

Министерство образования Российской Федерации
ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. П. Капустин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УБОРКИ И
ТРАНСПОРТИРОВКИ
БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

Тамбов
Издательство ТГТУ
2001

УДК 631.862.1
ББК П086-432
К 207

Утверждено Ученым советом университета

Рецензент
Доктор технических наук
А. Н. Зазуля

ВВЕДЕНИЕ

Реальная необходимость удовлетворения физиологической потребности населения в продуктах питания и промышленности в сырье на первый план объективно выдвигает задачу систематического повышения плодородия почв. Определяющим фактором в решении этой задачи является – научно-обоснованная система получения и использования органических удобрений.

Первым этапом формирования органических удобрений является получение и удаление навоза из животноводческих помещений. Эти процессы отличаются особой сложностью и трудоемкостью, зависящими от многих факторов, особенно в помещениях с большой концентрацией животных, и требуют безусловного совершенствования способов и средств уборки навоза, повышения эффективности их функционирования.

Важное значение имеет эффективное использование потенциальных возможностей применяемых самотечных систем. На основании многолетних отечественных и зарубежных исследований и опыта использования указанных систем установлено, что в реальных условиях получают навоз влажностью 96 ... 98 % за счет разбавления водой в 2 ... 5 раз, вместо 90 ... 92 %, необходимой для оптимального функционирования систем. А это приводит к снижению качества навоза, увеличению трудо- и энергозатрат при его транспортировке и переработке. Такое положение объясняется рядом объективных и субъективных факторов: низкой технологической надежностью самотечных систем, недостаточным обоснованием параметров каналов, нарушением режимов накопления и истечения навоза, низкой квалификацией обслуживающего персонала.

Применение мобильного транспорта для перемещения большого количества навоза приводит к значительным транспортным, энергетическим и трудовым затратам, потери 20 ... 30 % питательных веществ, нарушению экологии, использование же гидротранспорта, вследствие необоснованности существующих конструкций, параметров и режимов работы отдельных элементов и систем в целом – к неоправданным капитальным вложениям, в том числе на строительство насосных станций, увеличению трудо- и энергозатрат.

Анализ исследований, выполненных рядом авторов показывает, что в настоящее время с помощью устройств, используемых для разделения промышленных отходов, а также разработанных для разделения жидкого навоза ни в одной машине (аппарате) не удается получить фракции с регламентированной влажностью: твердой – меньше 75 % и жидкой – больше 98 %.

Причинами сложившейся ситуации являются: непостоянство влажности исходной массы (от 90 % до 98 %), жесткие требования к продуктам его разделения и необходимость обеспечения высокой производительности при обработке значительного объема навоза, несоответствие принципов действия машин физико-механическим свойствам навоза. Применяющиеся для разделения устройства сложны по конструкции, металлоемки, энергоемки, с низкими степенью и интенсивностью разделения и ненадежны в работе.

Используемые для очистки и обеззараживания жидкой фракции технологии и технические средства требуют больших затрат труда и энергии, расхода химических препаратов, конструктивно несовершенны и малоэффективны, что приводит к большим потерям массы и питательных веществ, к загрязнению окружающей среды.

При получении органических удобрений все технологические процессы рассматриваются в отрыве друг от друга, без учета изменений физико-механических и реологических свойств, количества и качества получаемого на предыдущем этапе продукта. Все это не позволяет обосновать номенклатуру технических средств, обеспечивающих реализацию последовательности процессов уборки, транспортировки и переработки в потоке, определение их технологических, конструктивных и режимных параметров.

Учитывая объективные обстоятельства, заключающиеся в сложности явлений, происходящих в бесподстилочном навозе, отсутствии достаточно точной количественной информации о физико-механических и реологических свойствах бесподстилочного навоза и изменении их во время протекания технологических процессов, необходимо рассматривать процессы уборки, транспортировки и переработки как сложную биотехнологическую систему, способствующую повышению эффективности функционирования процессов получения и переработки навоза в реальных условиях.

Изложенное позволяет констатировать, что создание системы уборки, транспортировки и переработки бесподстилочного навоза, обеспечивающей теоретическое и практическое повышение эффективности технологических процессов, при снижении отрицательного воздействия на окружающую среду, остается актуальной проблемой, решение которой имеет важное народно-хозяйственное значение.

1 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

1.1 Роль навоза в повышении плодородия почвы и

улучшении экологической среды

В системе мер по повышению плодородия почвы важнейшее место отводится органическим удобрениям и, в частности, навозу. [1, 2, 3]. Это связано с тем, что навоз не только обогащает пахотный слой питательными веществами и улучшает свойства почвы, но и создает благоприятные условия минерального питания растений. [4, 5, 6, 7, 8].

По ГОСТ 20432-83 бесподстилочный навоз определяется как "смесь твердых и жидких экскрементов сельскохозяйственных животных с добавкой воды или без нее. Жидким считается навоз влажностью 92 ... 97 %, полужидким влажностью менее 92 % и навозные стоки – влажностью более 97 %". [9].

Основными причинами снижения плодородия почвы являются вынос из почвы элементов питания с урожаем сельскохозяйственных культур, распыление и уплотнение почвы работающими в поле различными машинно-тракторными агрегатами, резкое уменьшение количества вносимых органических удобрений, плохая их подготовка и повышение цен на топливо и сельскохозяйственную технику и другие. [4, 5, 6, 10, 11].

Поэтому повышение агроэкологической эффективности технологических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами с учетом закономерностей взаимодействия рабочих органов с почвой и растениями – одна из наиболее актуальных задач сельскохозяйственного производства.

Если подходить к природе как к единому целому, как к системе, все части которой тесно связаны друг с другом, то изменение в процессе хозяйственной деятельности хотя бы одного из элементов этой системы неминуемо вызовет изменение в других частях и, как следствие, системы в целом. [12]. Особенно это наглядно проявляется во взаимодействии элементов системы "Растение-почва-удобрение". [13].

На рис. 1.1 представлена модель схемы взаимодействия элементов системы. Все элементы экосистемы взаимодействуют между собой и составляют замкнутую систему. [14].

Э: {П ∪ В ∪ ФАР ∪ Вд ∪ С ∪ Т} ; {М ∪ Р ∪ Ж ∪ Пр ∪ Ч} ⊂ Э ,

где П – почва; В – воздух; ФАР – фотосинтетическая активность радиации; Вд – вода; С – свет; Т – тепло; М – машина; Ж – животное; Р – растение; Пр – продукт; Ч – человек .

Человек воздействует на животных: непосредственно – выбор вида животных, породы, условий содержания и кормления, через машину – поддержание условий содержания, удаление навоза, производство кормов и кормление, поение.



Рис. 1.1 Модель схемы взаимодействия элементов системы "человек – машина – растение – животное – продукт – среда"

Животное влияет на человека: непосредственно – обеспечение продуктами питания; через машину выполнением технологических процессов, количеством и качеством продукции животноводства, а через органические удобрения, поле – продукцией растениеводства .

Человек воздействует на продукт (навоз): непосредственно – выбор технологий уборки, транспортировки, переработки и использования органических удобрений; через машину – место работы, повышение плодородия почвы, повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Человек воздействует на машину: непосредственно – выбор машины, поддержание ее в работоспособном состоянии при использовании по назначению, выполнение агротехнических требований, взамен получения моральные и материальные средства для поддержания жизненного

уровня.

Человек непосредственно воздействует на растение – выбор типа и сорта, полей севооборота; через машину – выполнение технологических операций, соблюдение агротехники возделывания, уборки и переработки сельскохозяйственных культур.

Растение влияет на человека качеством и количеством урожая или продуктами питания растениеводческой продукции – непосредственно или животноводческой – через животное и машину.

Человек оказывает влияние на экологическую среду: непосредственно – выделение углекислого газа и фекалий; через машину, растение, животное, продукт – поддержание плодородия почвы.

Экологическая среда воздействует на человека: непосредственно – теплом, светом, радиацией, через машину – растение, животное, продуктами питания.

Животное воздействует на экологическую среду: непосредственно – выделение экскрементов, углекислого газа, аммиака, уплотнение почвы, погребление растений.

Экологическая среда действует на животных: непосредственно – теплом, светом, воздухом, водой; через машину – растение – кормами.

Действие экологической среды на растение: непосредственно – теплом, светом, воздухом, радиацией, водой; через машину – растение – на корм животных.

Действие растений на экологическую среду выражается: непосредственно – выделением кислорода: через машину – продуктом, обеспечением почвы питательными веществами.

Машина действует на экологическую среду: непосредственно – уплотнением или распылением почвы, выделением вредных газов; через растение, животное – продуктом на плодородие почвы.

Экологическая среда действует на машину непосредственно – агрессивные факторы (влажность, температура); через продукт, растение – на показатели работы и износ.

Продукт действует на экологическую среду: непосредственно – выделением газов, микроорганизмов; через машину – на плодородие почвы и условия роста и развития растений. Экологическая среда действует на продукт: непосредственно – температурой, светом, воздухом, влагой – созданием условий для существования бактерий и микроорганизмов.

Таким образом, применение системного подхода, как способа и системного анализа как средства для исследования общей экологической системы "человек – машина – растение – животное – продукт – среда" позволяет рассматривать и решать задачи не только оптимального функционирования системы при получении из навоза органических удобрений и очищенной сточной воды с точки зрения ее технико-экономических показателей, но и устанавливать оптимальные связи с внешней средой, т.е. оценивать экологическую эффективность производства.

За последние 100 лет различные почвы потеряли от 25 до 50 %, а черноземы от 20 до 35 % запаса гумуса из-за недостаточного количества органических удобрений и их низкого качества. Причем, 30 ... 50 % из них приходится на последние 25 лет. [15, 16, 17, 18, 19].

Процесс этот сейчас ускоряется, что вызвано резким снижением количества вносимых органических и минеральных удобрений. [20, 21, 22, 23, 24, 25].

Одним из основных факторов, влияющих на образование гумуса почвы, является навоз. 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. Установлено [25], что около 70 ... 75 % органического вещества кормов, потребляемых животными, идет в отброс и выделяется в форме углекислоты, мочи и кала (навоза). Но 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. [22, 26, 27].

Вместе с тем интенсивное использование хорошо подготовленного навоза, например, во Владимирской области, в течение 5 лет способствовало увеличению содержания гумуса с 1,54 до 1,85 %. [28].

Внесение чрезмерно высоких доз свежего навоза может привести и к отрицательному воздействию – разрушению почвенного гумуса, потере углерода. [29, 30, 31, 32, 33].

Для бездефицитного баланса гумуса пахотных земель требуется вносить ежегодно 1430 млн. т перепревшего навоза или 6,5 т/га. Фактически же вносится не более 4,2 т/га или меньше в 3,5 раза, чем в США, в 6 раз – Англии, в 17 раз – Голландии. [34, 35].

По сравнению с твердым подстилочным навозом, жидкий бесподстилочный содержит на 50 % больше соединений азота в растворенной форме, калия на 100 %, а фосфор, хотя и находится в связанном состоянии, но растениями используется лучше, чем из минеральных удобрений. [36, 37, 38].

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

1.2 Физико-механические и реологические свойства и химический состав навоза

Бесподстилочный навоз, являясь грубодисперсной средой, взаимодействуя при уборке, транспортировке и переработке с различными механизмами, влияет на производительность и надежность машин.

Знание физико-механических, реологических свойств и химического состава навоза, закономерностей изменения их в процессе получения, хранения, транспортировки и переработки позволяет выбирать соответствующие технические средства для осуществления указанных процессов, способствуя оптимальному функционированию систем и получению навоза хорошего качества.

Первые исследования физико-механических свойств, проведенные В. Д. Вейнлой, С. Е. Маркьяном, Я. Г. Озолсом, И. И. Яли, В. М. Якубаускасом и другими, посвящены подстилочному навозу. Ими были определены плотность, влажность, коэффициент трения скольжения и липкость навоза. [39, 40, 41, 42].

С началом применения гидравлических способов уборки связаны исследования физико-механических свойств бесподстилочного навоза. [43].

В результате многочисленных исследований, проведенных в различных зонах России и за рубежом, установлено, что влажность бесподстилочного навоза крупного рогатого скота (КРС) и свиней зависит от вида, возраста и пола животных, способов их содержания, кормления и составляет 70 ... 91,5 % [30, 38, 42, 43, 44, 45, 46, 47] и 82 ... 91 % [42, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54] соответственно.

По нашим данным влажность навоза, полученного от свиней, содержащихся на откорме, составила 89 ... 90 %, свиноматок – 74 ... 79 %. [55, 56].

Некоторые авторы утверждают, что влажность свиного навоза не зависит от рациона [48, 49].

Плотность жидкого навоза при различных типах содержания и кормления КРС и изменении влажности от 84 до 94 % составила 993 ... 1300 кг/м³ [40, 41, 43, 57, 58, 59, 60, 61, 62], сухого вещества – 1250 кг/м³ [59] и 1280 ... 1350 кг/м³. [48]. Плотность навоза КРС меньше плотности свиного навоза.

Многочисленными исследованиями установлено, что плотность свиного навоза [42, 44, 49, 52, 53, 54, 63] изменяется в зависимости от влажности в пределах 1013...1400 кг/м³, а плотность сухого вещества навоза составляет 1800 кг/м³ [60] и 1208...1320 кг/м³. [48].

Результаты исследований плотности бесподстилочного навоза, КРС и свиней, проведенные нами, представлены на рис. 1.2 [64, 65]. Из графика следует, что плотность с увеличением температуры уменьшается [65], это изменение формализуется как

$$\rho_2 = \rho_1 / [1 + \beta (T_2 - T_1)],$$

где ρ_2 – плотность навоза при конечной температуре T_2 , кг/м³; ρ_1 – плотность навоза при начальной температуре T_1 , кг/м³; β – коэффициент объемного расширения, $\beta = 3,5 \cdot 10^{-4}$.

Уменьшение плотности с повышением температуры объясняется тем, что при нагревании навоза из него выделяется большое количество газов, плотность которых меньше плотности навоза.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что доля влияния влажности на плотность составляет 93 ... 95 %, а доля температуры до 7 %. [65].

Результаты исследований, проведенных на различных фермах и комплексах КРС, дали основание установить следующую закономерность, что при изменении влажности с 86 до 90 % вязкость изменяется с 7,5 до 0,02 Па · с, напряжение сдвига с 239 до 2,0 Па [43, 57, 58, 60, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74], а вязкость свиного навоза при увеличении влажности с 79 до 94 % составляет от 7,6 до 0,02 Па · с, напряжение сдвига – от 7,3 до 0,01 Па [38, 42, 48, 52, 59, 60, 61, 70].

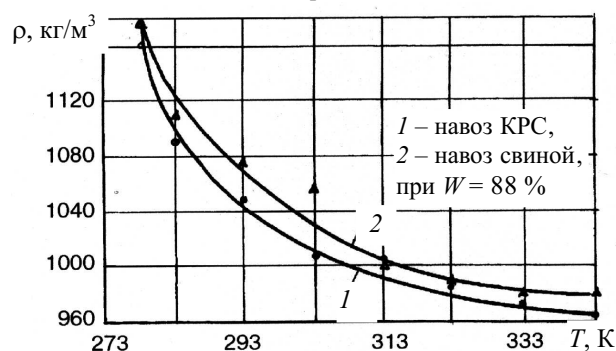


Рис. 1.2 Изменение плотности в зависимости от температуры навоза

Из анализа литературных источников видно также, что значения предельного напряжения сдвига и динамической вязкости у отдельных авторов отличаются в 2-3 раза вследствие использования различных приборов и методик проведения исследований при скоростях, несоизмеримых со скоростью перемещения навоза в канале.

Для определения количества выделяемого животными навоза И. И. Лукьянчиковым предлагается несколько способов, учитывающих: массу животных; годовой выход основной продукции; суточную норму выхода навоза; массу и состав кормов. [61].

Исследованиями Р. Лера [30], Г. Кориата, М. Бельке, Р. Ведикинг и других [38], В. И. Сурнина [75], В. Н. Письменова [76] установлено, что выход навоза

КРС составляет 8 ... 10 % от живой массы, свиного навоза – 5 ... 8 %, по результатам наших исследований 6 %. [55, 56].

Определение выхода навоза по массе и составу кормов с учетом переваримости различными видами животных сухого вещества, содержащегося в кормовом рационе, предлагается проводить по формуле [61]:

$$\mathcal{E}_r = K_n (1 - K_n / 100) \Phi_r (\Gamma_\phi / \Gamma_s),$$

где K_n – коэффициент использования кормов, учитывающий их потери во время кормления животных; K_n – средневзвешенный коэффициент переваримости органического вещества корма, %; Φ_r – общая масса годового кормового рациона, т; Γ_ϕ – относительное содержание органического вещества в кормовом рационе, %; Γ_s – относительное содержание органического вещества в экскрементах, %.

При кормлении свиней сухим кормом потери составляют 10, при кормлении влажными мешанками – 5 %. Потери кормов на фермах КРС составляют 5 ... 7 %. Коэффициент использования кормов на свинофермах составляет 0,85 ... 0,95. [61].

Исследованиями многих ученых установлено, что гранулометрический состав свиного навоза зависит от рациона кормления и места приготовления корма, таблица 1.1.

1.1 Гранулометрический состав свиного навоза, %

Авторы и литературный источник	Размеры частиц, мм			
	До 1	1 – 2	2 – 5	5
Лукьянчиков И. И. [61]	42,3	29,7	21,5	6,5
Мельников С. В. и др. [59]	30 ... 35	35 ... 40	15 ... 20	6,5

Лер Р. [30]	35,77	36,69	25,09	2,45
Бацанов И. Н. и др. [53]	52,7	23,8	16,7	6,75
Вороневский С. И. и др. [45]	70,9	16,6	8,38	4,12
Капустин В. П. и др. [77]	60,2	26,6	7,4	5,8
Линник Н. К. и др. [78]	54,6	38,9	6,58	–

Результаты ситового анализа, проведенные автором показали, что в свином навозе при концентратном типе кормления частиц размером 0,5 мм и меньше содержится более 50 %, в навозе КРС частиц размером до 0,5 мм – около 50 %, частиц размером от 3 до 10 мм – около 30 %. [77].

По данным Н. М. Марченко и других [66] средневзвешенная длина включений в навозе КРС составляет 2,2 мм, частиц длиной более 10 мм не более 0,8 %.

С. Д. Дурдыбаевым и другими [79] установлено, что в навозе КРС содержится более 55% частиц размером до 0,25 мм, в свином навозе – около 58 % частиц размером 0,25 ... 1,0 мм.

Работами А. И. Николаенкова [49] доказано, что осаждение твердых частиц в свином навозе начинается при влажности выше 88 %. Наибольшая скорость осаждения происходит по одним источникам в первые 15 ... 20 минут [49], по другим [61,80] в течение 2 ... 3 часов и заканчивается через 3 ... 6 суток. [61].

При исследовании физико-механических свойств свиного навоза Н. М. Марченко, Г. И. Личман [81] получены уравнения для определения количества частиц, выпавших в единицу времени в осадок

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

где G_0 – масса взвешенных частиц в единице объема, г/см³; V – объем, м³; W – влажность исходного навоза, %.

Кривые седиментации свиного навоза влажностью 94 ... 98 % аппроксимируются уравнением

$$G(t) = 168(100 - W) t_{oc} / [20,1 / (W - 93) + t_{oc}],$$

где $G(t)$ – количество вещества, выпадающего в осадок на единицу площади, г/м²; t_{oc} – время осаждения, с. [81].

В Чехословакии Я. Юрчиком [82] определена зависимость скорости седиментации от времени осаждения

$$V = A/t^B,$$

где A и B коэффициенты; t – время осаждения, с.



Анализ полученных уравнений показывает, что скорость осаждения зависит только от влажности исходного навоза и времени осаждения. [81, 82].

Исследования, проведенные в Тамбовском филиале ВИЭСХ показали, что на скорость осаждения частиц влияют их размеры, влажность и температура, рис 1.3. [56, 83, 84].

Интенсивное осаждение частиц происходит в течение часа и заканчивается через 4 ча-са, рис. 1.4. [56, 83].

С повышением влажности, температуры и увеличением размеров частиц скорость осаждения повышается. [84].

В зависимости от размеров частиц скорость их осаждения составляет (1,5...5,2 · 10⁻² м/с). [56, 84].

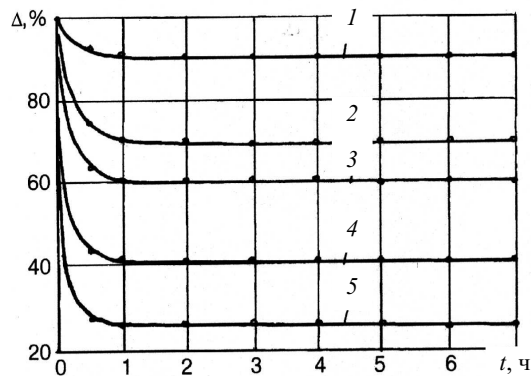
Исследованиями В. И. Якубаускаса [42] установлено, что жидкий бесподстилочный навоз во время длительного хранения расслаивается на верхний слой влажностью 73 ... 78 %, высотой до 0,7 м, средний слой влажностью 92 ... 96,5 %, – до 1 м и нижний слой – осадок влажностью 87 ... 88,9 %, до 0,5 м.

Липкость навоза характеризуется усилием, которое необходимо приложить для отрыва пластины от навоза [42].

Результаты исследований липкости свиного навоза, полученные Н. М. Марченко [47], показывают,

что с повышением влажности сила прилипания увеличивается только в определенном интервале влажности, а затем уменьшается. Максимальное значение липкости свежего навоза, полученное отдельными авторами колеблется в широких пределах влажности 76 ... 78 % [54, 85], 84 [86] и 85 ... 86 % [47], а навоза трех месячного хранения достигается при влажности 90 %. [47, 87].

Рис. 1.4 Графики осаждения твердой фракции свиного навоза при различной влажности и $T = 285$ К: 1 – при $W = 90$ %; 2 – при $W = 92$ %; 3 – при $W = 94$ %; 4 – при $W = 96$ %; 5 – при $W = 98$ %



Критическая влажность навоза КРС, при которой липкость принимает максимальное значение по данным С. В. Мельникова и других [59] составляет 85 %, Б. М. Верховского и других [58] – 86,3 %. После трехмесячного хранения наибольшая липкость проявляется при влажности 60 ... 75 %. [42, 58].

По результатам наших исследований наибольшая липкость свежего свиного навоза достигается при влажности 75 ... 76 %, навоза КРС – 80 ... 82 %, [83]. рис. 1.5.

Установлено, что наибольшая липкость навоза проявляется при соприкосновении с поверхностью из дуба – 12,3 г/см² при влажности навоза 80,5 %, из сосны – 12,3 г/см² при – 82,7 %, из бетона – 8,6 г/см² при влажности навоза 80,5 %, из стали – 6,5 г/см² при влажности навоза 75,5 %. [41].

При влажности навоза КРС равной 87 ... 92 % наклон поверхности составляет 0,7 ... 2,5 %, а у хорошо перемешанного свиного навоза 2 ... 3 %. [75, 88].

Гидравлическая крупность навоза КРС в зависимости от размера твердых частиц по нашим [56] и другим данным [66, 71] изменяется в пределах от 3 до 35 мм/с, свиного навоза – от 1,5 до 52 мм/с. [66, 71, 75].

Исследованиями теплофизических свойств жидкого навоза КРС влажностью 86 ... 98 %, проведенными А. А. Ковалевым и другими [89] установлены значения теплопроводности и теплоемкости равные $(1,13 ... 1,67) \cdot 10^{-7}$ Вт/(м·К) и 3984 ... 4160 Дж/кг соответственно.

В. Н. Письменовым [41] определена теплоемкость навоза, изменяющаяся от 0,77 до 0,41 кал/г град в зависимости от содержания в нем сухого вещества.

Жидкий навоз, как грубодисперсная масса, подвергается при уборке, транспортировке и переработке статическому и механическому давлению, химическому, температурному, временному и электрическому воздействиям, в результате чего физико-механические свойства претерпевают значительные изменения и существенно влияют на протекание технологических процессов.

Несмотря на представленные в литературных источниках сведения о многих физико-механических и реологических свойствах бесподстилочного навоза, в них отсутствуют сведения об изменении предельного напряжения сдвига и вязкости в зависимости от температуры, о давлении насыщенных паров, об удельном электрическом сопротивлении и удельной теплоемкости, реакции среды pH и времени насыщения влагой, необходимых для оптимизации процессов уборки, транспортировки и разработки новых способов и средств для очистки и обеззараживания жидкой фракции. [53, 71, 73, 89].

В связи с этим нами исследовались физико-химические свойства: насыщение навоза влагой, касательное напряжение сдвига, динамическая и кинематическая вязкости, давление насыщенных паров, показатель pH, удельная теплоемкость и удельное электрическое сопротивление.

Опыт эксплуатации самотечных систем уборки и наши исследования [90, 91, 92, 93] показали, что снижению навозной массы в каналах способствует не только попадание остатков кормов, но и испарение влаги с поверхности, которое достигает 25 л в сутки из одного канала. С целью улучшения условий истечения навозной массы в каналы добавляется вода. Однако наши наблюдения показали, [56, 94], что добавляемая вода не сразу впитывается в навоз. В связи с этим нами были проведены эксперименты по определению времени насыщения водой навозной массы до оптимальной влажности, равной 88 %.

Результаты опытов сведены в таблицу 1.2, по которым построен график

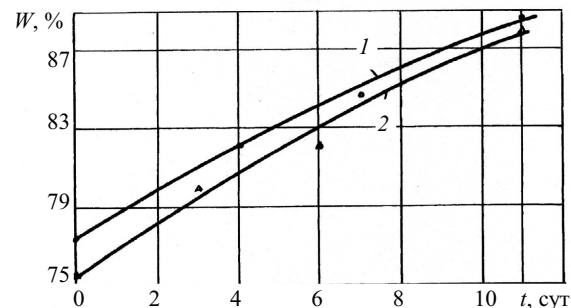


Рис. 1.6 Зависимость влажности навоза от времени насыщения его водой: 1 – навоз КРС; 2 – свиной навоз

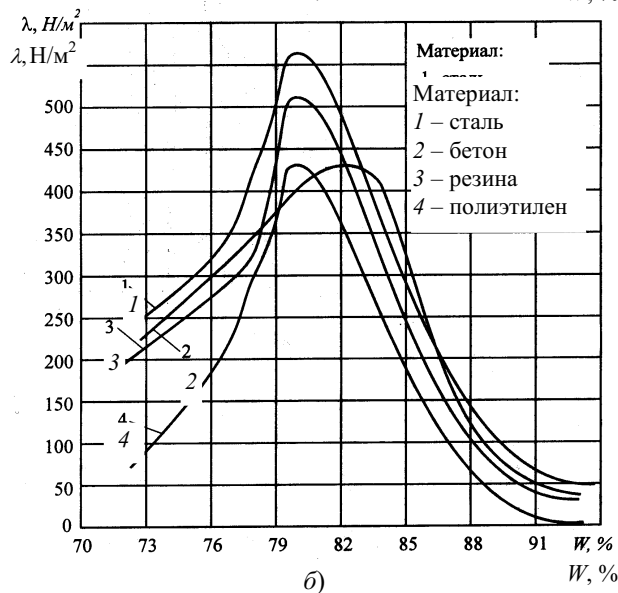
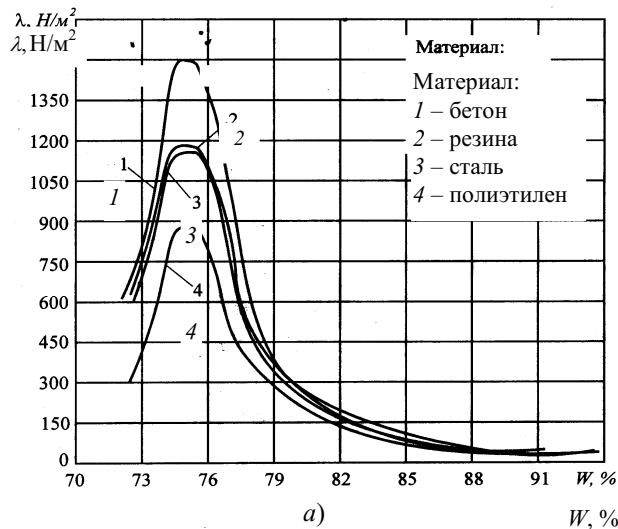


Рис. 1.5 Изменение липкости навоза от его влажности: а – свиного; б – КРС

зависимости влажности навоза от времени насыщения, рис. 1.6. Из графика, рис. 1.6 следует, что для насыщения находящегося в канале навоза влажностью 84 ... 86 % до полного насыщения водой, при которой происходит истечение в оптимальном режиме, требуется не менее 3 ... 4 суток. Следовательно, это явление необходимо учитывать при эксплуатации каналов. Постоянно, перед началом истечения измерять влажность, и при необходимости, добавлять воду (очищенную фракцию) и выдерживать время, которое требуется для насыщения и придания навозу однородной структуры.

1.2 Результаты опытов насыщения навоза водой

Продолжительность опытов, сутки							
Начало	5	7	11	Начало	3	6	13
Навоз КРС				Свиной навоз			
77,45	82,1	84,8	87,9	75,5	80	82,1	88

Основными факторами, определяющими процессы накопления (H_0) и истечения навоза из каналов и их параметры, а также параметры и режимы оптимального функционирования гидротранспорта являются предельное напряжение сдвига и динамическая вязкость.

Исследования напряжения сдвига и динамической вязкости навоза проводили на усовершенствованном вискозиметре РВ-8, для чего внешний цилиндр увеличили до диаметра 188 мм и внутренний, с рифленой поверхностью, до диаметра 152 мм, что позволило иметь зазор между цилиндрами около 14 мм, т.е. больше размеров твердых включений. [56, 95, 96]. Частота вращения менялась как путем смены шестерен в редукторе, так и с помощью трехручьевого шкива, имеющего радиусы 92,59 и 27 мм.

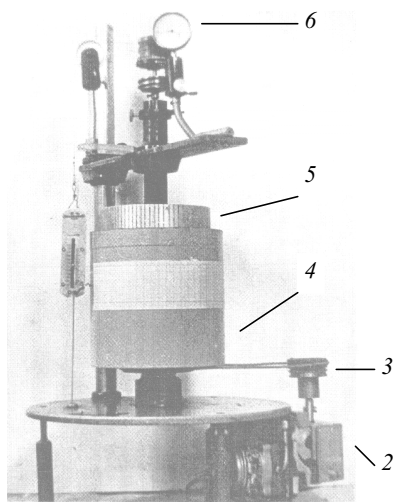


Рис. 1.7 Усовершенствованный вискозиметр РВ-8:

1 – основание; 2 – редуктор; 3 – сменные шкивы; 4 – наружный цилиндр; 5 – внутренний цилиндр; 6 – индикатор

На усовершенствованном вискозиметре, рис. 1.7, устанавливали приборы, позволяющие регистрировать на бумажной ленте, закрепленной на поверхности наружного цилиндра, изменение напряжения сдвига и деформации индикатором часового типа.

При исследовании жидкий навоз, определенной влажности и температуры, помещался в зазор между цилиндрами, устанавливалась требуемая частота вращения наружного цилиндра, динамометр с записывающим устройством соединялся с нитью, закрепленной на шкиве внутреннего цилиндра. При работе электродвигателя внутренний цилиндр вращался синхронно с наружным, но по мере увеличения нагрузки момент, передаваемый на внутренний цилиндр, возрастал, движение его замедлялось, и, когда напряжение в на-

возе превышало предел прочности, вращение его прекращалось совсем. При остановке двигателя внутренний цилиндр вращался в противоположную сторону и спустя некоторое время останавливался, при этом создаваемый крутящий момент соответствовал напряжению сдвига.

Обработка результатов опытов проводилась по следующим зависимостям:

$$\text{напряжение сдвига } \tau = 1,3 P/n;$$

$$\text{градиент скорости в зазоре } \gamma = 7,04 \omega;$$

$$\text{динамическая вязкость } \eta = 1,74 (\omega/h),$$

где P – сила, создаваемая динамометром, H ; h – высота уровня жидкого навоза в зазоре между цилиндрами, м; γ – градиент скорости в зазоре, с; ω – частота вращения наружного цилиндра, с⁻¹.

рис. 1.8, показывает, что при определенной влажности и температуре навоза и различных скоростях перемещения напряжение сдвига изменяется от 0 до max. При изменении частоты вращения от 0,00026 до 0,009 с⁻¹ напряжение сдвига увеличивается от 40 до 43 Па. После достижения максимального значения происходит уменьшение напряжения до равновесного состояния. Наличие максимума объясняется упругими свойствами, а дальнейший спад напряжения до равновесного указывает на разрушение структурных связей в навозной массе.

Наибольшее напряжение сдвига соответствует максимальной прочности неразрушенной структуры.

Остановка двигателя на восходящей ветви не приводила к вращению внутреннего цилиндра в обратную сторону, что подтверждает наличие в навозной массе предела текучести. При достижении предела текучести и остановки двигателя внутренний цилиндр вращался в обратную сторону до тех пор, пока не достигал напряжения сдвига 15,5 Па, при всех значениях частоты вращения, затем останавливался. [56, 96].

Таким образом можно сделать вывод о том, что движения навоза в канале произойдет тогда, когда сила движения (гидростатическое давление) превысит силу сопротивления τ_{max} , перемещение прекратится при равенстве силы движения силе сопротивления, т.е. $\tau_{ост} \cdot \tau_{ост} = (0,3 \dots 0,36) \tau_{max}$.

Скорость осаждения частиц в свином навозе в зависимости от их размера составляет $(1,5 \dots 5,2) \cdot 10^{-2}$ м/с. Волос свиной имеет скорость осаждения $2,16 \cdot 10^{-2}$ м/с, т.е. несколько больше, чем частицы размером 0,1 ... 0,5 мм. [91, 97].

Взаимосвязь касательных напряжений со скоростью деформации, влажностью и температурой определяется рядом моделей [98, 99]. Основным недостатком этих моделей является то, что невозможно получить отдельные оценки влияния параметров на рассматриваемый критерий, из-за наличия корреляционной связи между ними. [100, 101, 102].

Для получения математической модели, описывающей изменение касательных напряжений, использовали методику планирования многофакторных экспериментов.

За критерий оптимизации приняли касательное напряжение, а за основные факторы – скорость деформации, влажность и температуру жидкого навоза, табл. 1.3.

По результатам экспериментальных исследований [103] получено уравнение регрессии (1.1)

$$y = 39,95 + 10,59X_1 - 26,21X_2 - 5,06X_3 + 26,1X_1X_2 - 0,05X_1X_3 - 0,66X_2X_3 - 9,07X_1^2 + 31,77X_2^2 + 25,34X_3^2. \quad (1.1)$$

Расчет ошибок в определении коэффициентов регрессии показал, что коэффициенты b_{13} , b_{23} незначимы.

1.3. Факторы, уровни и интервалы их варьирования

Уровни варьирования факторов	Кодированное значение	Факторы		
		скорость деформации, с	влажность, %	температура, К
Верхний	+1	11,5	91	293
1-ый промежуточный	+0,5	9,0	90	290,5
Основной	0	6,5	89	288
2-ой промежуточный	-0,5	4	88	285,5
Нижний	-1	1,5	87	283
Интервалы варьирования		5	2	5

Проверку адекватности уравнения 1.1 проводили по F -критерию. Установлено, что с 95 % достоверной вероятностью экспериментальные данные и теоретические расчеты адекватны, т.к. $F < F_{табл}$.

После исключения незначимых коэффициентов регрессии уравнение приняло вид

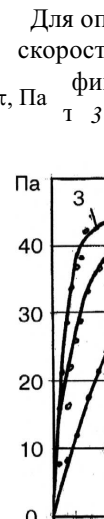
$$y = 39,95 + 10,59X_1 - 26,21X_1X_2 - 9,07X_1^2 + 31,77X_2^2 + 25,34X_3^2. \quad (1.2)$$

Анализ уравнения (1.2) показывает, что касательные напряжения увеличиваются с ростом скорости деформации (X_1), так как знак перед X_1 положительный. Это явление вызвано существованием в навозе функциональной пространственной сетки, густота которой зависит от скорости и продолжительности деформации. [100, 101].

С повышением влажности (X_2) касательные напряжения снижаются, т.к. знак перед X_2 отрицательный. Это объясняется тем, что с повышением влажности жидкого навоза нарушается прочность структурной сетки, смесь по своим свойствам приближается к ньютоновским жидкостям, течение которых начинается даже при незначительных градиентах скорости сдвига.

Повышение температуры также приводит к уменьшению касательных напряжений потому, что в любой жидкости существуют неплотности упаковок молекул в виде пустот (дырок). Колебание молекулы в результате теплового движения около положения равновесия приводит к перескакиванию в дырку, которое возможно в случае, повышения кинетической энергии молекулы больше потенциального барьера перескока. Повышение температуры уменьшает высоту потенциального барьера. Как результат вязкость и напряжение структуры снижаются. [102].

Для определения значений факторов и критерия оптимизации соответствующих реологическому состоянию жидкого навоза, составляли систему дифференциальных уравнений и решали ее, приравнивая к нулю частные производные. [103].



