,307	-0,035	
Доверительные интервалы	$\pm 0,039$	$\pm 0,037$	$\pm 0,036$	$\pm 0,038$	$\pm 0,048$	$\pm 0,020$	

Расчетные значения параметра оптимизации по уравнению регрессии неполного 3-го порядка со статистически значимыми коэффициентами (табл. 9.8) и остаточные квадраты приведены в табл. 9.6.

Анализ адекватности уравнения по критерию Фишера показывает, что уравнение регрессии неполного 3-го порядка:

$$Y = 2,859 - 0,387 X_1 - 0,675 X_2 + 0,055 X_4 - 0,225 X_1 X_2 - 0,020 X_1 X_4 + \\ + 0,023 X_3 X_4 + 0,221 X_1^2 + 0,177 X_2^2 - 0,053 X_3^2 - 0,040 X_4^2 + \\ + 0,307 X_1^2 X_2 - 0,035 X_1^2 X_3$$

адекватно описывает результаты эксперимента:

$$S_{ад}^2 = 0,0172; F_9 = 1,416; F_{7, 220, 0,95} = 2,051.$$

Как следует из значений коэффициентов регрессии, наибольшее влияние на процесс гомогенизации оказывают факторы X_1 и X_2 – скорость вращения вала мешалки и угол установки лопастей мешалки. Совокупность этих факторов в наибольшей степени определяет интенсивность создаваемого потока перемешиваемой массы. Влияние остальных факторов проявляется в основном через эффекты их взаимодействия с основными влияющими факторами.

9.5. Оптимизация процесса гомогенизации

Для поиска режима перемешивания, обеспечивающего минимальное значение остатка сухого вещества (максимальную гомогенность суспензии), численно в программе Mathcad решена задача оптимизации с ограничениями на факторы в соответствии с их интервалами варьирования:

$$Y(X_1, X_2, X_3, X_4) \rightarrow \min$$

$$-1 \leq X_1 \leq 1$$

$$-1 \leq X_2 \leq 1$$

$$-1 \leq X_3 \leq 1$$

$$-1 \leq X_4 \leq 1$$

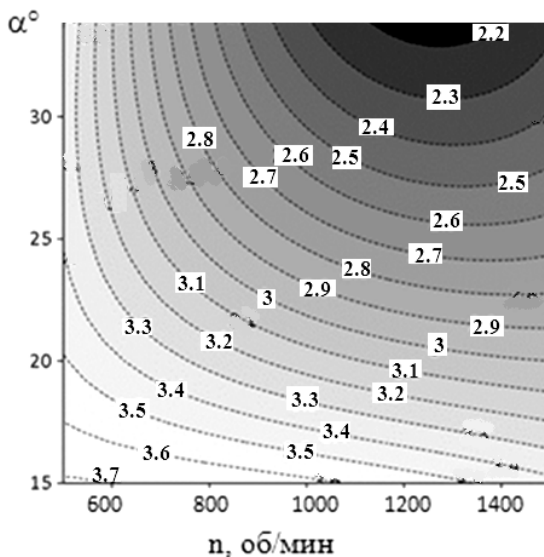
В результате найдены 4 граничных минимума (табл. 9.9).

Таблица 9.9

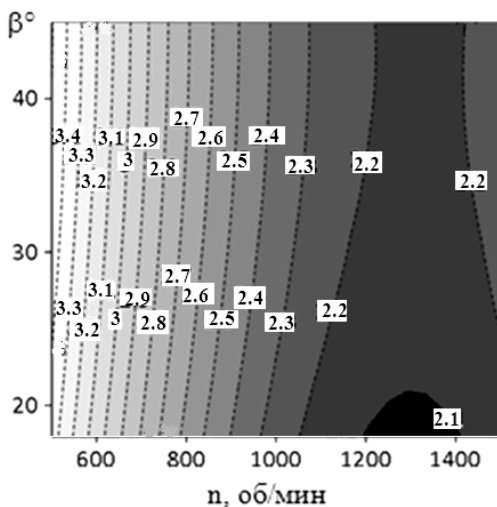
Режимы перемешивания, обеспечивающие наилучшую гомогенизацию

Нормированные факторы				Натуральные факторы			Отклик	
X_1	X_2	X_3	X_4	n , об/мин	α°	z	β°	Y , г
0,600	1	1	-1	1300	35	3	15	2,05
0,526	1	-1	-1	1260		5	15	2,12
0,561	1	-1	1	1280		5	45	2,16
0,641	1	1	1	1320		3	45	2,18

Для анализа полученного уравнения регрессии построены поверхности отклика, представленные на рис. 9.6.



a



б

Рис. 9.6. Сечения поверхности отклика (линии уровней расчетных значений массы сухого остатка) в координатных плоскостях:

a – скорость вращения вала–угол установки лопастей мешалки;

б – скорость вращения вала–угол установки вала мешалки ко дну канала

В результате анализа графиков (рис. 9.6) было установлено, что оптимальным по критерию гомогенности является режим перемешивания при скорости вращения вала гомогенизатора 1300 об/мин, установки 3 лопаток на угол 35°, угол наклона вала 15°.

Остальные 3 граничных минимума, обеспечивающие значения отклика, близкие к минимальному, связаны с менее значительным влиянием 3-го и 4-го факторов, оптимальные сочетания которых расположены в углах факторного пространства.

Полученные зависимости (см. рис. 9.6) позволяют определить диапазон параметров гомогенизатора, обеспечивающих качественное перемешивание и гидротранспортабельность жидкого навоза: частота вращения мешалки гомогенизатора 1000–1300 мин⁻¹, угол установки лопастей 35°, угол наклона вала 15°–45°.

В связи с тем, что ВОМ тракторов «Беларус» имеет частоту вращения 1000 мин⁻¹, для реализации оптимального режима перемешивания потребуется дополнительно установить промежуточный редуктор. Если это экономически не оправдано, то для поиска оптимального режима решение задачи найдено при следующих условиях:

$$Y(X_1, X_2, X_3, X_4) \rightarrow \min$$

$$X_1 = 0$$

$$-1 \leq X_2 \leq 1$$

$$-1 \leq X_3 \leq 1$$

$$-1 \leq X_4 \leq 1$$

В результате найдены 4 граничных минимума (табл. 9.10).

Таблица 9.10

Режимы перемешивания, обеспечивающие наилучшую гомогенизацию при частоте вращения вала 1000 мин⁻¹

Нормированные факторы				Натуральные факторы				Отклик
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	n, об/мин	α°	z	β°	Y, г
0	1	1	-1	1000	35	3	15	2.23
		-1	-1			5	15	2.27
		-1	1			5	45	2.34
		1	1			3	45	2.38

По сравнению с оптимальным режимом, реализуемым при высокой скорости вращения вала, количество сухого остатка возросло на 8 %, что не существенно, так как такая степень гомогенизации отвечает зоотехническим требованиям.

При определенных выше оптимальных параметрах гомогенизатора измеряли скорость движения жидкости по каналу. Значение минимальной скорости течения жидкости в процессе перемешивания, при которой осадок на дне канала становился гидротранспортабельным, составило 0,13 м/с. Таким образом, можем предположить, что полученное значение скорости движения жидкости является минимальным для обеспечения процесса эффективного перемешивания в прямоугольном канале жидкого расслоившегося навоза со значением влажности 92 %.

Зная скорость движения жидкости и длину канала экспериментальной установки, определяли время, требуемое на перемешивание навозной массы в канале (рис. 9.7).

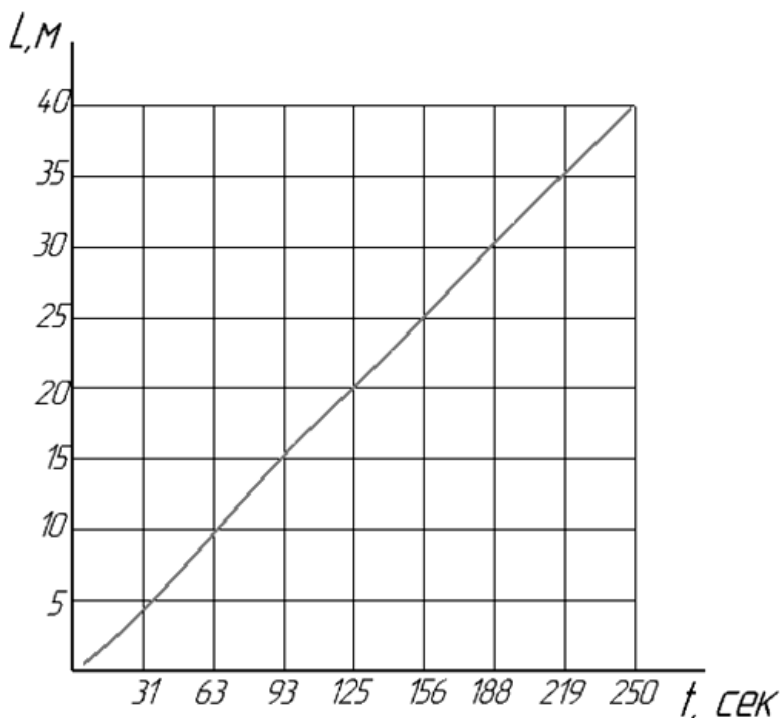


Рис. 9.7. График зависимости времени перемешивания навоза (значение влажности – 92 %) от длины канала

Как видно из данных графика, с увеличением длины канала увеличивается время на перемешивание навозной массы.