Для изучения зависимости касательных напряжений от скорости деформации и влажности экскрементов строили двумерные сечения, рис. 1.9

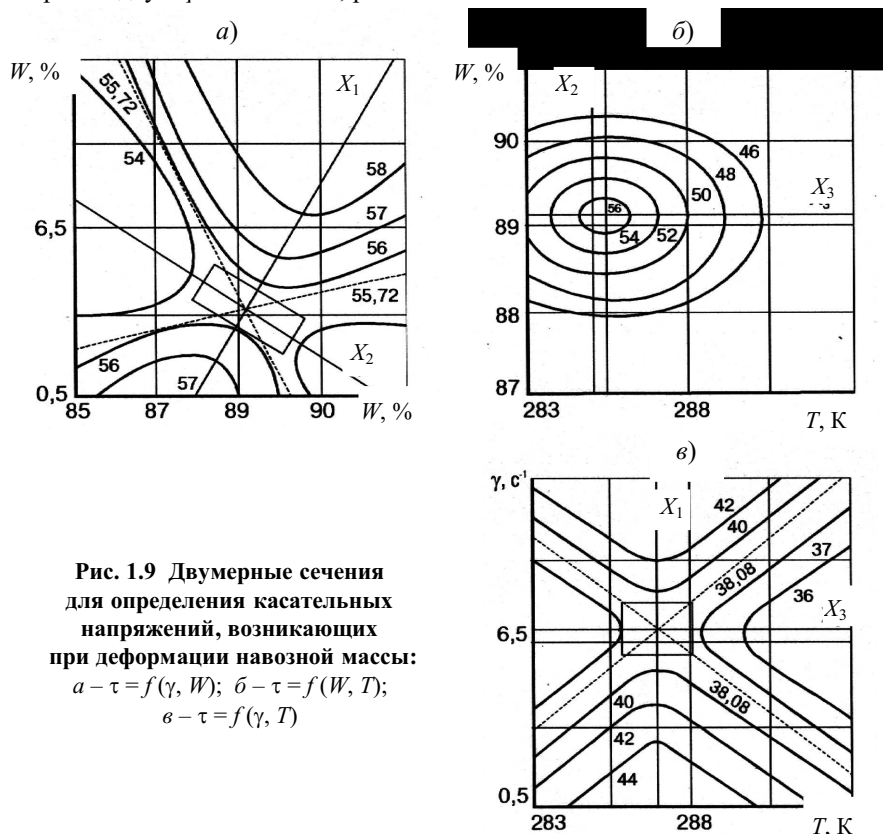


Рис. 1.9 Двумерные сечения для определения касательных напряжений, возникающих при деформации навозной массы:
 $a - \tau = f(\gamma, W)$; $b - \tau = f(W, T)$;
 $v - \tau = f(\gamma, T)$

Анализ графического материала показывает, что зависимость касательных напряжений от скорости деформации и влажности смеси, а также от скорости деформации и температуры носит гиперболический характер (поверхность отклика типа минимакса), т.к. коэффициенты канонического уравнения имеют различные знаки. Значение касательных напряжений увеличивается при движении из центра фигуры по осям X_1 и уменьшается при движении по осям X_2, X_3 . В зависимости от того какое значение касательных напряжений необходимо иметь в конечном результате, минимальное или максимальное, выбирается направление движения.

Зависимость соответствует поверхности отклика, имеющей экстремум в силу того, что коэффициенты канонического уравнения положительны. В нашем случае имеем максимум 56,1 Па.

Раскодированное уравнение (1.1) примет вид

$$\tau = 151807,65 - 143,95W - 57,701T + 6,78\gamma + 2,61\gamma W - 7,9W^2 + 101T^2 - 0,36\gamma^2, \quad (1.3)$$

где γ – скорость деформации, c^{-1} ; W – влажность экскрементов, %; T – температура экскрементов, К.

Анализ уравнения (1.3) показывает, что жидкий навоз является вязкопластической жидкостью, обладающей структурой, так как изменение касательных напряжений не подчиняется закону Ньютона.

Уравнение (1.3) справедливо для значений влажности 87 ... 91 %, температуры 283 ... 293 К и скорости деформации 1,5 ... 11,5 c^{-1} .

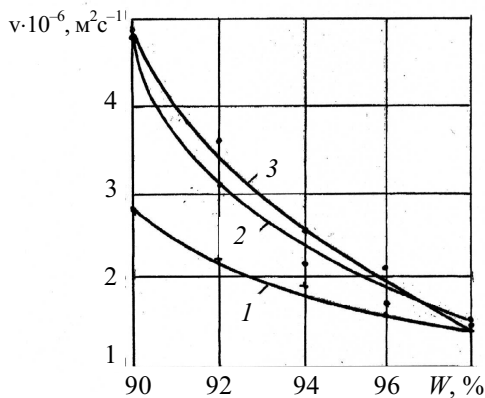


Рис. 1.10 Зависимость кинематической вязкости жидкого навоза от влажности:
1 – свежий навоз; 2 – навоз после 7 дней хранения; 3 – навоз после 15 дней хранения
глубину 50 мм. График, рис. 1.11, подтверждает капиллярную структуру навозной массы. [105].

Давление насыщенных паров жидкого навоза является важным фактором, определяющим допустимую высоту всасывания фекальных насосов, нормальную их работу и проектирование насосных установок. Для его определения использовали установку, представленную на рис. 1.12. Установка включает вакуумный насос, соединенный с прозрачной емкостью вместимостью 5 л.

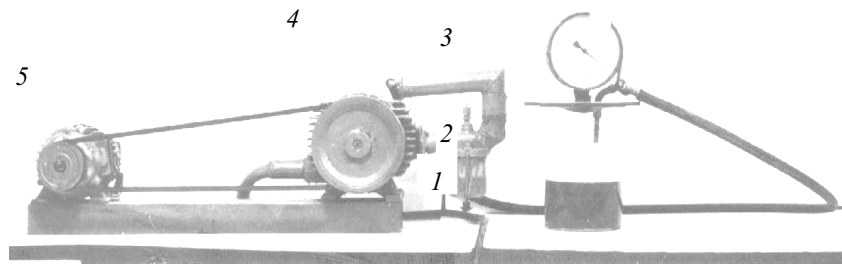


Рис. 1.12 Устройство для определения давления насыщения паров (а) и его схема (б):
1 – емкость; 2 – прокладка; 3 – крышка; 4 – вакуумметр;
5 – вакуумный насос

Опыты проводились с жидким навозом КРС и свиной влажностью 85 ... 95 %. При исследовании навоз нагревался до 293 ... 343 К. Вакуум в емкости создавался с помощью вакуумного насоса.

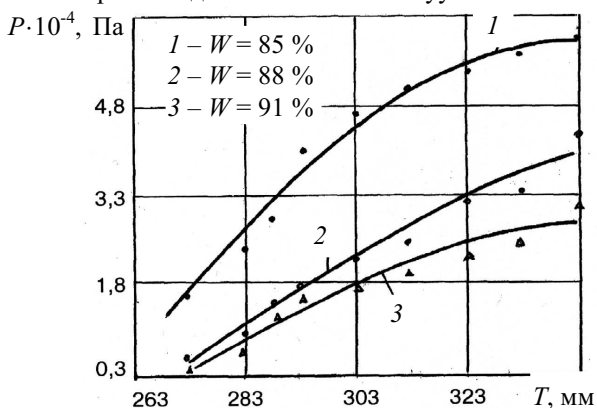


Рис. 1.13 Зависимость давления насыщенных паров свиного навоза от температуры

Для навозной массы КРС зависимость давления насыщенных паров от температуры при влажности более 90 % носит линейный характер

$$P = 0,086T - 23,8. \quad (1.6)$$

Давление насыщенных паров жидкого навоза возрастает с повышением температуры и понижением влажности, вследствие увеличения средней кинетической энергии молекул этих паров. [106].

При описании процессов, происходящих в жидком навозе при разделении, а также оценке качества работы машин, важно знать значение кинематической вязкости.

Кинематическую вязкость определяли на вискозиметре ВПЖ-2 по методике, содержащейся в инструкции к прибору. По результатам исследований построен график изменения кинематической вязкости в зависимости от влажности жидкого навоза, рис. 1.10. [104, 105]. График показывает, что с увеличением количества сухого вещества в жидком навозе значение кинематической вязкости увеличивается. Следовательно, для создания лучших условий транспортирования жидкого навоза по трубам с помощью насосов, необходимо жидкий навоз разделять сразу же, при выходе его из помещения.

В основной массе навоз имеет капиллярную структуру, исследование которой осуществил Н. М. Лосовым методом определения высоты столба жидкости, удерживаемой в капиллярных трубках диаметром 0,86; 1,62; 3; 5 и 7 мм. Трубки опускались в фильтрат на

По данным опытов построены графики зависимости давления насыщенных паров от влажности и температуры жидкого навоза, рис. 1.13. [65, 77, 84].

В результате статистической обработки опытных данных получены эмпирические зависимости давления насыщенных паров навозной массы от ее температуры и влажности.

Для свиного навоза влажностью больше 88 % эта зависимость описывается уравнениями:

$$P_i = ke^{-W/T}, \quad k = 0,27 \cdot 10^5 \text{ Па}. \quad (1.4)$$

$$\text{При } W < 88 \% \quad P_i = ke^{-W/T}, \quad k = 0,64 \cdot 10^5 \text{ Па}, \quad (1.5)$$

где W – влажность навозной массы, %; T – абсолютная температура, К; e – основание натурального логарифма; k – коэффициент, Па.

Для определения зависимости удельной теплоемкости от реакции среды pH и температуры жидкой фракции навоза был принят стандартный метод рототабельного планирования второго порядка. [107]. Опыты проводились на установке, разработанной сотрудниками Тамбовского государственного технического университета. [56]. Измерительная ячейка (рис. 1.14) установки для измерения теплоемкости (рис. 1.15) представляет собой теплообменник 1, внутри которого находится измерительная трубка 2 с нагревателем 3, закрепленная резиновыми пробками 5. Измерив расход жидкости и разность температур на входе и выходе устройства, определяется ее удельная теплоемкость. Рассеивающееся тепло от нагревателя передается жидкости, проходящей через теплообменник, которая поступает далее в измерительную трубку по соединительному шлангу 4.

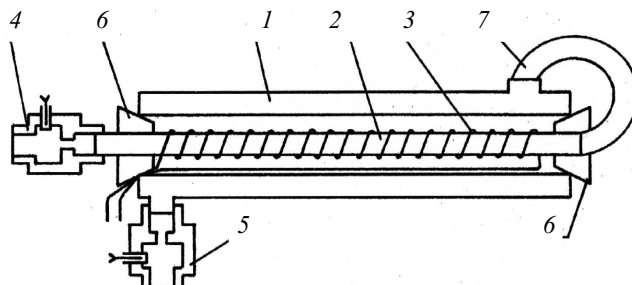


Рис. 1.14 Измерительная ячейка:

1 – теплообменник; 2 – измерительная трубка; 3 – нагреватель;
4, 5 – устройства для измерения температуры на входе и выходе; 6 – резиновая пробка; 7 – соединительный шланг

Разность температур T измеряли с помощью дифференциальной хромель-копелевой термопары, горячие спаи которой были установлены в измерителях температуры 6 и 7. В измеритель жидкость поступает через узкое отверстие в широкую камеру, где температура выравнивается и показания не зависят от расположения термопары. Сигнал от последней подается на фотоэлектрический усилитель Ф-369 (рис. 1.15) и с него на автоматический потенциометр КСП-3. Для устранения электрического контакта между термопарами в жидкости их горячие спаи покрывались изоляционным слоем.

Расход жидкой фракции навоза измеряли расходомером, представляющим собой колбу с переключателем, связанным с электрическим секундомером, а регулировали в пределах 1 ... 10 мг/с вентилями, установленными на входе в устройство.

Мощность электрического нагревателя определяли комплектом К-505, включающим амперметр, ваттметр, вольтметр. Питание к нагревателю подавалось через автотрансформатор от сети переменного тока напряжением 220 В.

Исходное значение реакции жидкого навоза pH измеряли прибором pH-340 и изменяли в пределах 6 ... 8, путем добавления небольшого количества растворов 0,1NaOH и 0,1HCl.

Опыты проводились в 3-кратной повторности. Кодирование факторов и интервалы варьирования приведены в табл. 1.4.

1.4 Факторы и уровни их варьирования

Уровни	Код	Факторы	
		$X_1(\text{pH})$	$X_2(T)$
Верхняя звездная точка	+1,414	8,0	343
Верхний	+1	7,7	336
Основной	0	7,0	310
Нижний	-1	6,3	300
Нижняя звездная точка	-1,414	6,0	293

Обработка результатов исследований, показывает, что видимого влияния pH на удельную теплоемкость не оказывает, поэтому в расчетах ее значением пренебрегли [108, 109].

Полученная зависимость удельной теплоемкости от температуры в раскодированной форме имеет вид [77, 108]

$$C = 360450,37 - 198,43T + 0,31T^2. \quad (1.7)$$

Из графика рис. 1.16 видно, что при увеличении температуры от 293 до 325 К удельная теплоемкость уменьшается, а при дальнейшем росте температуры увеличивается. Такая зависимость объясняется тем, что с увеличением температуры выше 326 К начинается процесс парообразования. Характер изменения теплоемкости жидкой фракции идентичен закону изменения удельной теплоемкости воды.

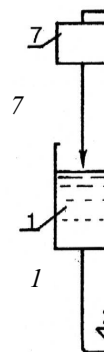


Рис. 1.15

1 – слив;
5 – измерительная трубка;
7 – промежуточный резервуар;
9 – диалектический материал

Для определения электрофизических свойств фракции навоза использовали установку, состоящую из прямоугольной емкости, (изготовленной из диэлектрика), внутри которой на торцах были смонтированы два электрода, прибора для измерения реакции среды рН, измерительного переносного комплекта К-505, автотрансформатора, реле переменного тока, ртутных термометров с диапазоном измерений от 273 до 373 К рис. 1.17.

Для проведения исследований жидкая фракция свиного навоза бралась из навозоприемника насосной станции свиарни $C, \frac{\text{К} \cdot \text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ на 13,5 тыс. голов одновременной постановки в Там-бовском РАПО.

Жидкая фракция заливалась в емкость, на электроды подавалось напряжение, электрический ток, проходя через жидкость, нагревал ее. Через каждые 10 градусов снималось напряжение с электродов, в емкость погружались контакты прибора рН-340, проводился замер значения рН при данной температуре. Опыты проводились при исходных рН жидкой фракции 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0. Нагревание жидкой фракции проводилось от 288 до 353 К.

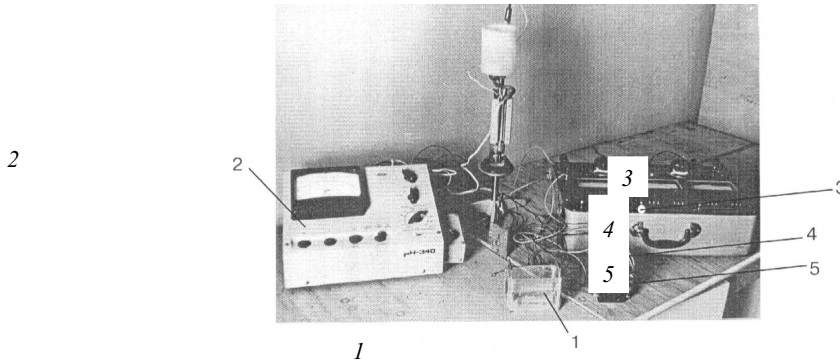


Рис. 1.17 Установка для электрофизических свойств жидкого навоза:
1 – емкость из диэлектрического материала; 2 – рН-340; 3 – комплект К-505;
4 – автотрансформатор; 5 – реле переменного тока

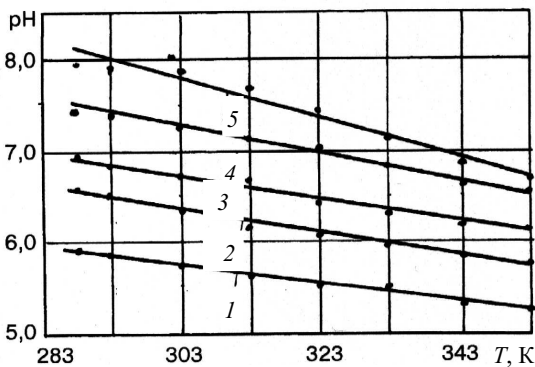


Рис. 1.18 Изменение рН в зависимости от температуры:

1 – рН = 6,0; 2 – рН = 6,5; 3 – рН = 7,0;
4 – рН = 7,5; 5 – рН = 8,0

При исследовании удельного электрического сопротивления электрический ток подавался на электроды через комплект К-505, что давало возможность дополнительно определить удельное сопротивление методом амперметра-вольтметра. [106].

По результатам исследований изменения рН и удельного сопротивления в зависимости от температуры, построены графики зависимости $\text{pH} = f(T)$ и $\rho = f(T)$, рис. 1.18.

Из графика, рис. 1.18, следует, что с повышением температуры реакция среды рН снижается прямо пропорционально по линейному закону: $\text{pH} = aT + b$. Значения коэффициентов a и b представлены в табл. 1.5.

1.5 Значения коэффициентов a и b

рН _{исх}	a	b	рН _{исх}	a	b
6,0	-0,01	8,897	7,5	-0,015	11,79
6,5	-0,011	9,67	8,0	-0,022	14,4
7,0	-0,013	10,69			

Изменение кислотности среды с повышением температуры происходит за счет интенсификации окисления органических веществ.

С повышением температуры жидкой фракции удельное электрическое сопротивление уменьшается нелинейно, рис. 1.19. Это объясняется тем, что с повышением температуры жидкой фракции возрастает степень диссоциации молекул солей на ионы; их подвижность увеличивается, в результате чего уменьшается удельное электрическое сопротивление. [77, 109].

Изменение удельного электрического сопротивления описывается уравнением

$$\rho_t = \rho_0^{(c_t + 1)^{-1}},$$

где ρ_t и ρ_0 – удельные электрические сопротивления при $t = \text{К}$ и $t = 273 \text{ К}$, Ом·м; c – коэффициент, 1/К; t – текущее значение температуры, К.

Значения ρ_0 и c в зависимости от рН представлены в табл. 1.6. [108, 109].

$C, \frac{\text{К} \cdot \text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$
4,42
4,34
4,26
4,18
4,10
29

Рис. 1.

По данным многих отечественных и зарубежных исследователей содержание азота в бесподстилочном навозе КРС колеблется от 0,29 до 0,45 %, фосфора – от 0,06 до 0,37, калия – от 0,10 до 0,68, кальция – от 0,15 до 0,59 % от массы сухого вещества. [22, 30, 38, 43, 75, 110, 111, 112, 113].

1.6 Значения ρ и c

Показатель	Значение pH				
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
ρ , Ом·м	4,60	4,95	5,09	5,12	5,06
C·10, 1/К	3,440	3,35	3,27	3,10	2,95

Кал КРС в среднем содержит: азота 0,39 %, фосфора 0,23, калия 0,20, кальция 0,3 %; моча соответственно 0,68, 0,01, 1,04 и 0,03 %. [22, 75, 85].

Свиной бесподстилочный навоз содержит азота от 0,20 до 0,60 %, фосфора – от 0,10 до 0,41 %, калия – от 0,12 до 0,50 %, кальция – от 0,20 до 0,50 % от массы сухого вещества навоза. [38, 43, 45, 54, 79, 110, 112].

Свиной кал в среднем содержит азота 0,6 %, фосфора – 0,41, калия 0,26 %, моча соответственно 0,43, 0,07, 0,83 %. [54, 75, 112]. После разделения бесподстилочного свиного навоза твердая фракция содержит азота 0,3 ... 0,47 %, фосфора 0,13 ... 0,16 %, калия 0,09 ... 0,15 %, жидкая фракция соответственно 0,07 ... 0,17, 0,07 ... 0,09, 0,06 ... 0,07 %. [5, 78, 110, 112, 113].

По данным отечественных и зарубежных исследователей биохимическое потребление кислорода (БПК) для жидкого свиного навоза колеблется в широких пределах от 6000 до 43000 мг/л [30, 51, 87, 88, 89, 110], химическая потребность в кислороде (ХПК) – от 17900 до 90000 мг/л [51, 114, 115, 116, 117, 118]. Взвешенных частиц в свином навозе содержится от 13 до 21 тыс. мг/л. [97].

Отечественными и зарубежными учеными установлено, что жидкий навоз, кроме питательных элементов и взвешенных частиц, содержит большое количество различных возбудителей болезней, часть которых способна заражать человека. Причем жидкий навоз является средой, благоприятной для длительного сохранения жизнестойкости и вирулентных свойств патогенных бактерий и вирусов. [111, 119, 120, 121, 122].

Из данных, приведенных А. А. Черепановым следует, что в совхозе "Новый свет" Ленинградской области от 6 до 41 % свиней инвазированы гельминтами [120, 123]. В 1 л жидкого свиного навоза содержится от 5 до 340 яиц гельминтов, аскарид, которые в инвазионной стадии представляют яйца трихоцефалов, эзофостов и яйца крысиного цепня. В навозе КРС больше всего содержится яиц стронгилят, трихоцефал, фасциол и других. [44, 120].

А. Е. Антоненко [124] при обследовании свиноводческих комплексов в Белоруссии на 12 и 24 тыс. голов определил, что зараженность жидкого навоза аскаридами составляет 18,5 ... 45 %, трихоцефалами 4 ... 7 %, стронгилятами 12,1 ... 12,8 %, кокцидиями 2 ... 13,6 %.

Американскими учеными выявлено, что выход колиподобных бактерий у КРС и свиней в 2,9 ... 3,2 раза больше, чем у человека. [30].

При исследовании свиного навоза Р. О. Амировым [125] установлено, что в нем содержится яиц гельминтов от 104 до 3630 экз/л.

Пораженность свиней аскаридозом 38,6 %, стронгилоидозом 7,9, трихоцефалом 3,9 % и другими гельминтами выявлены в совхозе "Заволжский" Тверской области. [126].

Известно, что зараженные гельминтами животные потребляют больше на 11 % кормов, дают меньше молока, снижают прирост на 10 ... 15 % по сравнению со здоровыми [125, 127, 128]. По данным международной организации ФАО ущерб, причиняемый болезнями скота и птицы составляет: в США – 15,4 %; Англии – 15,7 %; Франции – 15,1 %; Италии – 19 %; Германии – 12,5 % годовой стоимости продукции. [112].

Исследованиями В. В. Миллера [129], В. А. Андреева, А. В. Быкова, В. А. Деревягина, П. Д. Попова [130] установлено, что в 1 т свежего навоза находится от 50 до 5 млн. семян сорняков, которые пройдя через желудочно-кишечный тракт животных, не теряют способность к прорастанию. Например, семена сорняков, выделенные с калом КРС, сохраняют всхожесть 26,4 %, свиней 7,4 %. Основная часть жизнеспособных семян сорных растений поступает в навоз с грубыми кормами и соломой, используемой на подстилку.

При средней засоренности поля сорняки потребляют на 1 га в среднем 140 кг азота, 120 кг калия и 30 кг фосфора. В результате потери зерновых культур составляют от 4 до 15 ц/га, картофеля 40 ... 100 ц/га, овощей

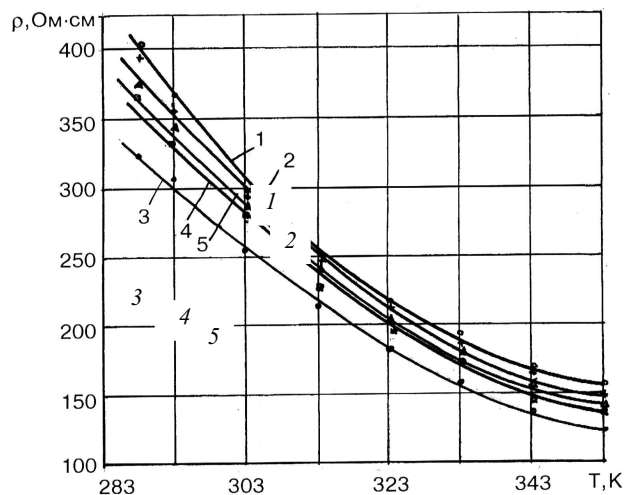


Рис. 1.19 Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры: T, К
1 – pH = 8,0; 2 – pH = 7,5; 3 – pH = 7,0; 4 – pH = 6,5; 5 – pH = 6,0

30 ... 60 ц/га, корнеплодов и силосных культур 80 ... 100 ц/га. Содержание белка в зерне при этом уменьшается на 1 ... 2, сахара – в сахарной свекле на 1,5 ... 2,0, крахмала – в клубнях картофеля на 2 ... 3 %. [129, 130].

Проведенный анализ позволяет констатировать, что изученные физико-механические и реологические свойства бесподстилочного навоза, в разных зонах страны, показывают важность проблемы качественной переработки навоза при сохранении его питательных свойств и исключение отрицательного влияния на окружающую среду. Подбор определенных фиксированных значений температуры, плотности и реакции среды дает основание использовать их при расчете параметров и режимов работы гидравлических систем уборки и устройств для разделения. Но этого явно недостаточно при определении параметров каналов и технических средств для оптимального функционирования технологических процессов, и разработки новых способов и средств, поскольку влажность, температура, а вместе с ними свойства изменяются сразу же при выделении кала, мочи, попадании пыли, остатков корма, воды и других включений в каналы.

Использование результатов изученных и дополнительно исследованных нами физико-механических и реологических свойств навоза позволяет оптимизировать существующие технологии и технические средства и обосновывать новые способы и средства для уборки, транспортировки и переработки бесподстилочного навоза.

Исследования химического состава бесподстилочного навоза КРС и свиней показывают, что он содержит достаточное для восстановления плодородия почв количество азота, фосфора, калия и других питательных элементов, взятых ранее растениями. Вместе с тем ограничивающими факторами при этом являются возбудители болезней, яйца гельминтов и семена сорных растений, являющиеся потенциальным источником заражения человека, животных и загрязнения окружающей среды.

ВЫВОДЫ

1 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. Вместе с тем остались неизученными такие свойства, как удельное электрическое сопротивление и удельная теплоемкость, реакция среды pH, насыщение навоза влагой, давление насыщенных паров и их изменения в зависимости от влажности и температуры, знание которых необходимо для оптимизации процессов накопления и истечения навоза из каналов, функционирования гидротранспорта, разработки новых способов и средств для разделения и обеззараживания жидкого навоза и очистки жидкой фракции.

2 Исследования химического состава бесподстилочного навоза КРС и свиней 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 – их обезвреживание.

Исследования физико-механических и реологических свойств навоза позволили установить численные значения предельного напряжения сдвига, динамической и кинематической вязкости, давления насыщенных паров, удельных теплоемкости и электрического сопротивления и их изменения в зависимости от температуры, влажности и реакции среды. Полученные закономерности изменения физико-механических и реологических свойств жидкого навоза позволяют более четко определить их влияние на показатели эффективности отдельных технологических процессов и всей системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Федеральная целевая программа стабилизации и развития агропромышленного производства в РФ на 1996...2000 гг. // Собрание законодательства РФ. 1996. № 26. С. 6337.
- 2 Система ведения агропромышленного производства Тамбовской области на период до 2005 года. Тамбов. 1998. 480 с.
- 3 Морозов Н. М. Направление исследований по механизации и автоматизации животноводства // Техника в сел. хоз-ве. 1994. № 1. С. 2 – 4.
- 4 Вальков В. Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений. М.: Агропромиздат, 1986. 208 с.
- 5 Никитин Е. Д. Берегите почву. Новое в жизни, науке, технике. Сер. "Сельское хоз-во" М.: Знание, 1990. № 11. 64 с.
- 6 Звягинцев Д. Г. Современные проблемы экологии почвенных микроорганизмов // Микробиология окружающей среды. Алма-Ата, 1980. С. 65 – 78.
- 7 Артюшин А. М., Державин Л. М. Краткий справочник по удобрениям. М.: Колос, 1971. 288 с.
- 8 Васильев В. А., Филиппова Н. В. Справочник по органическим удобрениям. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Росагропромиздат, 1988. 255с.
- 9 ГОСТ 20432-83 Удобрения. Термины и определения.
- 10 Силин М. И. Агроэкологическая оценка технологий возделывания ржи // Земледелие. – 1995. – № 47. – С. 31.

- 11 Кацыгин В. В., Нугис Э. Ю. Проблема почвоплодильной технологии // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 2. С. 8 – 10.
- 12 Сафронов В. С., Богомолов Ю. М. Основы инженерной экологии: Учеб. пособие. Самара: Самар. политех. ин-т, 1992. 90 с.
- 13 Агрохимия / Под ред. В. М. Ключковского и А. В. Петербургского. М.: Колос, 1967. 583 с.
- 14 Капустин В. П. Подготовка сельскохозяйственных машин к эксплуатации: Учеб. пособие / Тамбов: Изд-во Тамб. гос. ун-та. 1996. 124 с.
- 15 Каштанов А. Н. Научные основы почвоохранного земледелия в Белгородской области // Вестник с.-х. науки. 1990. № 12. С. 59 – 65.
- 16 Артюшин А. А., Пуговкина Н. П., Малыгина Л. М. Предпосылки оценки системы "Навоз – органическое удобрение – поле" // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 2. С. 59 – 61.
- 17 Шатилов И. С. Экология и программирование урожая // Вестник сельскохозяйственной науки. 1990. № 11. С. 23 – 31.
- 18 Гриднев П. И. Вопросы создания экологически безопасных технологий утилизации навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1994. № 11. С. 11 – 15.
- 19 Кушнарев А. С. Проблемы повышения плодородия почв // Техника в сел. хоз-ве. 1989. № 1. С. 4 – 7.
- 20 Васильев В. А. Органические удобрения и плодородие почвы // Земледелие. 1982. № 7. С. 41 – 45.
- 21 Цюрн Ф. Удобрение сенокосов и пастбищ / Пер. с нем. М.: Колос, 1972. 214 с.
- 22 Морозов Н. М. Проблемы механизации и автоматизации животноводства // Техника в сел. хоз-ве. 1988. № 4. С. 3 – 5.
- 23 Горбунов И. Б. Роль химии в повышении плодородия почв ЦЧЗ // Науч. тр. НИИСХ Центр. Чернозем. полосы. 1979. Вып. 16, № 1. С. 47 – 56.
- 24 Леонтьев А. К. Роль удобрений в процессах превращения органического вещества выщелоченного чернозема // Почвоведение. 1969. № 8. С. 45 – 53.
- 25 Лапин М. И. Растениеводство с основами селекции и семеноводства. М.: Сельхозгиз, 1956. 349 с.
- 26 Морозов Н. М., Гриднев П. И. Технологические аспекты экологически чистых технологий утилизации навоза // Вестник с.-х. науки. 1990. № 10. С. 45 – 49.
- 27 Линник Н. К. Совершенствование технологий и технических средств использования органических удобрений // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 5. С. 51 – 53.
- 28 Хохлов В. И. Подготовка и применение органических удобрений в условиях интенсивного земледелия // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1988. № 12. С. 11 – 14.
- 29 Kosmat H. Der Einfluss der Gullei auf die Fruchtbarkeit des Bodens Bericht uber die Arbeitstagung "Fragen der Gullerei" Bundesversuchsanstalt fur alpenlandischl Landwirtschaft Gumpenstein // Landtechnik. 1961. № 18. S. 481 – 990.
- 30 Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: Пер. с англ. / Под. ред. А. Н. Шамко М.: Колос, 1979. 415 с.
- 31 С. М. Асенов, М. П. Банкин, В. В. Горшков и др. Экологические последствия применения стоков животноводческих комплексов в качестве удобрений // Вопросы экологии и охраны природы: Сб. науч. тр. Л.: ленинград. ун-та. Л., 1989. С. 25 – 39.
- 32 Удобрения в интенсивном земледелии. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1987. 112 с.
- 33 Мамченков И. П., Васильев В. А. О влиянии органического вещества навоза на урожай // Вестник с.-х. науки. 1971. № 10. С. 60 – 69.
- 34 Половцев Е. Л., Черкасов А. Н. Производство органических компостов на промышленную основу // Механизация и электрификация с.-х. 1992. № 9 – 12, С. 16 – 18.
- 35 Механизация подготовки к использованию органических отходов ферм и комплексов: Обзор. информ. / Сост.: Савин В. Д., Шрамков В. М., Жирков Е. И. и др.; ВНИИТЭИагропром. М., 1992. 44 с.
- 36 Тиво П. Ф., Дробот С. Г. Эффективное использование бесподстильного навоза. Минск: Ураджай, 1988. 116 с.
- 37 Ковалев Н. Г., Глазков И. К., Еселевич М. М. Системы удаления, переработки и применения навоза в качестве органических удобрений. М., 1977. 41 с.
- 38 Бесподстильный навоз и его использование для удобрения: / Пер. с нем. под ред. М. Я. Семенова. М.: Колос, 1978. 271 с.
- 39 Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос, 1978. 560 с.
- 40 Яли И. И. Исследование коэффициента трения навоза // Вопросы механизации и электрификации: УНИИМЭСХ. Киев, 1962. Т. 4. С. 18 – 23.
- 41 Письменов В. Н. Уборка, транспортировка и использование навоза. М.: Россельхозиздат, 1975. 200 с.

- 42 Якубаускас В. И. Технологические основы механизированного внесения удобрений, М.: Колос, 1973. 231 с.
- 43 Берглунд С., Анианссон Г., Экембу И. Транспортировка жидкого навоза / Пер. со швед. под ред. И. Ф. Ромашкевича. М.: Колос, 1962. 183 с.
- 44 Бакулов И. А., Кокурин В. А., Котляров В. М. Обеззараживание навозных стоков в условиях промышленного животноводства. М.: Росагропромиздат, 1988. 126 с.
- 45 Вороневский С. И., Перекрестов А. Т., Полонский Л. С. Механизация удаления и утилизации навоза на животноводческих фермах Молдавской ССР: Обзор. Кишинев: МолдНИИНТИ, 1974. 62 с.
- 46 Сизов В. А., Хазанов Е. Е. О критерии подобия при движении навозной массы в самотечной системе // Науч. тр. НИПТИМЭСХ С.-З.-Л.-1970. Вып. 6. С. 141 – 143.
- 47 Марченко Н. М. Технологические и научно-технические решения проблемы рационального применения органических удобрений в условиях интенсивного земледелия: Автореф. дис....д-ра техн.наук.– М.,1991.–68 с.
- 48 Голушко А. С. Исследование линейных и местных сопротивлений в навозопроводах на свиноводческих фермах: Автореф.дис.... канд. техн. наук. М., 1969. 31 с.
- 49 Николаенков А. И. Исследование и обоснование перспективной системы удаления навоза на свиноводческих фермах и комплексах в условиях БССР: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Минск, 1977. 20с.
- 50 Личман Г. И. Исследование процесса движения навоза по напорным трубопроводам с целью обоснования их параметров и режимов транспортирования: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1975. 27 с.
- 51 Максимовский Н. С. Методы очистки сточных вод свиноферм // Опыт проектирования, строительства и эксплуатации систем удаления, переработки и утилизации навоза на животноводческих комплексах: Тез. докл. к Всесоюз. совещ.-семинару, Москва, 13 – 17 мая 1973. М., 1973. С. 20 – 21.
- 52 Чиненова О. Д. Исследование и обоснование оптимальных параметров системы непрерывного удаления навоза из свинарников: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1979. 18 с.
- 53 Бацанов И. Н., Лукьяненок И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. М.: Россельхозиздат, 1977. 160 с.
- 54 Рекомендации по устройству и эксплуатации самотечной и смывной систем удаления навоза на свинарниках / Лукьяненок И. И., Лебедев П. М., Калюга В. В. и др. М.: Россельхозиздат, 1973. 48 с.
- 55 Капустин В. П., Тырнов Ю. А., Саяпин В. А. Определение выхода навоза // Свиноводство. 1976. № 12. С. 30-31.
- 56 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 (Заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 7707740; Инв. № Б 629569. Тамбов, 1976. 152 с.
- 57 Утилизация навоза на фермах промышленного типа / Кузьменко И. И., Марченко Н. М., Овчинникова К. Н. и др. Киев: Урожай. 104 с. (на укр. языке).
- 58 Физико-механические свойства жидкого бесподстилочного навоза / Верховский В. М., Мусаев А. Х., Шибалкин А. Е. и др. // Научные основы механизации внесения органических удобрений. М., 1974. С. 50 – 54.
- 59 Мельников С. В., Калюга В. В., Сафронов Ю. К. Гидравлический транспорт в животноводстве. М.: Россельхозиздат, 1976. 187 с.
- 60 Ковалев Н. Г., Глазков И. К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. М.: Агропромиздат, 1989. 160с.
- 61 Лукьяненок И. И. Перспективные системы утилизации навоза (в хозяйствах Нечерноземья). М.: Россельхозиздат, 1985. 176 с.
- 62 Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидравлических систем уборки навоза на фермах КРС / Лукьяненок И. И., Текучева М. С., Рубинштейн Л. Г. и др. М.: Россельхозиздат, 1975. 27 с .
- 63 Мелер Х., Хейнинг В. Постройки и оборудование для содержания КРС: / Пер. с нем. под ред. В. С. Алимова, М.: Колос, 1974. 560 с.
- 64 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 (Промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В.П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 844039. Тамбов, 1979. 112 с.
- 65 Капустин В. П., Тырнов Ю. А. Определение допустимой высоты всасывания жидкого навоза фекальными насосами // Вопросы механизации, технологии и строительства в животноводстве: Тр. ВНИИМЖ. Подольск, 1975. Т.7. С. 63 – 68.

- 66 Марченко Н. М., Личман Г. И., Шебалкин А. Е. Механизация внесения органических удобрений. М.: Агропромиздат, 1980. 207 с.
- 67 Текучева М. С. Исследование самотечной системы непрерывного удаления навоза из коровников: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1973. 23 с.
- 68 Калинин В. А. Параметры самотечных каналов для удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1973. № 7. С. 16 – 18.
- 69 Крупенин А. В. Исследование рабочего процесса лотковой самотечной системы удаления навоза из коровников: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Горки, 1974. 30 с.
- 70 Гайдаш Н. И. Исследование самотечной системы удаления навоза из животноводческих помещений: Автореф. дис....канд.техн. наук. Краснодар, 1974. 30 с.
- 71 Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. М.: Колос, 1983. 61 с.
- 72 Сизов В. А. Исследование процесса перемещения бесподстилочного навоза КРС в каналах самотечной системы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.–Пушкин, 1976. 25 с.
- 73 Коваленко В. П. Механизация обработки бесподстилочного навоза. М.: Колос, 1985. 156 с.
- 74 Горин В. Т. Утилизация навоза на крупных фермах и комплексах // Животноводство. 1975. № 6. С. 75 – 80.
- 75 Сурнин В. И. Использование жидкого навоза. М.: Россельхозиздат, 1978. 64 с.
- 76 Письменов В. Н. Получение и использование бесподстилочного навоза. М.: Россельхозиздат, 1988. 206 с.
- 77 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 (Заключительный) /Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 7707912; Инв. № Б 913155. Тамбов, 1980. 125 с.
- 78 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.
- 79 Дурдыбаев С. Д., Данилкина В. С., Рязанцев В. П. Утилизация отходов животноводства и птицеводства: Обзор. М.: Агропромиздат, 1989. 56 с.
- 80 Механизация уборки и утилизации навоза /В. М. Новиков, В. В. Игнатова, Ф. Ф. Костанди и др.: Под ред. Ф. Ф. Костанди. М.: Колос, 1982.– 285 с.
- 81 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.
- 82 Юричек Я. Зависимость скорости седиментации свиного навоза от времени // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1990. № 7. С. 63.
- 83 Капустин В. П., Саяпин В. А., Дудышев Е. С. Исследование расслаивания и скорости осаждения свиного навоза // Механизация и автоматизация животноводческих ферм: Крат. тез. докл. конф. Тамбов, 1974. Ч. 2. С. 98 – 100.
- 84 Капустин В. П., Тырнов Ю. А., Колесников А. В. и др. Рекомендации по расчету и применению поточных технологических линий уборки, обработки и транспортировки жидкого навоза на животноводческих комплексах. Тамбов, 1980. 64 с.
- 85 Временные рекомендации по проектированию систем удаления, транспортирования, обработки, обеззараживания и использования навоза, получаемого на животноводческих комплексах и фермах промышленного типа. М.: ГипроНИСЕЛЬХОЗ, 1975. 55 с.
- 86 Красехин И. Д., Найденко В. К. Исследование скорости осаждения и липкости свиного навоза // Науч. тр. НИПТИМЭСХ с.–х. 1970. Вып. 6. С. 163 – 165.
- 87 Физико-механические и реологические свойства бесподстилочного навоза / Марченко Н. М., Мусаев А. Х., Верховский В. М. // Вестник с.–х. науки. 1971. № 9. С. 92 – 96.
- 88 Калюга В. В., Бахрах В. Б. Устройство и эксплуатация самотечной системы удаления навоза в свинарниках // Техника в сел. хоз-ве. 1972. № 2. С. 24 – 31.
- 89 Ковалев А. А., Гриднев П. И., Левчикова М. В. Технические средства для получения биологического газа и органических удобрений из отходов сельскохозяйственного производства // Биологическая переработка: Тез. докл. совещ. Киев, 1983. С. 113 – 115.
- 90 Зуев В. А., Текучева М.С. Самотечное перемещение экскрементов в канале // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1971. № 7. С. 26 – 29.
- 91 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.
- 92 Письменов В. Н., Форманюк П. Н., Рулевский Г. В. Эксплуатационные показатели шибберных систем уборки навоза на молочных фермах // Науч.-техн. бюллетень ЦНИПТИМЭЖ. Запорожье, 1978. Вып. 17. С. 96 – 105.

- 93 Капустин В. П., Дудышев Е. С., Саяпин В. А. Уборка навоза в автоматизированном свиномочнике // Техника в сел. хоз-ве. 1975. № 5. С. 42 – 44.
- 94 Капустин В. П., Саяпин В. А., Колесников А. В. Гидрозатворы для систем уборки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1978. № 3. С. 36 – 38.
- 95 Капустин В. П., Саяпин В. А. Определение глубины слоя навоза в канале // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1980. № 6. С. 20 – 22.
- 96 Саяпин В. А., Колесников А. В., Капустин В. П. Усовершенствование вискозиметра РВ-8. Информ. листок. Тамбов, ЦНТИ, 1978. № 26 – 78. 4 с.
- 97 Гришаев И. Д. Ветеринарно-санитарные аспекты обработки жидкого навоза // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч.-производств. конф. Минск 19-20 декабря 1979. Минск, 1979. С. 69-70.
- 98 Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
- 99 Конфельд М. Упругость и прочность жидкостей. М. –Л.: Госиздат, 1951. 56 с.
- 100 Александров А. П., Лазуркин Ю. С. Принцип температурно-временной суперпозиции // Теоретическая физика. 1939. Т. 9. С. 1924 – 2260.
- 101 Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1977. 464 с.
- 102 Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. М.: АН СССР, 1945. 422 с.
- 103 Тырнов Ю. А., Капустин В. П. Реологические свойства навозной массы // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1996. № 1. С. 24-25.
- 104 Капустин В. П. Обоснование параметров автопоилок для свиней // Механизация и электрификация сел. хоз-ва.– 1978.– N 7.– С. 39–40.
- 105 Сарычев П. П., Капустин В. П. Исследование процесса обезвоживания жидкого навоза // Науч.-техн. бюллетень по электрификации сел. хоз-ва / ВИЭСХ. М. 1977. Вып. 1(31). С. 33 – 38.
- 106 Яворский Б. М., Пинский А. А. Основы физики. М.: Наука, 1969. Т. 1. 456 с.
- 107 Кафаров В. В., Винаров А. Ю., Гордеев Л. С. Моделирование биохимических реакторов. М.: Лесн. пром-ть, 1979. 344 с.
- 108 Макаров В. С., Капустин В. П., Пономарев С. В. Удельная теплоемкость жидкой фракции свиного навоза // Механизация и электрификация с.-х. 1977. № 12. С. 42-43.
- 109 Капустин В. П., Макаров В. С. Удельное электросопротивление жидкого свиного навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1975. № 8. С. 42-43.
- 110 Временные рекомендации по использованию для удобрения бесподстилочного навоза, получаемого на крупных животноводческих фермах промышленного типа. М.: Колос, 1973. 32 с.
- 111 К вопросу применения жидкого навоза и минеральных удобрений при поверхностном улучшении сенокосного луга / Путило В. И., Чепурнова Н. А., Кусяк П. М. и др. // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч.-производств. конференции, Минск, 19-20 декабря 1979 г. Минск, 1979. Ч. 2. С. 8-9.
- 112 Пузанков А. Г., Мхитарян Г. А., Гришаев И. Д. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1986. 175 с.
- 113 Воронова А., Комаров Г. Переработка навоза на свиноферме. // Техника в с.-х. 1972. № 1. С. 30 – 33.
- 114 Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета: ОНТП 17-81. М.: Колос, 1983. 32 с.
- 115 Рекомендации по использованию жидкого навоза на полях и методом гидропоники. М.: РосНИПИагропром, 1987. 47 с.
- 116 Баранников В. Д. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу очистными сооружениями свиноводческого комплекса // Вестник с.-х. науки. 1990. № 11. С. 71 – 78.
- 117 Гришаев И. Д., Комарова А. В. Ветеринарно-санитарная оценка биологической очистки стоков свиноводческих комплексов // Биологическая обработка: Тез. докл. совещ. Киев, 1983. С. 35 – 39.
- 118 Е. И. Гончарук, Г. И. Сидоренко, Т. Н. Хруслова и др. Гигиенические основы почвенной очистки сточных вод М.: Медицина, 1976. 184 с.
- 119 Гришаев И. Д., Розов А. А., Андрюнин И. Т. Обеззараживание навоза в крупных животноводческих комплексах // Ветеринария. 1972. № 3. С. 36 – 43.
- 120 Черепанов А. А. Санитарно-гельминтологическая оценка различных методов обработки и использования жидкого навоза // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч.-произв. конф., Минск, 19-20 декабря 1979 г. Минск, 1979. Ч. 2. С. 64 – 66.

121 Черепанов А. А. Применение биологических способов обработки и дегельминтизации стоков и навоза, получаемых на животноводческих комплексах // Биологическая переработка: Тез. докл. совещ. Киев, 1983. С. 31 – 34.

122 Джупина С. И. Организация ветеринарного обслуживания крупных животноводческих ферм. М.: Росагропромиздат, 1991. 175 с.

123 Черепанов А. А., Данилкина В. С. Обеззараживание навоза в крупных специализированных животноводческих хозяйствах // Ветеринария. 1972. № 2. С. 26 – 30.

124 Антоненко А. Е. К обоснованию метода обеззараживания животноводческих стоков // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч.-произв. конф., Минск 19-20 декабря 1979. Минск, 1979. С. 60-61.

125 Амиров Р. О. Загрязнение атмосферного воздуха вблизи промышленных свиноводческих комплексов // Актуальные вопросы гигиены села. Нукус, 1976. Т. 10. С. 83 – 86.

126 Смирнов П. П., Неманихин Л. Н. Фабрика свинины. М.: Россельхозиздат, 1971. 73 с.

127 Гриднев П. И. Технологии утилизации навоза // Зоотехния. 1989. № 9. С. 62 – 64.

128 Макаров В. С. Исследование электрического способа дегельминтизации жидкого свиного навоза: Автореф. дис... канд. техн. наук. Челябинск, 1979. 23 с.

129 Миллер В. В. Аэробная автотермическая термофильно-мезофильная стабилизация концентрированных стоков животноводческих ферм и комплексов: Автореф. дис... канд. техн. наук. Л., 1983. 22 с.

130 Андреев В. А., Быкова А. В., Деревягин В. А. и др. Обеззараживание навоза от жизнеспособных семян сорняков. М.: Россельхозиздат, 1988. 39 с.

2 УБОРКА НАВОЗА

2.1 Механический способ уборки

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.

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 [1, 2, 3, 4, 5].

Основными требованиями, предъявляемыми к системе уборки навоза, являются обеспечение максимальной чистоты животноводческих помещений с минимальными затратами средств и труда, при минимальном расходе воды и выполнении санитарно-гигиенических и зооветеринарных требований [6, 7].

Механический способ уборки, включающий роторные, шнековые и скребковые транспортеры, скреперные установки и бульдозеры используется, в основном, на репродукторных фермах и фермах для содержания коров [7, 8, 9].

При комбинированном способе уборки навоз попадает в подпольное хранилище, накапливается и периодически выгружается погрузочными средствами, а при использовании контейнеров они опорожняются по мере их наполнения. Этот способ уборки нашел применение на фермах для содержания коров.

Гидравлический способ уборки, включающий гидросмыв водой или осветленной фракцией жидкого навоза, самотечный периодического и непрерывного действия, применяется, в основном, на фермах и комплексах по откорму КРС и свиней и реже на фермах для содержания дойного стада и на репродукторных фермах.

Одним из первых средств механизации на фермах были подвесные и наземные вагонетки, загружаемые и перемещаемые вручную по рельсам за пределы помещения; использование этих средств требовало значительных затрат ручного труда.

Применение транспортеров кругового движения (ТСН-2,0, ТСН-2,0Б, ТСН-160, ТСН-160А), возвратно-поступательного действия (ТС-1,0) шнекового (ТШ-30А), скреперных установок (УС-10, УС-15, УС-250, УСФ-170 и УСП-12), бульдозеров позволило снизить затраты труда на уборку навоза за счет механизации перемещения навоза по каналам и погрузку его в транспортные средства. Однако, 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 и т.д.) имеют малый срок службы, значительный расход электроэнергии, требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала. [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

Уборка навоза механическими средствами содержит в себе несколько негативных моментов, главные из них: повышение загазованности воздуха аммиаком, углекислым газом, сероводородом, иногда в количествах, превышающих предельно-допустимые концентрации (ПДК), что приводит к обесцениванию навоза как

органического удобрения из-за снижения содержания азота, фосфора, углерода, содержание микроорганизмов в воздухе достигает 1млн./м³. [22, 28, 29, 30, 31].

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

Потеря массы при перемещении навоза достигает более 10 % от исходного навоза: размазывается по стенкам каналов, переносится ногами животных, остается на волосяном покрове животных, часть уносится колесами трактора, из него испаряется влага. [23, 32, 33, 34]. В случае возникновения эпизоотии появляется опасность заражения всех животных, находящихся в помещении, а получаемый навоз достигает влажности 94 ... 96 %, создавая трудности при дальнейшей его переработке и особенно обеззараживании. [22, 26, 35, 36, 37, 38, 39].

Уборка навоза с помощью контейнеров и каналов с перфорированным дном не нашла широкого применения. Этим средствам уборки присущи те же недостатки, что и транспортерам и скреперным установкам. [38, 40, 41, 42].

За рубежом применяются скребковые транспортеры фирм "Сафиз", "Анфор", "Фарабол", "Рибер", скреперные установки фирм "Ширхольц", "Альфа-Лаваль" и другие. В Германии выпускают три модели электромобильных навозоуборщиков-погрузчиков. [43, 44].

Роторное навозоуборочное устройство, совмещенное с круглыми кормушками позволяет, используя один привод, раздавать корм в автоматическом режиме и одновременно убирать навоз в станках. [45, 46]. Устройство периодического действия, при этом работа складывается из очистки пола и накопления навоза на отвале скребка, перемещении его по полу и сброса в канализацию.

Расход электроэнергии в таких свинарниках за счет совмещения операций в два раза ниже, чем в типовых свинарниках. [45, 46]. Это устройство обладает недостатками транспортеров: потери навоза, его питательных веществ, загрязнение пола, животных, налипание навоза на скребки и т.д.

Для уборки навоза из коровников в Тульской, Московской и Свердловской областях используются шнековые транспортеры, срок службы которых составляет 8 ... 10 лет или в два раза больше, чем транспортеров типа ТСН. [18, 38, 40, 47, 48, 49]. Шнековые транспортеры устанавливаются в каналы, дно которых выполнено по радиусу, глубина продольного канала 450 мм, поперечного 800 мм. Каналы сверху перекрываются решетками, изготовленными из прутка диаметром 25 мм. Продольные транспортеры с правой и левой навивкой перемещают навоз в поперечный канал, выполненный по центру продольных каналов, откуда установкой УТН-10 перемещается в хранилище.

Считается, что на мелких молочных фермах лучшего, чем шнековый транспортер средства для уборки навоза с экономической и экологической точек зрения на сегодняшний день не существует. [47, 48, 49].

Уборка навоза с подпольным его хранением нашла применение при бесподстилочном содержании животных в Тульской, Пензенской и Новосибирской областях. [35, 38, 50, 51].

При размещении хранилищ под помещениями содержания КРС их высота (глубина) с использованием для выгрузки навоза мобильных погрузчиков принимается не более 5 м и 2,5 ... 3 м – стационарных установок УВН-800, с шириной не менее 5 м. Хранилища оборудуются устройствами для отвода навозной жижи.

Объем навозохранилища принимают из расчета 10 м³ на одну корову. Выгрузка навоза проводится по мере накопления электрифицированным или мобильным погрузчиком.

В коровниках при бесподстилочном содержании влажность навоза в хранилище составляет 84 ... 85 %, температура зимой 282 ... 286 К, летом до 293 К.

Коровники оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей нормальные зоогигиенические условия. Концентрация аммиака находится в пределах 10 ... 20 мг/м³, относительная влажность воздуха 57 ... 60 %. [49,52].

Этот способ уборки имеет следующие недостатки. Близкорасположенные грунтовые воды не позволяют строить глубокие навозохранилища, отсутствуют надежные средства выгрузки навоза, вызывает затруднение отделение жидкой фракции, имеется ограничение в его использовании (только в момент выгрузки), навоз не подвергается биотермическому обеззараживанию [40, 51].

2.2 Гидравлические способы уборки навоза

Используя реологические свойства жидкого навоза в США, Англии, Голландии, Германии, Швеции и Норвегии, гидравлические способы уборки начали применять в 60-годы. [2, 28, 43, 53, 54, 55, 56]. В нашей стране гидросмыв водой или отстоявшейся жидкой фракцией, бесканальную смывную систему (разновидность гидросмыва), самотечные непрерывного и периодического действия и секционную системы уборки навоза начали применять позднее. [8, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65].

Для перечисленных способов очистки животноводческих помещений характерно следующее:

– гидравлические способы уборки требуют содержания животных на щелевых полах, под которыми проходят продольные и поперечные каналы. Решетчатые полы выполняют из металла, железобетона или дерева, которые занимают всю площадь помещения или часть его, рис. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4;

– при гидросмыве используют смывные бачки или насадки, установленные в торце канала, к которым подают смывную жидкость. Каналы при гидросмыве строят длиной 50... 100 м, шириной 0,6... 1,2 и глубиной 0,6 м. [5, 52, 61];

– для бесканальной смывной системы зона дефекации имеет длину до 3 м, ширину 1,0... 1,8 и глубину 0,06 м, уклон пола 0,01. Смывную воду подают через форсунки под давлением 0,5 МПа. [59, 66];



Рис. 2.3 Железобетонный решетчатый пол в помещении для содержания КРС: 1 – гидрозатвор; 2 – навозосборный канал; 3 – железобетонная перемычка; 4 – канал для удаления загазованного воздуха

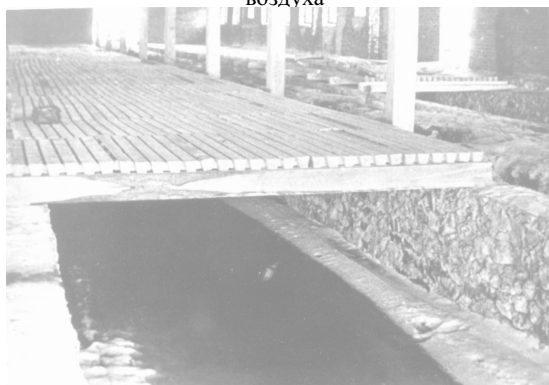


Рис. 2.4 Деревянный решетчатый пол

– самотечная система непрерывного действия обеспечивает удаление навоза из помещения за счет перемещения его под действием силы тяжести. Она применяется в животноводческих помещениях при содержании КРС без подстилки и кормлении силосом, корне- и клубнеплодами, бардой, жомом и зеленой массой и в свиарниках, при кормлении комбикормами без использования силоса и зеленой массы; причем, продольные каналы выполняют без уклона, длиной до 100 м, шириной 0,7... 1,5 и глубиной 1,25... 1,9 м. Каналы оборудуют порошком высотой 80... 200 мм, а иногда и гидрозатвором. [52, 58, 61, 67, 68, 69];

– каналы самотечной системы периодического действия выполняют длиной до 100 м, шириной 0,8... 1,0 и глубиной 0,8 м с уклоном дна 0,005... 0,02. Оборудуют гидрозатворами шиберного, калиточного, лоткового или шарнирно-рычажного типов [8, 23, 60, 61, 69, 70], рис. 2.5, 2.6.

При испытании различных полов пропускная способность определялась по формуле [71]

$$K = (M_{\text{нпр}} / M_{\text{но}}) \cdot 100 \%,$$

где K – коэффициент, характеризующий пропускную способность пола за определенное время, %; $M_{\text{нпр}}$ – масса навоза, провалившегося через решетки, кг; $M_{\text{но}}$ – масса навоза, выделенная животными в течение определенного времени, кг.

Установлено, что коэффициент K зависит от влажности экскрементов, типа животных, высоты скаливания, а также от конструкции решеток.

Для поросят, содержащихся на часточно решетчатых чугунных полах (на одно животное приходится 0,4 м² пола с пустотностью 45 %), коэффициент K был равен 1,5... 3,0 % при влажности экскрементов 72,7... 81,8 %. Оставшаяся его

большая часть протаптывалась животными за 45... 60 мин. Загрязненность пола не превышала 12 %.

При содержании молодняка крупного рогатого скота на деревянных, покрытых тормозной лентой, полах (на одно животное приходится 4,7 м² пола, ширина брусков – 0,16 и щелей 0,04 м, пустотность решетки – 20... 25 %). Коэффициент K составил 10... 20 % при влажности экскремента 75,7... 82 %. Время протаптывания не превышало 1... 1,5 ч, а загрязненность пола составляла 43 %.

Во время содержания дойных коров на железобетонных щелевых полах (на животное приходилось 0,9 м² пола, ширина брусков 0,10 и щелей 0,04 м) коэффициент K не превышал 20 %. Время протаптывания колебалось от 22 до 25 мин при загрязненности пола, равной 20... 33 %. Таким образом коэффициент K больший у железобетонных решетчатых полов, меньший – у чугунных. Но последние имеют наименьшую загрязненность, а первые – малый срок службы.

При разработке конструкции решетчатых полов необходимо исходить из следующих условий

$$[B\delta] \leq S_{\text{меж}} \leq B_{\text{бр}} \leq (0,8 \dots 0,9) D_{\text{к}},$$

где $[B\delta]$ – ширина бруска из расчета допустимого предела прочности, м; $S_{\text{меж}}$ – межкопытное расстояние, м; $B_{\text{бр}}$ – ширина бруска, м; $D_{\text{к}}$ – диаметр (ширина) копыта, м.

Исходя из условий устойчивости хождения животных и наименьшей загрязненности пола ширина бруска должна быть меньше или равна $(0,8 \dots 0,9) D_{\text{к}}$. При соблюдении данного требования животное легко будут перемещаться, устойчиво стоять, не травмироваться, обеспечится нужная прочность решетчатого пола.

Ширина щели выбирается из выражения

$$B_{\text{щ}} \leq (0,3 \dots 0,4) D_{\text{к}} \leq b_1,$$

Ри

1 – г

где $B_{щ}$ – ширина щели, м; D_k – диаметр (ширина) копыта, м; b_1 – размер щели, при которой наибольшее проваливание навоза, м.

Длина решетки ограничивается с одной стороны пределом прочности, с другой стороны – шириной канала, при которой создаются наилучшие условия для истечения из него навоза, то есть:

$$l_p \geq l[\delta] \geq B_k$$

С учетом предела прочности $[\delta]$ для деревянных балок прямоугольного сечения длина решетки определяется из выражения:

$$l_p \geq \frac{2bh^2[\delta]}{3GK_{ст}K_{дин}},$$

где l_p – длина решетки, м; $[\delta]$ – допустимое напряжение при изгибе, н/м²; b, h – ширина и высота бруска, м; G – масса животного, кг; $K_{ст}, K_{дин}$ – коэффициенты, учитывающие характер (статическую и динамическую) нагрузки.

Наиболее эффективными с экономической точки зрения являются каналы шириной 1,0 ... 1,2 м для свиней и 1,2 ... 1,5 м – для крупного рогатого скота. Уменьшение ее приводит к увеличению глубины канала, а следовательно и к удорожанию строительства. Большая ширина ограничивается пределом прочности и временем накопления навоза до начала истечения.

Из расчета на прочность следует, что для молодняка крупного рогатого скота необходимы решетки из брусков размером 0,08 × 0,08 и 0,08 × 0,09, а для дойных коров – 0,10 × 0,09; 0,10 × 0,10 и 0,10 × 0,11 м.

На основании исследований можно сделать вывод, что деревянные полы необходимо применять на фермах и комплексах по доращиванию молодняка КРС; чугунные – в свинарниках для доращивания поросят и в скотопрогонах; алюминиевые – в свинарниках для откорма свиней и доращивания поросят, но при этом их необходимо закреплять.

Стальные решетчатые полы рационально использовать при реконструкции мелких ферм КРС и свинарников.

Перед пуском самотечной системы каналы заполняют водой на высоту 100 мм. После накопления навозной массы до уровня ниже решетчатого пола на 0,25 ... 0,35 м, открывают гидрозатвор и она вытекает из канала под действием силы тяжести. Образовавшийся осадок из канала удаляется струей воды или осветленной фракцией.

Для снижения загазованности помещения поперечные навозоприемные каналы оборудуют вытяжной вентиляцией.

В секционной системе навозоудаления, являющейся разновидностью самотечной, каналы выполняют прямоугольной формы, глубиной 0,8 м и перекрывают решетчатым полом. На выходе канала в поперечный коллектор устанавливают шибер калиточного типа с горизонтальной осью вращения калитки, снабженной замком, который обеспечивает герметичное ее закрытие и быстрое открытие. По длине канала установлены неподвижные поперечные перегородки, между нижней кромкой которых и дном имеется зазор, равный 0,25 м. Перегородки расположены на расстоянии 6 ... 8 м друг от друга, рис. 2.7.

После заполнения канала калитку открывают и навозная масса начинает поочередно вытекать из каждой секции в поперечный коллектор [8, 52, 69].

Сложность конструктивного исполнения и технологического обслуживания не позволяют этой системе уборки найти широкое применение в производстве.

Исследования и опыт эксплуатации гидравлических способов уборки навоза, проведенные в различных зонах страны и за рубежом показали, что самотечные системы уборки успешно работают как при уборке навоза КРС, так и свиней [2, 3, 28, 53, 54, 58, 60, 61, 62, 72, 73, 74, 75, 76, 77].

Применение самотечных систем уборки навоза позволяет сократить затраты труда и приведенные затраты на 10 ... 30 %, по сравнению с механическими средствами уборки [48, 67, 78, 79, 80]. Удельная металлоемкость гидравлических систем уборки и транспортировки навоза в 4 ... 6 раз меньше, удельные капитальные вложения на одно скотоместо ниже на 30 ... 40 %, по сравнению с механическими способами. [22, 81].

С учетом санитарно-гигиенических и ветеринарных требований гидравлические способы имеют преимущества, т.к. значительно снижается загрязненность пола по сравнению с уборкой транспортерами, скреперными установками и бульдозерами, содержание вредных веществ в помещении не превышает значений предельно допустимой концентрации (ПДК). Однако, при гидросмыве содержание их выше на 16 ... 18 %, чем при самотечных способах уборки. [36, 82, 83, 84].

По комплексному показателю, включающему экономические, технические, зоотехнические требования, надежность и условия работы обслуживающего персонала самотечные способы уборки уступают только уборке с помощью бульдозера и мобильного погрузчика, применяемых на небольших фермах. [85, 86].

В жидком навозе, образовавшемся при самотечных способах уборки, при хранении потери азота и органических веществ в два раза меньше, чем в твердом навозе [87], т.к. в жидком навозе от 50 до 70 % азота

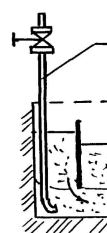


Рис. 2.7
1 – смывной гидрозатвор;
ка – калитка;
4 – калитка

находится в растворенной форме. [88]. Вместе с тем жидкий навоз является благоприятной средой для сохранения жизнеспособности и вирулентных свойств патогенных бактерий и вирусов. [75, 82].

При самотечных способах уборки, навоз наиболее доступен механизации и автоматизации на всех этапах процесса, начиная с удаления из помещений и кончая внесением в почву. Использование гидротранспорта для перемещения жидкого навоза позволяет избежать загрязнения территории фермы опасным распространением инфекций, инвазий в пределах фермы и вне ее. [89, 90, 91].

Вместе с тем результаты производственных опытов показывают, что гидравлические способы уборки имеют существенный недостаток. Применение гидросмыва при уборке приводит к увеличению объема в 3 ... 7 раз и влажности навоза с 87 ... 90 до 96 ... 98 % [34, 36, 51]. При уборке самотечным способом получают навоз влажностью 92 ... 96 % , что означает увеличение его объема в 1,5 ... 2,0 раза [2, 46,54], хотя надежность работы системы обеспечивается при влажности 88 ... 92 %. [6, 92].

Расход воды на промывку каналов при гидравлических способах уборки установлен от 1,5 до 32 л/сутки на одно животное. [6].

Целым рядом авторов указанные системы гидросмыва не рекомендованы из-за увеличения объема навоза, уменьшения концентрации питательных веществ в единице объема, выделения вредных газов выше норм ПДК. [87, 93].

Основными причинами ограничения использования самотечных систем уборки являются следующие:

- системы *периодического действия* чувствительны к утечке жидкости из-за плохой герметизации гидрозатворов, попадания инородных примесей, снижающих надежность их работы. [1, 40, 51, 90, 92, 94, 95];
- в каналах систем уборки непрерывного действия образуется осадок, они переполняются, появляется сплошная корка, увеличивается трудоемкость и расход воды на удаление осадка. [96].

Среди ученых нет единого мнения о том, какие самотечные системы лучше: периодического [76,97] или непрерывного действия. [23,90].

Для уборки навоза КРС используются каналы длиной 30 ... 90 м, шириной 0,7 ... 2,6 и глубиной 0,8 ... 1,9 м [1, 6, 33, 98]; для уборки свиного навоза рекомендуются каналы с параметрами 50 ... 92 м, 0,7 ... 1,2 м, 0,6 ... 1,4 м соответственно [1, 6, 78, 99]. 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, отсюда следует, что оптимальных параметров каналов не найдено.

Установлено [33], что при ширине каналов до 1 м загрязненность пола и кожного покрова животных повышается, увеличивается испарение влаги, с которой выделяются соединения азота, в результате чего ценность навоза как удобрения снижается. При ширине каналов самотечной системы непрерывного действия более 1,5 м концентрация аммиака в помещении повышается до 22 мг/м³, т.е. выше ПДК. [23].

Опытами установлено, что хранение навоза в канале более 3 ... 7 дней при температуре выше 287 К нежелательно, т.к. начинается брожение и выделение газов. [2, 100, 101]. При длительном (1 месяц и более) накоплении навоза в канале происходит уменьшение органического вещества навоза КРС на 5,5 %, свиного на 8,0 % и содержание азота на 8,1 и 14,3 % соответственно. [23].

Неудовлетворительная работа самотечных систем уборки навоза складывается из: несоответствия систем уборки технологии содержания, несовершенства конструкции параметров каналов, низкого качества строительных и монтажных работ, отсутствия надежных гидрозатворов, средств для удаления осадка и неквалифицированного обслуживания. [61, 83, 85, 102, 103].

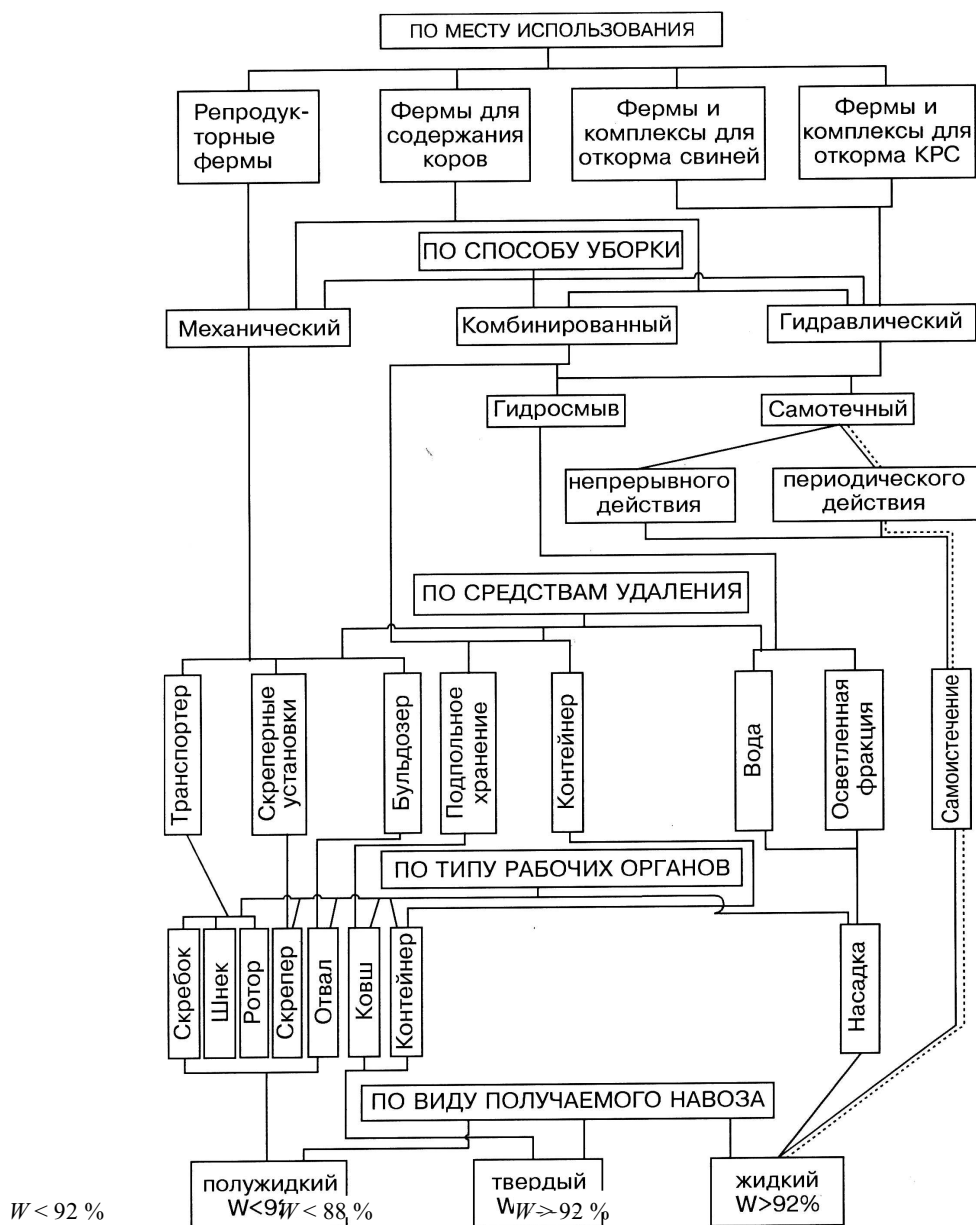


Рис. 2.8 Схема классификации способов и средств уборки навоза

Несмотря на имеющиеся недостатки самотечных систем уборки навоза, все же преобладают преимущества: удельная материалоемкость самотечных систем уборки и транспортировки навоза в 4 ... 6 раз меньше, а удельные капитальные вложения на 1 скотоместо ниже на 30 ... 40 %, по сравнению с механическими способами, затраты труда также ниже на 10 ... 20 %. [3, 22].

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, а так же учитывая то, что в настоящее время отсутствуют транспортные средства и машины для внесения полужидкого навоза, не разрушающие почву [36], важным представляется исследование и совершенствование самотечных систем уборки. Это соответствует направлению развития технологий и технических средств на предстоящие 10 ... 15 лет. [24, 104].

На основании анализа научных источников разработана классификация способов и средств уборки навоза, рис. 2.8.

2.2.1 Теоретическое исследование самотечных систем уборки

С целью оптимизации параметров каналов и процесса истечения навоза из них были проведены теоретические исследования .

Физическая модель самотечной системы удаления навоза непрерывного действия описывается следующим образом. Кал и моча, выделяемые животными, попадают через щели решеток в канал. Причем кал, имея размеры больше размеров щелей, дробится и частично задерживается на перемычках решеток, затем ногами

животных проталкивается и попадает в канал. Температура выделяемых животными кала и мочи превышает температуру навозной массы в канале в 2...3 раза. Плотность экскрементов также различна. В канал попадает пыль, частицы корма, почва с ног животных и полов, а также вода, подтекающая через неплотности и теряемая животными при питье и в то же время с поверхности навозной массы происходит постоянное испарение влаги.

По причине разности плотности компонентов, перемещения среды (вынужденная конвекция) происходит перемешивание в среде и достигаются некоторые средние свойства реакции среды pH и другие. Наличие градиентов концентраций компонентов и температуры по объему массы приводит к дополнительному выравниванию параметров системы в направлении "поперек" потока.

Навозная масса накапливается в канале до такой высоты, при которой статическое давление не превышает силы сопротивления массы, процесс истечения ее начинается при значительном увеличении высоты слоя, т.е. при переходе потенциальной энергии в кинетическую. [105].

Уравнение высоты слоя накопления жидкого навоза в канале, при которой начинается истечение, имеет общий вид

$$H_0 = f(B_{ж}, D_{ж}, T_c, Y_c, T_y, W, \Pi_k), \quad (2.4)$$

где $B_{ж}$ – вид животного; $D_{ж}$ – возраст животного; T_c – тип содержания; Y_c – условия содержания; T_y – способ уборки; W – влажность навоза, %; Π_k – параметры канала (L, B, H), м.

Если принять за время накопления небольшой промежуток, то $B_{ж} = \text{const}$, $D_{ж} = \text{const}$, $T_c = \text{const}$, $Y_c = \text{const}$, $T_y = \text{const}$, тогда в общем виде уравнение зависимости H_0 можно представить как

$$H_0 = f(\tau_0, L, B, \rho, W, T), \quad (2.5)$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; L – длина канала, м; B – ширина канала, м; ρ – плотность навозной массы, кг/м³; W – влажность навозной массы, %; T – температура навозной массы, К.

На глубину каналов, надежность их функционирования и капитальные вложения в их строительство основное влияние оказывает высота слоя накопления навоза H_0 .

Движение навозной массы в канале самотечной системы происходит за счет разности высот слоя навоза в начале и конце канала. Давление на поверхности по всей длине потока постоянное и равно атмосферному.

Для определения предельной высоты слоя навоза в канале выделим элемент, образованный сечениями I – I и II – II, и рассмотрим равновесие сил, действующих на него, рис. 2.9.

Суммарная сила гидростатического давления в торцевых площадках равна. [105, 106].

$$F_1 = F_1^3 - F_1^{33} = \rho g B (h_1^2 / 2) - \rho g B (h_2^2 / 2) = \rho g B (h_1 + h_2) / 2 (h_1 - h_2). \quad (2.6)$$

Сила сопротивления, действующая на площадке и стенках канала, равна

$$F_2 = [B + 2(h_1 + h_2) / 2] l \tau_0 = (B + h_1 + h_2) l \tau_0, \quad (2.7)$$

где F_1 – результирующая сила гидростатического давления, Н; F_2 – сила гидростатического давления, действующая в сечениях I – I и II – II соответственно, Н; ρ – плотность, кг/м³; B – ширина канала, м; h_1 – высота слоя навозной массы в сечении I – I, м; h_2 – высота слоя навозной массы в сечении II – II, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; l – расстояние между сечениями I – I и II – II, м; τ_0 – напряжение сдвига, Па.

Предельное равновесие элемента наступит при равенстве этих сил, т.е.

$$(\rho g B / 2)(h_1 + h_2)(h_1 - h_2) = B \tau_0 l + \tau_0 l (h_1 + h_2) \quad (2.8)$$

или $(\rho g B / 2)(h_1 - h_2) = B \tau_0 l / (h_1 + h_2) + \tau_0 l. \quad (2.9)$

Рассматривая уравнение (2.18) для всего слоя в канале при $l = L$ и, учитывая, что в случае $h_1 = H_0$ и $h_2 = 0$ получим

$$(\rho g B H_0) / 2 = (B \tau_0 l) / H_0 + \tau_0 l \text{ или } \rho g B H_0^2 - 2 \tau_0 L H_0 - 2 \tau_0 B L \quad (2.10)$$

решив которое получим

$$H_0 \geq (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2 \tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B. \quad (2.11)$$

Для каналов круглой формы радиусом R_k определение H_0 проводится по выражению

$$H_0 = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 8 \tau_0 L \rho g R_k^2}) / 2 \rho g R_k. \quad (2.12)$$

Таким образом, зная влажность, температуру и плотность навозной массы можно определить предельное напряжение сдвига и, задавшись шириной канала – определить высоту навозной массы H_0 и глубину канала. [107].