Зная объем жидкости в канале лабораторной установки (650 л) и время, за которое этот объем пройдет через сечение канала, определяли объемную производительность гомогенизатора, которая составила 120–130 л/с, или 430–468 м³/ч.

9.6. Определение мощности на процесс гомогенизации жидкого навоза

Важнейшим показателем работы любой машины является энергоемкость процесса. Для определения этого показателя была проведена серия опытов на лабораторной модельной установке (рис. 9.1)

по определению мощности потребляемой гомогенизатором с определенными оптимальными параметрами при перемешивании навоза в открытом замкнутом канале.

По результатам полученных экспериментальных данных построен график зависимости потребляемой мощности и степени смешивания от частоты вращения мешалки при значении влажности навоза 92 % (рис. 9.8).

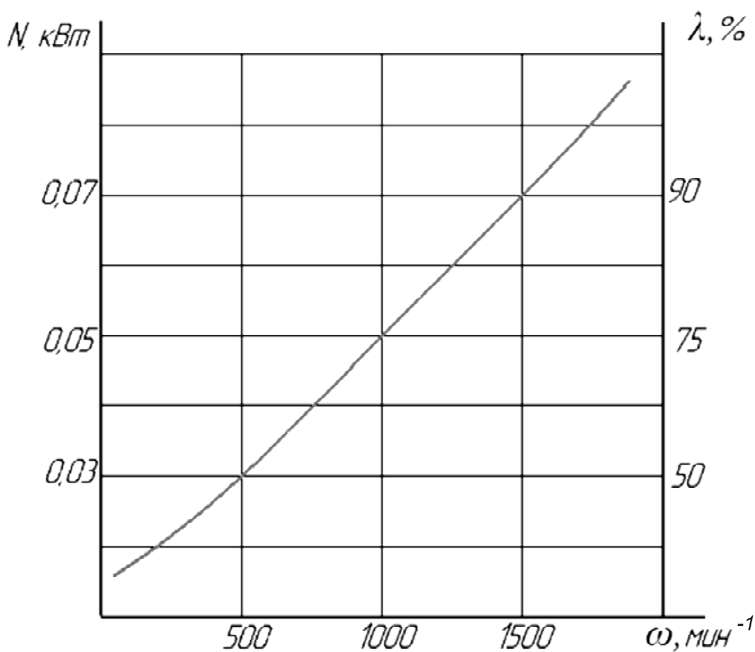


Рис. 9.8. График зависимости потребляемой мощности и степени смешивания от частоты вращения мешалки

Из данных графика (рис. 9.8) видно, что при заданной степени смешивания, равной 75 %, минимальные затраты энергии на перемешивание навоза (при значении влажности 92 %) составят 0,05 кВт·ч, при частоте вращения мешалки 1000 мин⁻¹. При дальнейшем увеличении числа оборотов мешалки увеличивается степень смешивания, но возрастают затраты энергии.

На основании результатов проведенных исследований был изготовлен образец гомогенизатора навесного ГН-1. Испытания изготовленного образца проводились по ГОСТ Р 52777–2007 «Техника

сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» с использованием мобильного аналого-цифрового преобразователя Spider-8 в навозохранилище КФХ «Бродок» Докшицкого района (Витебская область) в следующей последовательности: навешивание на трактор навесного гомогенизатора и установка на него измерительной и регистрирующей аппаратуры (рис. 9.9, 9.10), подъезд к навозохранилищу и погружение гомогенизатора, установка ВОМ трактора на необходимое значение и запись регистрируемых параметров.



Рис. 9.9. Общий вид гомогенизатора с измерительной аппаратурой



Рис. 9.10. Гомогенизатор в процессе перемешивания жидкого навоза

На основании полученных экспериментальных данных построен график (рис. 9.11).

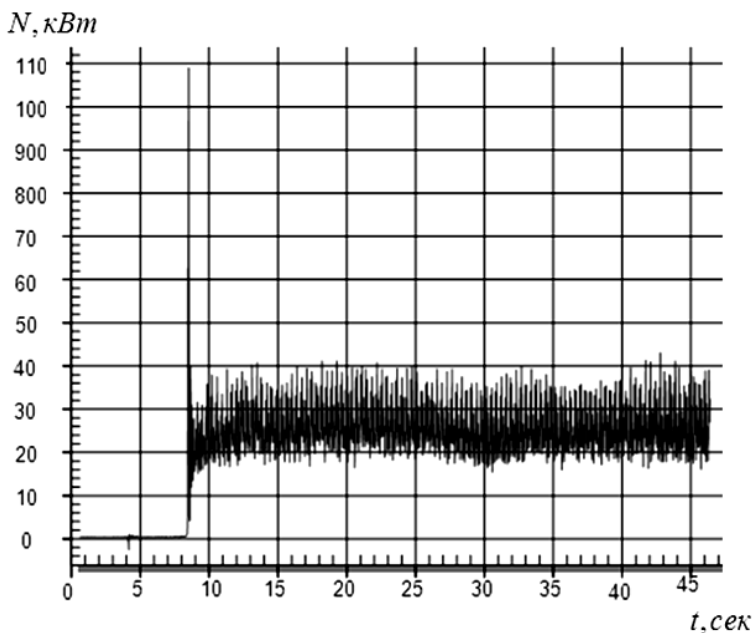


Рис. 9.11. График потребляемой мощности гомогенизатором при гомогенизации навоза (значение влажности 92 %) и частоте вращения ВОМ трактора 1000 мин^{-1}

Из данных графика (рис. 9.11) видно, что при значении влажности навоза 92 % и частоте вращения ВОМ трактора 1000 мин^{-1} затраты энергии на гомогенизацию навоза составили 22–24 кВт·ч.

Выводы

По результатам проведения экспериментально-теоретических исследований были получены зависимости, позволяющие определить оптимальные технологические и конструкционные параметры гомогенизатора, обеспечивающего перемешивание расслоившегося навоза в закольцованном канале гидравлической системы уборки навоза: частота вращения мешалки гомогенизатора – $1260\text{--}1300 \text{ мин}^{-1}$, угол установки лопастей – 35° , число лопастей – 3, угол наклона вала гомогенизатора ко дну канала – $15^\circ\text{--}45^\circ$.

По результатам проведения экспериментальных исследований установлено, что при определенных оптимальных параметрах гомогенизатора значение минимальной скорости движения навоза по замкнутому каналу, при котором происходит перемешивание и осадок становится текуч, составляет 0,13 м/с.

По результатам проведения экспериментальных исследований опытного образца гомогенизатора с использованием тензометрического оборудования установлено, что при перемешивании навоза 92 %-й влажности потребляемая мощность на процесс находится в пределах 22–24 кВт·ч, при частоте вращения рабочего органа гомогенизатора 1000 мин^{-1} .

10. РАЗДЕЛЕНИЕ НАВОЗА НА ФРАКЦИИ

В отдельных случаях, когда влажность навоза высокая и его суточный выход большой, используют метод разделения навоза на фракции [1].

Разделению на фракции в обязательном порядке подвергаются жидкий навоз и навозные стоки на свиноводческих предприятиях с поголовьем 12 тыс. свиней в год и более и на предприятиях крупного рогатого скота с поголовьем 2500 голов и более.

Целесообразность разделения жидкого навоза, жидкого помета, навозных и пометосодержащих стоков на фракции независимо от мощности предприятия в каждом конкретном случае должна быть дополнительно определена исходя из их влажности и требований к дальнейшей обработке, хранению и использованию. Разделению на фракции, как правило, подвергаются густые, содержащие до 12 % сухих веществ, и жидкие, содержащие менее 1 % сухих веществ, животноводческие стоки [1].

Разделение жидкого навоза и навозных стоков на фракции осуществляется гравитационным, механическим и комбинированным способами. Гравитационный способ применяется на предприятиях крупного рогатого скота в секциях навозохранилищ, на свиноводческих предприятиях – в горизонтальных отстойниках-накопителях, вертикальных и радиальных отстойниках. Для механического разделения жидкого навоза и навозных стоков на фракции применяются установки для грубодисперсных частиц (дуговые сита) типа СД-Ф-50, центрифуги типа УОН-Ф-835, виброгрохоты типа ГБН-100, сгустители (центрифуги) типа СВД и процеживатели типа ПСЖ. Используют шнековые сепараторы для разделения жидкого навоза, жидкого помета, навозных и пометосодержащих стоков на фракции. Животноводческие стоки – смесь твердых частиц и жидкости. Проблема заключается в том, чтобы отделить твердые частицы прежде, чем их загрязняющие окружающую среду элементы растворятся в жидкости. Удаление твердых частиц из жидких стоков навоза – ключевой момент в решении этой проблемы, цель которого – снизить содержание загрязняющих компонентов навоза, что позволит продлить срок службы и снизить объем отстойников, упростить технологию внесения, увеличить эффективность биологических очисток и минимизировать вредное влияние на окружающую среду. Жидкий навоз содержит свободную и связанную жидкость. Свободная жидкость отделяется самотеком, при помощи силы тяжести;

связанная жидкость находится в твердых составляющих навоза. Отстаивание, процеживание, стационарные и вибрационные сита могут удалить только часть свободной жидкости, а связанную жидкость они вообще не могут удалять. Кроме того, эти методы эффективны только при переработке очень жидких отходов (при значении влажности более 96 %), что усложняет проблему разделения стоков с высокой концентрацией сухих веществ (значение влажности – 80 % – 95 %), получаемых сплавными и механическими системами навозоудаления.

Для решения этой проблемы предусматривается применение шнекового сепаратора для разделения навозных стоков на фракции. Сепаратор представляет собой шнековый пресс, в котором прессование производится при помощи шнека, что позволяет выдавливать всю свободную воду и большинство связанной воды. Это единственный сепаратор для переработки навоза (помета), эффективно отделяющий до 85 % твердых составляющих из стоков навоза.

Эффективность отделения твердых составляющих зависит от размера ячеек сита, шнека, модели сепаратора, 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 %, концентрация сухих веществ в биомассе составляет до 40 %. Прессовый шнековый сепаратор производится в различных модификациях, с различными видами загрузочных горловин, барабанных сит с размером ячеек от 0,10 до 1,00 мм. Это позволяет эффективно применять сепаратор при различной влажности стоков. Производительность зависит от влияния различных факторов: исходной концентрации стоков, температуры, типа корма, срока хранения навоза, положения противовесов, регулирующих степень отжима.

Сепаратор характеризуется следующими свойствами:

- самоочищающийся, он не потребляет дополнительную воду. Обратное давление, создаваемое регулятором на выходе, можно менять и получать отделенные твердые составляющие с концентрацией сухих веществ на уровне 35 % – 40 %;
- изменяя положение противовесов, можно менять значения влажность твердой фракции на выходе от 33 % до 60 %;
- имеет высокую производительность, даже когда отделяет твердые составляющие с минимальной влажностью;
- отключается автоматически, когда прекращается подача;
- не нуждается в сложном обслуживании: чтобы научиться его обслуживать, необходимо недолгое обучение;

- производит материал, влажность которого оптимальна для компостирования в чистом виде;
- имеет простую, удобную систему управления. Пульт управления удобен, безопасен и прост в обращении. Возможна полностью автоматическая работа сепаратора;
- потребляет очень мало электроэнергии (от 4 до 11 кВт);
- оборудован специальной вибрационной системой, которая обеспечивает лучшие результаты на выходе и более высокую производительность;
- шнек сепаратора при изготовлении проходит специальную термическую обработку и армируется специальным покрытием, благодаря чему он может выдерживать высокие давления, создаваемые при работе сепаратора. Кроме того, изношенное защитное покрытие шнека может быть восстановлено;
- шнек и сито рассчитаны на ежедневную работу в течение 3 лет;
- сепаратор рассчитан на работу до 23 ч/сут 365 дней в году.

Сепаратор может быть смонтирован и будет работать в любое время года под открытым небом или под легким навесом. Есть возможность монтировать сепаратор на автоплатформе (рисунок). Этот вариант очень удобен, если есть несколько первичных емкостей-накопителей, расположенных на удаленном расстоянии. Сепаратор можно перевозить на место работы.



Рисунок. Шнековый сепаратор на транспортной тележке

Система сепарации работает следующим образом. Стоки навоза из производственных корпусов направляются в приемный резервуар для текущего накопления и усреднения (перемешивания) перед процессом разделения. Для обеспечения процесса усреднения применяется мешалка (миксер-гомогенизатор), которая создает однородную консистенцию вещества на входе, либо насос с функцией гомотенизации. Насос с измельчающим механизмом, режущими кромками перекачивает однородную жижу в сепаратор. Подавать на сепаратор первичное вещество возможно различными способами: насосом, самотеком из приемного бункера, ленточным конвейером. Благодаря встроенному перепускному клапану избыток стоков возвращается обратно в резервуар самотеком. Внутри впускной секции осциллятор создает колебательное давление в жидкости, что ведет к улучшенной производительности и более высокой пропускной способности, особенно вязкой жидкости. Стоки, попав в камеру шнека, сначала обрабатываются вибрационным устройством, что способствует более эффективному обезвоживанию на последующих стадиях сепарирования. Далее часть свободной воды отделяется через сито самотеком, и отделенная вода выходит через выпускной патрубок сепаратора. Вода, связанная в твердых составляющих, выжимается при прессовании массы, которое происходит на последних двух витках шнека. В сите волокнистые твердые вещества отделяются от жидкости. Волокна создают фильтрующий слой, который задерживает более мелкие частицы в жидкости. Лопастей шнека продвигают этот слой к выпускному отверстию. Поверхность сита очищена, и образуется новый фильтрующий слой. Конструкция сита не допускает образования пробок. Давление в первой части сита низкое и увеличивается по мере возрастания концентрации твердых веществ в выходящем продукте. Сила трения твердой заглушки в цилиндрической раструбе и двойной заслонки регулятора выходного отверстия создает противодавление. Сила прессования регулируется противовесами, определяющими обратное давление, создаваемое на выходе сепаратора. Производительность зависит от влияния различных факторов: размера ячейки сита, исходной влажности стоков, температуры, срока хранения навоза, положения противовесов, регулирующих степень отжима. После отделения твердая фракция сваливается в V-образный приемный бункер (или в тракторную тележку) с интегрированным

в дно шнековым транспортером, затем подается в тракторный прицеп и перевозится на площадку для хранения, переработки и последующего использования таким же образом, как и свежий навоз (помет) с высоким содержанием сухих веществ.

Отделенная жидкость перекачивается на хранение в хранилище жидких стоков (железобетонные или металлические емкости, лагуны и т. д.) и используется в дальнейшем в качестве жидкого удобрения.

Жидкость, отделенную сепаратором, можно перекачивать обычным насосом для сточных вод или транспортировать самотеком даже по тонким трубам, поскольку в ней содержится мало сухих веществ и различных примесей. Жидкая фракция, отделенная при помощи сепаратора, содержит только мелкодисперсные твердые частицы, находящиеся в растворенном состоянии. Жидкая фракция после сепарации характеризуется высоким содержанием положительных биогенных элементов и благоприятным соотношением питательных веществ фосфора, азота и калия – 1,4:1,0:1,6. Жидкая фракция используется в качестве органического удобрения при орошении почв. При использовании жидкости в качестве удобрения почвы она перекачивается насосами высокого давления по длинным трубам для использования в системах внутрпочвенного орошения, дождевания и капельного полива, при этом не создавая загрязнений в трубопроводах. Отделенная жидкость из отстойника или лагуны выкачивается без предварительного перемешивания и может быть использована для орошения вместо аммиачной воды. Поэтому лагуну можно сооружать с использованием пленки, так как не требуется ее очистка от плотных донных отложений и поверхностной корки. Использование отделенной жидкой фракции часто осложнено по известным причинам, таким, как неприятные запахи и патогенность содержащейся в них микрофлоры.

Преимущества технологии сепарации навозных стоков:

1. Жидкая фракция:

– сокращение объемов лагун на 5 %–10 % за счет удаления твердой фракции;

– сокращение объемов лагун еще в два раза за счет того, что время естественного обеззараживания жидкой фракции – 6 месяцев, неразделенного навоза – 12 месяцев, т. е. за счет увеличения в два раза оборачиваемости лагун, отстойников;

– за счет того, что в лагунах хранится только мелкодисперсная жидкость с диаметром частиц до 0,25 мм; гидроизоляция лагун производится не бетонным экраном, а пленочным, что в два раза сокращает стоимость возведения лагун;

– легкость транспортирования мелкодисперсной фракции по трубам на большие расстояния, что делает эту технологию совместимой с катушечной технологией внесения жидкого удобрения непосредственно на поля;

– объем навоза сокращается на 15 %–30 %;

– удобство при транспортировке и хранении;

– не образует плотных слоев – нет необходимости дополнительного перемешивания;

– после извлечения твердых элементов и углерода уменьшаются потери азота (NH_3 , CH_4 , N_2O) в процессе хранения и внесения;

– значительное уменьшение неприятного запаха;

– возможность точного анализа составляющих элементов и, как следствие, определение точных сроков внесения;

– небольшая концентрация питательных веществ;

– хорошая усвояемость почвой и растениями;

– возможность длительных сроков внесения;

– простая и недорогая система внесения;

– незначительные затраты энергии при перекачивании и транспортировке;

– минимальное содержание семян сорных растений (особенно щавеля).