Глубина канала прямоугольного сечения самотечной системы периодического действия

$$H_{нк} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2 \tau_0 L \rho B^2}) / \rho g B + h_{рез}, \quad (2.13)$$

$$H_{кк} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2 \tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B + h_{рез} + Li, \quad (2.14)$$

Для каналов круглого сечения

$$H_{\text{нк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 8\tau_0 R_K^2 L \rho g}) / 2\rho g R_K + h_{\text{рез}}, \quad (2.15)$$

$$H_{\text{кк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 8\tau_0 R_K^2 L \rho g}) / 2\rho g R_K + h_{\text{рез}} + Li, \quad (2.16)$$

Глубина канала прямоугольного сечения самотечной системы непрерывного действия

$$H_{\text{нк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B + h_{\text{сл}} + h_{\text{рез}} + h_{\text{п}} + Li, \quad (2.17)$$

$$H_{\text{нк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B + h_{\text{сл}} + h_{\text{рез}} + h_{\text{п}}, \quad (2.18)$$

где $h_{\text{рез}}$ – допустимая высота накопления навоза до решетчатого пола, м; i – уклон дна; $h_{\text{сл}}$ – высота слоя истечения навоза через порожек, м; $h_{\text{п}}$ – высота порожка, м.

Графики, построенные по данным, рассчитанным по формуле (2.10), рис. 2.10 *a, б*, для навоза КРС и свиней показывают, что ширина канала влияет на высоту накопления навоза, а значит и на глубину канала значительно до $B = 1,0$ м.

При увеличении ширины канала более 1,0 м значение H_0 изменяется незначительно.

Время накопления навоза до высоты H_0 (начало истечения) определится по выражению

$$t = [BL (H_0 - h_{\text{рез}}) \rho] / qn, \quad (2.19)$$

где q – суточный выход жидкого навоза от одного животного, кг/сутки; n – количество животных, находящихся над каналом.

При непрерывно работающей самотечной системе из канала должно вытекать навоза столько, сколько его поступает. За сутки в канал поступает навоз в объеме $V_c = qn / \rho$.

Весь объем поступившего навоза распределится по площади канала $B \times L$ слоем толщиной

$$h = V_0 / BL = qn / BL. \quad (2.20)$$

По закону сохранения массы (уравнение неразрывности), при равномерном поступлении в канал, через порожек навоз должен перемещаться слоем толщиной равной $h_{\text{сл}}$, при этом его массовый расход выразится формулой

$$Q = V_c / 8,64 \cdot 10^4, \quad (2.21)$$

где $8,64 \cdot 10^4$ – коэффициент перевода суток в секунды.

Средняя скорость перемещения навозной массы через порожек составит $V_{\text{ср}} = Q / h_{\text{сл}} B$ или, подставив вместо Q и $h_{\text{сл}}$ их значения, получим

$$v_{\text{ср}} = L / 8,64 \cdot 10^4. \quad (2.22)$$

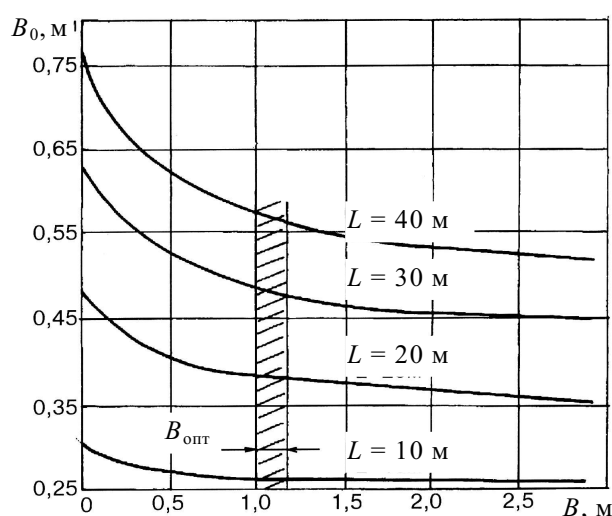
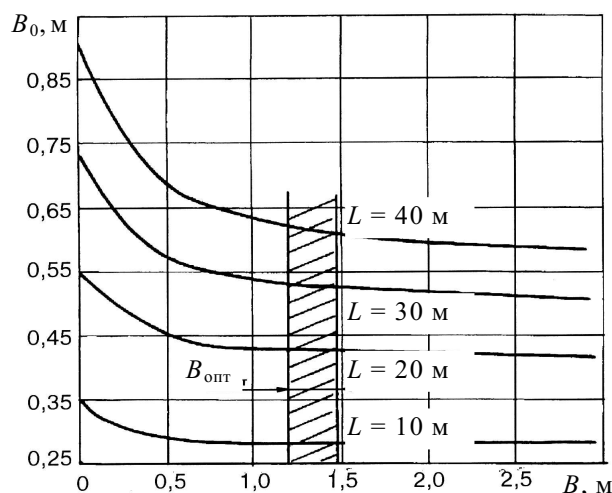


Рис. 2.10 Изменение высоты накопления навоза в зависимости от ширины канала для: а) КРС; б) свиней

Следовательно, средняя скорость истечения навоза при непрерывной работе канала самотечной системы, зависит только от длины канала.

В течение суток кал и моча в каналы поступает раздельно и неравномерно из-за чего в навозной массе происходит изменение влажности, температуры, что ведет к изменению предельного напряжения сдвига и динамической вязкости; движение навозной массы начинается только за счет гидростатического давления, поэтому расход навозной массы никак не может быть равен приходу вследствие изменяющейся скорости истечения в пределах $0 \rightarrow \max \rightarrow 0$. В связи с этим уравнение скорости истечения навоза из канала имеет вид

$$v = f(h_k, \tau_0, \eta, i, B, \rho, g). \quad (2.23)$$

Уклон слоя навоза в канале при движении определяется по формуле

$$i = H_0 / L = (\tau / \rho g B) + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2} / \rho g L B. \quad (2.24)$$

где L – общая длина канала.

Расход навозной массы в любом сечении канала определится по выражению

$$Q = v_x w_x = v_x h_x B. \quad (2.25)$$

Движение навозной массы в канале прекратится при достижении предельного напряжения сдвига равновесного значения $\tau_{\text{ост}}$. Тогда высота слоя навозной массы, оставшейся в канале определится по формуле

$$H_s = (\tau_{\text{ост}} L + \sqrt{\tau_{\text{ост}}^2 L^2 + 2\tau_{\text{ост}} L \rho g B^2} / \rho g B^2), \quad \tau_{\text{ост}} \approx (0,3 \dots 0,35) \tau_{\text{max}}. \quad (2.26)$$

Графики, рис. 2.10 а, б показывают, что длина канала должна быть в пределах 25 ... 35 м. Оптимальная ширина канала на свиноводческих фермах составляет 1,0 ... 1,2 м, на фермах и комплексах КРС – 1,2 ... 1,5 м. При меньшей ширине резко увеличивается H_0 , а вместе с ней и глубина канала, увеличение ширины ограничивается прочностью решетчатого пола и увеличением времени накопления навоза до начала истечения, а это ведет к уменьшению влажности навоза из-за испарения влаги (большая поверхность испарения), ускорению биологических процессов, к потерям в конечном итоге питательных веществ. [105, 106, 107].

При самотечном способе уборки навоза периодического действия высота гидрозатвора определяется глубиной канала, т.е.

$$H_0 < H_{\text{зат}} < H_{\text{к}}$$

где $H_{\text{зат}}$ – высота гидрозатвора, м.

За показатель эффективности работы самотечной системы принят коэффициент надежности функционирования каналов, представляющий собой отношение массы навоза, оставшейся в канале после истечения к массе навоза, попавшего в канал за период эксплуатации, т.е. со дня постановки животных до их вывода или очистки канала.

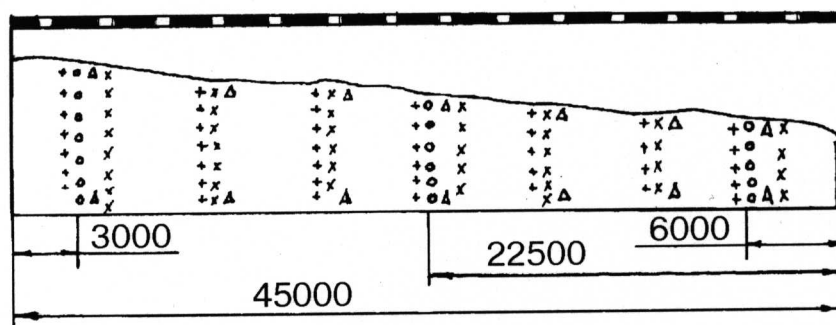
Если принять, что $V_{\text{ост}} = H_s LB$ и $V_{\text{полн}} = H_0 LB$, то $\eta_{\text{к}} = 1 - V_{\text{ост}}/V_{\text{полн}}$, $\eta_{\text{к}} = 1 - H_s/H_0$.

2.2.2 Проверка работы самотечных систем уборки навоза в свиарниках

Исследования физико-механических и реологических свойств бесподстильного навоза показали, что основными факторами, влияющими на процессы накопления, расслоения и его перемещения являются: влажность, температура, нагрузка и гранулометрический состав, которые влияют на процесс истечения и цикличность работы каналов непрерывного действия и периодичность для каналов периодического действия, на количество воды, необходимой на смыв осадка, а в конечном итоге на влажность всего получаемого навоза и эффективность функционирования систем уборки.

Как установлено [2,58,108,109], высота накопления навозной массы в канале зависит от ее влажности, температуры, структурного состава и параметров каналов. В связи с этим приборы для определения высоты (глубины) накопления, температуры, структуры массы и перемещения устанавливались в различных местах каналов, как по глубине, так и по длине, рис. 2.11.

Рис.2.11. Схема структуры измерений параметров навозной массы: 1– навозная масса; 2–решетка; 3–



шибер(гидрозатвор); 4–порожек; o–место измерения скорости перемещения; x–место измерения глубины накопления;

Δ–место измерения температуры; + – место измерения состояния массы.

Исследования самотечных систем уборки непрерывного и периодического действия проводились в автоматизированных свиарниках-откормочниках на 1,2 и 13,5 тыс. голов, свиарниках доращивания поросят на 4,0 тыс. голов в Тамбовском районном аграрно-промышленном объединении (ТРАПО), в свиарнике для доращивания поросят на 3,2 тыс. голов в совхозе “Селезневский” в табл.2.1. [57,95,102,105,114,115].

Кормление свиней в свиарниках-автоматах на 1,2 и 13,5 тыс.голов осуществлялось сухими гранулированными комбикормами с выдачей на пол, в свиарниках доращивания - влажными мешанками из кормушек.

Результаты измерений высоты накопления навоза в свиарниках-автоматах в течение двух месяцев представлены на рис. 2.12 и 2.13 [102,110].

Время накопления до первого истечения составило 20 суток. Если принять средние значения влажности $W=88\%$, температуры 288 К, плотности 1092 кг/м^3 , выход навоза 7 кг/сутки, предельное напряжение сдвига $\square=38 \text{ Па}$, то высота накопления до начала истечения составит

$$H_0 = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L_0^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B =$$

$$= (38 \cdot 45 + \sqrt{38^2 \cdot 43^2 + 2 \cdot 38 \cdot 45 \cdot 1092 \cdot 9,8 \cdot 1,2^2}) / 1092 \cdot 9,8 \cdot 1,2 = 0,70 \text{ м}$$

и время накопления навоза до высоты H составит

$$t = \frac{LBH_0 \rho}{qn} = \frac{45 \cdot 1,2 \cdot 0,70 \cdot 1092}{7 \cdot 320} = 18,4 \text{ сут}$$

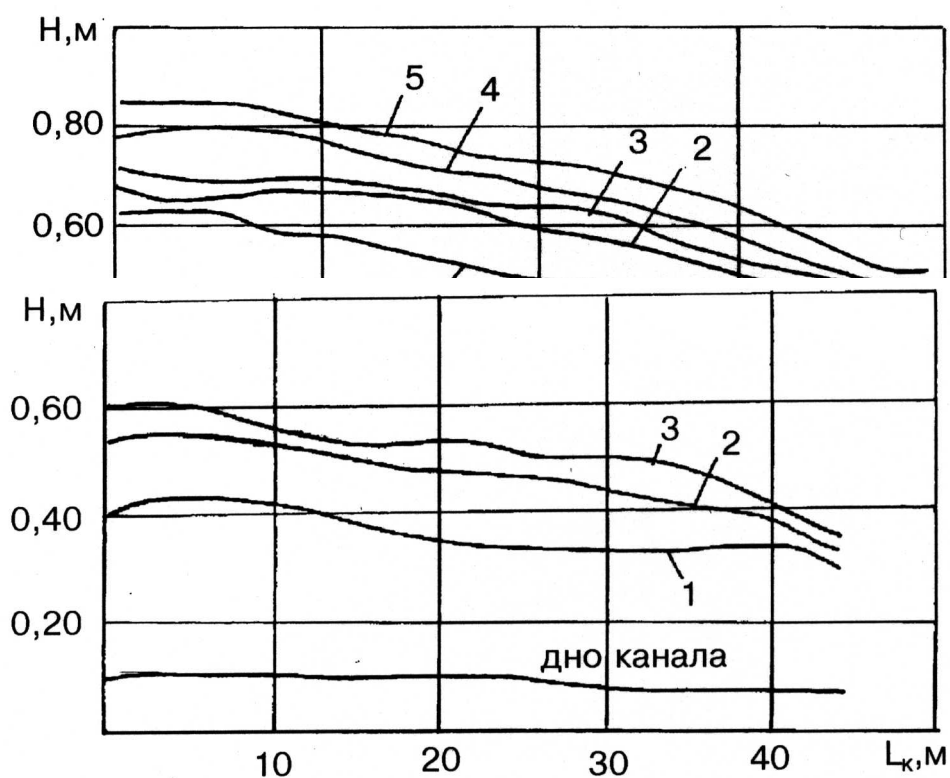
Таблица 2.1. Показатели самотечных систем уборки навоза.

Тип	Параметры канала,	Перекры	Число	Загру
-----	-------------------	---------	-------	-------

1	М			Уклон дна	6	7	8	
	L	B	h					
Свинарник-автомат по откорму на 1,2 тыс. голов	45	2	1,8	0,	Без уклона	Пороже к Гидрозатвор	320	35,6
Свинарник-автомат по откорму на 13,5 тыс. голов	50	2	1,6	0,0,	0,005	Шибер	320	32,0
Свинарник доразщивания свиней на 4 тыс. Голов	45	0	1,9	0,	Без уклона	Гидроз атвор Порожек	330	36,6
Свинарник доразщивания свиней на 3,2 тыс. голов	45	2	1,6	0,0,	0,004	Гидроз атвор	360	33,3
Молочный комплекс на 4 тыс. коров	25	8	1,1	1,	0,016	Шифер	30	65,6
	25		1,5	1,				
	8		1,	1,				
Молочный комплекс на 600 коров	36	4	1,	1,	0,01	Гидроз атвор	35	47,7
	36		3,	1,	0,01	Гидроз атвор	72	40,0
	36	0	1,	1,	0,01	Шибер	72	40

Расхождение времени накопления навозной массы до высоты H_0 , рассчитанного по формуле и полученного в результате исследований, объясняется тем, что во время накопления вода вытесняется калом, а вместе с ней уносится часть растворенного навоза. Кроме того из навозной массы испаряется влага. Попадающая вода из поилок стекает по поверхности навоза, как имеющая меньшую плотность [102,111].

Рис.2.12. Распределение навоза по длине в автоматизированном свинарнике на 13,5 тс. голов: 1 - высота



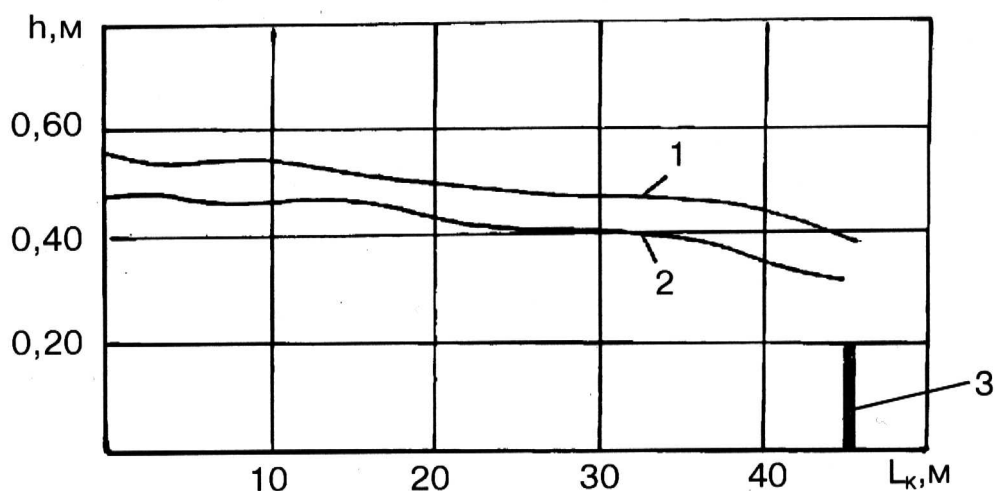
навоза, накопившегося с 8 по 28 августа 1973 г; 2,3 - высота навоза после истечения 5 и 12 сентября 1973 г; 4,5 - высота навоза после истечения 21 и 27 сентября 1973 г.

Рис.2.13. Распределение навоза по длине канала в свиарнике-автомате на 1200 голов: 1-высота навоза в канале, измеренная после истечения:

12 июня 1973 г; 2 - 26 июня 1973 г; 3 - 4 июля 1973 г.

Колебания высоты накопления навоза в пределах 50...70 мм в канале измеренные в течение 5 месяцев представлены на рис.2.14. Длительность накопления от минимальной глубины до начала истечения составила 7 суток. Уклоны навозной массы (кривая 1 и 2) совпадают, но по длине канала в обоих случаях неравномерные.

Рис.2.14. Графики свободной поверхности навозной массы в канале (средние данные за 5 месяцев): 1 -



максимальный уровень; 2 - минимальный уровень после истечения; 3 - порожек.

Исследованиями установлено, что в зимнее время навоз из каналов вытекает чаще, чем летом. Это явление объясняется различием влажности воздуха в летний (50 %) и зимний(60 %) периоды, что способствует большему испарению влаги в летний период.

Исследование каналов самотечной системы без уклона дна показали, что уклон навозной массы в них значительно меньше, чем в каналах с уклоном и составляет 0,002.

В течение всего периода наблюдений за работой каналов проводилось измерение температуры навозной массы. Установлено, что колебания температуры навозной массы связаны с колебаниями температуры окружающего воздуха. При температуре воздуха в помещении 283 К зимой температура навоза в каналах была 285...288 К. В летнее время при средней температуре воздуха в помещении 298 К, температура навоза в каналах составляла 293...298 К.

Разница температуры в верхнем и нижнем слоях навоза не превышала 1...3 К. [92,112,113].

В течение цикла откорма (6...7 месяцев) влажность навозной массы в каналах колебалась от 83 до 91 % и в большей степени зависела от температуры воздуха внутри свиарника. Средняя влажность навоза в каналах в течение года составляла 86...88 %, а верхнего слоя глубиной до 50 мм в летние месяцы 83...85 % [102,105].

В каналах самотечных систем непрерывного действия влажность навоза снижается в период его накопления в канале до начала истечения. До начала стабильного самоистечения массы, когда ее уровень не достиг предельного значения, жидкая фракция отфильтровывается и вытекает через порожек в поперечный канал. Наблюдения за работой каналов показали, что снижение влажности до 82...84 % нарушает режим самоистечения навоза из каналов.

Исследование системы уборки навоза в свиарнике доразивания на 4,0 тыс. голов в ТРАПО показали, что самотечная система уборки периодического действия хорошо функционирует при установке в каналы гидрозатворов, позволяющих поддерживать влажность навозной массы, при которой она имеет минимальное значение предельного напряжения сдвига [102].

Гидрозатвор, разработанный при участии автора в Тамбовском филиале ВИЭСХ, рис. 2.15. состоит из рамки 1, затвора 2, подвешенного к рамке на петлях 3, штока 4 и кривошипа 5 со скобой 6.

Испытания гидрозатворов проводились на 3-х каналах. Перед постановкой животных в каналы добавлялась вода из расчета 2...2,5 л на одну голову. Через каждые 5 суток в течение 1 месяца проводили замеры количества поступающей навозной массы и ее влажность, которая составляла 92... 96%. Увеличение влажности происходило за счет мытья водой полов в станках.

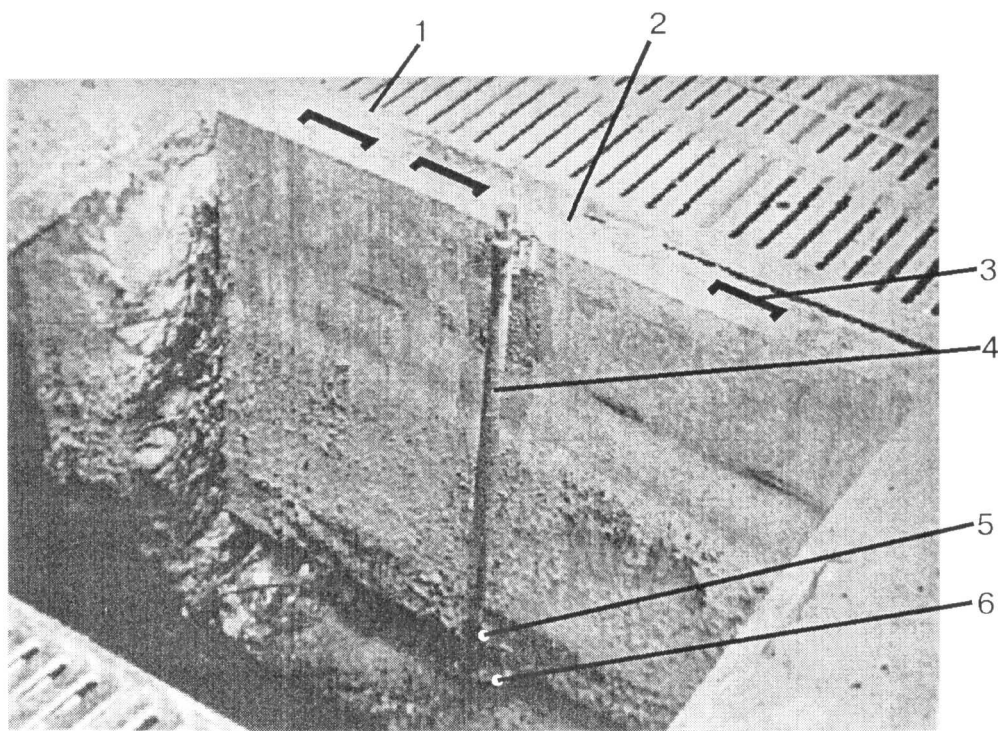


Рис.2.15. Гидрозатвор: 1-рамка; 2-затвор; 3-петли; 4-шток; 5-кривошип; 6-скоба.

Гидрозатворы в течение всего периода откорма надежно перекрывали каналы, открывались при усилии, не превышающем 25 Н. Поэтому такие гидрозатворы были рекомендованы к внедрению Российским научно-исследовательским и проектным институтом агропромышленного комплекса (РОСНИПИАГРОПРОМ) и нашли широкое распространение на крупных комплексах России.

$$F_2 = [B + 2(h_1 + h_2)/2] l \tau_0 = (B + h_1 + h_2) l \tau_0, \quad (2.7)$$

где F_1 – результирующая сила гидростатического давления, Н; H – сила гидростатического давления, действующая в сечениях I – I и II – II соответственно, Н; ρ – плотность, кг/м³; B – ширина канала, м; h_1 – высота слоя навозной массы в сечении I – I, м; h_2 – высота слоя навозной массы в сечении II – II, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; l – расстояние между сечениями I – I и II – II, м; τ_0 – напряжение сдвига, Па.

Предельное равновесие элемента наступит при равенстве этих сил, т.е.

$$(\rho g B / 2)(h_1 + h_2)(h_1 - h_2) = B \tau_0 l + \tau_0 l (h_1 + h_2) \quad (2.8)$$

или $(\rho g B / 2)(h_1 - h_2) = B \tau_0 l / (h_1 + h_2) + \tau_0 l.$ (2.9)

Рассматривая уравнение (2.8) для всего слоя в канале при $l = L$ и, учитывая, что в случае $h_1 = H_0$ и $h_2 = 0$ получим

$$(\rho g B H_0) / 2 = (B \tau_0 l) / H_0 + \tau_0 l \text{ или } \rho g B H_0^2 - 2 \tau_0 L H_0 - 2 \tau_0 B L \quad (2.10)$$

решив которое получим

$$H_0 \geq (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2 \tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B. \quad (2.11)$$

Для каналов круглой формы радиусом R_k определение H_0 проводится по выражению

$$H_0 = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 8 \tau_0 L \rho g R_k^2}) / 2 \rho g R_k. \quad (2.12)$$

Таким образом, зная влажность, температуру и плотность навозной массы можно определить предельное напряжение сдвига и, задавшись шириной канала – определить высоту навозной массы H_0 и глубину канала. [107].

Глубина канала прямоугольного сечения самотечной системы периодического действия

$$H_{\text{нк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho B^2}) / \rho g B + h_{\text{рез}}, \quad (2.13)$$

$$H_{\text{кк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B + h_{\text{рез}} + Li, \quad (2.14)$$

Для каналов круглого сечения

$$H_{\text{нк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 8\tau_0 R_K^2 L \rho g}) / 2\rho g R_K + h_{\text{рез}}, \quad (2.15)$$

$$H_{\text{кк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 8\tau_0 R_K^2 L \rho g}) / 2\rho g R_K + h_{\text{рез}} + Li, \quad (2.16)$$

Глубина канала прямоугольного сечения самотечной системы непрерывного действия

$$H_{\text{нк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B + h_{\text{сл}} + h_{\text{рез}} + h_{\text{п}} + Li, \quad (2.17)$$

$$H_{\text{нк}} = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B + h_{\text{сл}} + h_{\text{рез}} + h_{\text{п}}, \quad (2.18)$$

где $h_{\text{рез}}$ – допустимая высота накопления навоза до решетчатого пола, м; i – уклон дна; $h_{\text{сл}}$ – высота слоя истечения навоза через порожек, м; $h_{\text{п}}$ – высота порожка, м.

Графики, построенные по данным, рассчитанным по формуле (2.10), рис. 2.10 а, б, для навоза КРС и свиней показывают, что ширина канала влияет на высоту накопления навоза, а значит и на глубину канала значительно до $B = 1,0$ м.

При увеличении ширины канала более 1,0 м значение H_0 изменяется незначительно.

Время накопления навоза до высоты H_0 (начало истечения) определится по выражению

$$t = [BL (H_0 - h_{\text{рез}}) \rho] qn, \quad (2.19)$$

где q – суточный выход жидкого навоза от одного животного, кг/сутки; n – количество животных, находящихся над каналом.

При непрерывно работающей самотечной системе из канала должно вытекать навоза столько, сколько его поступает. За сутки в канал поступает навоз в объеме $V_c = qn / \rho$.

Весь объем поступившего навоза распределится по площади канала $B \times L$ слоем толщиной

$$h = V_c / BL = qn / BL. \quad (2.20)$$

По закону сохранения массы (уравнение неразрывности), при равномерном поступлении в канал, через порожек навоз должен перемещаться слоем толщиной равной $h_{\text{сл}}$, при этом его массовый расход выразится формулой

$$Q = V_c / 8,64 \cdot 10^4, \quad (2.21)$$

где $8,64 \cdot 10^4$ – коэффициент перевода суток в секунды.

Средняя скорость перемещения навозной массы через порожек составит $V_{\text{ср}} = Q / h_{\text{сл}} B$ или, подставив вместо Q и $h_{\text{сл}}$ их значения, получим

$$v_{\text{ср}} = L / 8,64 \cdot 10^4. \quad (2.22)$$

Следовательно, средняя скорость истечения навоза при непрерывной работе канала самотечной системы, зависит только от длины канала.

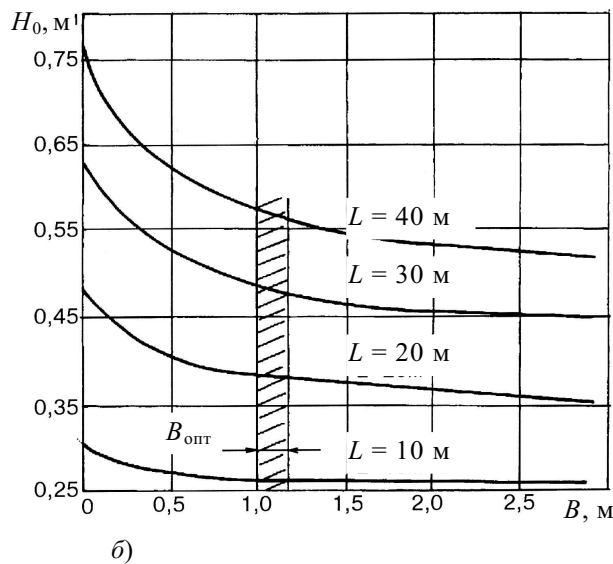
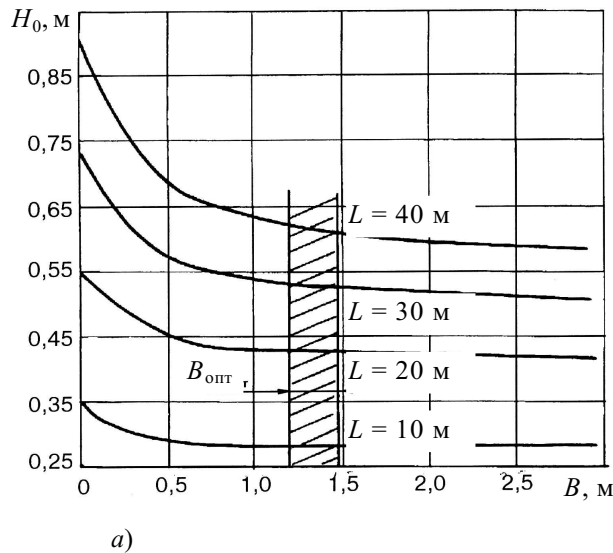


Рис. 2.10 Изменение высоты накопления навоза в зависимости от ширины канала для: а) КРС; б) свиней

В течение суток кал и моча в каналы поступает раздельно и неравномерно из-за чего в навозной массе происходит изменение влажности, температуры, что ведет к изменению предельного напряжения сдвига и динамической вязкости; движение навозной массы начинается только за счет гидростатического давления, поэтому расход навозной массы никак не может быть равен приходу вследствие изменяющейся скорости истечения в пределах $0 - \max - 0$. В связи с этим уравнение скорости истечения навоза из канала имеет вид

$$v = f(h_k, \tau_0, \eta, i, B, \rho, g). \quad (2.23)$$

Уклон слоя навоза в канале при движении определяется по формуле

$$i = H_0 / L = (\tau / \rho g B) + \sqrt{\tau_0^2 L^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2} / \rho g L B. \quad (2.24)$$

где L – общая длина канала.

Расход навозной массы в любом сечении канала определится по выражению

$$Q = v_x w_x = v_x h_x B. \quad (2.25)$$

Движение навозной массы в канале прекратится при достижении предельного напряжения сдвига равновесного значения $\tau_{ост}$. Тогда высота слоя навозной массы, оставшейся в канале определится по формуле

$$H_s = (\tau_{ост} L + \sqrt{\tau_{ост}^2 L^2 + 2\tau_{ост} L \rho g B^2} / \rho g B^2), \quad \tau_{ост} \approx (0,3 \dots 0,35) \tau_{max}. \quad (2.26)$$

Графики, рис. 2.10 а, б показывают, что длина канала должна быть в пределах 25 ... 35 м. Оптимальная ширина канала на свиноводческих фермах составляет 1,0 ... 1,2 м, на фермах и комплексах КРС – 1,2 ... 1,5 м. При меньшей ширине резко увеличивается H_0 , а вместе с ней и глубина канала, увеличение ширины ограничивается прочностью решетчатого пола и увеличением времени накопления навоза до начала истечения, а это ведет к уменьшению влажности навоза из-за испарения влаги (большая поверхность испарения), ускорению биологических процессов, к потерям в конечном итоге питательных веществ. [105, 106, 107].

При самотечном способе уборки навоза периодического действия высота гидрозатвора определяется глубиной канала, т.е.

$$H_0 < H_{\text{зат}} < H_k,$$

где $H_{\text{зат}}$ – высота гидрозатвора, м.

За показатель эффективности работы самотечной системы принят коэффициент надежности функционирования каналов, представляющий собой отношение массы навоза, оставшейся в канале после истечения к массе навоза, попавшего в канал за период эксплуатации, т.е. со дня постановки животных до их вывода или очистки канала.

Если принять, что $V_{\text{ост}} = H_s LB$ и $V_{\text{полн}} = H_0 LB$, то $\eta_k = 1 - V_{\text{ост}}/V_{\text{полн}}$, $\eta_k = 1 - H_s/H_0$.

2.2.2 Проверка работы самотечных систем уборки навоза в свиарниках

Исследования физико-механических и реологических свойств бесподстильного навоза показали, что основными факторами, влияющими на процессы накопления, расслоения и его перемещения являются: влажность, температура, загрузка и гранулометрический состав, которые влияют на процесс истечения и цикличность работы каналов непрерывного действия и периодичность для каналов периодического действия, на количество воды, необходимой на смыв осадка, а в конечном итоге на влажность всего получаемого навоза и эффективность функционирования систем уборки.

Как установлено [2, 58, 108, 109, 110, 111, 112, 113], высота накопления навозной массы в канале зависит от ее влажности, температуры, структурного состава и параметров каналов. В связи с этим приборы для определения высоты (глубины) накопления, температуры, структуры массы и перемещения устанавливались в различных местах каналов как по глубине, так и по длине, рис. 2.11.

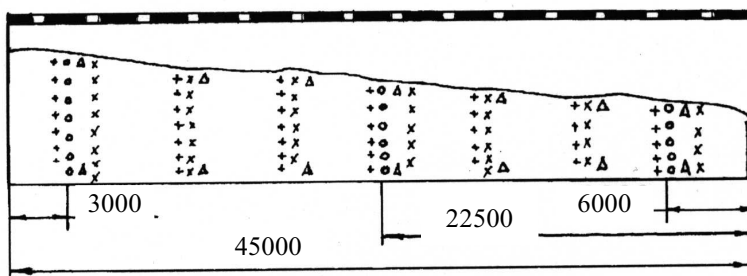


Рис. 2.11 Схема структуры измерений параметров навозной массы:

1 – навозная масса; 2 – решетка; 3 – шибер (гидрозатвор); 4 – порожек; о – место измерения скорости перемещения; ξ – место измерения глубины накопления; Δ – место измерения температуры; + – место измерения состояния массы

Исследования самотечных систем уборки непрерывного и периодического действия проводились в автоматизированных свиарниках-откормочниках на 1,2 и 13,5 тыс. голов, свиарниках дорастивания поросят на 4,0 тыс. голов в Тамбовском районном аграрно-промышленном объединении (ТРАПО), в свиарнике для дорастивания поросят на 3,2 тыс. голов в совхозе "Селезневский" в табл. 2.1. [57, 95, 102, 105, 114, 115].

2.1 Показатели самотечных систем уборки навоза

Тип комплекса	Параметры канала,				Перекрытие выхода из каналов	Число животных над каналом	Загрузка канала, кг/м ² сут
	M			Уклон дна			
	L	B	h				
Свиарник-автомат по откорму на 1,2 тыс. голов	45	1,2	0,8	Без уклона	Порожек Гидрозатвор	320	35,6
Свиарник-автомат по откорму на 13,5 тыс. голов	50	1,2	0,6 0,8	0,005	Шибер	320	32,0
Свиарник дорастивания свиней на 4 тыс. Голов	45	1,0	0,9	Без уклона	Гидрозатвор Порожек	330	36,6

Свинарник доращивания свиней на 3,2 тыс. голов	45	1,2	0,6 0,8	0,004	Гидрозатвор	360	33,3
Молочный комплекс на 4 тыс. коров	25	1,8	1,1 1,5	0,016	Шибер	30	65,6
	25	1,8	1,1 1,5				
Молочный комплекс на 600 коров	36	1,4	1,1	0,01	Гидрозатвор	35	47,7
	36	3,0	1,1	0,01	Гидрозатвор	72	40,0
	36	3,0	1,5	0,01	Шибер	72	40

Кормление свиней в свинарниках-автоматах на 1,2 и 13,5 тыс.голов осуществлялось сухими гранулированными комбикормами с выдачей на пол, в свинарниках доращивания – влажными мешанками из кормушек.

Результаты измерений высоты накопления навоза в свинарниках-автоматах в течение двух месяцев представлены на рис. 2.12 и 2.13 [102, 110].

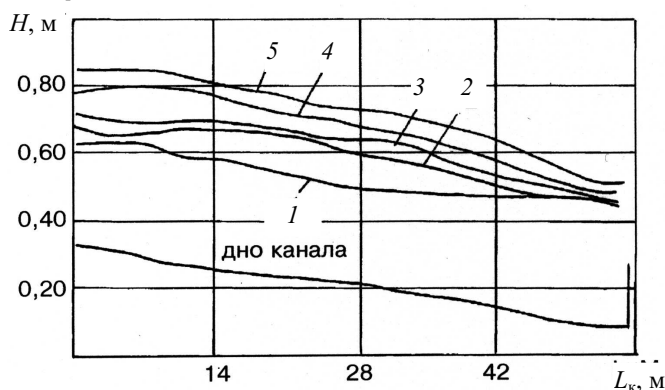


Рис. 2.12 Распределение навоза по длине

в автоматизированном свинарнике на 13,5 тыс. голов:

- 1 – высота навоза, накопившегося с 8 по 28 августа 1973 г;
2, 3 – высота навоза после истечения 5 и 12 сентября 1973 г;
4, 5 – высота навоза после истечения 21 и 27 сентября 1973 г.