2. Твердая фракция:

– высокое содержание твердых веществ позволяет длительное хранение без применения специальных мер;

– высокое содержание сухой субстанции (от 30 %) обеспечивает возможность ферментирования в произвольном хранении;

– широкий спектр применения даже не в сельскохозяйственной отрасли, где необходимы растительные питательные вещества;

– легко перевозить и расфасовывать.

11. ТРАНСПОРТИРОВКА НАВОЗА ИЗ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ К МЕСТУ ХРАНЕНИЯ (ПЕРЕРАБОТКИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЯ)

Транспортирование навоза от животноводческих помещений до сооружений сбора, карантинирования и подготовки его к использованию в зависимости от принятого способа удаления навоза из помещений может осуществляться стационарными транспортными средствами, мобильным или гидравлическим транспортом. Стационарные транспортные средства применяются для подачи навоза от механических средств навозоудаления, расположенных в животноводческих помещениях, в навозосборники и прифермские навозохранилища. Мобильный транспорт используется для транспортирования подстилочного, полужидкого и жидкого навоза при размещении мест хранения вдали от животноводческих помещений. Гидравлический транспорт используется для транспортирования жидкого навоза, навозных стоков, жидкой фракции и других продуктов очистки и переработки навозных стоков. Между животноводческими помещениями и навозохранилищами помимо навозосборников должно быть не менее трех карантинных навозоприемников. Их используют для промежуточного выдерживания (карантинирования) навоза в течение 6 суток. В случае отсутствия на комплексе особо опасных заболеваний навоз после 6-суточного карантинирования перекачивают насосом в навозохранилище. Погрузка навоза осуществляется цепочно-скребковыми, шнековыми транспортерами, пневматическими установками или поршневыми насосами. Выбор погрузочного устройства взаимосвязан с выбором транспортного средства. Твердый навоз в большинстве случаев вывозят в хранилища тракторными прицепами. Если хранилище не далее 30 м от животноводческих помещений, навоз можно подавать и распределять в нем скребковыми транспортерами. Транспортировка жидкого навоза в навозохранилище по каналам самотеком является самой экономичной. Однако такой способ может быть применен только тогда, когда рельеф местности позволяет выдержать уклон канала не менее 2,5 %, то есть когда навозохранилище находится ниже животноводческих помещений. Короткие каналы делают в виде желобов прямоугольного сечения, сложенных из кирпича, собранных из железобетонных или отлитых из бетона. Ширина таких каналов обычно бывает не менее 50 см; через каждые 20–25 м длины канала делают смотровые колодца. При

большой протяженности навозопроводов первые 3 м их выполняют в виде желоба прямоугольного сечения, остальную часть – из асбоцементных труб диаметром 40–50 см.

Если рельеф местности не позволяет подавать навоз самотеком непосредственно в навозохранилище, как правило, предусматривают навозосборники с насосами. Для транспортировки вязкого и негомогенного навоза от здания до места хранения (обработки) наиболее пригодна трубопроводная установка УТН-10, которая состоит из поршневого насоса гидроприводной станции, навозопровода и шкафа управления. При использовании насосов навозохранилища могут находиться за пределами комплекса или фермы. Для перекачки жидкого навоза из навозосборников используют фекальные насосы и специальные насосы НЖН-200, НЦВ-2, ПНЖ-250, ЦМФ-160. Глубина выгрузки насосами НЦВ-2 и ЦМФ 160 не ограничена, так как они могут быть опущены на дно хранилища. Горизонтальные фекальные насосы ФГ 81/19 и ФГ 144/46 переоборудуют, заменяя всасывающий патрубок и крыльчатку. Крыльчатку снабжают двумя ножами, вращающимися вместе с ней, а во всасывающем патрубке устанавливают два неподвижных (противорежущих) ножа. Для надежной работы трубопроводов, оборудования, машин и дождевальных установок крайне необходимо обеспечить насосы приспособлениями для измельчения остатков корма (сена, соломы, початков и стеблей кукурузы, корнеплодов и т. д.). Предельная высота всасывания насосов, работающих под заливом, – до 6 м.

Для перекачивания по трубам жидкого и полужидкого навоза из навозосборников в транспортные средства или навозохранилища применяют и шнековые насосы. Шнековый насос можно использовать в качестве питателя центробежного насоса при транспортировании навоза по трубам на дальние расстояния. Использование перечисленных средств характеризуется рядом недостатков. Так, применение мобильных средств для транспортировки навоза в хранилище ведет к необходимости ежедневного использования трактора с тележкой, даже в праздничные и выходные дни, и загрязнению территории фермы. Кроме того, мобильные средства, транспортеры, центробежные и шнековые насосы исключают возможность нижней подачи навоза в навозохранилище, что в зимний период ведет к традиционному замораживанию всей массы. По этой причине не соблюдаются сроки внесения органических удобрений в весенний период, и наблюдаются большие потери биогенных элементов.

12. ХРАНЕНИЕ НАВОЗА

Хорошо известно, что краеугольным камнем эффективности действия органических удобрений, получаемых из навоза или помета, является его хранение [1]. Правильное хранение навоза и жижи в течение длительного времени (в Республике Беларусь период хранения достигает 200 дней) приводит к сохранению микроэлементов, необходимых для питания растений, предотвращает загрязнение окружающей среды, вызванное вымыванием части микроэлементов и попаданием их в почву и воду, уменьшает распространение инфекционных и паразитарных болезней. Возбудители заразных болезней способны долго сохраняться в навозе и вызывать заражение полей. Ввиду этого складирование должно обеспечить возможность для биотермического обеззараживания зараженного навоза (помета). Поэтому главной задачей после удаления навоза из помещений животноводческого хозяйства, где содержатся животные, является организация его складирования и хранения в специально оборудованных навозохранилищах. Навозохранилище – сооружение, используемое для хранения навоза и приготовления из него органического удобрения, а в случае возникновения инфекционных или инвазионных болезней среди животных – для обеззараживания навоза. В практической деятельности сельскохозяйственных предприятий имеются два подхода к организации хранения навоза (помета): сооружение отдельно стоящих навозохранилищ и оборудование животноводческих помещений подпольными навозохранилищами. В практической деятельности животноводческих хозяйств большое распространение получило сооружение отдельно стоящих навозохранилищ, а устройство подпольных навозохранилищ применяется только отдельными хозяйствами, на фермах и комплексах, построенных в 70-е гг. XX в. Навозохранилище под щелевым полом здания располагают при низком уровне грунтовых вод и надежно гидроизолируют днища и стены. Вместимость подпольного хранилища должна обеспечивать хранение навоза в течение всего стойлового периода при одно-двухразовой выгрузке в год, глубина – возможность механизированной выгрузки. При использовании фронтально-перекидных погрузчиков она должна быть не менее 5 м, при выгрузке канатно-скреперной установкой – не менее 3 м.

Ширину подпольных траншей делают не менее 2,8 м. Днище хранилища выполняют с уклоном 0,25 %–0,50 % в сторону выгрузного торца. В самом глубоком месте устраивают приямок размером 1×1 м, глубиной 0,5–0,6 м для откачки жижи из хранилища. Для выгрузки навоза в торце подпольного хранилища устраивают пандус с уклоном не более 20 %. Перед выгрузкой навоза из подпольного хранилища жижу откачивают насосом НЖН-200. Недостатком и причиной редкого использования, а в некоторых случаях и отказом от использования подпольного хранения навоза, является накопление в животноводческих помещениях вредных газов, выделяемых навозом в процессе хранения, которые отрицательно влияют как на работников ферм, так и на животных.

Основными типами отдельно стоящих навозохранилищ являются:

- открытое наземное навозохранилище, которое представляет собой углубленную на 0,5–1,5 м площадку с твердым покрытием;
- открытое заглубленное навозохранилище, представляющее собой вырытый котлован, стены и дно которого облицованы гидроизоляционными материалами;
- закрытое навозохранилище, представляющее собой вырытый котлован, стены и дно которого облицованы гидроизоляционными материалами и над которым устроена плавающая «крышка» из гидроизоляционного материала;
- закрытое навозохранилище, представляющее собой пристройки к животноводческим помещениям или отдельные сооружения в виде траншей, которые устраиваются под полом животноводческих помещений; стены, дно и перекрытия закрытого навозохранилища облицовываются гидроизоляционными материалами;
- закрытое навозохранилище, которое представляет собой подземный резервуар из бетона с крышей;
- открытое или закрытое наземное навозохранилище, которое представляет собой металлический или бетонный цилиндрический резервуар;
- гибкие резервуары.

При выборе любого из этих типов организации хранения навоза (помета) важной задачей является качественная гидроизоляция почвы, поскольку в навозе могут содержаться возбудители опасных заболеваний. Гидроизоляцию можно выполнить «по старинке», залив необходимую площадь бетоном, или же с использованием

качественных полимерных материалов, что обойдется существенно дешевле и позволит намного увеличить эксплуатационный период навозохранилища. Сроки возведения хранилищ с использованием полимеров (специальные пленки, полиэстер, поливинилхлорид) также значительно меньше. Выбор материала зависит главным образом от уровня грунтовых вод, особенностей самого грунта и размера бюджета хозяйства [1].