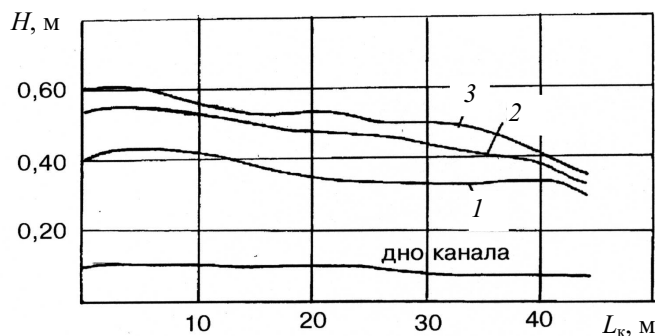


Рис. 2.13 Распределение навоза по длине канала

в свинарнике-автомате на 1200 голов:

- 1 – высота навоза в канале, измеренная после истечения:
12 июня 1973 г; 2 – 26 июня 1973 г; 3 – 4 июля 1973 г

Время накопления до первого истечения составило 20 суток. Если принять средние значения влажности $W = 88\%$, температуры 288 К, плотности 1092 кг/м^3 , выход навоза 7 кг/сут, предельное напряжение сдвига $\tau = 38 \text{ Па}$, то высота накопления до начала истечения составит

$$H_0 = (\tau_0 L + \sqrt{\tau_0^2 L_0^2 + 2\tau_0 L \rho g B^2}) / \rho g B = (38 \cdot 45 + \sqrt{38^2 \cdot 43^2 + 2 \cdot 38 \cdot 45 \cdot 1092 \cdot 9,8 \cdot 1,2^2}) / 1092 \cdot 9,8 \cdot 1,2 = 0,70 \text{ м}$$

и время накопления навоза до высоты H составит

$$t = \frac{LBH_0\rho}{qn} = \frac{45 \cdot 1,2 \cdot 0,70 \cdot 1092}{7 \cdot 320} = 18,4 \text{ сут.}$$

Расхождение времени накопления навозной массы до высоты H_0 , рассчитанного по формуле и полученного в результате исследований, объясняется тем, что во время накопления вода вытесняется калом, а вместе с ней уносится часть растворенного навоза. Кроме того из навозной массы испаряется влага. Попадающая вода из поилок стекает по поверхности навоза как имеющая меньшую плотность [102, 111].

Колебания высоты накопления навоза в пределах 50 ... 70 мм в канале измеренные в течение 5 месяцев представлены на рис. 2.14. Длительность накопления от минимальной глубины до начала истечения составила 7 суток. Уклоны навозной массы (кривая 1 и 2) совпадают, но по длине канала в обоих случаях неравномерные.

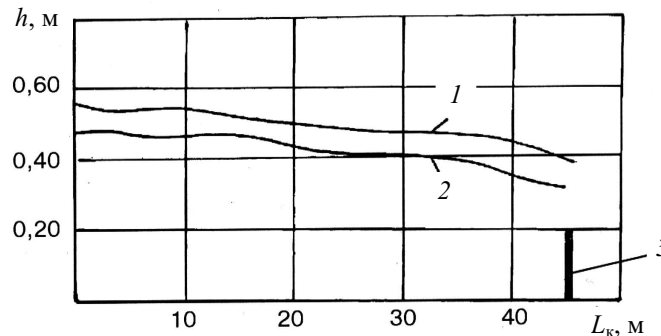


Рис. 2.14 Графики свободной поверхности навозной массы в канале (средние данные за 5 месяцев):

1 – максимальный уровень; 2 – минимальный уровень после истечения; 3 – порожек

Исследованиями установлено, что в зимнее время навоз из каналов вытекает чаще, чем летом. Это явление объясняется различием влажности воздуха в летний (50 %) и зимний (60 %) периоды, что способствует большему испарению влаги в летний период.

Исследование каналов самотечной системы без уклона дна показали, что уклон навозной массы в них значительно меньше, чем в каналах с уклоном и составляет 0,002.

В течение всего периода наблюдений за работой каналов проводилось измерение температуры навозной массы. Установлено, что колебания температуры навозной массы связаны с колебаниями температуры окружающего воздуха. При температуре воздуха 283 К в помещении зимой температура навоза в каналах была 285 ... 288 К. В летнее время при средней температуре воздуха в помещении 298 К, температура навоза в каналах составляла 293 ... 298 К.

Разница температуры в верхнем и нижнем слоях навоза не превышала 1 ... 3 К. [92, 112, 113].

В течение цикла откорма (6 ... 7 месяцев) влажность навозной массы в каналах колебалась от 83 до 91 % и в большей степени зависела от температуры воздуха внутри свинарника. Средняя влажность навоза в каналах в течение года составляла 86 ... 88 %, а верхнего слоя глубиной до 50 мм в летние месяцы 83 ... 85 %. [102, 105].

В каналах самотечных систем непрерывного действия влажность навоза снижается в период его накопления в канале до начала истечения. До начала стабильного самоистечения массы, когда ее уровень не достиг предельного значения, жидкая фракция отфильтровывается и вытекает через порожек в поперечный канал. Наблюдения за работой каналов показали, что снижение влажности до 82 ... 84 % нарушает режим самоистечения навоза из каналов.

Исследование системы уборки навоза в свинарнике доразживания на 4,0 тыс. голов в ТРАПО показали, что самотечная система уборки периодического действия хорошо функционирует при установке в каналы гидрозатворов, позволяющих поддерживать влажность навозной массы, при которой она имеет минимальное значение предельного напряжения сдвига. [102].

Гидрозатвор, разработанный при участии автора в Тамбовском филиале ВИЭСХ, рис. 2.15. состоит из рамки 1, затвора 2, подвешенного к рамке на петлях 3, штока 4 и кривошипа 5 со скобой 6.

Испытания гидрозатворов проводились на 3-х каналах. Перед постановкой животных в каналы добавлялась вода из расчета 2 ... 2,5 л на одну голову. Через каждые 5 суток в течение 1 месяца проводили замеры количества поступающей навозной массы и ее влажность, которая составляла 92 ... 96 %. Увеличение влажности происходило за счет мытья водой полов в станках.

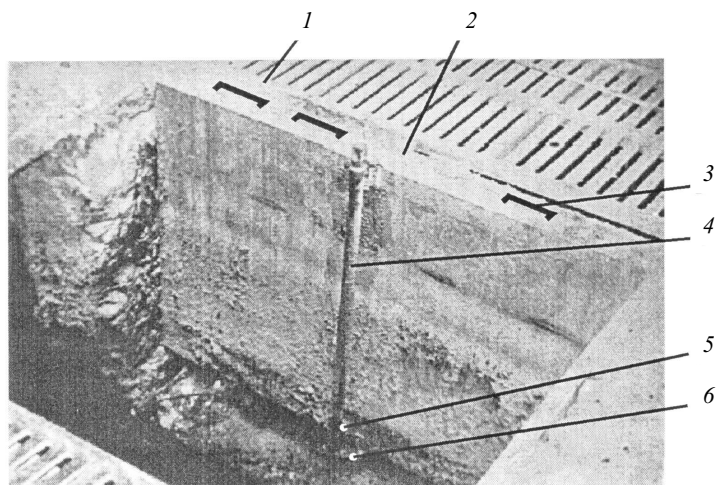


Рис. 2.15 Гидрозатвор:

1 – рамка; 2 – затвор; 3 – петли; 4 – шток; 5 – кривошип; 6 – скоба

Гидрозатворы в течение всего периода откорма надежно перекрывали каналы, открываясь при усилии, не превышающем 25 Н. Поэтому такие гидрозатворы были рекомендованы к внедрению Российским научно-исследовательским и проектным институтом агропромышленного комплекса (РОСНИПИАГРОПРОМ) и нашли широкое распространение на крупных комплексах России.

Результаты исследований структуры навозной массы по глубине каналов показали, что в первоначальный период накопления кал падает в воду, залитую перед запуском, размывается и твердые частицы, плотностью больше плотности воды, выпадают в осадок. При этом вода вытесняется калом и мочой и вытекает через порожек.

В нормально работающем канале масса навоза примерно однородна по глубине, но на дне канала откладываются твердые частицы. После истечения на дне остается осадок влажностью 63 ... 68 %. Зольность осадка составляет 15 ... 20 %, а основной массы - 5 %. [110].

Измерения скорости истечения навозной массы проводились в каналах свинарников-автоматов одновременно с исследованиями ее состояния. В начале канала скорость навозной массы практически равнялась нулю. Скорость навозной массы в середине канала за сутки в среднем составила $70 \cdot 10^{-6}$ м/с, в дальнейшем истечение через порожек прекращалось, но приборы фиксировали перемещение навозной массы в середине канала со скоростью от $0,35 \cdot 10^{-6}$ до $1,5 \cdot 10^{-6}$ м/с за 6 метров до порожка. [72, 110, 116].

Влажность навозной массы дойных коров во время спуска составила 86 ... 87 %. А это, как известно, нижний предел, при котором навоз еще "течет". Следовательно, попадание остатков корма в навоз способствует снижению влажности и повышению предельного напряжения сдвига τ и липкости.

Снижению влажности навозной массы в каналах способствует не только попадание остатков кормов, но и испарение влаги с поверхности, которое достигает в теплое время года $1,6$ л/м² сутки. Для доведения влажности навозной массы до 88 ... 90 % необходимо в каналы добавлять воду, количество которой можно определить из графика (см. рис. 1.6).

Время накопления навозной массы в каналах на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина" в зависимости от поголовья животных, находящихся над каналом, составило 25 ... 30 суток. Без добавления воды истечение навозной массы наблюдалось только в конце каналов. Влажность осадка при этом составляла 85 ... 86 %. При добавлении воды в количестве 5 л на корову в сутки влажность навозной массы составляла 87 ... 87,8 % и для ее истечения требовалось разрушение структуры. Добавление воды в начале пуска каналов в эксплуатацию и за два дня до выпуска навозной массы в количестве 10 ... 12 л в сутки на животного приводило к истечению ее без разрушения структуры. Влажность навоза при этом составляла 88,5 ... 89 %.

Температура навозной массы в каналах зимой составляла 283...286 К, а в весенне-летний период 291...293 К, что приводило к снижению предельного напряжения сдвига ее на 20 %. Поэтому после спуска навозной массы в канале в летний период оставалось осадка меньше на 17 %, рис. 2.24.

В процессе длительного наблюдения за работой самотечной системы на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина" установлено, что средняя высота слоя осадка в каналах возрастает за счет попадания в канал остатков корма и других примесей, рис. 2.25. Через три месяца осадок занимал 30...40 % объема канала. [114].

Установлено, что накопление навоза до высоты H_0 в каналах на молочных комплексах происходит в зависимости от размеров каналов и количества животных, находящихся над каналом за 24...30 суток. Истечение происходит в течение 0,5...1,5 суток затем продолжается накопление в течение 6...8 суток и цикл повторяется.

При установке в каналы гидрозатворов влажность навозной массы в обычных каналах (с порожками) была меньше, чем в каналах с гидрозатворами и ниже критической влажности, при которой происходит истечение на 2...3 %, табл. 2.2.

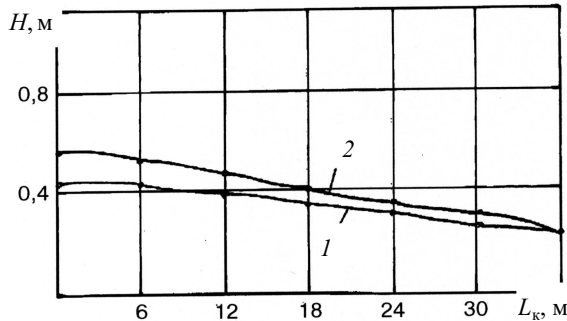


Рис. 2.25 Изменение слоя осадка в канале самотечной системы уборки навоза на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина":
1 – через один месяц; 2 – через три месяца

2.2 Результаты измерений влажности, высоты накопления и осадка в каналах самотечной системы на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина"

Система уборки	Расстояние замеров по длине канала, м							
	5	10	15	20	25	30	35	
Непрерывного действия с порожком	h , м	1,05	1,09	1,03	1,0	1,10	0,97	0,95
	W , %	78	77	78	88	81	84	86
Периодического действия с гидрозатвором: до спуска,	h , м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,04	1,06	1,10
	W , %	90	90	91	90	93	93	94
После спуска	H , м	0,45	0,40	0,40	0,35	0,31	0,25	0,25

Для определения влияния конструктивных параметров на режим истечения и проверки теоретической зависимости был изготовлен лабораторный образец канала, в который можно загружать навоз различной влажности и температуры, изменять длину и ширину канала, уклон дна и высоту порожка. [92].

Канал представляет собой сборную металлическую конструкцию, состоящую из трех секций длиной по 3 м. Ширина канала изменяется от 0,15 до 0,6 м через каждые 0,15 м, путем перестановки опор.

Для осуществления равномерной загрузки навоза в канал предусмотрено устройство, представляющее собой лоток, установленный сверху каждой секции. Поворот лотка при загрузке осуществляется вручную или с помощью электропривода.

Конструкция канала позволяет проводить исследования на одной секции длиной 3 м или последовательно подстыковывать следующие две по 3 м каждая. На выходе предусмотрено устройство для установки порожка различной высоты – 0,05...0,2 м.

Исследуемой навозной массой определенной влажности заполняли канал, в котором устанавливали порожек заданной высоты и шибер, процесс истечения начинался после открытия шибера.

Измерение слоя навозной массы через сутки во время процесса истечения проводилось линейкой в 5 контрольных точках канала, отмеченных капроновыми нитями, натянутыми поперек канала.

Под "выходом" процесса истечения принимаем уровень навозной массы в конце канала, замеряемый через сутки от начала истечения. Это продиктовано тем, что данный параметр в дальнейшем не зависит от времени опыта и имеет количественное выражение. [92].

За факторы, влияющие на показатель "выхода" приняли: влажность навозной массы X_1 , уклон дна X_2 , высота порожка X_3 , ширина канала X_4 и длина канала X_5 . Значение фактора влажности исследовали в пределах 89...93 %, уклона дна 0,00...0,015, высоты порожка 0,10...0,19 м, ширины канала 0,30...0,60 м, длины канала 6,0...9,0 м.

Применение метода многофакторного планирования экспериментов значительно упрощает задачу определения оптимального (минимального) уровня навозной массы в конце канала. После постановки факторного эксперимента, расчета коэффициентов регрессии, ошибки в определении их значимости провели проверку возможности описания процесса линейной моделью.

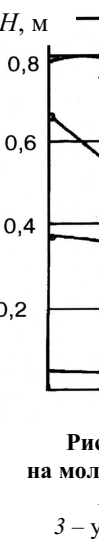


Рис. на мол. 3 - у

Проверкой установлено, что изучаемый процесс можно описать уравнением без членов высших порядков, но низшие взаимодействия отбрасывать нельзя.

Результаты статистической оценки коэффициентов регрессии позволили описать процесс следующим уравнением

$$\hat{y} = 0,448 + 0,033X_1 - 0,0052X_2 + 0,055X_3 + 0,082X_5 + 0,029X_1X_4 - 0,007X_1X_5 + 0,0055X_3X_4 - 0,05X_3X_4 + 0,028X_4X_5. \quad (2.29)$$

После реализации полного факторного эксперимента проводили поиск оптимальных соотношений конструктивных элементов канала методом крутого восхождения, табл. 2.3.

2.3 Факторы и интервалы их варьирования

Факторы	Варианты				
	1	2	3	4	5
X_1	89	90	91	92	93
X_2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
X_3	0,10	0,125	0,150	0,175	0,190
X_4	6,0	7,30	8,50	9,0	9,0
Выход процесса	0,386	0,420	0,420	0,410	0,400

Как видно из табл. 2.3, начиная со второго варианта, дальнейшее изменение факторов уже не приводит к изменению выхода. Таким образом, можно считать, что оптимальное соотношение факторов составляет $X_1=90\%$; $X_2=0,01$; $X_3=0,125$; $X_4=7,50$ м. Отсюда следует, что для канала длиной 7,5 м минимальная высота уровня в конце канала равна 0,42 м.

Расчет глубины канала, проведенной по формуле (2.11) при следующих данных $L=7,5$ м, $\tau=30$ Па, $B=0,45$ м, $\rho=1020$ кг/м³ показал, что отклонение от рассчитанного минимального уровня в конце канала при оптимальных соотношениях конструктивных элементов составляет 1,5 %. Таким образом, проведенный многофакторный эксперимент подтвердил правильность выведенной формулы (2.11) и возможность использования ее при расчете параметров каналов [107, 116].

ВЫВОДЫ

1 В результате анализа научной литературы разработана классификация способов и средств уборки навоза в животноводческих помещениях.

2 Анализ способов уборки навоза показал, что гидравлические системы уборки бесподстильного навоза на крупных животноводческих фермах и комплексах остаются доминирующими как у нас в стране, так и за рубежом. 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.

Несмотря на широкое применение самотечных систем уборки в реальных условиях получают навоз влажностью 94 ... 96 %, т.е. с увеличением по объему в 1,5 ... 2,0 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 ($W=92 \dots 94\%$) в производство внедряются все более совершенные самотечные системы, обладающие повышенной надежностью функционирования.

3 Установлено, что основными путями повышения эффективности уборки и сохранения качества получаемого навоза являются: оптимизация параметров каналов и процессов накопления и истечения навоза за счет использования уточненных значений напряжения сдвига, вязкости и дополнительно изученных новых свойств (давление насыщенных паров, удельное электрическое сопротивление и теплоемкость, реакция среды), разработка устройств для герметизации каналов и контроль за состоянием и поддержание оптимальной влажности навозной массы; совершенствование устройств для удаления осадка из каналов с помощью очищенной жидкой фракции.

4 Получены математические модели накопления и истечения жидкого навоза из каналов с учетом его физико-механических, химических и реологических свойств, позволяющих определять оптимальные параметры каналов и повышать эффективность работы самотечной системы.

При оптимальных параметрах каналов – длине 25 и 30, ширине 1,0 ... 1,2 и 1,2 ... 1,5 м при содержании свиней и КРС соответственно, качественном их исполнении, наблюдении за процессами накопления и истечением показатель надежности функционирования самотечных систем составляет 0,6 ... 0,8.

Определена цикличность работы каналов: процесс накопления длится 20 ... 28 суток, затем истечение – 1,0 ... 1,5 суток и повторное накопление до начала истечения – 7 ... 8 суток.

Для удаления осадка из каналов влажностью 86 % требуется в 2 раза больше смывной жидкости, чем для осадка влажностью 92 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вороневский С. И., Перекрестов А. Т., Полонский Л. С. Механизация удаления и утилизации навоза на животноводческих фермах Молдавской ССР: Обзор. Кишинев: МолдНИИТИ, 1974. 62 с.
- 2 Мелер Х., Хейнинг В. Постройки и оборудование для содержания КРС: Пер. с нем. / под ред. В. С. Алимова, М.: Колос, 1974. 560 с.
- 3 Крупенин А. В. Исследование рабочего процесса лотковой самотечной системы удаления навоза из коровников: Автореф. дис.... канд. техн. наук, Горки, 1974. 30 с.
- 4 Гурин В. М., Цветков И. Н., Полонский Л. С. Рекомендации по эксплуатации самотечной системы удаления навоза на животноводческих фермах и комплексах Совета колхозов Молд. ССР. Кишинев, 1975. 8 с.
- 5 Асташов Н., Четвертаков И. Эффективность способов уборки и удаления навоза // Молочное и мясное скотоводство. 1982. № 4. С. 44 – 48.
- 6 Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета: ОНТП 17-81. М.: Колос, 1983. 32 с.
- 7 Ветеринарно-санитарные и гигиенические требования к устройству технологических линий удаления, обработки, обеззараживания и утилизации навоза, получаемого на животноводческих комплексах и фермах. М., 1979. 13 с.
- 8 Письменов В. Н. Уборка, транспортировка и использование навоза. М.: Россельхозиздат, 1975. 200 с.
- 9 Амиров Р. О. Загрязнение атмосферного воздуха вблизи промышленных свиноводческих комплексов // Актуальные вопросы гигиены села. Нукус, 1976. Т.10. С. 83 – 86.
- 10 Гудухин В. Ф., Малков Г. И., Евлентьев Ю. Г. Повышение надежности навозоуборочных транспортеров // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 11. С.21-22.
- 11 Маркун В. Г., Сосьяк М. И., Акулиньшин В. В. Скреперная установка для уборки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 4. С. 22.
- 12 Балук В. П., Балук Т. Т., Вельчо С. Ф. Реконструированная скреперная установка // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 10. С. 15.
- 13 Мазуха А. П., Куракин А. С., Мазуха Э. А. Защита скребков транспортера ТСН-3,0Б от примерзания // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 2. С. 15.
- 14 Седунов В. А., Туваев В. Н., Прошутинский Н. П. Усовершенствование технологии удаления навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 12. С. 14-15.
- 15 Бетин С. Г. Долговечность цепей навозоуборочных транспортеров // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 7. С. 27-28.
- 16 Таликов И. Т. Оптимизация надежности транспортеров // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 1. С. 32-33.
- 17 Ромашкевич И. А., Червинский В. Л. Предотвращение примерзания навозоуборочного транспортера // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1988. № 1. С. 21-22.
- 18 Гладков П. К., Гладков О. П. Перспективный способ удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1989. № 3. С. 15-16.
- 19 Ковалевский В. К. Расчет скреперных установок для удаления навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 2. С. 36-37.
- 20 Гоменюк П. Я. Усовершенствование оборудования для удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1991. № 4. С. 20-21.
- 21 Шевелев А. Вторая жизнь транспортера // Сельский механизатор.-1995.-№4.-С.20.
- 22 Курбатов Л. Г., Комраков А. Е. Механизация уборки навоза на фермах. Л.: Колос, 1968. 104 с.
- 23 Козлов Н. Г., Глазков И. К., Матяш И. Н. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих фермах. М.: Россельхозиздат, 1981. 63 с.
- 24 Гоменюк П. Я. Снижение энергопотребления при удалении навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 11. С. 12 - 14.
- 25 Агафонов Ю. В., Лонгва А. Р., Рошкетаяев Н. И. Скреповый транспортер ТСН-3,0Д для уборки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1985. № 5. С. 23.
- 26 Письменов В. Н. Повышение эффективности навозоуборочных установок // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 12. С. 54.

- 27 Станчев Д. И., Рошкетаяев Н. И. Транспортёры работают дольше // Техника в сел. хоз-ве. 1989. № 11. С. 63.
- 28 Берглунд С., Анианссон Г., Экесбу И. Транспортировка жидкого навоза: Пер. со швед. / под ред. И. Ф. Ромашкевича. М.: Колос, 1962. 183 с.
- 29 Ковалев Н. Г., Глазков И. К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. М.: Агропромиздат, 1989. 160с.
- 30 Джупина С. И. Организация ветеринарного обслуживания крупных животноводческих ферм. М.: Росагропромиздат, 1991. 175 с.
- 31 Пронько К. И. О значении качества уборки животноводческих помещений // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 8. С. 36-37.
- 32 Вейнла В. Э., Ази М. М. Удаление подстилочного навоза из коровников // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 5. С. 26-27.
- 33 Проектирование и эксплуатация систем удаления, переработки и использования навоза ферм и комплексов КРС: Рекомендации. М.: Россельхозиздат, 1979. 63 с.
- 34 Дмитриева В. И., Никитин В. А., Поленина В. А. Использование стоков животноводческих комплексов // М.: Россельхозиздат, 1977. 63 с.
- 35 Лукьянчиков И. И. Перспективные системы утилизации навоза (в хозяйствах Нечерноземья). М.: Россельхозиздат, 1985. 176 с.
- 36 Пузанков А. Г., Мхитарян Г. А., Гришаев И. Д. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1986. 175 с.
- 37 Астахов В. В. Оптимизация концентрации индустриального свиноводства с учетом экологических факторов // Достижения науки и техники. 1995. № 5. С. 33 – 35.
- 38 Линник Н. К., Сапрун В.П., Ковалев Н. Г. и др. Контейнерный способ удаления бесподстилочного навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1982. № 7. С. 22-23.
- 39 Уборка навоза и приготовление органических удобрений на животноводческих фермах: Обзор. информ. М.: ЦНИИТЭИ, 1970. 40 с.
- 40 Линник Н. К. Совершенствование технологий и технических средств использования органических удобрений // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 5. С. 51 – 53.
- 41 Супрун В. П. Обоснование процесса отделения навозной жижи при удалении навоза из-под решетчатых полов и параметров установки с перемещающимися сепарирующими конвейерами. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Глеваха, 1983. 23 с.
- 42 A net under slats? // Pig American. 1980. November. P. 28 – 30.
- 43 Чудин Е. И. Тенденции развития оборудования для удаления, хранения и переработки навоза за рубежом: Обзор. информ. ЦНИИТЭИ. М.: Сельхозтехника, 1976. 25 с.
- 44 Билибин Е. Б., Лепа В. С. Зарубежная техника для механизации удаления, транспортировки и распределения навоза по полям. Киев: УкрНИИТИ, 1971. 36 с.
- 45 Ледин Н. П., Письменный В. К., Полищук В. И. Расчет мощности роторного устройства для уборки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1979. № 4. С. 22 – 24.
- 46 Ледин Н. П. Обоснование параметров роторного навозоуборочного устройства // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 1. С. 34 – 36.
- 47 Цой Ю. А. Проблемы создания безотходных экологически чистых ферм // Техника в сел. хоз-ве. 1994. № 6. С. 13-14.
- 48 Вагин Е. А., Мицюк О. А. Выбор оптимального варианта механизации удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1988. № 8. С. 35 – 37.
- 49 Понтрягин В., Иванов В. Шнековое удаление навоза из коровников с укороченными стойлами // Уральские нивы. 1980. № 9. С. 17.
- 50 Текучева М. С., Ковалев А. Н., Капустин В. П. Установка УВН-800 // Уборка навоза на животноводческих фермах: Комплект плакатов. М.: Колос, 1983. Лист 6.
- 51 Буряк Ю. И., Рязанцев В. П. Системы удаления и хранения бесподстилочного навоза: Обзор. информ. / ВНИИТЭИагропром. М., 1986. 48 с.
- 52 Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. М.: Колос, 1983. 61 с.
- 53 Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: Пер. с англ. / под. ред. А. Н. Шамко. М.: Колос, 1979. 415 с.
- 54 Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения: / Пер. с нем. М.: Колос, 1978. 271 с.
- 55 Hornig G. Einsatz-produktionsanlagen // Agrartechnik. 1983. Bd. 33, № 11. S. 501 – 503.
- 56 Vogt C. Flussigmist unter Vollspaltenboden // Landtechnik.-1981.-Bd.36, № 2. S. 14 – 56.

- 57 Якубаускас В. И. Технологические основы механизированного внесения удобрений. М.: Колос, 1973. 231 с.
- 58 Николаенков А. И. Исследование и обоснование перспективной системы удаления навоза на свиноводческих фермах и комплексах в условиях БССР: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Минск, 1977. 20с.
- 59 Личман Г. И. Исследование процесса движения навоза по напорным трубопроводам с целью обоснования их параметров и режимов транспортирования: Автореф.дис.... канд. техн. наук. М., 1975. 27 с.
- 60 Чиненова О. Д. Исследование и обоснование оптимальных параметров системы непрерывного удаления навоза из свинарников: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1979. 18 с.
- 61 Текучева М. С. Исследование самотечной системы непрерывного удаления навоза из коровников: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1973. 23 с.
- 62 Гайдаш Н. И. Исследование самотечной системы удаления навоза из животноводческих помещений: Автореф. дис.... канд.техн. наук. Краснодар, 1974. 30 с.
- 63 Сизов В. А. Исследование процесса перемещения бесподстилочного навоза КРС в каналах самотечной системы: Автореф. дис... канд. техн. наук. Л.-Пушкин, 1976. 25 с.
- 64 Временные рекомендации по проектированию систем удаления, транспортирования, обработки, обеззараживания и использования навоза, получаемого на животноводческих комплексах и фермах промышленного типа. М.: ГипроНИСЕЛЬХОЗ, 1975. 55 с.
- 65 Ковалев А. А., Гриднев П. И., Левчикова М. В. Технические средства для получения биологического газа и органических удобрений из отходов сельскохозяйственного производства // Биологическая переработка: Тез. докл. совещ. Киев, 1983. С. 113 – 115.
- 66 Василенко П. М., Погорелый Л. В. Основы научных исследований. Механизация сел. хоз-ва К.: Выща школа, 1985. 266 с.
- 67 Письменов В. Н. Получение и использование бесподстилочного навоза. М.: Россельхозиздат, 1988. 206 с.
- 68 Долгов В. С. Гигиена уборки и утилизации навоза. М.: Россельхозиздат, 1984. 175 с.
- 69 Залыгин А. Г. Механизация реконструируемых свиноводческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1990. 255 с.
- 70 Вороницкий И. А., Удовеня В. А., Левкин В. Г. Запорное устройство навозоприемных каналов // Техника в сел. хоз-ве. 1981. № 1. С. 25-26.
- 71 Капустин В. П., Колесников А. В. Щелевые полы в животноводческих помещениях // Техника в сел. хоз-ве. 1981. № 12. С. 16 – 18.
- 72 Кузьменко И. И., Марченко Н. М., Овчинникова К. Н. и др. Утилизация навоза на фермах промышленного типа Киев: Урожай. 104 с.
- 73 Секционная система / Буряк Ю. Н., Кострюков С. И., Лукьяненко И. И. и др. // Техника в сел. хоз-ве. 1981. № 6. С. 25-26.
- 74 Новик Л. М. Результаты опытно-производственной проверки самотечной системы удаления навоза в коровниках. Вопросы технологии, механизации, электрификации и автоматизации производства кормов и продуктов животноводства // Науч. тр. НИПТИМЭСХ Н.З. Л., 1978. Вып. 26. С. 65 – 67.
- 75 Калюга В. В., Мельников С. В., Найдено В. К. Механизация технологических процессов на свиноводческих предприятиях. М.: Россельхозиздат, 1987. 208 с.
- 76 Яли И. И. Удаление навоза самотеком // Молочное и мясное скотоводство. 1978. № 1. С. 46 – 48.
- 77 Slurry-Continuous Flow Channels // Big farm management. 1982. march. P. 28-29.
- 78 Бацанов И. Н., Лукьяненко И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. М.: Россельхозиздат, 1977. 160 с.
- 79 Курбатов Л. Г., Комраков А. Е. Механизация уборки навоза на фермах. Л.: Колос, 1968. 104 с.
- 80 Болтнев А. М., Капустин В. П. Экономическая оценка способов уборки и транспортировки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1977. № 4. С. 34 – 37.
- 81 Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос, 1978. 560 с.
- 82 Гоменюк П. Я. Усовершенствование оборудования для удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1991. № 4. С. 20-21.
- 83 Методические рекомендации по профилактике гельминтозов сельскохозяйственных животных и птиц в крупных специализированных хозяйствах и комплексах промышленного типа. М., 1975. 33 с.
- 84 Мироненко М. А., Яролик И. Ф., Коваленко А. В. Санитарная охрана внешней среды в районах промышленно-животноводческих комплексов. М.: Медицина, 1978. 160 с.
- 85 Вейнла В. Д., Сейлер А. О., Вольмар А. А. Сравнительная оценка систем удаления навоза //Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1981. № 5. С. 17 – 19.

86 Комплексная технико-экономическая оценка технологических схем уборки и утилизации навоза / Линник Н. К., Супрун В. П., Портман М. Л. и др. // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 11. С. 3 – 6.

87 Васильев В. А., Швецов М. М. Применение бесподстилочного навоза для удобрения. М.: Колос, 1983. 174 с.

88 Васильев В. А., Семенов П. Я. Использование навоза, полученного на животноводческих комплексах и фермах промышленного типа при бесподстилочном содержании животных // Опыт проектирования, строительства и эксплуатации систем удаления, переработки и утилизации навоза на животноводческих комплексах: Тез. докл. к Всесоюз. совещ.-семинару, Москва, 13 – 17 мая 1973 г. М., 1973. С. 32 – 34.

89 Усачева И. Г., Поляков А. А. Эпизоотологические и гигиенические аспекты уборки навоза и обеззараживание сточных вод в крупных промышленных фермах. М.: ВИНТИ, 1972. 72 с.

90 Семченко А. И., Рязанцев В. П. Пути решения проблемы переработки сточных вод животноводческих ферм промышленного типа: Обзор.инфор. / ВНИИТЭИ. М., 1979. 43 с.

91 Капустин В. П., Гудухин В. Ф., Сарычев П. П. Автоматизированная поточная линия разделения жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 1. С. 30-31.

92 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 (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 7707740; Инв. № Б 629569. Тамбов, 1976. 152 с.

93 Л. К Эрнст, И. Н. Бацианов, Ю. Е. Шуть и др. Об удалении экскрементов животных на крупных фермах // Животноводство. 1972. № 7. С. 24 – 26.

94 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 (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 7707912; Инв. № Б 913155. Тамбов, 1980. 125 с.

95 Капустин В. П., Саяпин В. А. Применение самотечных систем уборки навоза на молочных комплексах Тамбовской области // Удаление, транспортировка, переработка, обеззараживание и использование жидкого навоза на животноводческих комплексах: Тез. докл., Волгоград, 24 – 27 фев-раля 1976 г. Волгоград, 1976. С. 8-9.

96 Ковалев Н. Г., Глазков И. К., Матяш И. Н. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих фермах. М.: Россельхозиздат, 1981. 63 с.

97 Андреев В. А., Новиков М. Н., Лукин С. М. Использование навоза свиней на удобрение. М.: Росагропромиздат, 1990. 94 с.

98 Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидравлических систем уборки навоза на фермах КРС. М.: Россельхозиздат, 1975. 27 с.

99 И. И. Лукьяненок, П. М., Лебедев, В. В., Калюга и др. Рекомендации по устройству и эксплуатации самотечной и смывной систем удаления навоза на свинарниках / М.: Россельхозиздат, 1973. 48 с.

100 Тиво П. Ф., Дробот С. Г. Эффективное использование бесподстилочного навоза. Минск: Ураджай, 1988. 116 с.

101 Robertson A. M. Waste Treatment, where does it fit in? // Farm Building Progress. 1975. № 39. P. 19 – 24.

102 Капустин В. П., Саяпин В. А., Колесников А. В. Гидрозатворы для систем уборки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1978. № 3. С. 36 – 38.

103 Ото Ф. К. Оборудование и методы чистки коровников и свинарников // Европейская экономическая комиссия. Нью Йорк: ООН. 1971. 21 с.

104 Морозов Н. М., Сыроватка В. И. Приоритетные направления исследований в области механизации и автоматизации животноводства // Совершенствование механизированных технологий производства молока и говядины: Сб. науч. тр. Подольск, 1992, Т. 1. С. 7 – 18.

105 Капустин В. П., Саяпин В. А., Тырнов Ю. А. Определение размеров канала при гидравлических способах уборки навоза // Вопросы механизации, технологии и строительства в животноводстве: Тр. ВНИИМЖ. Подольск, 1977. Т. 10. С. 68 – 71.

106 Крупенин А. В. Движение жидких кормов и навоза по трубам // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1973. № 7. С. 18-19.

107 Капустин В. П. Методика расчета поточной линии уборки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 7. С. 22 – 25.

108 И. И. Лукьяненок, М. С. Текучева, Л. Г. Рубинштейн и др. Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидравлических систем уборки навоза на фермах КРС / М.: Россельхозиздат, 1975. 27 с.

109 Короткевич В. А. Механизация свиноводческих ферм и комплексов. Минск: Ураджай. 1979. 127 с.

110 Капустин В. П., Саяпин В. А., Дудышев Е. С. Исследование расквашивания и скорости осаждения свиного навоза // Механизация и автоматизация животноводческих ферм: Крат. тез. докл. конф. по электромех. жив-ва. Тамбов, 1974. Ч. 2. С. 98 – 100.

111 Капустин В. П., Тырнов Ю.А., Саяпин В.А. Определение выхода навоза // Свиноводство. 1976. № 12. С. 30-31.

112 Капустин В. П. Биотехнологическая система уборки, транспортировки и переработки жидкого навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1996. № 4. С. 9 – 11.

113 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 (Промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 693979. Тамбов, 1977. 147 с.

114 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 (Промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 735051. Тамбов, 1978. 133 с.

115 Капустин В. П., Саяпин В. А. Определение глубины слоя навоза в канале // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1980. № 6. С. 20 – 22.

116 Капустин В. П., Тырнов Ю. А., Колесников А. В. и др. Рекомендации по расчету и применению поточных технологических линий уборки, обработки и транспортировки жидкого навоза на животноводческих комплексах. Тамбов, 1980. 64 с.

117 Капустин В. П. Совершенствование самотечной системы уборки навоза // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч. произв. конф., Минск, 19-20 декабря 1979 г. Минск, 1979. Ч. 2. С. 86-87.

3 ТРАНСПОРТИРОВКА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

3.1 Анализ способов и средств транспортировки навоза

Для транспортировки навоза, получаемого при механических способах уборки, используют тележки различной вместимости, бульдозеры (твердый навоз), пневматические (УПН-15), поршневые гидрофицированные установки УТН-10 (полужидкий навоз). [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Применение пневматических и поршневых гидрофицированных установок позволяет значительно улучшить санитарно-гигиенические условия труда, снизить в 4 ... 5 раз площади для внутрифермского транспорта в сравнении с мобильными средствами [4, 8]. Возможность перемещения бесподстилочного навоза пневматическими и гидрофицированными установками доказана многими исследованиями [1, 3, 9, 10, 11, 12]. Вместе с тем ограниченное расстояние перемещения – 300 ... 700 м, высокая стоимость устройств для подачи транспортируемого навоза, необходимость разбавления навоза водой, сложность обслуживания и риск в работе являются недостатками пневматических и поршневых гидрофицированных установок. [8, 13].

Для перевозки жидкого навоза из мобильных средств, серийно выпускаемых промышленностью, наибольшее распространение получили машины РЖТ-8, РЖТ-16, МЖТ-10 и другие, оборудованные автономными вакуумными (заборными) насосами и распределительными устройствами (центробежные насосы). Управление наполнением, перемешиванием, распределением навоза по полю осуществляется дистанционно. Аналогичные устройства нашли применение и в зарубежных странах – Италии, Англии [14], США [15, 16, 17], Германии [18], Японии [19] и Швеции [1], имеющие некоторые конструктивные особенности, но работающие по аналогичному принципу.

Исследования технологического процесса мобильных средств показали, что 30 ... 50 % рабочего времени затрачивается на основную работу, а остальное расходуется на погрузо-разгрузочные операции, движение порожних агрегатов, в результате чего складывается высокая себестоимость перевозок. [8, 20, 21].

Транспортировка навоза мобильными средствами требует увеличения парка машин, что в конечном счете связано с увеличением капитальных вложений и привлечения значительного числа механизаторов. Кроме того, применение большегрузных тележек и емкостей с тракторами Т-150 К и К-701 приводит к переуплотнению и разрушению почвы, снижению плодородия и урожая сельскохозяйственных культур. [22, 23, 24, 25, 26].

При отсутствии автономных средств загрузки полужидкого и жидкого навоза в транспортные средства применяют установки НПК-30, УН-10, шнековые насосы НШ-50, НЖН-200, ПНЖ-250 и другие. [14, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35].

Большой объем получаемого навоза влажностью более 96 % сделал использование мобильных средств для его транспортировки экономически невыгодным, а в санитарном и экологическом отношении небезопасным. [23, 24, 36, 37, 38, 39, 40, 41].

Установлено, что из-за низкой обеспеченности животноводческих ферм и комплексов механизированными хранилищами навоза, хорошими подъездными путями, несовершенства и недостатка транспортных средств, теряется до 50 % органических удобрений. [18, 42, 43].

Получение большого количества жидкого навоза на животноводческих фермах и комплексах явилось основой разработки и применения фекальных и шнековых насосов для его транспортирования на расстояние 2 ... 5 км. [9, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

За рубежом для транспортировки жидкого навоза по трубам используют центробежные, поршневые и мембранные насосы. [1,14]. Причем рекомендуется применять гидротранспорт, если животноводческий комплекс насчитывает более 1000 условных голов скота, при ежегодном выходе навоза более 25000 т и среднем расстоянии транспортировки не менее 6 ... 8 км. [1,18].

Результаты исследований показывают, что транспортировать жидкий навоз по трубам, исходя из технико-экономических, организационных и природоохранных факторов, целесообразно на животноводческих предприятиях, навозохранилища которых расположены на расстоянии более 3 км. [3, 9, 21, 50, 51].

Применение гидротранспорта позволяет избежать загрязнения территории фермы, опасности распространения инфекции и инвазии в пределах фермы и вне ее, повысить производительность в 1,5 ... 2 раза, снизить затраты труда на 15 ... 20 %, приведенные затраты на 30 % и автоматизировать все процессы. [9, 15, 23, 24, 52].

Одним из необходимых составных элементов гидротранспорта является насосная станция. В практике животноводческих предприятий встречаются совмещенные насосные станции, где насосные агрегаты и навозоприемник расположены в одном помещении и отдельные; при этом устанавливаются насосы: под заливом, самовсасывающие, насосы с питателем-измельчителем и вертикальные. [1, 9, 53, 54].

Установка насосов *под заливом*, хотя и распространена [1, 9, 55], но имеет существенные недостатки: большая стоимость строительства, трудность в создании гидроизоляции, большая трудоемкость при смене или ремонте насосов, неудовлетворительные условия труда обслуживающего персонала. [53].

Самовсасывающие насосы, имеющие обратный клапан, создают значительные местные потери, снижающие производительность.

Не нашли применения насосы с питателем-измельчителем из-за разности производительности и консистенции перекачиваемого навоза и вертикальные насосы из-за дороговизны и малой производительности. [21].

Основным фактором, влияющим на показатели работы насосной станции, является правильно выбранный объем, ширина и глубина навозоприемника.

Научно-обоснованных и проверенных в производственных условиях рекомендаций по выбору этих параметров в научной литературе не имеется. [1, 30, 33, 56, 57].

На практике вместимость навозоприемника принимают равной: 10 мин. работы насоса [23], половине [58] или суточному выходу навоза [30], трое суток [59] или времени, необходимому для замены или ремонта насоса (2 ... 3 часа). При этом не учитываются физико-механические свойства навоза, что является причиной образования осадка после 2...3 часов нахождения его в навозоприемнике, который приводит к сокращению полезного объема навозоприемника и увеличению трудо- и энергозатрат на его удаление. [60, 61, 62].

Анализ способов и средств транспортировки бесподстилочного навоза показывает, что гидротранспорт является основным, способным исключить потери массы и питательных веществ, значительно снизить затраты труда и энергии, избежать загрязнения территории животноводческих предприятий, опасности распространения инфекции и инвазии на пути его перемещения. Поэтому представляется важным изучение параметров и режимов работы гидротранспорта с целью их оптимизации.

3.2 Анализ теоретических исследований транспортировки навоза

Исследованию процессов перемещения жидкого навоза с помощью насосов посвящены многие работы отечественных ученых Л. И. Грачевой, В. Г. Кобы, С. В. Мельникова, Н. М. Банникова, А. М. Буцыкина, А. С. Голушко, В. В. Калюги, А. В. Крупенина, Г. И. Личман, А. А. Митрохина, В. В. Потапова, Ю. К. Сафронова и зарубежных ученых С. Берглунд, Г. Анианссон, И. Эксбу, Р. Ломатч, Х. Мелер и др.

В результате теоретических исследований установлены конструктивные параметры и определены режимные параметры процесса транспортирования.

Положив в основу расчета теорию глинистых растворов, Крупениным А. В. [63] и Харитоновым М. Ф. [61] определены производительность и скорость потока навоза в трубе с учетом толщины пристенного слоя.

$$v = (ipga^2) / 32\eta_2 [0,5 - 0,5(4\tau_0 / ipgd)],$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi R^4}{8\eta_2} - \frac{\tau_0 \pi R^2}{3\eta_2} + \frac{2\tau_0^4 \pi l^3}{3(\Delta P)^3 \eta_2} - \frac{\Delta P \pi R^2 \delta}{2l\eta_2} + \frac{\tau_0 \pi R^2 \delta}{\eta_2} + \frac{\Delta P \pi R^2 \delta}{2\eta_1},$$

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8l\eta^2} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{P_0}{\Delta P} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{P_0}{\Delta P} \right)^4 \right],$$

где v – скорость потока, м/с; i – гидравлический уклон; ρ – плотность жидкого навоза, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; d – диаметр трубопровода, м; η_2 – динамическая вязкость жидкого навоза, Па·с; η_1 – вязкость воды, Па·с; τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; ΔP – перепад давлений, Па; l – длина трубопровода, м; P_0 – атмосферное давление, Па; R – радиус ядра потока, м; δ – толщина пристенного слоя дисперсионной среды, м.

Определена длина участка, на котором наблюдается неустановившееся движение навоза различной влажности. [64]. Потери напора на таких участках выше линейных потерь на 15 ... 20 %.

Влажность навозной массы дойных коров во время спуска составила 86 ... 87 %. А это, как известно, нижний предел, при котором навоз еще "течет". Следовательно, попадание остатков корма в навоз способствует снижению влажности и повышению предельного напряжения сдвига τ и липкости.

Снижению влажности навозной массы в каналах способствует не только попадание остатков кормов, но и испарение влаги с поверхности, которое достигает в теплое время года 1,6 л/м² сутки. Для доведения влажности навозной массы до 88 ... 90 % необходимо в каналы добавлять воду, количество которой можно определить из графика (см. рис. 1.6).

Время накопления навозной массы в каналах на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина" в зависимости от поголовья животных, находящихся над каналом, составило 25 ... 30 суток. Без добавления воды истечение навозной массы наблюдалось только в конце каналов. Влажность осадка при этом составляла 85 ... 86 %. При добавлении воды в количестве 5 л на корову в сутки влажность навозной массы составляла 87 ... 87,8 % и для ее истечения требовалось разрушение структуры. Добавление воды в начале пуска каналов в эксплуатацию и за два дня до выпуска навозной массы в количестве 10 ... 12 л в сутки на животного приводило к истечению ее без разрушения структуры. Влажность навоза при этом составляла 88,5 ... 89 %.

Температура навозной массы в каналах зимой составляла 283 ... 286 К, а в весенне-летний период 291 ... 293 К, что приводило к снижению предельного напряжения сдвига ее на 20 %. Поэтому после спуска навозной массы в канале в летний период оставалось осадка меньше на 17 %, рис. 2.24.

В процессе длительного наблюдения за работой самотечной системы на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина" установлено, что средняя высота слоя осадка в каналах возрастает за счет попадания в канал остатков корма и других примесей, рис. 2.25. Через три месяца осадок занимал 30 ... 40 % объема канала. [114].

Установлено, что накопление навоза до высоты H_0 в каналах на молочных комплексах происходит в зависимости от размеров каналов и количества животных, находящихся над каналом за 24 ... 30 суток. Истечение происходит в течение 0,5 ... 1,5 суток затем продолжается накопление в течение 6 ... 8 суток и цикл повторяется.

При установке в каналы гидрозатворов влажность навозной массы в обычных каналах (с порожками) была меньше, чем в каналах с гидрозатворами и ниже критической влажности, при которой происходит истечение на 2 ... 3 %, табл. 2.2.

2.2 Результаты измерений влажности, высоты накопления и осадка в каналах самотечной системы на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина"

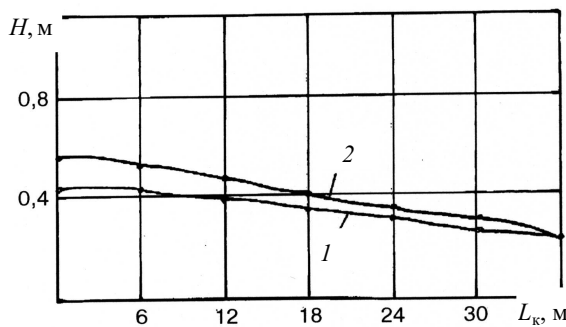


Рис. 2.25 Изменение слоя осадка в канале самотечной системы уборки навоза на молочном комплексе колхоза "Путь Ленина":

1 – через один месяц; 2 – через три месяца

Система уборки	Расстояние замеров по длине канала, м						
	5	10	15	20	25	30	35
Непрерывного действия с порожком	1,05	1,09	1,03	1,0	1,10	0,97	0,95
h , м							
W , %	78	77	78	88	81	84	86

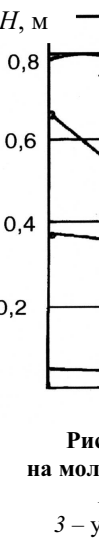


Рис. 3 - у на мол 3 - у

Периодического действия с гидрозатвором: до спуска,							
h , м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,04	1,06	1,10
W , %	90	90	91	90	93	93	94
После спуска H , м	0,45	0,40	0,40	0,35	0,31	0,25	0,25

Для определения влияния конструктивных параметров на режим истечения и проверки теоретической зависимости был изготовлен лабораторный образец канала, в который можно загружать навоз различной влажности и температуры, изменять длину и ширину канала, уклон дна и высоту порожка. [92].

Канал представляет собой сборную металлическую конструкцию, состоящую из трех секций длиной по 3 м. Ширина канала изменяется от 0,15 до 0,6 м через каждые 0,15 м, путем перестановки опор.

Для осуществления равномерной загрузки навоза в канал предусмотрено устройство, представляющее собой лоток, установленный сверху каждой секции. Поворот лотка при загрузке осуществляется вручную или с помощью электропривода.

Конструкция канала позволяет проводить исследования на одной секции длиной 3 м или последовательно подстыковывать следующие две по 3 м каждая. На выходе предусмотрено устройство для установки порожка различной высоты – 0,05 ... 0,2 м.

Исследуемой навозной массой определенной влажности заполняли канал, в котором устанавливали порожек заданной высоты и шиббер, процесс истечения начинался после открытия шиббера.

Измерение слоя навозной массы через сутки во время процесса истечения проводилось линейкой в 5 контрольных точках канала, отмеченных капроновыми нитями, натянутыми поперек канала.

Под "выходом" процесса истечения принимаем уровень навозной массы в конце канала, замеряемый через сутки от начала истечения. Это продиктовано тем, что данный параметр в дальнейшем не зависит от времени опыта и имеет количественное выражение. [92].

За факторы, влияющие на показатель "выхода" приняли: влажность навозной массы X_1 , уклон дна X_2 , высота порожка X_3 , ширина канала X_4 и длина канала X_5 . Значение фактора влажности исследовали в пределах 89 ... 93 %, уклона дна 0,00:...0.015, высоты порожка 0,10 ... 0,19 м, ширины канала 0,30 ... 0,60 м, длины канала 6,0 ... 9,0 м.

Применение метода многофакторного планирования экспериментов значительно упрощает задачу определения оптимального (минимального) уровня навозной массы в конце канала. После постановки факторного эксперимента, расчета коэффициентов регрессии, ошибки в определении их значимости провели проверку возможности описания процесса линейной моделью.

Проверкой установлено, что изучаемый процесс можно описать уравнением без членов высших порядков, но низшие взаимодействия отбрасывать нельзя.

Результаты статистической оценки коэффициентов регрессии позволили описать процесс следующим уравнением

$$\hat{y} = 0,448 + 0,033X_1 - 0,0052X_2 + 0,055X_3 + 0,082X_5 + 0,029X_1X_4 - 0,007X_1X_5 + 0,0055X_3X_4 - 0,05X_3X_4 + 0,028X_4X_5. \quad (2.29)$$

После реализации полного факторного эксперимента проводили поиск оптимальных соотношений конструктивных элементов канала методом крутого восхождения, табл. 2.3.

2.3 Факторы и интервалы их варьирования

Факторы	Варианты				
	1	2	3	4	5
X_1	89	90	91	92	93
X_2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
X_3	0,10	0,125	0,150	0,175	0,190
X_4	6,0	7,30	8,50	9,0	9,0
Выход процесса	0,386	0,420	0,420	0,410	0,400

Как видно из табл. 2.3, начиная со второго варианта, дальнейшее изменение факторов уже не приводит к изменению выхода. Таким образом, можно считать, что оптимальное соотношение факторов составляет $X_1=90$ %; $X_2 = 0,01$; $X_3 = 0,125$; $X_4 = 7,50$ м. Отсюда следует, что для канала длиной 7,5 м минимальная высота уровня в конце канала равна 0,42 м.

Расчет глубины канала, проведенной по формуле (2.11) при следующих данных $L = 7,5$ м, $\tau = 30$ Па, $B = 0,45$ м, $\rho = 1020$ кг/м³ показал, что отклонение от рассчитанного минимального уровня в конце канала при

оптимальных соотношениях конструктивных элементов составляет 1,5 %. Таким образом, проведенный многофакторный эксперимент подтвердил правильность выведенной формулы (2.11) и возможность использования ее при расчете параметров каналов [107, 116].

ВЫВОДЫ

5 В результате анализа научной литературы разработана классификация способов и средств уборки навоза в животноводческих помещениях.

6 Анализ способов уборки навоза показал, что гидравлические системы уборки бесподстилочного навоза на крупных животноводческих фермах и комплексах остаются доминирующими как у нас в стране, так и за рубежом. 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.

Несмотря на широкое применение самотечных систем уборки в реальных условиях получают навоз влажностью 94 ... 96 %, т.е. с увеличением по объему в 1,5 ... 2,0 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 ($W = 92 \dots 94 \%$) в производство внедряются все более совершенные самотечные системы, обладающие повышенной надежностью функционирования.

7 Установлено, что основными путями повышения эффективности уборки и сохранения качества получаемого навоза являются: оптимизация параметров каналов и процессов накопления и истечения навоза за счет использования уточненных значений напряжения сдвига, вязкости и дополнительно изученных новых свойств (давление насыщенных паров, удельное электрическое сопротивление и теплоемкость, реакция среды), разработка устройств для герметизации каналов и контроль за состоянием и поддержание оптимальной влажности навозной массы; совершенствование устройств для удаления осадка из каналов с помощью очищенной жидкой фракции.

8 Получены математические модели накопления и истечения жидкого навоза из каналов с учетом его физико-механических, химических и реологических свойств, позволяющих определять оптимальные параметры каналов и повышать эффективность работы самотечной системы.

При оптимальных параметрах каналов – длине 25 и 30, ширине 1,0 ... 1,2 и 1,2 ... 1,5 м при содержании свиней и КРС соответственно, качественном их исполнении, наблюдении за процессами накопления и истечением показатель надежности функционирования самотечных систем составляет 0,6 ... 0,8.

Определена цикличность работы каналов: процесс накопления длится 20 ... 28 суток, затем истечение – 1,0 ... 1,5 суток и повторное накопление до начала истечения – 7 ... 8 суток.

Для удаления осадка из каналов влажностью 86 % требуется в 2 раза больше смывной жидкости, чем для осадка влажностью 92 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 118 Вороневский С. И., Перекрестов А. Т., Полонский Л. С. Механизация удаления и утилизации навоза на животноводческих фермах Молдавской ССР: Обзор. Кишинев: МолдНИИНТИ, 1974. 62 с.
- 119 Мелер Х., Хейнинг В. Постройки и оборудование для содержания КРС: Пер. с нем. / под ред. В. С. Алимова, М.: Колос, 1974. 560 с.
- 120 Крупенин А. В. Исследование рабочего процесса лотковой самотечной системы удаления навоза из коровников: Автореф. дис.... канд. техн. наук, Горки, 1974. 30 с.
- 121 Гурин В. М., Цветков И. Н., Полонский Л. С. Рекомендации по эксплуатации самотечной системы удаления навоза на животноводческих фермах и комплексах Совета колхозов Молд. ССР. Кишинев, 1975. 8 с.
- 122 Асташов Н., Четвертаков И. Эффективность способов уборки и удаления навоза // Молочное и мясное скотоводство. 1982. № 4. С. 44 – 48.
- 123 Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета: ОНТП 17-81. М.: Колос, 1983. 32 с.
- 124 Ветеринарно-санитарные и гигиенические требования к устройству технологических линий удаления, обработки, обеззараживания и утилизации навоза, получаемого на животноводческих комплексах и фермах. М., 1979. 13 с.
- 125 Письменов В. Н. Уборка, транспортировка и использование навоза. М.: Россельхозиздат, 1975. 200 с.
- 126 Амиров Р. О. Загрязнение атмосферного воздуха вблизи промышленных свиноводческих комплексов // Актуальные вопросы гигиены села. Нукус, 1976. Т.10. С. 83 – 86.
- 127 Гудухин В. Ф., Малков Г. И., Евлентьев Ю. Г. Повышение надежности навозоуборочных транспортеров // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 11. С.21-22.

- 128 Маркун В. Г., Совьяк М. И., Акулиньшин В. В. Скреперная установка для уборки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 4. С. 22.
- 129 Балук В. П., Балук Т. Т., Вельчо С. Ф. Реконструированная скреперная установка // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 10. С. 15.
- 130 Мазуха А. П., Куракин А. С., Мазуха Э. А. Защита скребков транспортера ТСН-3,0Б от примерзания // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 2. С. 15.
- 131 Седунов В. А., Туваев В. Н., Прошутинский Н. П. Усовершенствование технологии удаления навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 12. С. 14-15.
- 132 Бетин С. Г. Долговечность цепей навозоуборочных транспортеров // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 7. С. 27-28.
- 133 Таликов И. Т. Оптимизация надежности транспортеров // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 1. С. 32-33.
- 134 Ромашкевич И. А., Червинский В. Л. Предотвращение примерзания навозоуборочного транспортера // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1988. № 1. С. 21-22.
- 135 Гладков П. К., Гладков О. П. Перспективный способ удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1989. № 3. С. 15-16.
- 136 Ковалевский В. К. Расчет скреперных установок для удаления навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 2. С. 36-37.
- 137 Гоменюк П. Я. Усовершенствование оборудования для удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1991. № 4. С. 20-21.
- 138 Шевелев А. Вторая жизнь транспортера // Сельский механизатор.-1995.-№4.-С.20.
- 139 Курбатов Л. Г., Комраков А. Е. Механизация уборки навоза на фермах. Л.: Колос, 1968. 104 с.
- 140 Козлов Н. Г., Глазков И. К., Матяш И. Н. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих фермах. М.: Россельхозиздат, 1981. 63 с.
- 141 Гоменюк П. Я. Снижение энергопотребления при удалении навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 11. С. 12 - 14.
- 142 Агафонов Ю. В., Лонгва А. Р., Рошкетаяев Н. И. Скреповый транспортер ТСН-3,0Д для уборки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1985. № 5. С. 23.
- 143 Письменов В. Н. Повышение эффективности навозоуборочных установок // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 12. С. 54.
- 144 Станчев Д. И., Рошкетаяев Н. И. Транспортеры работают дольше // Техника в сел. хоз-ве. 1989. № 11. С. 63.
- 145 Берглунд С., Анианссон Г., Экембу И. Транспортировка жидкого навоза: Пер. со швед. / под ред. И. Ф. Ромашкевича. М.: Колос, 1962. 183 с.
- 146 Ковалев Н. Г., Глазков И. К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. М.: Агропромиздат, 1989. 160с.
- 147 Джупина С. И. Организация ветеринарного обслуживания крупных животноводческих ферм. М.: Росагропромиздат, 1991. 175 с.
- 148 Пронько К. И. О значении качества уборки животноводческих помещений // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 8. С. 36-37.
- 149 Вейнла В. Э., Ази М. М. Удаление подстилочного навоза из коровников // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 5. С. 26-27.
- 150 Проектирование и эксплуатация систем удаления, переработки и использования навоза ферм и комплексов КРС: Рекомендации. М.: Россельхозиздат, 1979. 63 с.
- 151 Дмитриева В. И., Никитин В. А., Поленина В. А. Использование стоков животноводческих комплексов // М.: Россельхозиздат, 1977. 63 с.
- 152 Лукьяненко И. И. Перспективные системы утилизации навоза (в хозяйствах Нечерноземья). М.: Россельхозиздат, 1985. 176 с.
- 153 Пузанков А. Г., Мхитарян Г. А., Гришаев И. Д. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1986. 175 с.
- 154 Астахов В. В. Оптимизация концентрации индустриального свиноводства с учетом экологических факторов // Достижения науки и техники. 1995. № 5. С. 33 – 35.
- 155 Линник Н. К., Сапрун В.П., Ковалев Н. Г. и др. Контейнерный способ удаления бесподстилочного навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1982. № 7. С. 22-23.
- 156 Уборка навоза и приготовление органических удобрений на животноводческих фермах: Обзор. информ. М.: ЦНИИТЭИ, 1970. 40 с.
- 157 Линник Н. К. Совершенствование технологий и технических средств использования органических удобрений // Техника в сел. хоз-ве. 1990. № 5. С. 51 – 53.

- 158 Супрун В. П. Обоснование процесса отделения навозной жижи при удалении навоза из-под решетчатых полов и параметров установки с перемещающимися сепарирующими конвейерами. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Глеваха, 1983. 23 с.
- 159 A net under slats? // Pig American. 1980. November. P. 28 – 30.
- 160 Чудин Е. И. Тенденции развития оборудования для удаления, хранения и переработки навоза за рубежом: Обзор. информ. ЦНИИТЭИ. М.: Сельхозтехника, 1976. 25 с.
- 161 Билибин Е. Б., Лепа В. С. Зарубежная техника для механизации удаления, транспортировки и распределения навоза по полям. Киев: УкрНИИТИ, 1971. 36 с.
- 162 Ледин Н. П., Письменный В. К., Полищук В. И. Расчет мощности роторного устройства для уборки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1979. № 4. С. 22 – 24.
- 163 Ледин Н. П. Обоснование параметров роторного навозоуборочного устройства // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 1. С. 34 – 36.
- 164 Цой Ю. А. Проблемы создания безотходных экологически чистых ферм // Техника в сел. хоз-ве. 1994. № 6. С. 13-14.
- 165 Вагин Е. А., Мицюк О. А. Выбор оптимального варианта механизации удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1988. № 8. С. 35 – 37.
- 166 Понтрягин В., Иванов В. Шнековое удаление навоза из коровников с укороченными стойлами // Уральские нивы. 1980. № 9. С. 17.
- 167 Текучева М. С., Ковалев А. Н., Капустин В. П. Установка УВН-800 // Уборка навоза на животноводческих фермах: Комплект плакатов. М.: Колос, 1983. Лист 6.
- 168 Буряк Ю. И., Рязанцев В. П. Системы удаления и хранения бесподстилочного навоза: Обзор. информ. / ВНИИТЭИагропром. М., 1986. 48 с.
- 169 Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. М.: Колос, 1983. 61 с.
- 170 Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: Пер. с англ. / под. ред. А. Н. Шамко. М.: Колос, 1979. 415 с.
- 171 Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения: / Пер. с нем. М.: Колос, 1978. 271 с.
- 172 Hornig G. Einsatz-produktionsanlagen // Agrartechnik. 1983. Bd. 33, № 11. S. 501 – 503.
- 173 Vogt C. Flussigmist unter Vollspaltenboden // Landtechnik.-1981.-Bd.36, № 2. S. 14 – 56.
- 174 Якубаускас В. И. Технологические основы механизированного внесения удобрений. М.: Колос, 1973. 231 с.
- 175 Николаенков А. И. Исследование и обоснование перспективной системы удаления навоза на свиноводческих фермах и комплексах в условиях БССР: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Минск, 1977. 20с.
- 176 Личман Г. И. Исследование процесса движения навоза по напорным трубопроводам с целью обоснования их параметров и режимов транспортирования: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1975. 27 с.
- 177 Чиненова О. Д. Исследование и обоснование оптимальных параметров системы непрерывного удаления навоза из свинарников: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1979. 18 с.
- 178 Текучева М. С. Исследование самотечной системы непрерывного удаления навоза из коровников: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1973. 23 с.
- 179 Гайдаш Н. И. Исследование самотечной системы удаления навоза из животноводческих помещений: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Краснодар, 1974. 30 с.
- 180 Сизов В. А. Исследование процесса перемещения бесподстилочного навоза КРС в каналах самотечной системы: Автореф. дис... канд. техн. наук. Л.-Пушкин, 1976. 25 с.
- 181 Временные рекомендации по проектированию систем удаления, транспортирования, обработки, обеззараживания и использования навоза, получаемого на животноводческих комплексах и фермах промышленного типа. М.: ГипроНИСЕЛЬХОЗ, 1975. 55 с.
- 182 Ковалев А. А., Гриднев П. И., Левчикова М. В. Технические средства для получения биологического газа и органических удобрений из отходов сельскохозяйственного производства // Биологическая переработка: Тез. докл. совещ. Киев, 1983. С. 113 – 115.
- 183 Василенко П. М., Погорелый Л. В. Основы научных исследований. Механизация сел. хоз-ва К.: Выща школа, 1985. 266 с.
- 184 Письменов В. Н. Получение и использование бесподстилочного навоза. М.: Россельхозиздат, 1988. 206 с.
- 185 Долгов В. С. Гигиена уборки и утилизации навоза. М.: Россельхозиздат, 1984. 175 с.
- 186 Залыгин А. Г. Механизация реконструируемых свиноводческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1990. 255 с.

- 187 Вороницкий И. А., Удовеня В. А., Левкин В. Г. Запорное устройство навозоприемных каналов // Техника в сел. хоз-ве. 1981. № 1. С. 25-26.
- 188 Капустин В. П., Колесников А. В. Щелевые полы в животноводческих помещениях // Техника в сел. хоз-ве. 1981. № 12. С. 16 – 18.
- 189 Кузьменко И. И., Марченко Н. М., Овчинникова К. Н. и др. Утилизация навоза на фермах промышленного типа Киев: Урожай. 104 с.
- 190 Секционная система / Буряк Ю. Н., Кострюков С. И., Лукьяненок И. И. и др. // Техника в сел. хоз-ве. 1981. № 6. С. 25-26.
- 191 Новик Л. М. Результаты опытно-производственной проверки самотечной системы удаления навоза в коровниках. Вопросы технологии, механизации, электрификации и автоматизации производства кормов и продуктов животноводства // Науч. тр. НИПТИМЭСХ Н.З. Л., 1978. Вып. 26. С. 65 – 67.
- 192 Калюга В. В., Мельников С. В., Найдено В. К. Механизация технологических процессов на свиноводческих предприятиях. М.: Россельхозиздат, 1987. 208 с.
- 193 Яли И. И. Удаление навоза самотеком // Молочное и мясное скотоводство. 1978. № 1. С. 46 – 48.
- 194 Slurry-Continuous Flow Channels // Big farm management. 1982. march. P. 28-29.
- 195 Бацанов И. Н., Лукьяненок И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. М.: Россельхозиздат, 1977. 160 с.
- 196 Курбатов Л. Г., Комраков А. Е. Механизация уборки навоза на фермах. Л.: Колос, 1968. 104 с.
- 197 Болтнев А. М., Капустин В. П. Экономическая оценка способов уборки и транспортировки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1977. № 4. С. 34 – 37.
- 198 Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.: Колос, 1978. 560 с.
- 199 Гоменюк П. Я. Усовершенствование оборудования для удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1991. № 4. С. 20-21.
- 200 Методические рекомендации по профилактике гельминтозов сельскохозяйственных животных и птиц в крупных специализированных хозяйствах и комплексах промышленного типа. М., 1975. 33 с.
- 201 Мироненко М. А., Ярмолик И. Ф., Коваленко А. В. Санитарная охрана внешней среды в районах промышленно-животноводческих комплексов. М.: Медицина, 1978. 160 с.
- 202 Вейнла В. Д., Сейлер А. О., Вольмар А. А. Сравнительная оценка систем удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1981. № 5. С. 17 – 19.
- 203 Комплексная технико-экономическая оценка технологических схем уборки и утилизации навоза / Линник Н. К., Супрун В. П., Портман М. Л. и др. // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 11. С. 3 – 6.
- 204 Васильев В. А., Швецов М. М. Применение бесподстилочного навоза для удобрения. М.: Колос, 1983. 174 с.
- 205 Васильев В. А., Семенов П. Я. Использование навоза, полученного на животноводческих комплексах и фермах промышленного типа при бесподстилочном содержании животных // Опыт проектирования, строительства и эксплуатации систем удаления, переработки и утилизации навоза на животноводческих комплексах: Тез. докл. к Всесоюз. совещ.-семинару, Москва, 13 – 17 мая 1973 г. М., 1973. С. 32 – 34.
- 206 Усачева И. Г., Поляков А. А. Эпизоотологические и гигиенические аспекты уборки навоза и обеззараживание сточных вод в крупных промышленных фермах. М.: ВНИИТИ, 1972. 72 с.
- 207 Семченко А. И., Рязанцев В. П. Пути решения проблемы переработки сточных вод животноводческих ферм промышленного типа: Обзор.инфор. / ВНИИТЭИ. М., 1979. 43 с.
- 208 Капустин В. П., Гудухин В. Ф., Сарычев П. П. Автоматизированная поточная линия разделения жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 1. С. 30-31.
- 209 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 (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 7707740; Инв. № Б 629569. Тамбов, 1976. 152 с.
- 210 Л. К Эрнст, И. Н. Бацанов, Ю. Е. Шуть и др. Об удалении экскрементов животных на крупных фермах // Животноводство. 1972. № 7. С. 24 – 26.
- 211 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 (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 7707912; Инв. № Б 913155. Тамбов, 1980. 125 с.
- 212 Капустин В. П., Саяпин В. А. Применение самотечных систем уборки навоза на молочных комплексах Тамбовской области // Удаление, транспортировка, переработка, обеззараживание и использование жидкого навоза на животноводческих комплексах: Тез. докл., Волгоград, 24 – 27 фев-раля 1976 г. Волгоград, 1976. С. 8-9.

- 213 Ковалев Н. Г., Глазков И. К., Матяш И. Н. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих фермах. М.: Россельхозиздат, 1981. 63 с.
- 214 Андреев В. А., Новиков М. Н., Лукин С. М. Использование навоза свиней на удобрение. М.: Росагропромиздат, 1990. 94 с.
- 215 Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидравлических систем уборки навоза на фермах КРС. М.: Россельхозиздат, 1975. 27 с.
- 216 И. И. Лукьяненок, П. М., Лебедев, В. В., Калюга и др. Рекомендации по устройству и эксплуатации самотечной и смывной систем удаления навоза на свинарниках / М.: Россельхозиздат, 1973. 48 с.
- 217 Тиво П. Ф., Дробот С. Г. Эффективное использование бесподстилочного навоза. Минск: Ураджай, 1988. 116 с.
- 218 Robertson A. M. Waste Treatment, where does it fit in? // Farm Building Progress. 1975. № 39. P. 19 – 24.
- 219 Капустин В. П., Саяпин В. А., Колесников А. В. Гидрозатворы для систем уборки навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1978. № 3. С. 36 – 38.
- 220 Ото Ф. К. Оборудование и методы чистки коровников и свинарников // Европейская экономическая комиссия. Нью Йорк: ООН. 1971. 21 с.
- 221 Морозов Н. М., Сыроватка В. И. Приоритетные направления исследований в области механизации и автоматизации животноводства // Совершенствование механизированных технологий производства молока и говядины: Сб. науч. тр. Подольск, 1992, Т. 1. С. 7 – 18.
- 222 Капустин В. П., Саяпин В. А., Тырнов Ю. А. Определение размеров канала при гидравлических способах уборки навоза // Вопросы механизации, технологии и строительства в животноводстве: Тр. ВНИИМЖ. Подольск, 1977. Т. 10. С. 68 – 71.
- 223 Крупенин А. В. Движение жидких кормов и навоза по трубам // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1973. № 7. С. 18-19.
- 224 Капустин В. П. Методика расчета поточной линии уборки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 7. С. 22 – 25.
- 225 И. И. Лукьяненок, М. С. Текучева, Л. Г. Рубинштейн и др. Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидравлических систем уборки навоза на фермах КРС / М.: Россельхозиздат, 1975. 27 с.
- 226 Короткевич В. А. Механизация свиноводческих ферм и комплексов. Минск: Ураджай. 1979. 127 с.
- 227 Капустин В. П., Саяпин В. А., Дудышев Е. С. Исследование расслаивания и скорости осаждения свиного навоза // Механизация и автоматизация животноводческих ферм: Крат. тез. докл. конф. по электромех. жив-ва. Тамбов, 1974. Ч. 2. С. 98 – 100.
- 228 Капустин В. П., Тырнов Ю. А., Саяпин В. А. Определение выхода навоза // Свиноводство. 1976. № 12. С. 30-31.
- 229 Капустин В. П. Биотехнологическая система уборки, транспортировки и переработки жидкого навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1996. № 4. С. 9 – 11.
- 230 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 (Промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 693979. Тамбов, 1977. 147 с.
- 231 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 (Промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 735051. Тамбов, 1978. 133 с.
- 232 Капустин В. П., Саяпин В. А. Определение глубины слоя навоза в канале // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1980. № 6. С. 20 – 22.
- 233 Капустин В. П., Тырнов Ю. А., Колесников А. В. и др. Рекомендации по расчету и применению поточных технологических линий уборки, обработки и транспортировки жидкого навоза на животноводческих комплексах. Тамбов, 1980. 64 с.
- 234 Капустин В. П. Совершенствование самотечной системы уборки навоза // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч. произв. конф., Минск, 19-20 декабря 1979 г. Минск, 1979. Ч. 2. С. 86-87.

3 ТРАНСПОРТИРОВКА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

3.1 Анализ способов и средств транспортировки навоза

Для транспортировки навоза, получаемого при механических способах уборки, используют тележки различной вместимости, бульдозеры (твердый навоз), пневматические (УПН-15), поршневые гидрофицированные установки УТН-10 (полужидкий навоз). [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Применение пневматических и поршневых гидрофицированных установок позволяет значительно улучшить санитарно-гигиенические условия труда, снизить в 4 ... 5 раз площади для внутрифермского транспорта в сравнении с мобильными средствами [4, 8]. Возможность перемещения бесподстилочного навоза пневматическими и гидрофицированными установками доказана многими исследованиями [1, 3, 9, 10, 11, 12]. Вместе с тем ограниченное расстояние перемещения – 300 ... 700 м, высокая стоимость устройств для подачи транспортируемого навоза, необходимость разбавления навоза водой, сложность обслуживания и риск в работе являются недостатками пневматических и поршневых гидрофицированных установок. [8, 13].

Для перевозки жидкого навоза из мобильных средств, серийно выпускаемых промышленностью, наибольшее распространение получили машины РЖТ-8, РЖТ-16, МЖТ-10 и другие, оборудованные автономными вакуумными (заборными) насосами и распределительными устройствами (центробежные насосы). Управление наполнением, перемешиванием, распределением навоза по полю осуществляется дистанционно. Аналогичные устройства нашли применение и в зарубежных странах – Италии, Англии [14], США [15, 16, 17], Германии [18], Японии [19] и Швеции [1], имеющие некоторые конструктивные особенности, но работающие по аналогичному принципу.

Исследования технологического процесса мобильных средств показали, что 30 ... 50 % рабочего времени затрачивается на основную работу, а остальное расходуется на погрузо-разгрузочные операции, движение порожних агрегатов, в результате чего складывается высокая себестоимость перевозок. [8, 20, 21].

Транспортировка навоза мобильными средствами требует увеличения парка машин, что в конечном счете связано с увеличением капитальных вложений и привлечением значительного числа механизаторов. Кроме того, применение большегрузных тележек и емкостей с тракторами Т-150 К и К-701 приводит к переуплотнению и разрушению почвы, снижению плодородия и урожая сельскохозяйственных культур. [22, 23, 24, 25, 26].

При отсутствии автономных средств загрузки полужидкого и жидкого навоза в транспортные средства применяют установки НПК-30, УН-10, шнековые насосы НШ-50, НЖН-200, ПНЖ-250 и другие. [14, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35].

Большой объем получаемого навоза влажностью более 96 % сделал использование мобильных средств для его транспортировки экономически невыгодным, а в санитарном и экологическом отношении небезопасным. [23, 24, 36, 37, 38, 39, 40, 41].

Установлено, что из-за низкой обеспеченности животноводческих ферм и комплексов механизированными хранилищами навоза, хорошими подъездными путями, несовершенства и недостатка транспортных средств, теряется до 50 % органических удобрений. [18, 42, 43].

Получение большого количества жидкого навоза на животноводческих фермах и комплексах явилось основой разработки и применения фекальных и шнековых насосов для его транспортирования на расстояние 2 ... 5 км. [9, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

За рубежом для транспортировки жидкого навоза по трубам используют центробежные, поршневые и мембранные насосы. [1,14]. Причем рекомендуется применять гидротранспорт, если животноводческий комплекс насчитывает более 1000 условных голов скота, при ежегодном выходе навоза более 25000 т и среднем расстоянии транспортировки не менее 6 ... 8 км. [1,18].

Результаты исследований показывают, что транспортировать жидкий навоз по трубам, исходя из технико-экономических, организационных и природоохранных факторов, целесообразно на животноводческих предприятиях, навозохранилища которых расположены на расстоянии более 3 км. [3, 9, 21, 50, 51].

Применение гидротранспорта позволяет избежать загрязнения территории фермы, опасности распространения инфекции и инвазии в пределах фермы и вне ее, повысить производительность в 1,5 ... 2 раза, снизить затраты труда на 15 ... 20 %, приведенные затраты на 30 % и автоматизировать все процессы. [9, 15, 23, 24, 52].

Одним из необходимых составных элементов гидротранспорта является насосная станция. В практике животноводческих предприятий встречаются совмещенные насосные станции, где насосные агрегаты и навозоприемник расположены в одном помещении и отдельные; при этом устанавливаются насосы: под заливом, самовсасывающие, насосы с питателем-измельчителем и вертикальные. [1, 9, 53, 54].