Основными факторами, влияющими на размер навозохранилища, являются: поголовье стада и возраст животных; количество дней хранения навоза; ожидаемое количество возможного попадания жидкости (протечка поилок, вода после мойки помещений и т. д.); продолжительность стойлового периода и то, какие средства механизации используются; готовность навоза для внесения в почву (в весенне-летний период на созревание навоза требуется, как правило, 2–3 месяца, в зимнее время – 3–4).

Стандартный минимальный период хранения навоза и жижи составляет 200 дней, однако размер хранилища обычно учитывает возможность хранения в течение всего года. Обычно навозохранилища строятся объемом 25 %–40 % зимнего выхода навоза, полевые навозохранилища – объемом 60 %–75% весенне-летнего выхода навоза. В каждом хозяйстве проектируется и оборудуется свой тип хранилищ навоза (помета) в зависимости от того, какой вид и количество скота содержится на животноводческой ферме, будет ли навоз в дальнейшем применяться как органическое удобрение или же утилизироваться, каких размеров и где располагается ферма, ее расположение относительно населенного пункта, какие климатические условия и характер грунта в данной местности, наличие финансовых возможностей, материальных и технических средств и пр. Продолжительность хранения навоза (помета) и удобрений на их основе для обеспечения экологической безопасности определяется длительностью периода отрицательных температур и составляет от 4 до 10 мес. Для хранения подстилочного навоза со значением влажности до 85 % и твердой фракции бесподстилочного навоза предусматривают незаглубленные водонепроницаемые площадки, окаймленные канавами, или навозохранилище глубиной до 2 м. Дно навозохранилища, как правило, монолитное, бетонное, с уклоном 0,003° в сторону жижесборника; стены – с одной или трех сторон из камня, монолитного

бетона или бетонных плит. Для хранения полужидкого навоза (значение влажности до 92 %) и жидкого (до 97 %) предусматривают заглубленные или наземные навозохранилища, глубина которых зависит от соответствия техническим характеристикам средств выгрузки, но не более 5 м. Такие навозохранилища должны иметь водонепроницаемые стены и дно, устройства для забора жидкого навоза насосами, а хранилища траншейного типа – съезд с уклоном 0,15°. Навозохранилища для неразделенного на фракции свиного навоза оборудуют устройствами для перемешивания. В навозохранилищах с раздельным хранением жидкой и твердой фракций перемешивание не предусматривают. Зимой для исключения намораживания подачу жидкого навоза в навозохранилище осуществляют, как правило, снизу. Хранение жидкого навоза (помета) осуществляется в прифермских или полевых хранилищах секционного типа. Для совмещения процессов карантинирования и хранения навоза (помета) в хранилище должно быть не менее трех секций. Капитальные прифермские хранилища закрытого и открытого типов с твердым покрытием стен и дна целесообразнее строить тем животноводческим предприятиям, которые размещены в местах с высокой плотностью населения, в непосредственной близости от естественных водоемов и на песках. В засушливых районах, где навоз в открытых штабелях быстро высыхает, целесообразно устраивать навозохранилища котлованного типа, так как навоз в них разлагается с меньшими потерями питательных веществ, чем в наземном. Закрытые навозохранилища предпочтительнее в районах с холодной продолжительной зимой. При этом способе хранения биологические процессы в навозе или компосте в зимний период замедляются, питательные вещества сохраняются хорошо. Навозохранилища рекомендуется устраивать секционными, стенки и днище водонепроницаемыми. Оптимальным материалом для строительства навозохранилищ является пленочная гидроизоляция, которая уже на протяжении нескольких лет успешно используется на многих российских объектах. Это наиболее эффективный вариант как при создании крупных комплексов по выращиванию крупного рогатого скота и свинокомплексов, так и для частных фермерских хозяйств, занимающихся животноводством и свиноводством. Навозохранилища для жидкого навоза устраивают глубиной от 2 до 5 м, шириной не менее 20 м. Стены и

днище имеют твердое покрытие и устройства для подачи и забора жидкого навоза насосами. Для хранения и обезвоживания подстилочного навоза предусматриваются открытые незаглубленные водонепроницаемые площадки или навозохранилища глубиной 1,5–2,0 м. Навозохранилищ должно быть не менее двух. Для сбора и отвода жидкости в навозохранилищах делают жижесборники. Дно хранилища имеет уклон 0,002–0,003° в сторону жижесборника.

Для хранения жидкой фракции навоза допускается устройство закрытых навозохранилищ. Такие навозохранилища имеют люки и естественную принудительную вентиляцию. Потери азота и органического вещества при хранении бесподстилочного навоза в 3–7 раз меньше, чем при хранении подстилочного (таблица). Различия в потерях азота из открытых и закрытых хранилищ незначительны, поэтому полевые хранилища целесообразно строить открытыми; прифермские могут быть закрытыми.

Таблица

Потери азота и органического вещества при хранении навоза
(по данным Л. И. Ефремовой), % [1]

Вид навоза	Потери при хранении			
	зимой		летом	
	органического вещества	азота	органического вещества	азота
Подстилочный	31–34	36–40	35–40	35–37
Бесподстилочный	5–8	3–8	9–15	4–14

Размеры навозохранилища для подстилочного навоза определяют с таким расчетом, чтобы обеспечить возможность применения погрузочных средств. Они также имеют съезды для мобильного транспорта и устройства для отвода навозной жижи. При проектировании навозохранилищ учитывают метод обеззараживания инфицированного навоза. Для хранения и биотермической обработки твердой фракции навоза, подстилочного навоза, а также для твердой фракции разжиженного навоза (при разделении его на твердую и жидкую фазы) устраивают площадки с твердым непроницаемым покрытием, имеющие уклон в сторону водоотводных канав. Выделившаяся из навоза жидкость вместе с атмосферными осадками поступает в жижесборник для дальнейшей обработки. Значение влажности обрабатываемой твердой фракции – не более 70 %. Размер

площадок определяют из расчета 2-месячного объема навоза. В поле навоз хранят в штабелях на грунтовых площадках. Штабеля не следует укладывать во впадинах, вблизи оврагов, водоемов, шоссе и на крутых склонах. Зимой укладку штабеля в поле необходимо заканчивать в один день во избежание промерзания, в противном случае к нему придется прокладывать дорогу по снегу. Хранение навоза нельзя производить в мелких кучах, так как в этом случае он почти полностью теряет аммиачный азот, в результате чего снижается его удобрительная ценность. При строительстве открытого навозохранилища устанавливаются стационарные устройства для откачивания или закачивания навоза, а при строительстве закрытого навозохранилища – гомогенизаторы, перемешивающие устройства, и система удаления газов. Навозохранилище строится рядом с животноводческими фермами в соответствии с ветеринарно-санитарными нормами и должно иметь удобные подъезды.

Если грунтовые воды располагаются высоко, то целесообразнее иметь наземное навозохранилище с небольшими бортами. Наземные навозохранилища устраивают на выровненных площадках с твердым покрытием. Для стока навозной жижи площадку выполняют с уклоном в сторону жижесборников, расположенных с двух сторон навозохранилища. Забетонированное днище хранилища должно быть примерно на 20 см выше поверхности почвы. Боковые стенки делают из бетона или сборного железобетона, стыки между плитами тщательно замоноличивают. Вокруг хранилища устраивают отмостку для стока талых и ливневых вод. Днище хранилища должно быть с уклоном в сторону жижесборников. Ввод в них жижи – по трубам. Территорию вокруг хранилища разравнивают в соответствии с требованиями размещения площадок. Отмостку у откосов обваловки выполняют с уклоном в сторону водоотводных лотков для стока ливневых и талых вод.

Полузаглубленное навозохранилище – вытянутый котлован прямоугольной формы, обвалованный по длинным сторонам. В торцах котлована устраивают пандусы для въезда и выезда машин, по бокам – жижесборники. Котлован строит глубиной 0,5–1,5 м в зависимости от уровня грунтовых вод и плотности грунта. В плотных глинистых грунтах глубина котлована может быть больше, чем в слабых. Днище котлована должно быть с продольным поперечным уклонами в сторону жижесборников. Днище и стены хранилища

бетонируют. При строительстве хранилища из сборного железобетона стыки между плитами тщательно замоноличивают, по поверхности их делают бетонную стяжку. В котлованные навозохранилища, несмотря на обвалование, нередко попадают ливневые и талые воды, поэтому лучше пользоваться наземными способами хранения навоза. По обеим сторонам хранилища строят жижеборники вместимостью 5 м^3 : для хранилища на 1000 т – 6 шт., на 1500 т – 8. Навоз в хранилище укладывают сначала в конце котлована на высоту 2,5–3,0 м, затем уплотняют его гусеничным трактором. При хранении навоз поливают жижей, откачиваемой из сборников.