Установка насосов *под заливом*, хотя и распространена [1, 9, 55], но имеет существенные недостатки: большая стоимость строительства, трудность в создании гидроизоляции, большая трудоемкость при смене или ремонте насосов, неудовлетворительные условия труда обслуживающего персонала. [53].

Самовсасывающие насосы, имеющие обратный клапан, создают значительные местные потери, снижающие производительность.

Не нашли применения насосы с питателем-измельчителем из-за разности производительности и консистенции перекачиваемого навоза и вертикальные насосы из-за дороговизны и малой производительности. [21].

Основным фактором, влияющим на показатели работы насосной станции, является правильно выбранный объем, ширина и глубина навозоприемника.

Научно-обоснованных и проверенных в производственных условиях рекомендаций по выбору этих параметров в научной литературе не имеется. [1, 30, 33, 56, 57].

На практике вместимость навозоприемника принимают равной: 10 мин. работы насоса [23], половине [58] или суточному выходу навоза [30], трое суток [59] или времени, необходимому для замены или ремонта насоса (2 ... 3 часа). При этом не учитываются физико-механические свойства навоза, что является причиной образования осадка после 2...3 часов нахождения его в навозоприемнике, который приводит к сокращению полезного объема навозоприемника и увеличению трудо- и энергозатрат на его удаление. [60, 61, 62].

Анализ способов и средств транспортировки бесподстилочного навоза показывает, что гидротранспорт является основным, способным исключить потери массы и питательных веществ, значительно снизить затраты труда и энергии, избежать загрязнения территории животноводческих предприятий, опасности распространения инфекции и инвазии на пути его перемещения. Поэтому представляется важным изучение параметров и режимов работы гидротранспорта с целью их оптимизации.

3.2 Анализ теоретических исследований транспортировки навоза

Исследованию процессов перемещения жидкого навоза с помощью насосов посвящены многие работы отечественных ученых Л. И. Грачевой, В. Г. Кобы, С. В. Мельникова, Н. М. Банникова, А. М. Буцыкина, А. С. Голушко, В. В. Калюги, А. В. Крупенина, Г. И. Личман, А. А. Митрохина, В. В. Потапова, Ю. К. Сафронова и зарубежных ученых С. Берглунд, Г. Анианссон, И. Эжесбу, Р. Ломатч, Х. Мелер и др.

В результате теоретических исследований установлены конструктивные параметры и определены режимные параметры процесса транспортирования.

Положив в основу расчета теорию глинистых растворов, Крупениным А. В. [63] и Харитоновым М. Ф. [61] определены производительность и скорость потока навоза в трубе с учетом толщины пристенного слоя.

$$v = (i\rho g a^2) / 32\eta_2 [0,5 - 0,5(4\tau_0 / i\rho g d)],$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi R^4}{8l\eta_2} - \frac{\tau_0 \pi R^2}{3\eta_2} + \frac{2\tau_0^4 \pi l^3}{3(\Delta P)^3 \eta_2} - \frac{\Delta P \pi R^2 \delta}{2l\eta_2} + \frac{\tau_0 \pi R^2 \delta}{\eta_2} + \frac{\Delta P \pi R^2 \delta}{2l\eta_1},$$

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8l\eta^2} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{P_0}{\Delta P} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{P_0}{\Delta P} \right)^4 \right],$$

где v – скорость потока, м/с; i – гидравлический уклон; ρ – плотность жидкого навоза, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; d – диаметр трубопровода, м; η_2 – динамическая вязкость жидкого навоза, Па·с; η_1 – вязкость воды, Па·с; τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; ΔP – перепад давлений, Па; l – длина трубопровода, м; P_0 – атмосферное давление, Па; R – радиус ядра потока, м; δ – толщина пристенного слоя дисперсионной среды, м.

Определена длина участка, на котором наблюдается неустановившееся движение навоза различной влажности. [64]. Потери напора на таких участках выше линейных потерь на 15 ... 20 %.

Л. И. Грачевой, Н. Н. Шумляком [20], А. С. Голушко [65], Г. И. Личман [52], Н. Г. Ковалевым, И. К. Глазковым [28], С. В. Мельниковым, В. В. Калюгой, Ю. К. Сафроновым [9] для определения коэффициента местных потерь напора получены следующие аналитические зависимости для ламинарного и турбулентного движения свиного навоза соответственно

$$\lambda = 64 / \text{Re}, \quad \lambda = (9,3 + 2,55d) / \text{Re}$$

$$\lambda = (9,3 + 2,55d) / \text{Re}, \quad \text{и} \quad \lambda = 0,28 / \text{Re}^{0,24}, \quad \lambda = (0,375 + 7,3) / \text{Re}^{0,555},$$

$$\lambda = (0,785 + 7,3d) / \text{Re}$$

и турбулентного движения навоза КРС

$$\lambda = 64 / \text{Re},$$

где λ – коэффициент местных потерь напора; Re – число Рейнольдса; d – диаметр трубопровода.

Потери напора определяются по следующим формулам

$$\Delta P = (64lv^2) / (\text{Re}d2g), \quad \Delta P = (\lambda lv^2) / (2gd),$$

где l – длина трубопровода, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

v – скорость

транспортирования навоза, м/с .

Как видно из приведенных уравнений, результаты расчетов определения показателей режимов транспортирования жидкого навоза у отдельных авторов значительно отличаются. Это объясняется тем, что исследования проводились на жидком навозе различного по гранулометрическому составу и при различной температуре или без учета пристенного эффекта. Кроме того, в научной литературе не рассмотрен вопрос формализации параметров навозоприемников насосных станций, всасывающих устройств и режимов движения жидкого навоза по заиленным трубопроводным системам [66, 67, 68, 69, 70]. Процесс транспортировки жидкого навоза рассматривался исследователями без учета параметров навозоприемника и всасывающего трубопровода. Поэтому представляется, что рассмотрение гидротранспорта как сложной системы навозоприемник – насос – трубопровод с учетом физико-механических и реологических свойств позволит более полно определить его технологическую и экологическую эффективность.

3.3 Математические модели описания процесса гидротранспорта жидкого навоза

3.3.1 Формализация параметров насосной станции и процесса навоза фекальным насосом

всасывания жидкого

Начальным процессом гидротранспортирования жидкого навоза по трубопроводным системам является его всасывание. Естественно, какой объем жидкого навоза и какой консистенции поднят в единицу времени, такой же объем и такой же консистенции должен быть перемещен гидротранспортной установкой к месту назначения. От того, насколько правильно формализованы параметры и процесс всасывающих устройств, зависит надежность и экономичность процесса транспортирования жидкого навоза по трубопроводным системам.

Исследование седиментационных и реологических свойств показали, что жидкий навоз подвергается расслоению как в состоянии покоя (насос не работает), так и при малых скоростях движения (в начале и в конце работы насоса). Твердые компоненты смеси, выпадая на ограничивающую поток поверхность, образуют слой заиления. Поэтому при перекачивании жидкого навоза по заиленным трубопроводным системам изменяются оптимальные режимы движения – скорость и давление в навозопроводе, в соответствии с чем изменяется и производительность насоса. Это является одним из существенных недостатков гидротранспортных установок, т. е. ограниченная транспортирующая способность потока по твердым компонентам при определенном скоростном режиме строго лимитирована по количеству включений определенного размера.

Из динамического равновесия взвесенесущей способности потока и количества твердых включений в смеси определяется наиболее оптимальный скоростной режим гидротранспортирования. Нарушение этого условия приводит к выпадению твердых включений на ограничивающую поток поверхность или к недогрузке потока твердыми компонентами, снижающими эффективность гидротранспортных установок. [49, 52, 69, 70, 71].

Существующие методы расчета, основанные на графическом анализе режимов притока и откачки жидкости, довольно несовершенны, дают завышенные результаты и не позволяют выбрать оптимальный типоразмер насоса. [72].

Научно-обоснованных и проверенных в производственных условиях рекомендаций по выбору параметров навозоприемников для ферм и комплексов с гидравлическими способами уборки навоза в литературных источниках не выявлено. [30, 57, 72, 73, 74].

В типовых проектах предусмотрено для одного и того же количества животных и принятой системы удаления навоза строительство навозосборников вместимостью 60 ... 400 м^3 . [75].

При исследовании седиментационных свойств жидкого навоза установлено, что на процесс осаждения твердых частиц большое влияние оказывает площадь поперечного сечения столба жидкости. Причем минимальная скорость осаждения твердых частиц в жидкости не зависит в явном виде от высоты столба жидкости. Следовательно, при расчете объема навозоприемника необходимо исходить из соотношения $D/H = 1,5 \dots 2,0$, так как в этом случае наблюдается наименьшая скорость осаждения частиц и в случае перемешивания обеспечивается полное разрушение осадка.

Фекальные центробежные насосы серии НФ, Ф, СД не являются самовсасывающими, поэтому для запуска этих насосов используют различные устройства [53] или устанавливают их ниже уровня перекачиваемой жидкости. Как показала практика, электродвигатели заглубленных насосов часто выходят из строя из-за проникновения в помещение сточных, грунтовых вод или жидкого навоза. Кроме того вести демонтаж силовых агрегатов в насосных станциях не всегда представляется возможным, создаются неудобства для рабочих, обслуживающих агрегаты. [76].

Важным фактором, оказывающим влияние на эксплуатационные показатели насосных агрегатов является правильный выбор параметров и режима движения жидкого навоза во всасывающей трубе. Следует отметить, что расчетов и рекомендаций по определению высоты всасывания насосами жидкого навоза в научной литературе не имеется. [76]. Наиболее полно эта задача решена для землесосов.

Исследования многих авторов по выбору оптимального режима землесосов сводятся к графическому методу, то есть наложению характеристик пульпопровода и суммарной характеристики землесоса [77, 78, 79]. Пересечение кривых определяет рабочую зону землесоса, вводя соответствующие ограничения по его всасывающей системе.

Существует несколько оптимальных режимов, которые зависят от параметров напорного трубопровода и физико-механических свойств гидросмеси. [80, 82]. Выбрать оптимальный режим при таком подходе очень трудно, требуется проведение громоздких расчетов, что ведет к удорожанию проектирования.

Нами принят иной метод определения оптимального режима работы насоса [82], в основу которого положено требование – в любых конкретных условиях необходимо полностью использовать всасывающую способность насоса. Оптимальный режим должен обеспечивать максимальную консистенцию гидросмеси при всасывании. Затем необходимо подобрать соответствующий напорный трубопровод, значение которого резко меняется, из определяющего при расчете оптимального режима он становится регулирующим. [69, 70].

Теоретическое обоснование допустимой высоты всасывания жидкого навоза фекальными насосами проводили, исходя из распределения скорости движения по сечению всасывающего трубопровода. Для этого в круглой цилиндрической трубе радиусом R брали участок длиной H_b между сечениями I – I и II – II, рис. 3.1. [76].

Скорость навозной массы находится в прямой зависимости от радиуса и с увеличением его она уменьшается, достигая наименьшего значения на внутренней поверхности трубы, т.е. при $r = R$, $v = 0$.

В основу расчета положено уравнение Шведова – Бингама

$$\tau_0 = \tau + \eta (dv/dr),$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; η – динамическая вязкость, Па·с; dv/dr – градиент скорости, c^{-1} .

Касательные напряжения, как известно, изменяются по линейному закону: при приближении к оси трубы касательные напряжения уменьшаются, кроме того при некотором значении $r = r_0$ и $\tau < \tau_0$ возникает упругая деформация. Упруго-деформированная область радиусом r_0 является ядром потока. Определим величину радиуса ядра потока из условия равновесия трех сил: силы трения, действующей на поверхность выделенного цилиндра, подъемной силы и веса столба жидкости выделенного цилиндра.

$$\pi r_0^2 \Delta P = 2\pi H_b \tau_0 r_0 + \pi r_0^2 H_b \gamma. \quad (3.1)$$

Откуда

$$\tau_0 = r (\Delta P - H_b \gamma) / 2H_b. \quad (3.2)$$

Для радиуса r условие равновесия запишется в виде $\pi r^2 \Delta p = 2\pi H_b \tau r + \pi r H_b \gamma$, тогда $\tau = r (\Delta p - H_b \gamma) / 2H_b$.

Для начала движения навозной массы должно быть соблюдено условие $\tau > \tau_0$.

Так как с увеличением r скорость уменьшается, то величина dv/dr будет отрицательной. Тогда уравнение Шведова – Бингама запишется в виде

$$r = -\eta (dv/dr) + \tau_0.$$

Подставляя значения τ в уравнение Шведова – Бингама, получим

$$-\eta (dv/dr) + \tau_0 = r (\Delta p - H_b \gamma) / 2H_b$$

Разделив переменные в данном выражении и проинтегрировав, получим

$$v = -(\Delta p - H_b \gamma) r^2 / (4H_b \eta) + (\tau_0 / \eta) r + c. \quad (3.3)$$

Для нахождения постоянной интегрирования воспользуемся граничными условиями, т.е. $v = 0$ при $r = R$,

$$v = -(\Delta p - H_b \gamma) R^2 / (4H_b \eta) + \tau_0 R / \eta + c, \quad (3.4)$$

$$\text{откуда} \quad c = (\Delta p - H_b \gamma) R^2 / (4 H_b \eta) - \tau_0 R / \eta. \quad (3.5)$$

Подставляя значение c в уравнение (3.3), получим

$$v = (\Delta p - H_b \gamma) (R^2 - r^2) / [4 H_b \eta - \tau_0 (R - r) / \eta]. \quad (3.6)$$

Распределение скоростей по сечению всасывающего трубопровода выражается кривой второй степени. Определим максимальную скорость при $r = 0$

$$v_{\max} = (\Delta p - H_b \gamma) R^2 / 4 H_b \eta - \tau_0 R / \eta. \quad (3.7)$$

Движение навозной массы по вертикальному трубопроводу представляет собой движение тел в восходящем потоке. Поэтому значение v ограничено с одной стороны, значением $v_{ж}$, представляющей собой такую скорость течения жидкости, при которой твердые частицы находятся во взвешенном состоянии, не

увлекаются вверх и не падают вниз, с другой стороны, значением v_{\max} , при котором потери напора по длине трубопровода максимальные.

На тело, рис. 3.2, действуют сила тяжести $P_1 = \rho_t g v_t$ и сила сопротивления $P_3 = cF(\rho v^2/2)$

Спроектируем все силы на ось OX . $\Sigma X = 0 \quad P_2 + P_3 - P_1 = 0$

Подставляя значения P_1, P_2, P_3 , получим $v_g(\gamma_T - \gamma) - cF(\rho v_{\text{ж}}^2)/2 = 0$

$$\text{или} \quad v_{\text{ж}} = \sqrt{2V_g(\gamma_T - \gamma)/cF\rho}, \quad (3.8)$$

где v_g – объем тела, м^3 ; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – безразмерный коэффициент сопротивления [83]; F – площадь проекции тела на плоскость, нормальную к направлению движения, м^2 ; γ_T и γ – удельный вес твердых частиц и жидкости соответственно, $\text{Н}/\text{м}^3$.

Таким образом, рабочая скорость во всасывающей трубе должна быть $v_{\max} > v_p > v_{\text{ж}}$. [84].

Из выражения (3.6.)

$$H_b = \Delta P R^2 / (4\eta v + \gamma R^2 + 4\tau_0 R), \quad (3.9)$$

где $\Delta P = P_a - P_t$ Па; P_a – атмосферное давление, Па; P_t – давление насыщенных паров, Па.

При перекачивании воды высота всасывания определяется по уравнению

$$H_b = (P_a - P_b) R^2 / (4\eta v + \gamma R^2 + 4\tau_0 R) = (P_a - P_b) / \gamma,$$

где τ_0 – напряжение сдвига, для ньютоновских жидкостей не существует, Па; значением $4\eta v$ пренебрегаем из-за малой величины; P_b – давление на входе в насос, Па.

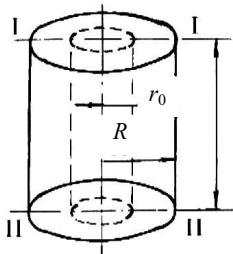


Рис. 3.1 К определению высоты всасывания

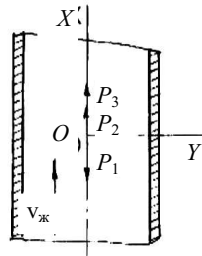


Рис. 3.2 Силы, действующие на частицу навоза

Давление на входе в насос ограничено давлением насыщенных паров жидкости. Установлено, что давление насыщенных паров свиной навозной массы зависит от влажности и температуры и определяется зависимостью

$$P_t k e^{-w/T},$$

где k – коэффициент пропорциональности; e – основание натурального логарифма, при $w > 88\%$ $k = 0,27 \cdot 10^5$, при $w > 88\%$ $k = 0,64 \cdot 10^3$.

Для навозной массы КРС влажностью 85 ... 95 % зависимость давления насыщенных паров имеет линейный характер [84] $P_t = 0,09t - 26,6$,

$P_t = -0,15w + 13$ при $k = 278...283 \text{ К}$, $P_t = -0,28w + 30,2$ при $k = 288 ... 343 \text{ К}$.

Давление насыщенных паров навозной массы возрастает при повышении температуры вследствие увеличения средней кинетической энергии и концентрации молекул этих паров, т.е. их плотности. [85].

Различие в значениях давления насыщенных паров навозной массы свиней и КРС объясняется различным содержанием, формой и размерами гидрофобных частиц.

3.3.2 Определение расхода жидкого навоза и степени заилиenia трубопровода

В жидком навозе постоянно осуществляется процесс расслоения.

Осаждение твердых частиц происходит не только в навозоприемниках, но и при нахождении в трубопроводах как в покое, так и при малых скоростях перемещения. В литературных источниках отсутствуют данные по образованию слоя заилиenia в трубопроводах, а соответственно оптимальные показатели режима движения жидкого навоза по заиленным трубопроводным системам, а наличие слоя заилиenia в трубопроводах сильно меняет процесс гидротранспортирования. [71, 86, 87].

Для изучения процесса заилиenia рассмотрим участок горизонтального трубопровода, заключенного между сечениями I – I и II – II, длиной dL , рис. 3.3. [69, 71].

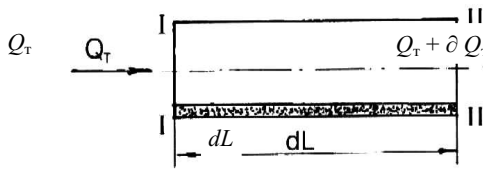


Рис. 3.3 К расчету заилиenia трубопровода

Находящийся в трубопроводе жидкий навоз в состоянии покоя ($v = 0$) имеет границу раздела: твердая фаза объемом v_0 сосредоточена в нижней части трубопровода, т.е. образован слой осадка, а жидкая – над слоем осадка.

Условием сохранения твердой фазы в смеси жидкого навоза при движении служит равенство расходов в сечениях I – I и II – II. Расход твердой фазы через сечение I – I составит Q_T , а через сечение II – II соответственно

$$Q_T + \partial Q_T / \partial L.$$

Разность расходов в сечениях за некоторый промежуток времени dt находим из выражения

$$[Q_T - (Q_T + \partial Q_T / \partial L)]dt = -(\partial Q_T / \partial L) dt. \quad (3.10)$$

В то же время разность расходов равна изменению слоя осадка объемом v_0 за промежуток времени dt , т.е.

$$(v_0 / \partial t) / \partial t. \quad (3.11)$$

Приравнивая выражения 3.10 и 3.11 имеем

$$-(\partial Q_T / \partial L)dt - (v_0 / \partial t) = 0$$

или $\partial Q_T / \partial L + v_0 / \partial t = 0$.

При гидротранспортировании жидкого навоза, когда твердая фаза имеет строго определенные размеры, расход ее через выделенные сечения будет определяться режимом движения смеси [88], т.е. отсюда,

$$v_0 / \partial t \approx \partial Re / \partial L. \quad (3.12)$$

Анализируя выражение 3.12 отметим, что при $\partial Re^* / \partial L > 0$ слой осадка уменьшается т.е. осадок постоянно разрушается и происходит его вынос $v_0 / \partial t < 0$. При $\partial Re^* / \partial L < 0$ происходит увеличение слоя осадка $v_0 / \partial t > 0$, что способствует заилиению трубопроводных систем.

Теоретический анализ показывает, что основными факторами, обуславливающими заилиение трубопроводов, являются обобщенный критерий Рейнольдса Re^* , размер частиц (или их гидравлическая крупность), а также концентрация твердых частиц в смеси [88].

Увеличение Re^* устраняет опасность заилиения трубопроводных систем и ведет их к самоочищению. В то же время увеличение Re^* требует значительных затрат энергии на перемещение гидросмеси, что в конечном счете сказывается на экономичности процесса транспортирования.

Основы высокой надежности функционирования и эффективности гидравлического трубопроводного транспорта неоднородных дисперсных масс, к которым относится жидкий навоз, закладываются на стадии их разработки. При этом необходимо иметь полную информацию о значении транспортирующей способности потока и затратах на поддержание процесса.

Применительно к транспортированию жидкого навоза различной влажности важно знать условия, при которых обеспечивается нахождение твердых частиц навоза во взвешенном состоянии и исключается возможность образования слоя заилиения. Решение перечисленных задач не может быть осуществлено без рассмотрения вопроса о распределении скоростей по сечению потока, т.к. в конечном итоге консистенция смеси определяется скоростью.

Жидкий навоз по составу, структуре, консистенции представляет собой неоднородную дисперсную систему, в которой твердые частицы и коллоиды образуют дисперсную фазу, а дисперсионной средой является вода с растворенными в ней органическими и минеральными веществами. Благодаря вязкопластичным свойствам, смесь экскрементов с водой способна удерживать во взвешенном состоянии частицы дисперсоида, плотность которых выше плотности дисперсионной воды. Напряжение сдвига, при котором обеспечивается условие нахождения частиц дисперсоида во взвешенном состоянии, определяется выражением. [89].

$$\tau_0 = k (\rho_T - \rho_c) \frac{gd}{6}, \quad (3.13)$$

где k – коэффициент, учитывающий отклонение формы частиц дисперсоида от шарообразной; ρ_T – плотность твердых частиц; ρ_c – плотность жидкости; d – размер твердых частиц; τ_0 – начальное напряжение сдвига.

Под начальным напряжением понимают динамическое напряжение, проявляющееся при движении [89]. В то же время начальное напряжение сдвига, согласно закону Шведова – Бингама, определяется из выражения

$$\tau = \tau_0 + \eta(dv / dr), \quad (3.14)$$

где τ – касательное напряжение; dv / dr – градиент скорости; η – пластическая вязкость.

Анализируя выражение 3.14, можно отметить, что при увеличении радиуса градиент скорости представляет собой тангенс угла, принимающего отрицательное значение.

Для устранения этого явления согласно [82] запишем уравнение 3.14 в следующем виде

$$\tau = \eta(dv / dr) + \tau_0,$$

откуда $\tau - \tau_0 = -\eta(dv/dr)$. (3.15)

Приравняв выражение 3.13 и 3.15 и решив уравнение относительно dv получим закон распределения скоростей по сечению напорного трубопровода

$$dv = \frac{k(\rho_\tau - \rho_c)gd}{6\eta} dr - \frac{\tau}{\eta} dr. \quad (3.16)$$

Проинтегрировав полученное выражение и заменив $\Delta Pr/2L$ получим уравнение для определения скорости

$$v = \int \left[\frac{K(\rho_\tau - \rho_c)gd}{6\eta} - \frac{\tau}{\eta} \right] dr; \quad v = K \frac{\rho_\tau - \rho_c}{6\eta} gdr - \frac{\Delta Pr^2}{4\eta l} + c. \quad (3.17)$$

Для определения постоянной интегрирования воспользуемся условием $v = 0$ при $r = R$

$$0 = k(\rho_\tau - \rho_c)gdR / 6\eta - \Delta PR^2 / 4\eta L + c$$

Отсюда

$$c = \frac{\Delta PR^2}{4\eta L} - \frac{k(\rho_\tau - \rho_c)}{6\eta} R. \quad (3.18)$$

Подставив значение c в уравнение 3.17, получим

$$v = \frac{\Delta P}{4\eta L} (R^2 - r^2) + \frac{K(\rho_\tau - \rho_c)gd}{6\eta} (R - r). \quad (3.19)$$

Приняв во внимание, что распределение скоростей справедливо при изменении r от 0 до R , т.е. уравнение описывает всю область движения жидкого навоза, то расход определится по уравнению

$$q = 2\pi \int_0^R rvdr. \quad (3.20)$$

С образованием слоя заиления площадь сечения трубопровода снижается. Для оценки сокращения площади сечения определим степень заиления по выражению

$$\alpha = (F_s / F_{\text{тп}}) 100 \% \quad (3.21)$$

где F_s – площадь сечения трубопровода занятая осадком; $F_{\text{тп}}$ – площадь сечения трубопровода без осадка.

Следовательно, площадь проходного сечения рис.3.4. может быть вычислена по формуле

$$F_{\text{тп}} = \pi R^2 - \pi d^2 \alpha \sin \varphi. \quad (3.22)$$

Для заиленных трубопроводов расход потока находится по уравнению

$$q = \int_0^{2\pi} v(\varphi) F_{\text{тп}}(\varphi) d\varphi. \quad (3.23)$$

Подставив в это уравнение значение скорости (3.19) и площади сечения (3.22) имеем

$$q = \int_0^{2\pi} \left[\frac{\Delta P}{4\eta L} R^2 - K(\rho_\tau - \rho_c) \frac{gd}{6\eta} R \right] (\pi R^2 - \pi d^2 \alpha \sin \varphi) d\varphi. \quad (3.24)$$

Проинтегрировав выражение 3.24, получим

$$q = 2\pi^2 \Delta P / 4\eta LR^4 - 2\pi^2 R^2 \Delta P d^2 \alpha / 4L\eta + 2\pi^2 R^2 d^2 \alpha / 8L\eta - (2\pi^2 R^3 / 6\eta) k \times \\ \times (\rho_\tau - \rho_c)gd + (2\pi^2 R d \alpha / 6\eta) k (\rho_\tau - \rho_c)gd - (2\pi^2 R d \alpha / 12\eta) k (\rho_\tau - \rho_c)gd. \quad (3.25)$$

После математического преобразования формула для определения расхода жидкого навоза в трубопроводах с учетом слоя заиления примет вид

$$q = \frac{\pi^2 \Delta P}{2L\eta} R^2 \left(R^2 - \frac{d^2 \alpha}{2} \right) + \frac{\pi^2 R}{3\eta} \left(\frac{d - \alpha}{2} - R^2 \right) K(\rho_\tau - \rho_c)gd. \quad (3.26)$$

Анализ уравнения 3.26 показывает, что уменьшение расхода массы навоза и увеличение гидравлических потерь напора наблюдается при снижении площади сечения трубопровода из-за увеличения степени заиления. Исходя из приведенной зависимости, можно предположить, что существует некоторый расход q , при котором прекращается образование осадка на дне трубопровода и гидравлические потери напора будут соответствовать расчетным, определяемым по формуле Дарси – Вейсбаха. Это позволит определить незаиливающие скорости транспортирования жидкого навоза по различным трубопроводам.

Для проверки аналитического выражения 3.26 необходимо провести экспериментальные исследования.

На основании проведенных теоретических исследований формализованы параметры навозоприемника насосной станции, высота всасывания, оптимальные режимы гидротранспорта при перемещении жидкого навоза влажностью 90 ... 94 %, получаемого при самотечных способах уборки.

Применение полученных математических моделей расчета параметров и режимов процессов системы "навозоприемник – насос – трубопровод" позволяет осуществлять эти процессы с минимальными энерго- и трудозатратами без отрицательного воздействия на окружающую среду.

3.4 Исследование процесса транспортирования бесподстилочного навоза по трубам

Задачами экспериментальных исследований процесса перемещения бесподстилочного навоза по трубопроводным системам были следующие:

- проверка аналитических зависимостей по определению допустимой высоты всасывания фекальных насосов и вместимости промежуточного бака;
- уточнение аналитических выражений по определению расхода, потерь напора в заиленных трубопроводах в зависимости от степени заиления;
- выявление режимов заиления и потерь напора в зависимости от механических свойств навозной массы;
- определение оптимальных режимов использования фекальных насосов.

3.4.1 Оптимизация параметров навозоприемника насосной станции

Исходя из минимума приведенных затрат на транспортирование единицы массы навоза, с учетом его физико-механических свойств, нами предлагается способ выбора параметров навозоприемников на основе технико-экономического анализа и использования методики планирования многофакторных экспериментов, т.к. теория формализации параметров навозоприемников отсутствует. [75, 82].

За критерий оптимизации приняты минимальные удельные приведенные затраты с учетом влияния следующих факторов: годовой выход навоза на комплексе – X_1 , вместимость навозоприемника – X_2 , подача навоза – X_3 , табл. 3.1.

3.1 Факторы, интервалы и уровни их варьирования

Тип плана	Уровни и интервалы варьирования	Факторы		
		X_1 , тыс. м ³	X_2 , м ³	X_3 , м ³ /ч
Некомпозиционный	+1	182,5	150	250
	0	109,5	100	150
	-1	36,5	50	50
		73	50	100

После вычисления коэффициентов регрессии уравнение поверхности отклика принимает вид

$$\hat{y} = 0,21 - 0,201X_1 + 0,1 X_2 + 0,53 X_3 - 0,19 X_1 X_2 - 0,015 X_1 X_3 + 0,075 X_2 X_3 - 0,061 X_1^2 - 0,06 X_2^2 - 0,056 X_3^2. \quad (3.27)$$

Результаты расчетов по определению дисперсий коэффициентов регрессии и доверительных интервалов показали, что коэффициенты значимы, модель второго порядка адекватна.

Анализируя уравнение 3.27 видим, что с увеличением фактора X_1 (выход навоза) критерий оптимизации уменьшается. Возрастание факторов X_2 и X_3 вызывает повышение критерия оптимальности, т.к. увеличение вместимости навозосборника обуславливает рост капитальных вложений, а также эксплуатационных расходов.

Для нахождения оптимальных значений критерия оптимизации и действующих факторов была составлена система дифференциальных уравнений, решение которой позволило определить эти значения, табл. 3.2.

3.2 Значение критерия оптимизации, кодирование и именованные значения факторов

Параметр, кодированное значение	Факторы			Параметр оптимизации y , р./м^3
	X_1	X_2	X_3	
1	-0,5	-0,74	-0,076	0,12
2	73	63	144	0,12

Каноническое преобразование уравнения (3.27) позволило отобразить изучаемую поверхность отклика геометрически с помощью двумерных сечений, рис. 3.5, по которым можно определить оптимальные значения критерия оптимизации и интересующие нас факторы.

Анализируя графические зависимости, рис. 3.5 можно сделать следующие выводы [75]:

- на комплексах, где выход жидкого навоза составляет более 146 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$ (поголовье свыше 4 тыс.) и использовании насосов с подачей до $144 \text{ м}^3/\text{ч}$, экономически оправдано строить навозосборники вместимостью 125 ... 137 м^3 ;
- для приближенных расчетов вместимость навозосборника жидкого навоза принимается равной 35 ... 45 минутной подаче насоса.

Объем навозоприемников с учетом поголовья при установке насосных агрегатов с подачей до $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ можно определить по следующей прямой зависимости [82].

$$V = 2,5n + 25, \quad (3.28)$$

где n – число животных, тыс. шт.

Наблюдения за работой насосных станций показали, что в навозоприемниках прямоугольной (квадратной) формы при барботировании навозной массы в углах образуются "застойные" зоны осадка, для удаления которого требуются дополнительные затраты труда и энергии. [90]. Поэтому с целью снижения затрат на удаление осадка навозоприемники строят круглой формы с уклоном дна к центру и расположением там же конца всасывающей трубы насоса. [60, 91].

При исследовании седиментационных свойств жидкого навоза установлено, что на процесс осаждения твердых частиц большое влияние оказывает площадь поперечного сечения столба жидкости. Причем минимальная скорость осаждения твердых частиц была при соотношении $D/H = 1,5...2,0$. [82]. Тем самым подтвержден вывод о том, что осаждение твердых частиц в жидкости не зависит в явном виде от столба жидкости.

3.4.2 Экспериментальные исследования процесса всасывания жидкого навоза фекальными насосами

Для экспериментальной проверки аналитических зависимостей по определению допустимой высоты всасывания фекальных насосов, обоснования вместимости промежуточного бака была разработана и изготовлена экспериментальная установка, рис. 3.6. [92]. Установка состоит из фекального насоса 1, промежуточного бака 2 со смотровым окном 3 и вакуумметром 4, сменной всасывающей трубы 5. Установка позволяет изменять высоту всасывания и диаметр всасывающей трубы, определять вместимость промежуточного бака и гидравлические потери напора во всасывающем трубопроводе.

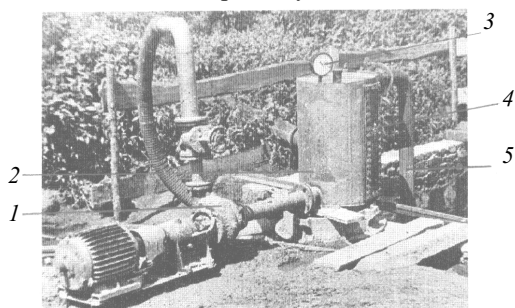


Рис. 3.6 Экспериментальная установка:

1 – фекальный насос; 2 – промежуточный бак;
3 – манометр; 4 – смотровое окно;
5 – всасывающая труба

Работает установка следующим образом. Первоначально бак 2 заполняется жидкостью от постороннего источника. Включается насос и в баке создается разрежение. При достижении разрежения, способного поднять столб жидкости из бака, насос откачивает объем V . Зная размеры бака и высоту столба жидкости, забираемой насосом, определяли пусковой объем, для фиксации которого предусмотрена прозрачная вставка (смотровое окно).

Изучалось влияние трубопроводов диаметром 0,06 ... 0,30 м, длиной 2 ... 6 м на объем, необходимый для пуска. Плотность навозной массы составляла 1010 ... 1070 кг/м³.

Потери напора во всасывающей трубе определяли по выражению

$$\Delta P = (P_1 - P_2) / H_v, \quad (3.29)$$

где P_1 – показатели вакуумметра в начале всасывающей линии, Па; P_2 – показания вакуумметра в конце всасывающей линии, Па; H_v – высота всасывания, м.

Объемный расход навозной массы определялся по выражению

$$Q = V_v / t, \quad (3.30)$$

где V_v – вместимость бака, м³; t – время опыта, с.

Объем определяли с точностью до 3 л, а время – 1 с.

Среднеобъемная скорость жидкого навоза во всасывающем трубопроводе рассчитывалась по формуле

$$v = 4q / (\pi d^2),$$

где d – диаметр всасывающего трубопровода, м.

В результате экспериментальных исследований определяли влияние влажности (W), скорости жидкого навоза (v) и диаметра трубопровода (d) на высоту всасывания, т.е. $H_v = f(W, v, d)$.

Для определения допустимой высоты всасывания систему, состоящую из фекального насоса, трубопроводов, промежуточного бака и сборника навозной массы глубиной 8 м, заполняли жидким навозом, влажность которого определяли термо-весовым способом. Устанавливали всасывающий трубопровод определенного диаметра. Расход и скорость потока определяли объемным способом.

Насос включался в работу, фиксировалась высота всасывания, при которой наступал срыв в работе насоса. Этот режим определяли по характерному шуму и неритмичному содроганию насоса и трубопроводов. При каждой серии опытов записывались показания вакуумметра, скорость потока, влажность, барометрическое давление и температура навоза. Разрежение на экспериментальной установке дополнительно регулировалось постепенным закрытием задвижки, установленной на всасывающей линии фекального насоса.

По результатам экспериментальных исследований построены графики зависимости допустимой высоты всасывания насосов от диаметра трубопровода при различной влажности, рис. 3.7. [76, 93].

Анализ графиков свидетельствует о том, что для фекальных насосов типа ФГ с диаметром всасывающего трубопровода $d = 0,30$ м допустимая высота всасывания составляет 5 ... 7 м. Уменьшение влажности навозной массы вызывает снижение допустимой высоты всасывания вследствие роста ее параметров (вязкости, плотности, касательных напряжений), а также увеличения давления насыщенных паров. С увеличением диаметра всасывающего трубопровода от 0,10 до 0,25 м допустимая высота всасывания повышается, а при $d = 0,30$ м наблюдается снижение, что обусловлено заметным влиянием массовых сил, т.к. транспортирующая способность потока достигает и дальнейшее увеличение диаметра трубопровода вызывает ухудшение работы установки.

Сравнение теоретических и экспериментальных данных свидетельствует о том, что максимальное расхождение между ними превышает 5 ... 8 %. Это позволяет использовать разработанные с участием автора методы расчетов не только при проектировании гидротранспортных установок подобного типа, но и при совершенствовании существующих фекальных насосов.

Для проверки высоты всасывания в зависимости от производительности насоса при различных соотношениях $\gamma_{см} / \gamma_{в} = 1,02 \dots 1,12$ снималась кавитационная характеристика, представляющая группу кривых, выражающих предельную вакуумметрическую высоту всасывания в зависимости от подачи и объемного веса навозной массы, а также в сравнении экспериментальных и теоретических данных.

Оптимальный режим работы фекального насоса определяется наложением кавитационной и вакуумметрической характеристик для всасывающего трубопровода, рис. 3.8. Полученные при пересечении соответствующих кривых точки являются предельными, характеризующими бескавитационный режим работы фекального насоса при данных параметрах навоза, и с $d, м$ имеют допустимый по условиям всасывания объемный вес и расход смеси экскрементов. [69, 70].

$H_{в} \cdot 10^4, Па$

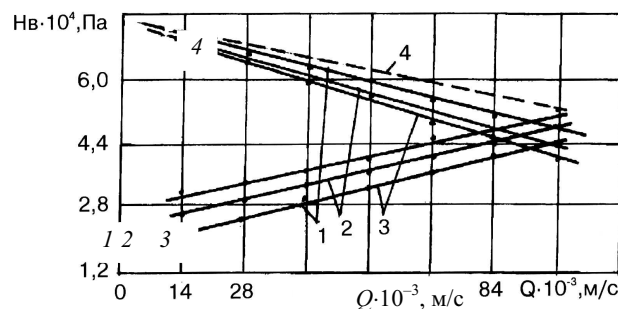


Рис. 3.8 Зависимость высоты всасывания насоса 8В-12 от подачи:
1, 2, 3 – экспериментальная; 4 – теоретическая; 1 – при $\gamma_{см} / \gamma_{в} = 1,02$;
2 – при $\gamma_{см} / \gamma_{в} = 1,07$; 3 – при $\gamma_{см} / \gamma_{в} = 1,12$

Приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что максимальная подача насоса 8Ф-12 возможна по условиям всасывания при $\gamma = 10250 \dots 11250$ Н/м³ и $H_{в} = 4 \dots 6$ м в интервале $Q = (84 \dots 110) \cdot 10^{-3}$ м³/с. Увеличение подачи приводит к возникновению кавитации, характеризующейся резкими ударами в проточной части насоса.