Углубленные навозохранилища делают в виде котлована глубиной 1,5–2,0 м вместе с высотой вала, насыпанного вокруг хранилища из вынутого грунта. Стенки и дно хранилища покрывают бетоном или утрамбованной глиной со щебнем толщиной 0,2 м. Навозохранилища оборудуют пандусами для въезда и выезда транспорта. Объем хранилища выбирают из расчета 2–3 м^3 на одну корову при условии очищения его 2–3 раза за стойловый период. На фермах при численности поголовья не выше 200 усл. гол. строят прямоугольные и круглые хранилища вместимостью до 500 м^3 .

На крупных комплексах (до 2000 усл. гол.) сооружают высокие цилиндрические хранилища из железобетона вместимостью 3–5 тыс. м^3 . Хранилища для бесподстилочного навоза оборудуют установками для перемешивания (гомогенизации). Для сокращения затрат на строительство навозохранилищ сточные воды кормоцеха и доильного зала хранят в хранилищах без установок для гомогенизации и используют отдельно. При внесении навоза дождевальными установками сточные воды применяют для его разбавления.

В основном распространены бетонные, металлические и пленочные виды навозонакопителей, которые могут быть как закрытыми, так и открытыми.

Бетонные навозонакопители выполняются из сборного или монолитного бетона и, как правило, используются для выдерживания неразделенного навоза. Данные накопители могут подвергаться механической очистке – в них без труда заезжает тяжелая техника и удаляет донные отложения, которые невозможно откачать насосами. Эти отложения появляются из-за того, что в неразделенном навозе содержится большое количество твердых составляющих, имеющих свойство выпадать в осадок. В основном бетонные навозонакопители

строят на небольших фермах КРС. Возведение крупных сооружений (более 5000 м³) достаточно дорого и конструктивно сложно, поэтому их устанавливают крайне редко и при этом, как правило, заглубляют. Металлические навозоаккумуляторы обычно представляют собой надземный вариант и устанавливаются на специальные бетонные основания. Обязательным условием эксплуатации данных аккумуляторов является установка стационарных мешалок для гомогенизации навоза перед откачкой, так как въезд техники и механическая очистка донных илистых отложений в этих сооружениях невозможны. Такие навозоаккумуляторы изготавливаются из стали, эмалированной стеклоэмалью или нержавеющей стали. Срок службы металлических аккумуляторов напрямую зависит от качества внутреннего покрытия, но в любом случае составляет не менее 40 лет.

Пленочные навозоаккумуляторы устраиваются в специально подготовленных земляных дамбах, которые застилаются пленкой. Пленочные аккумуляторы могут быть двух видов: надземные (обвалованные) и заглубленные, и в то же время закрытые и открытые. Глубина любого из них должна быть не более 6 м. Если вопреки нормам лагуна сделана более глубокой, могут возникнуть трудности с перемешиванием и откачкой навоза, так как стандартное насосное и перемешивающее оборудование рассчитано на глубину не более 6 м. В закрытом пленочном навозоаккумуляторе необходимо установить стационарные электрические мешалки и насосы – альтернативных вариантов откачивания и перемешивания нет. Также необходимо предусмотреть специальные окна для отвода выделяющихся газов и систему откачки жидкости (атмосферных осадков) с верхнего купола лагуны, поскольку при замерзании она может повредить поверхность. Применение той или иной схемы лагун зависит от типа грунта, наличия грунтовых вод или их поверхностного уровня. При высоком уровне залегания грунтовых вод возможно построить только обвалованные аккумуляторы: если дно лагуны окажется ниже уровня залегания грунтовых вод, то под пленкой начнет скапливаться вода и выталкивать ее.

Пленочные навозоаккумуляторы используются, как правило, для накопления жидкой фракции навоза, так как при ее длительном выдерживании на дно не выпадает осадок и не требуется перемешивание перед откачкой. При помощи сепаратора от навоза отделяются все взвешенные твердые составляющие и превращаются в сухую рассыпчатую

массу, которую можно применять в качестве органического удобрения. А отделенная жижа поступает в накопители для выдерживания. В том случае, если в навозонакопителе начнут выдерживать неразделенный навоз и система перемешивания не будет предусмотрена, то он в течение 2–3 сезонов заилится и придет в негодность. Пленочный накопитель уже нельзя будет очистить механически. К сложностям эксплуатации пленочных лагун с неразделенным навозом можно отнести и его перемешивание, поскольку при нарушении технологии перемешивания есть большая вероятность повредить пленку. Во избежание этого на этапе проектирования необходимо продумать, какой из способов перемешивания будет применяться.

Если на ферме планируется соорудить несколько (2–4) обвалованных навозонакопителей, то с целью экономии средств на строительной части (а именно: бетонировании дороги и укреплении пандуса, возведение которого необходимо для заезда техники на край лагуны) рекомендуется использовать стационарные электрические насосы и мешалки. Эксплуатация стационарно смонтированного оборудования не требует заезда техники на край накопителя. Если же навозонакопителей в хозяйстве много и они сделаны вровень с землей или обваловка не очень высока, то можно использовать мобильные мешалки с приводом от ВОМ трактора. Но в данном случае край лагуны должен быть хорошо укреплен во избежание обрушения, подъезд – забетонирован. Стоит отметить, что наибольшую надежность при эксплуатации в экологическом отношении обеспечивают железобетонные и металлические хранилища, однако ввиду их дороговизны выбор часто делается в сторону каркасных и пленочных лагун.

Для хранения подстилочного навоза (помета), твердой фракции навоза и помета после их разделения применяют водонепроницаемые площадки, окаймленные канавами, или хранилища глубиной до 2 м. Для сбора и удаления жижи из хранилищ и с площадок предусматриваются жижесборники. Дно хранилищ должно иметь уклон в сторону жижесборников. Для всех видов навоза, помета и удобрений на их основе допускается применение крытых хранилищ и площадок. Хранение подстилочного навоза, помета и компостов допускается на полевых площадках с глинистым или пленочным противотрационным экраном.

Выход навоза крупного рогатого скота в пастбищный период принимается из расчета 50 %, при выгульном содержании – 85 % от среднесуточного [1].

Самое простое по устройству навозохранилище представляет собой прямоугольную площадку, углубленную на 0,7–1,0 м в землю. Стенки и дно навозохранилища должны быть водонепроницаемыми – из бетона, кирпича или вымощенные булыжником. Ширина навозохранилища составляет обычно 8–9 м, длина определяется количеством навоза. Если навозохранилище очищают 2–3 раза в год, то на корову рассчитывают 2,5–3,0 м³ площади навозохранилища; на юге при коротком периоде стойлового содержания под навозохранилище отводят вдвое меньшую площадь.

Дно навозохранилища делается с поперечным уклоном в 2–3 см на 1 м для стока навозной жижи. В середине длинной стороны навозохранилища устраивают колодец глубиной 1–2 м для собирания жижи (на каждые 100 т навоза рассчитывают 1,3 м³ жижи). Для прочности борта навозохранилища обкладывают дерном, и вокруг, на расстоянии 0,25 м, вырывают канаву шириной 0,6 м и глубиной 0,4 м. Канавы служат для стока дождевой воды. В районах, где выпадает много дождей, над навозохранилищем устраивают навес. К навозохранилищу должен вести пологий вымощенный въезд. Для уменьшения потерь азота при хранении навоз следует укладывать в навозохранилище возможно плотнее.

В случае монтажа открытых навозохранилищ сразу устанавливаются стационарные устройства для откачивания или закачивания навоза. Если же смонтированы закрытые хранилища, то необходимо также заранее позаботиться об установке гомогенизаторов, перемешивающих устройств и систем удаления газов. При животноводческих хозяйствах целесообразно строить, как минимум, два навозохранилища, которые обеспечат последовательное накопление, хранение и выдерживание навоза до момента его использования в качестве органического удобрения на полях (осенью или весной). Для бесподстилочного навоза и помета применяют заглубленные или наземные хранилища траншейного или круглого типа. Хранилища траншейного типа должны иметь ограждения, съезды с уклоном 0,15° и устройства для забора жидкого навоза насосами. Днища и откосы хранилищ должны иметь твердое покрытие. Круглые хранилища должны быть оборудованы устройствами перемешивания и выгрузки навоза.

Навозохранилища для жидкого навоза оборудуются устройствами для перемешивания. Для исключения намораживания в зимний

период подача навоза в хранилища осуществляется снизу. Для обеспечения гравитационного отделения жидкости от жидкого навоза допускается оборудовать навозохранилища фильтрующими стенками, решетками или другими устройствами. Выгрузка подстилочного навоза и помета из хранилищ осуществляется мобильными погрузчиками, бесподстилочного – мобильными самозагружающимися цистернами-разбрасывателями типа МЖТ или насосами типа АПН-300, НЖН-200, НЦИ-Ф и пр.

Гибкие резервуары подставляют собой мешок из специального армированного полиэстера для хранения жидкого навоза, помета, навозной жижи, навозных стоков, производственных стоков, сильнозагрязненных вод.

Все швы сварные, производятся с помощью высокочастотной сварки из отборных материалов, обеспечивающих большое сопротивление механическому трению и химическую стойкость. Технический полиэфирный материал с высоким удельным сопротивлением покрыт поливинилхлоридом. С обеих сторон имеется покрытие из ПВХ. Данное покрытие инертное ко всем жидкостям, в том числе агрессивным; прочность материала, из которого изготовлено навозохранилище, позволяет переносить повышенные механические нагрузки. Обработка внешней стороны обеспечивает защиту от ультрафиолетового излучения, гарантирует стабильность резервуара при любом уровне заполнения. Срок эксплуатации до 30 лет. Размер мешка от 200 и до 7000 м³.

Мешок для навоза предназначен для использования в местах, где грунтовые воды находятся близко от поверхности, при необходимости иметь закрытую лагуну, находящуюся вблизи населенных пунктов. Резервуары производятся из лучших высокопрочных тканей, покрытых пластимерами, механическая и химическая прочность которых подбирается в соответствии со сферой дальнейшего применения.

Навозохранилища могут быть прямоугольной или квадратной формы и устанавливаются в предварительно вырытый котлован с песчаной подосновой. Навозохранилище имеет свою индивидуальную систему перемешивания миксерами, а также систему загрузки-выгрузки жидкого навоза из мешка.

Применение гибких резервуаров имеет свои преимущества:

- идеально для слабых, неустойчивых грунтов;
- не требуется усиленного бетонирования площадки как под традиционную систему;

- без дополнительных приспособлений имеет надежную герметичную крышу с системой клапанов для выравнивания давления;
 - легко может быть наполнено или разгружено благодаря внутреннему уклону;
 - навозохранилища более 2200 м³ имеют две системы загрузки-выгрузки с системой запорной арматуры;
 - не портят окружающую природу и внешний вид около ферм;
 - простота в использовании и в монтаже, легкий резервуар для большого объема жидкости, быстро устанавливается непосредственно на грунте без применения каких-либо элементов гражданского строительства;
 - жидкость всегда защищена от окисления, испарения, внешнего заражения;
 - отсутствие запаха при хранении жидкостей с резким запахом;
 - модульность и мобильность. Гибкие резервуары могут использоваться как временно, так и постоянно и легко транспортируются;
 - компактные размеры, небольшой вес;
 - длительный срок службы;
 - могут использоваться как временная или постоянная мера.
- Для их установки не требуется разрешение на планировочные работы. Имеют огромное логистическое преимущество, связанное с небольшими размерами и весом, экономией финансовых средств, пространства, времени:
- стоимость мягких резервуаров ниже;
 - изготовление в кратчайшие сроки (от 3 дней);
 - быстрый монтаж (от 15 минут), часто без использования специальной техники;
 - транспортные габариты позволяют существенно экономить на транспортировке;
 - возможность размещения на неподготовленных площадках;
 - возможность транспортировки мешка с места на место и перепродажи;
 - долгий срок эксплуатации;
 - экономия на строительных работах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Утилизация навоза/помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подземных водных объектов в Ленинградской области: материалы проекта «Устойчивое обращение с навозом/пометом в хозяйствах Ленинградской области» Maxwell Stamp PLC и Государственного научного учреждения Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии (ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии). СПб., 2012. С. 182.
2. Вальков В. Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений. М.: Агропромиздат, 1986. 208 с.
3. Никитин Е. Д. Берегите почву. Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Сельское хоз-во». М. : Знание, 1990. № 11. 64 с.
4. Каштанов А. Н. Научные основы почвоохранного земледелия в Белгородской области // Вестник с.-х. науки. 1990. № 12. С. 59–65.
5. Артюшин А. А., Пуговкина Н. П., Малыгина Л. М. Предпосылки оценки системы «Навоз–удобрение–поле» // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 2. С. 59–61.
6. Васильев В. А. Органические удобрения и плодородие почвы // Земледелие. 1982. № 7. С. 41–45.
7. Цюрн Ф. Удобрение сенокосов и пастбищ / пер. с нем. М. : Колос, 1972. 214 с.
8. Лапин М. И. Растениеводство с основами селекции и семеноводства. М. : Сельхозгиз, 1956. 349 с.
9. Морозов Н. М. Проблемы механизации и автоматизации животноводства // Техника в сел. хоз-ве. 1988. № 4. С. 3–5.
10. Kosmat H. Der Einfluss der Gullei auf die Fruchtbarkeit des Bodens Bericht uber die Arbeitstagung «Fragen der Gullerei» Bundesversuchsanstat fur alpenlandischl Landwirtschaft Gumpenstein // Landtechnik. 1961. № 18. S. 481–990.
11. Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов / пер. с англ.; под ред. А. Н. Шамко. М. : Колос, 1979. 415 с.
12. Половцев Е. Л., Черкасов А. Н. Производство органических компостов на промышленной основе // Механизация и электрификация с.-х. 1992. № 9–12. С. 16–18.
13. Тиво П. Ф., Дробот С. Г. Эффективное использование бесподстилочного навоза. Минск : Ураджай, 1988. 116 с.

14. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения / пер. с нем.; под ред. М. Я. Семенова. М. : Колос, 1978. 271 с.
15. Бацанов И. Н., Лукьяненко И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. М. : Россельхозиздат, 1977. 160 с.
16. Рекомендации по устройству и эксплуатации самотечной и смывной систем удаления навоза на свинарниках / Лукьяненко И. И. [и др.]. М. : Россельхозиздат, 1973. 48 с.
17. Мельников С. В., Калюга В. В., Сафронов Ю. К. Гидравлический транспорт в животноводстве. М. : Россельхозиздат, 1976. 187 с.
18. Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидравлических систем уборки навоза на фермах КРС / Лукьяненко И. И. [и др.]. М. : Россельхозиздат, 1975. 27 с.
19. Марченко Н. М., Личман Г. И. Основные вопросы теории расчета движения жидкого навоза // Научные основы механизации внесения и приготовления удобрений. М. : Колос, 1974. С. 17–49.
20. Рекомендации по расчету и применению поточных технологических линий уборки, обработки и транспортировки жидкого навоза на животноводческих комплексах / Капустин В. П. [и др.]. Тамбов, Россельхозиздат, 1980. 64 с.
21. Назаров С. И., Захаревич С. П. Расчет параметров и режимов работы самотечной системы уборки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1981. № 5. С. 19–22.
22. Бацанов И. Н., Лукьяненко И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. М. : Россельхозиздат, 1977. 160 с.
23. Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. РД-АПК 3.10.15.01–17. М. : ФГБНУ «Росинформротех», 2017. 153 с.
24. Назаров С. И., Вороницкий И. А., Удовеня В. А. Системы удаления, накопления и утилизации навоза. Мн. : Ураджай, 1979. 104 с.
25. Берглунд С., Анианссон Г., Экесбу И. Транспортировка жидкого навоза / пер. со швед.; под ред. И. Ф. Ромашкевича. М. : Колос, 1962. 183 с.
26. Якубаускас В. И. Технологические основы механизированного внесения удобрений. М. : Колос, 1973. 231 с.
27. Бакулов И. А., Кокурин В. А., Котляров В. М. Обеззараживание навозных стоков в условиях промышленного животноводства. М. : Росагропромиздат, 1988. 126 с.

28. Назаров С. И., Шаршунов В. А. Механизация и внесение органических удобрений : учебное пособие для с.-х. вузов. Минск : Ураджай, 1993. 296 с.

29. Марченко Н. М. [и др.]. Эксплуатация систем транспортирования и внесения навоза // Техника в сельском хозяйстве. 1979. № 4. С. 28–29.

30. Вороневский С. И., Перекрестов А. Т., Полонский Л. С. Механизация удаления и утилизации навоза на животноводческих фермах Молдавской ССР: обзор. Кишинев : МолдПИИНТИ, 1974. 62 с.

31. Lommatzsch R. Entmistung und Mislbehandlung bei einstreuloser Haltung von Rindern. Institut für Landtechnik der Karl-Marx-Univ. Leipzig, 1968. S. 45.

32. Thum E., Lehmann R. Mechanisiertes Entmisten in Rinderställen. Dt. Landwirtschaft. Berlin, 1967. № 3. S. 39.

33. Lehmann R. Untersuchungen zur Fließgrenze der Rindergülle. Promotion B, Karl-Marx-Univ., Sektion Tierpord. und Vet.-Med. Leipzig, 1970. S. 21.

34. Lommatzsch R. Der Einfluss von Futterresten und Wasser auf die Fliesseigenschaften von Rindergülle. Dt. Agrartechnik, 1969. № 2. S. 14.

35. Lommatzsch R. Rheologische Untersuchungen an Rindergülle als Beitrag zur Mechanisierung in Güllewirtschaft. Diss. Karl-Marx-Univ. Leipzig, 1969. S. 119.

36. Личман Г. И. Исследование процесса движения навоза по напорным трубопроводам с целью обоснования их параметров и режимов транспортирования : автореф. дисс. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. Объедин. Учен. совет Всесоюз. науч.-исслед. ин-та механизации сел. хоз-ва (ВИМ) и Всесоюз. науч.-исслед. ин-т электрификации сельского хоз-ва (ВИЭСХ). М., 1975. 27 с.

37. Лукьяненок И. И. Перспективные системы утилизации навоза (в хозяйствах Нечерноземья). М. : Россельхозиздат, 1985. 176 с.

38. Лукашевич Н. М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета : учебное пособие. Мозырь : Белый Ветер, 2000. 248 с.

39. Обоснование, исследование и совершенствование оптимальных способов и технических средств для уборки, обработки и транспортировки навоза на молочных (КРС) и свиноводческих промышленных комплексах, применительно к зоне ЦЧО: отчет о НИР (заключ.) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; рук. темы В. П. Капустин. Тамбов, 1976. 152 с. № Гр 7707740; инв. № Б 629569.

40. Юричек Я. Зависимость скорости седиментации свиного навоза от времени // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1990. № 7. С. 63.
41. Lommatzsch R. Fliesskanalentmistung und Stallhygiene. Mh. Veterinärmedizin. Leipzig, 1969. № 24. S. 933–935.
42. Mallinger M. Untersuchungen zur Fliesskanalentmistung bei Schweinen. Ing.-Arbeit, Ingenieurschule für Landtechnik Friesack. Berlin, 1968. S. 103.
43. Hörnig G. Druckverluste in Schnellkupplungsrolltren, formstücken und armatuern beim Fliesen von Klärschlamm. Wasser wirtschatt-Wassertechnik. Berlin, 1969. № 19. S. 374–377.
44. Капустин В. П. Совершенствование систем уборки и транспортировки бесподстилочного навоза. Тамбов : ТГТУ, 2001. 122 с.
45. Николаенков А. И. Исследование и обоснование перспективной системы удаления навоза на свиноводческих фермах и комплексах в условиях БССР: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Центр. науч.-исслед. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва Нечерноземной зоны СССР. Минск, 1977. 20 с.
46. Силин М. И. Агроэкологическая оценка технологий возделывания ржи // Земледелие. 1995. № 47. С. 31.
47. Кацыгин В. В., Нугис Э. Ю. Проблема почвоадающей технологии // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 2. С. 8–10.
48. Линник Н. К., Шкодкин И. М., Ковалев Н. Г. Исследование свойств фракций жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1986. № 12. С. 32–33.
49. Schmorl G. Das Fliessverhalten von Rindergülle in einer Versuchsanlage in der LPG Freiheit Bad Dürrenberg. Dipl.-Arb., Karl-Marx-Univ. Leipzig, 1968. S. 84.
50. Калюга В. В., Мельников С. В., Найденко В. К. Механизация технологических процессов на свиноводческих предприятиях. М. : Россельхозиздат, 1987. 208 с.
51. Schmorl G. Untersuchungen zur Förderung von Rindergülle in Druckrohrleitungen. Diss. Karl-Marx-Univ. Leipzig, 1973. S. 128.
52. Berglund S., Aniansson G., Ekesbo J. Hantering av flyfande gödsel Jordbrukrekniska Inst., Uppsala Meddellande, 1965. S. 310.
53. Lommatzsch R. Ein Versuchsfall für Rinder mit Trebw. Schwerkraftentmistug. Dt. Agrartechnik, 1968. № 18. S. 190–191.

54. Poelma H. R. Erfahrungen mit der Schwennmentmistung ohne Wasser. Landtechnik. München, 1963. № 18. S. 58–61.

55. Звягинцев Д. Г. Современные проблемы экологии почвенных микроорганизмов // Микробиология окружающей среды. Алма-Ата, 1980. С. 65–78.

56. Васильев В. А., Филиппова Н. В. Справочник по органическим удобрениям. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Росагропромиздат, 1988. 255 с.

57. Максимовский Н. С. Очистка сточных вод. М. : М-во коммун. хоз-ва РСФСР, 1961. 352 с.

58. Гордеев В. В. Параметры и режимы работы универсальной самотечной системы удаления навоза из свинарников: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / ВАСХНИЛ. Отд-ние по Нечернозем. зоне РСФСР. Науч.-иссл. и проект.-технол. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва Нечернозем. зоны РСФСР. Л.; Пушкин, 1989. 16 с.

59. Реология в процессах и аппаратах химической технологии: тр. Волгогр. политехн. ин-та / редкол.: д-р техн. наук, проф. Н. В. Тябин (отв. ред.) [и др.]; М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Волгоград : Политехн. ин-т, 1974. 136 с.

60. Bingham E.C. Fluidity and Plasticity. New York : McGraw-Hill. P. 219.

61. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах : избр. тр. Коллоидная химия. М. : Наука, 1978. 371 с.

62. Воларович М. П., Кулаков Н. Н., Самарина К. И. О влиянии различных факторов на пластично-вязкие свойства торфмассы (о вязкости и пластичности дисперсных систем) // Коллоидный журнал. 1935. Т. 3. № 2. С. 163–168.

63. Zinke R. Homogenisierungsverfahren für Rindergülle und die Beistimmung der Homogenität von Gülle. Dt. Agrartechnik, 1969. № 19. S. 321–324.

64. Schilo D. Leistungsbedarf beim Rühren nichtnewtonscher Flüssigkeiten. Berlin, 1968. S. 125.

65. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 10-е изд., стереотип., доработ.; перепеч. с изд. 1973 г. М. : Альянс, 2004. 753 с.

66. Мильченко А. И. Исследование, расчет и конструирование механических перемешивающих устройств для обработки жидкофазных сред: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.09 / Ленингр. технол. ин-т им. Ленсовета. Л., 1974. 42 с.

67. Костин Н. М., Павлушенко И. С. Изучение процесса перемешивания. Определение скорости движения жидкости в аппаратах с пропеллерной мешалкой / тр. ЛТИ им. Ленсовета. Л. : Госхимиздат, 1957. С. 131–144.

68. Худолий Н. П. Исследование процесса перемешивания рабочей жидкости и определение оптимальных параметров винтовых мешалок опрыскивателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Кишиневский с.-х. ин-т им. М. В. Фрунзе. Кишинев, 1966. 22 с.

69. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности / пер. с чеш. Л. : Химия, 1963. С. 183–198.

70. Марченко Н. М., Литвинов М. А., Верховский В. М. Комплексная механизация приготовления и внесения удобрений. М. : Колос, 1974. 98 с.

71. Марченко Н. М. Технологические и научно-технические решения проблемы рационального применения органических удобрений в условиях интенсивного земледелия: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / ВНИИ механизации сел. хоз-ва. М., 1991. 68 с.

72. Гордеев В. В. Параметры и режимы работы универсальной самотечной системы удаления навоза из свинарников: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / ВАСХНИЛ. Отд-ние по Нечернозем. зоне РСФСР. Науч.-иссл. и проект.-технолог. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва Нечернозем. зоны РСФСР. Л.; Пушкин, 1989. 16 с.

73. Лукашевич Н. М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета : учебное пособие. Мозырь : Белый Ветер, 2000. 248 с.

74. Марченко Н. М., Личман Г. И. Основные вопросы теории расчета движения жидкого навоза // Научные основы механизации внесения органических удобрений. М. : Колос, 1974. С. 30–34.

75. Назаров С. И., Шаршунов В. А. Механизация и внесение органических удобрений. Минск : Ураджай, 1993. 296 с.

76. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М. : Наука, 1969. 742 с.

77. Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса. М. : Химия, 1974. 688 с.

78. Соу С. Гидродинамика многофазных систем. М. : Мир, 1971. 536 с.

79. Стабников В. Н., Лысянский В. М., Попов В. Д. Процессы и аппараты пищевых производств. М. : Агропромиздат, 1985. 510 с.

80. Калашников В. Г., Атисков И. М. Гидродинамические особенности осаждения частиц процесса декантации при рекуперации вторичных вод // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 22–26.

81. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание) / Бродский В.З. [и др.]. М. : Metallurgy, 1982. 752 с.

82. Скорб И. И., Волк А. М. Экспериментальные исследования устройства для гомогенизации жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва / Межвед. тем. сб. Минск : Беларуская навука, 2019. Вып. 52. С. 225–229.

83. Скорб И. И. Экспериментальные исследования гомогенизатора с лопастным рабочим органом при гомогенизации жидкого навоза в открытом замкнутом канале // Вестник Рязан. гос. агро-технологического ун-та им. П. А. Костычева. 2019. № 1 (41). С. 137–141.

84. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. М. : Metallurgy, 1969. 155 с.

Научное издание

Скорб Игорь Игоревич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УБОРКИ НАВОЗА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Ответственный за выпуск *И. С. Крук*
Редактор *Т. В. Каркоцкая*
Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 26.06.2019. Формат 60×84^{1/16}.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 5,82. Тираж 100 экз. Заказ 290.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.