По результатам измерений вакуума в баке в зависимости от производительности насоса, построены графики, рис. 3.9.

Из графика, рис. 3.9 видно, что с увеличением производительности насоса возрастает высота всасывания, причем при меньшем диаметре всасывающего трубопровода она значительно больше за счет уменьшения массовых сил.

$P \cdot 10^3, Па$

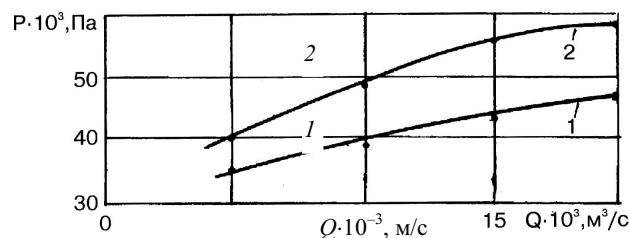


Рис. 3.9 Изменение вакуума в емкости в зависимости от производительности: 1 – $l = 2,5$ м, $d = 0,75$ м; 2 – $l = 2,5$ м, $d = 0,102$ м

На основании результатов измерений потерь напора во всасывающем трубопроводе построены графики зависимости потерь напора от длины (высоты) трубопровода, рис. 3.10. [69]. Графики показывают, что с увеличением длины трубопровода потери возрастают, причем в большей степени при уменьшении диаметра трубопровода, т.к. в этом случае увеличивается скорость навозной массы.

Hв, м
7,5
7,0
6,5
6,0
5,5
5,0

Рис. 3.7
насос
1 – v =
5 – v =
9

$h, \text{Па}$

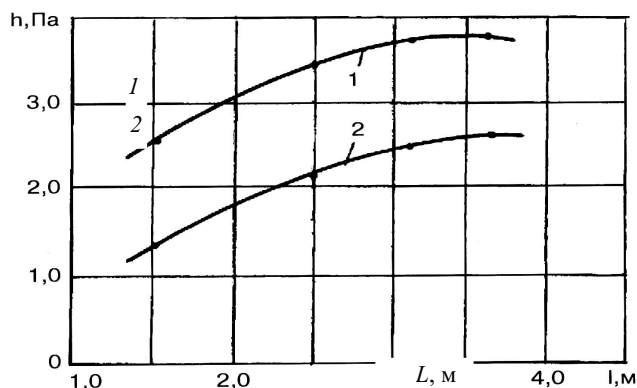


Рис. 3.10 Изменение потерь напора во всасывающем трубопроводе в зависимости от длины при различных диаметрах:
 $1 - d = 0,075 \text{ м}; 2 - d = 0,102 \text{ м}$

$V_m \cdot 10^{-2}, \text{м}^3$

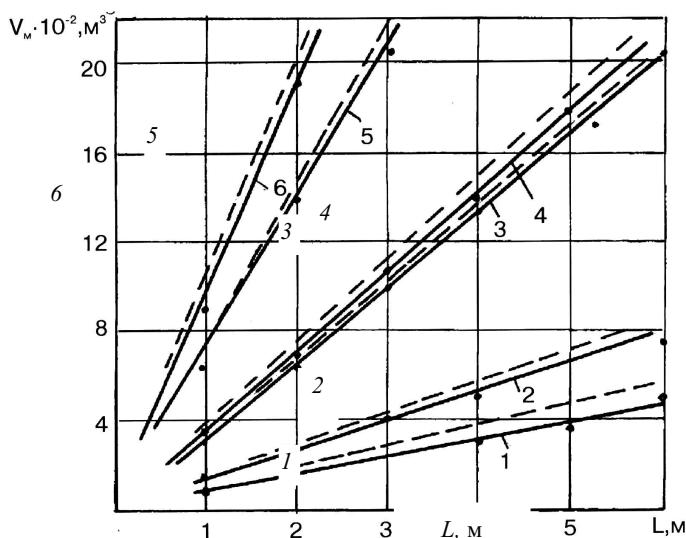


Рис. 3.11 Зависимость пускового объема от длины всасывающего трубопровода:
 $1 - d = 0,08 \text{ м}, \rho = 1,01; 2 - d = 0,08 \text{ м}, \rho = 1,07; 3 - d = 0,20 \text{ м}, \rho = 1,01;$
 $4 - d = 0,20 \text{ м}, \rho = 1,01; 5 - d = 0,20 \text{ м}, \rho = 1,01; 6 - d = 0,20 \text{ м}, \rho = 1,07$

При включении насоса в первоначальный момент из бака уйдет объем V_1 . От момента подъема навозной массы до ее прихода в бак (за счет разрежения) из нее выйдет объем V_2 . Затем наступает равновесие в работе системы, когда в баке останется объем V_3 . Поэтому необходимо определить экспериментальным путем эти объемы, по которым можно выбрать общий объем бака.

Результаты экспериментальных исследований ушедшего и пускового объемов в зависимости от длины всасывающего трубопровода при различных диаметрах представлены графиками изменения пускового объема в зависимости от высоты всасывания, рис. 3.11.

Анализ графиков показывает, что с увеличением высоты всасывания и диаметра трубопровода пусковой объем также увеличивается. Повышение относительной плотности навозной массы с 1,01 до 1,07 вызывает увеличение пускового объема вследствие того, что время выхода насосного агрегата на нормальный устойчивый режим работы увеличивается.

Результаты опытов позволили определить вместимость промежуточного бака, которая зависит от производительности насоса и диаметра трубопровода, табл. 3.3.

3.3 Изменение вместимости промежуточного бака в зависимости от d и H_B

Марка насоса	Диаметр трубопровода, м	Высота всасывания, м	Вместимость бака, м
3 Ф-12	0,10	5,0 ... 5,5	0,10
5 Ф-12	0,125	5,0 ... 6,0	0,45
8 Ф-12	0,150	5,0 ... 6,0	0,60

Вместимость промежуточного бака [82] можно определить по формуле

$$V_6 = \frac{\pi d^2}{4} \beta H_B \frac{P_1}{P_1 - P_2} \quad \text{или} \quad V_6 = (6,5 \dots 7,0)Q, \quad (3.31)$$

где d – диаметр всасывающей трубы, м; H_B – высота всасывающей трубы, м; β – коэффициент неравномерности, $\beta = 1,1 \dots 1,3$; P_1 – давление на свободную поверхность, Па; P_2 – давление на входе в насос, Па; Q – производительность насоса, л/с.

Соотношение высоты и диаметра бака целесообразно принимать равным $1,5 \dots 2,0$. [76, 93, 94].

Оптимальный режим работы насосной установки должен обеспечивать транспортировку навозной массы любой консистенции при изменении влажности в навозоприемниках от 88 до 98 %.

Для перемещения навозной массы с соотношением жидкой части к твердой (Ж/Т) равной $1/2,5 \dots 1/3$ необходимо правильно определить скоростной режим во всасывающей линии гидротранспортной установки. Для этого использовали насосы 5Ф-12 и 8Ф-12. Влажность навозной массы в расходной емкости составляла 88 ... 90 %. По данным экспериментальных исследований построены графики зависимостей соотношения Ж/Т и насыщения $\gamma_{см}/\gamma_B$ от скорости, рис. 3.12. [69, 70].

Анализ зависимостей, представленных на рис. 3.12 показывает, что во всасывающей линии необходимо обеспечить скорость навозной массы $1,8 \dots 2,0$ м/с, при этом нет необходимости разбавления экскрементов.

Фекальные насосы достаточно устойчиво работали на жидком навозе влажностью 88 ... 90 %, т.е. при естественной влажности экскрементов. При скорости навозной массы $1,8 \dots 2,0$ м/с соотношение Ж/Т составляет $1/2,5 \dots 1/3$. Таким образом, зная оптимальный скоростной режим жидкого навоза и используя известные законы гидравлики, можно определить диаметр трубопровода.

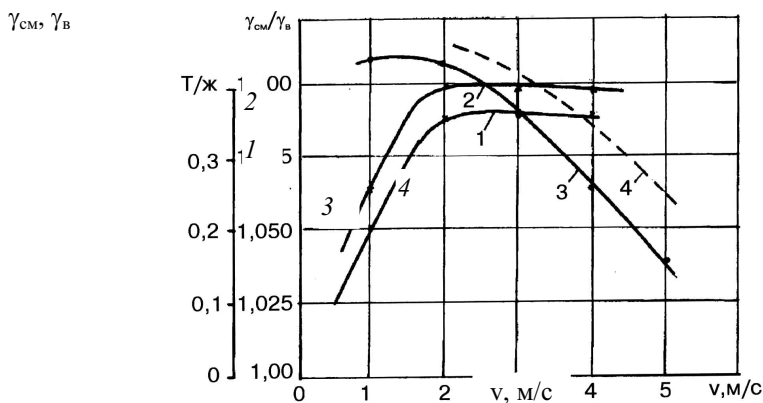


Рис. 3.12 Зависимость насыщения $\gamma_{см}/\gamma_B$ и соотношения Ж/Т от скорости навозной массы: 1, 2, 3 – экспериментальная; 4 – теоретическая; $\gamma_{см}, \gamma_B$ – объемная масса воды и навозной смеси соответственно

3.4.3 Экспериментальные исследования процесса транспортирования жидкого навоза по трубам

Экспериментальные исследования по определению режимов транспортирования и незаиливающих скоростей проводили на установке, рис. 3.13 ... 3.16 [69, 71], которая включает в себя расходную 1 и мерную 8 емкости, насос 2, распределительное устройство 3, систему трубопроводов 4 диаметром 0,08; 0,10 и 0,12 м, манометр 5, расходомер 6, задвижки 7.

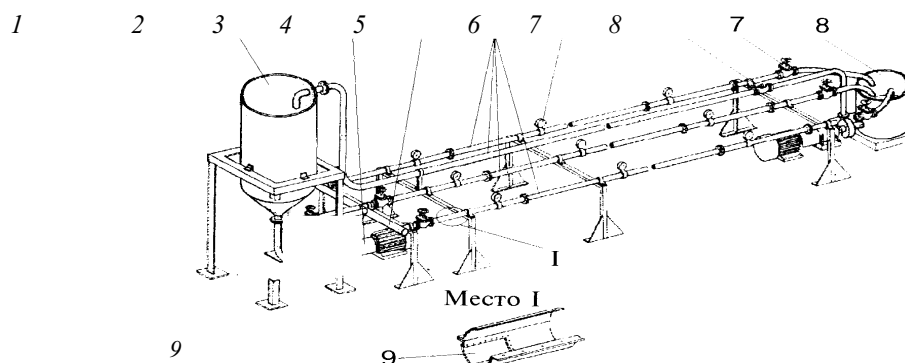


Рис. 3.13 Схема экспериментальной установки:

1 – расходная емкость; 2 – насос; 3 – распределительное устройство;
 4 – трубопровод; 5 – манометр; 6 – расходомер; 7 – задвижка; 8 – мерная емкость;
 9 – прозрачная вставка

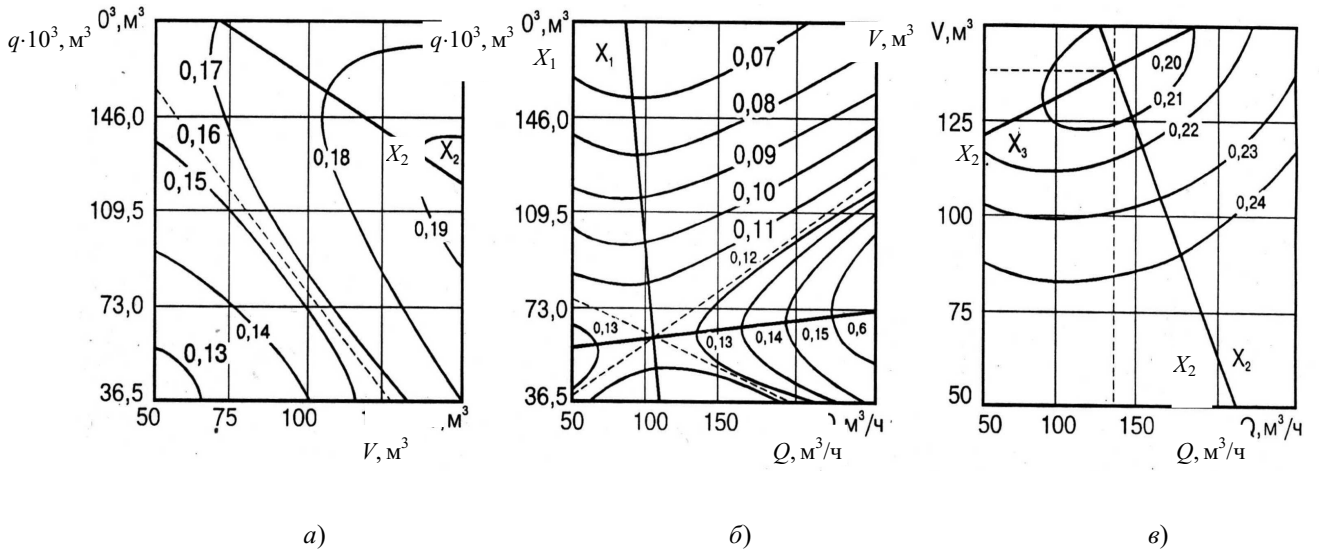


Рис. 3.5 Двумерные сечения для определения удельных приведенных затрат в зависимости от:

- а) выхода навоза q и вместимости навозоприемника V ;
- б) выхода навоза q и производительности насоса Q ;
- в) вместимости навозоприемника V и производительности насоса Q

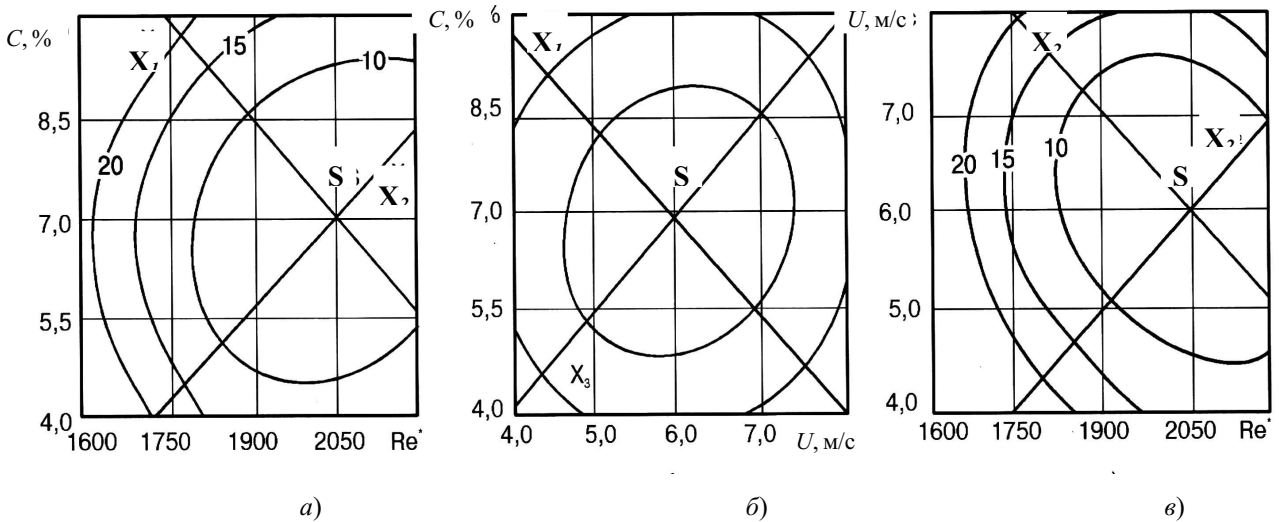
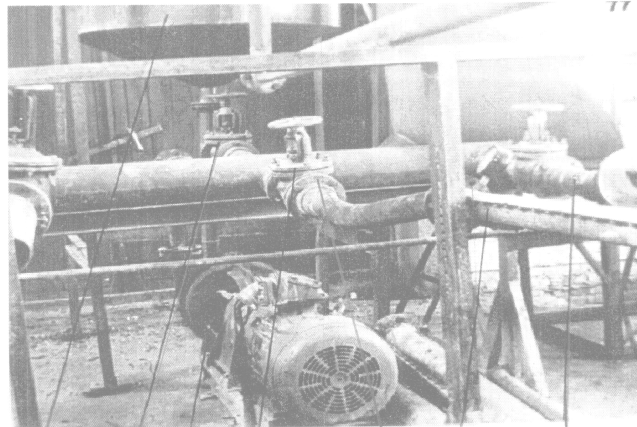


Рис. 3.20 Двумерные сечения поверхности отклика для определения степени заилиenia трубопроводов в зависимости от:

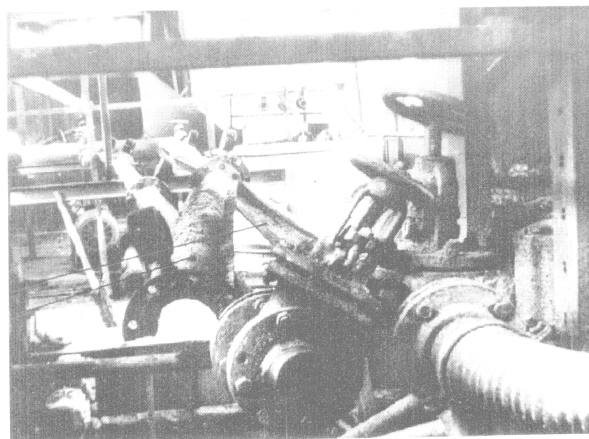
- а) концентрации твердых частиц C и Re ;
- б) концентрации твердых частиц C и гидравлической крупности U ;
- в) гидравлической крупности U и Re



1 2 3 4 5 6 1 5 6

Рис. 3.14 Распределительное устройство:

1 – расходная емкость; 2 – задвижка; 3 – насос; 4 – задвижка;
5 – трубопровод $d = 0,10$ м; 6 – трубопровод $d = 0,08$ м

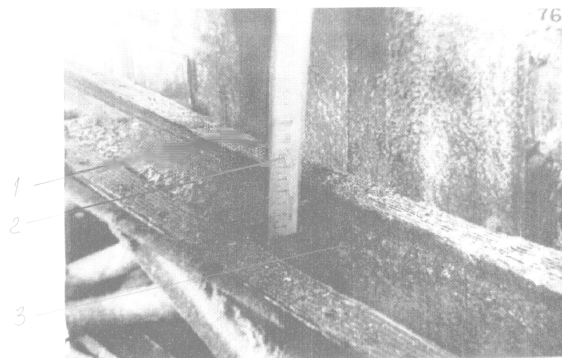


1
2

Рис. 3.15 Разъемный трубопровод:

1 – нижняя половина; 2 – верхняя половина

Расход, а соответственно и режим движения смеси, определяли объемным способом мерной емкостью 3, контроль давления – манометром 5. Для определения заиливания трубопроводы снабжены разъемами по всей длине, рис. 3.15, замер слоя осадка осуществляли линейкой, рис. 3.16.



1
2
3

Рис. 3.16 Замер высоты слоя осадка: 1 – трубопровод; 2 – линейка; 3 – осадок

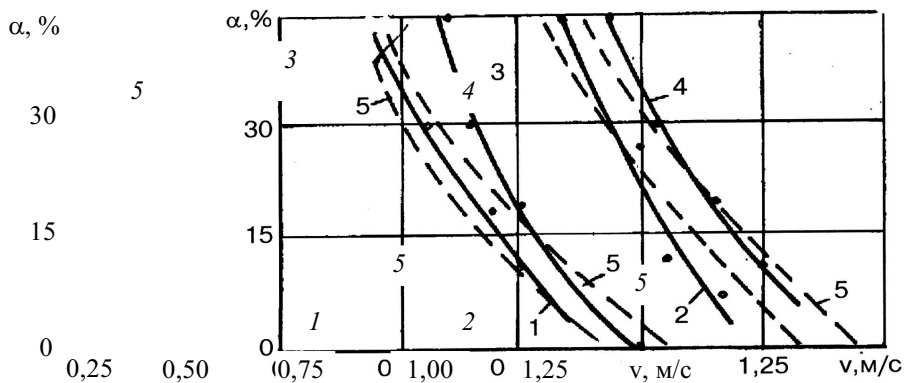


Рис. 3.17 Зависимость степени заиливания трубопровода от скорости навозной массы:

1 – $W = 90\%$, $d = 0,1$ м; 2 – $W = 92\%$, $d = 0,1$ м; 3 – $W = 90\%$, $d = 0,12$ м;
4 – $W = 92\%$, $d = 0,12$ м; 5 – теоретическая зависимость

Режим движения смеси и напор создавали регулированием производительности насоса, а также изменением высоты столба жидкости в расходной емкости, т.е. использовали статический напор и расход. В экспериментах использовался жидкий навоз влажностью 90 ... 96 %, со средневзвешенной гидравлической крупностью $(2 \dots 3,1) \cdot 10^{-6}$ м/с и трубопроводы диаметром 0,10 ... 0,30 м. [71, 84, 95].

По результатам экспериментальных исследований построены графики зависимости степени заиливания трубопровода от скорости жидкого навоза при различных диаметрах и влажности, рис. 3.17, 3.18.

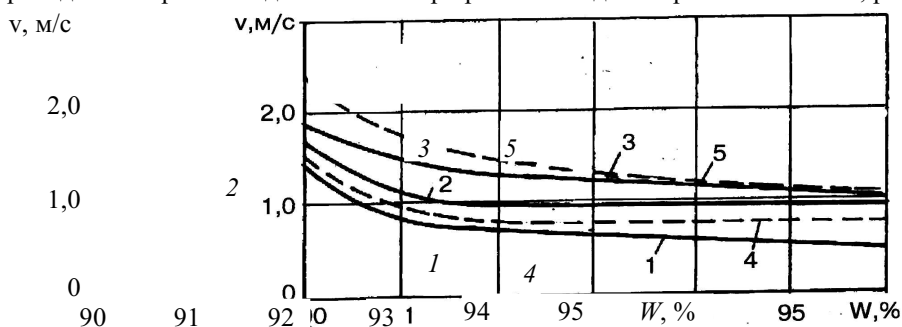


Рис. 3.18 Изменение незаиливающих скоростей в зависимости от влажности исходного навоза:

1 – $d = 0,10$ м; 2 – $d = 0,15$ м; 3 – $d = 0,20$ м; 3, 4 – расчетные кривые

Анализ графиков показывает, что определяющую роль при гидротранспорте навоза играет скорость перемещения. Причем для каждого диаметра трубопровода существует своя незаиливающая скорость, изменяющаяся в зависимости от влажности навоза. Транспортирование жидкого навоза при скоростях меньше незаиливающих ведет к образованию слоя заиливания и его интенсивному росту при дальнейшем снижении скорости.

Характер экспериментальных зависимостей совпадает с аналитическими, а предельное их отклонение не превышает 10 %.

Результаты экспериментальных исследований позволили лишь частично подтвердить взаимосвязь степени заиливания от входящих в аналитическое выражение (3.26) факторов.

Сложность поведения жидкого навоза не позволила традиционными методами выявить взаимосвязь степени заиливания от размеров частиц ввиду того, что механизм заиливания наблюдать практически не представляется возможным.

Результаты экспериментальных исследований влияния скорости перемещения навозной массы на удельные потери напора представлены на рис. 3.19.

Анализ экспериментальных данных подтверждает их сходимость с теоретическими предпосылками. Наличие слоя заиливания влияет на значение потерь напора как на режимах ниже заиливающих, так и выше этих значений.

Заметное отклонение значений потерь напора наблюдается для незаиленных трубопроводных систем, рис. 3.19.

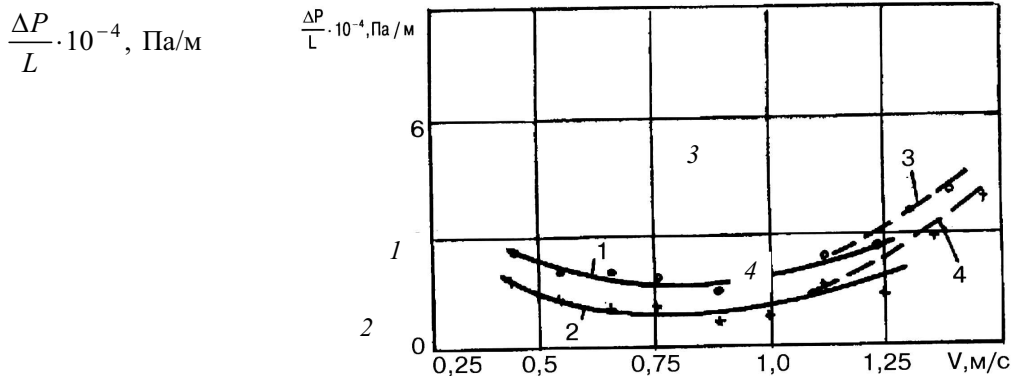


Рис. 3.19 Зависимость удельных потерь напора от скорости навоза:
 1 – $d = 0,1$ м, при $W = 94\%$, $\alpha = 0$; 2 – $d = 0,10$ м, при $W = 94\%$, $\alpha = 18\%$;
 3 – $d = 0,12$ м, при $W = 92\%$, $\alpha = 0$; 4 – $d = 0,12$ м, при $W = 92\%$, $\alpha = 12$

В табл. 3.4. представлены значения незаиливающих скоростей жидкого навоза различной влажности крупного рогатого скота и свиней, которые можно использовать при проектировании и эксплуатации гидротранспорта жидкого навоза. [69, 96].

3.4 Изменение незаиливающих скоростей при гидротранспорте жидкого навоза

Диаметр трубопровода, м	Значение незаиливающих скоростей, м/с при влажности навоза					
	90	92	93	94	95	96
Свиной навоз						
0,10	1,30	0,88	0,82	0,76	0,72	0,70
0,15	1,60	1,04	1,00	0,90	0,86	0,80
0,20	1,90	1,40	1,35	1,20	1,16	1,10
0,25	2,20	1,80	1,74	1,60	1,40	1,30
0,30	2,50	2,10	2,05	2,00	1,80	1,68
Навоз крупного рогатого скота						
0,10	1,26	0,79	0,70	0,74	0,72	0,70
0,15	1,50	1,00	0,90	0,86	0,90	0,76
0,20	1,70	1,20	1,15	1,00	1,10	1,04
0,25	1,90	1,60	1,58	1,50	1,26	1,20
0,30	2,30	2,10	2,00	1,90	1,72	1,60

Для проверки теоретической зависимости (3.48) проводили экспериментальные исследования с использованием методики планирования многофакторных экспериментов. Исследования проводили на установке, разработанной и изготовленной в Тамбовском филиале ВИЭСХ (рис. 3.13 ... 3.16).

Движение жидкого навоза влажностью 90 ... 94 % исследовали в трубопроводах диаметром 0,08 ... 0,12 м.

За критерий оптимизации приняли степень заиливания трубопроводов. В качестве факторов, влияющих на параметр оптимизации, выбраны X_1 – содержание твердых частиц в жидком навозе C , %; X_2 – обобщенное число Рейнольдса, Re^* ; X_3 – гидравлическая крупность частиц u , м/с. [71].

Поисковые опыты позволили сделать вывод о том, что исходный основной уровень уже находится в области оптимума. Проведение композиционного планирования (т.е. постановка опытов линейного плана второго порядка) было в данном случае нецелесообразно, поэтому использовали непосредственно план второго порядка.

Факторы, интервалы и уровни варьирования приведены в табл. 3.5. Получили уравнение

В результате исследований

$$\hat{y} = 6,86 + 0,225X_1 - 8,3X_2 + 0,425X_3 - 0,6X_1X_2 - 0,5X_1X_3 - 0,8X_2X_3 + 6,27X_1^2 + 8,97X_2^2 + 7,17X_3^2. \quad (3.17)$$

3.5 Факторы, интервалы и уровни их варьирования

Тип плана	Уровни и интервалы варьирования	Факторы		
		$X_1 = C, \%$	$X_2 = Re$	$X = U, \text{м/с}$
Некомпозиционный второй порядок	+1	10	2200	0,08
	0	7	1900	0,06
	-1	4	1600	0,04
		3	300	0,02

Сравнение абсолютных значений коэффициентов регрессии и соответствующих погрешностей в их оценке показывает, что с доверительной вероятностью 0,95 можно считать значения коэффициентов $b_0, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{33}$, значимыми, тогда уравнение (3.17) принимает вид

$$\hat{y} = 6,86 - 8,3X_2 + 6,27X_1^2 + 8,97X_2^2 + 7,17X_3^2. \quad (3.18)$$

Адекватность модели проверяли по F критерию ($F_p < F$ табл., $1,8 < 6,59$). Модель адекватна с 95 % доверительной вероятностью.

Преобразуем уравнение (3.12) с заменой кодированных величин именованными

$$\hat{y} = 6,86 - 8,3(Re^* - 1900) / 300 + 6,27(c - 7,0) / 3,0 + 8,97(Re^* - 1900)^2 / 300 + 7,17(U + 0,06)^2 / 0,02$$

получим уравнение для рассмотренных зависимостей в именованных величинах.

$$\hat{y} = 519,4 + 10^{-4} Re^* - 0,408 Re^* + 0,697c^2 + 9,75c + 1,79 \cdot 10^4 U^2 - 2,15 \cdot 10^3 U. \quad (3.19)$$

Для уравнения (3.19) оптимальными являются

$$\hat{y} = \alpha = 1,94 \%; \quad c = x_1 = 7,0 \%; \quad Re^* = x_2 = 2050; \quad U = x_3 = 0,06 \text{ м/с}.$$

При определении оптимальных значений факторов и получения представления о геометрическом образе, соответствующем изучаемой зависимости, представляли уравнение (3.18) в каноническом виде.

Для этой цели определяли частные производные по каждому из трех факторов, приравняли их нулю и составляли систему дифференциальных уравнений

$$\partial y / \partial x_1 = 2 \cdot 6,27 x_1 = 0, \quad x_1 = 0; \quad x_2 = +0,46;$$

$$\partial y / \partial x_2 = 2 - 8,3 + 2 \cdot 8,97 x_2 = 0 \quad x_3 = 0;$$

$$\partial y / \partial x_3 = 2 \cdot 7,17 x_3 = 0.$$

Более детальный анализ влияния каждого из факторов и их попарное воздействие на процесс заилиenia трубопроводов рассматривали на поверхности отклика с помощью двумерных сечений; в уравнение (3.18) подставляли значения всех факторов близкие к оптимальным, кроме одного.

Рассмотрим влияние концентрации твердых частиц в смеси и режима движения гидросмеси на процесс заилиenia трубопроводов, при $x_3 = 0$.

Уравнение (3.18) принимает вид

$$\hat{y} = 6,86 - 8,3X_2 + 6,27X_1^2 + 8,97X_2^2 + 7,17X_3^2.$$

Определение центра новых осей координат (точки 3) осуществляли через частные производные, приравнивая их нулю:

$$\begin{cases} \partial y / \partial x_1 = 2 \cdot 6,27 x_1 \\ \partial y / \partial x_2 = 2 - 8,3 + 2 \cdot 8,97 x_2 = 0. \end{cases}$$

Решая систему дифференциальных уравнений, имеем $X_{1S} = 0; X_{2S} = +0,46$, подставляя эти значения в уравнение (3.19), получим значение критерия оптимизации Y_S в точке S $Y_S = 4,94$

Решив характеристическое уравнение

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{11} - b & 0 \\ 0 & b_{22} - b \end{vmatrix} \quad (3.20)$$

получим $(6,27 - b)(8,97 - b) = 0$.

Решение квадратного уравнения 3.20 дает значение коэффициентов $B_1, B_2, B_1 = 9,03; B_2 = 6,21$.

После чего каноническое уравнение примет вид:

$$y - y_s = b_1 x_1^2 + b_2 x_2^2;$$

$$y - 4,94 = 9,03x_1^2 + 6,21x_2^2.$$

Угол поворота осей координат в точке S определяем по формуле

$$\operatorname{ctg}2\alpha = (b_{11} - b_{22}) / b_{12} = 0 \quad \operatorname{ctg}2\alpha = 0$$

$$2\alpha = \operatorname{arctg}0 = \pi / 2, \quad 2\alpha = \pi / 2; \quad \alpha = 45^\circ.$$

Подставляя в каноническое уравнение различные значения X_1 и X_2 , получаем уравнение контурных кривых – эллипсов, табл. 3.6.

В полученном каноническом уравнении коэффициенты имеют одинаковые знаки, поверхность имеет экстремум – эллипсы вытянуты по оси X_2 .

3.6 Данные для построения уравнения регрессии

Y	$Y - Y_s$	X_1	X_2
10	5,06	+0,75 0	0 +0,90
15	10,06	+1,06 0	0 +1,27
20	15,06	+1,29 0	0 +1,56

Зная концентрацию твердых частиц в смеси (C), можем определить степень заиления трубопроводов при различных режимах движения навоза.

Аналогично исследуем двумерные сечения $X_1 X_3$; $X_2 X_3$.

При перекачивании жидкого навоза по заиленным трубопроводам меняются режимы его работы – скорость движения навоза, удельные потери давления, производительность, что влияет на технико-экономические показатели гидротранспорта. При исследовании режимов движения многие авторы [9, 52, 65, 97] потери напора определяли экспериментально. В связи с чем полученные результаты нельзя использовать за пределами значений факторов, при которых проводились испытания.

Для исследования режимов течения жидкого навоза по заиленным трубопроводам нами использовалась методика планирования многофакторного эксперимента.

За критерий оптимизации (Y) приняты удельные потери давления. В качестве факторов, влияющих на параметр оптимизации использовали: влажность жидкого навоза – X_1 (W , %), скорость потока – X_2 (v , м/с), диаметр трубопровода – X_3 (d , м), степень заиления – X_4 (α , %) [72, 84], табл. 3.7. Исследования проводили на экспериментальной установке (см. рис. 3.39 ... 3.42) при гидравлической крупности частиц 0,06 м/с.

3.7 Факторы и уровни их варьирования

Тип плана	Уровни и интервалы варьирования	Факторы			
		$X_1(W, \%)$	$X_2(v, \text{м/с})$	$X_3(d, \text{м})$	$X_4(\alpha, \%)$
Некомпозиционный второго порядка (выборка 3)	+1	94	3	0,12	25
	0	92	2	0,10	15
	-1	90	1	0,08	5
		2	1	0,02	10

Степень заиления находили по формуле

$$\alpha = (S_0 / S_{\text{тр}}) \cdot 100,$$

где S_0 – площадь сечения трубопровода, занятая осадком, м^2 ; $S_{\text{тр}}$ – площадь сечения трубопровода, м^2 .

Влажность осадка составляла 87 ... 89 %.

Полученная модель, проверенная по критерию Фишера, адекватна $F_p < F_{\text{т}}, 8 < 19,4$.

После исключения незначимых коэффициентов регрессии получили уравнение поверхности отклика

$$y = 0,001 - 0,0006X_1 + 0,00046X_2 - 0,00045X_3 + 0,00025X_1 - 0,0004X_1X_2 + 0,00075X_1X_3 + 0,0014X_1^2 + 0,00116X_2^2 + 0,00131X_2^3 + 0,00129X_4^2. \quad (3.21)$$

Анализируя полученное уравнение (3.21) видим, что действие факторов на удельные потери напора при гидротранспортировании жидкого навоза по трубам различно, так как знаки перед коэффициентами регрессии в уравнении различны.

С увеличением влажности жидкого навоза (X_1) удельные потери напора уменьшаются. Это объясняется тем, что с увеличением влажности снижается прочность структурной решетки жидкого навоза, т.е. уменьшается вязкость и предельное напряжение сдвига.

Повышение скорости транспортирования (X_2) приводит к росту удельных потерь напора, так как значительная часть энергии потока расходуется на выравнивание концентрации твердых частиц по сечению и развитие турбулентных возмущений, а также на нарушение структурных связей между жидкой и твердой составляющими навоза.

Влияние диаметра трубопровода (X_3) на удельные потери напора противоположны влиянию фактора X_2 , т.е. с увеличением X_3 удельные потери снижаются, что достаточно полно совпадает с выводами Дарси – Вейсбаха. [80].

При возрастании степени заиления (X_4) увеличиваются удельные потери напора из-за уменьшения гидравлического радиуса.

В связи с тем, что факторы и их взаимодействие по-разному влияют на удельные потери напора, подбором определенных значений можно получить оптимальное значение критерия оптимизации для каждого скоростного режима движения жидкого навоза. Для этого составим и приравняем к нулю дифференциальные уравнения по каждому фактору, влияющему на удельные потери напора.

$$\hat{\partial} y / dX_1 = 0,0006 - 0,0004X_2 + 0,00075X_3 + 0,0029X_4 = 0;$$

$$\hat{\partial} y / dX_2 = 0,000467 - 0,0004X_1 + 0,00232X_3 = 0;$$

$$\hat{\partial} y / dX_3 = 0,00045 + 0,00075X_1 + 0,0025X_3 = 0;$$

$$\hat{\partial} y / dX_4 = 0,00025 + 0,00258X_4 = 0.$$

Решив эти уравнения, определим оптимальные значения факторов, табл. 3.8.

3.8 Оптимальные значения факторов и параметра оптимизации

Показатели	Факторы				Параметр оптимизации
	X_1	X_2	X_3	X_4	
Кодированное оптимальное значение	0,15	0,17	0,13	0,1	0,00094
Раскодированное оптимальное значение	92,3	1,83	1,1026	14,1	0,00094

Уравнение поверхности отклика 3.21 в именованных величинах запишется

$$\Delta P / L = 5,71 - 0,07W + 0,015v - 2,64d - 14 \cdot 10^{-5}\alpha - 2 \cdot 10^{-4}Wv + 18 \cdot 10^{-3}Wd + 36 \cdot 10^{-5}W^2 + 3,28d^2 + 12,9 \cdot 10^{-6}\alpha^2. \quad (3.22)$$

Для изучения раздельного влияния факторов на критерий оптимизации необходимо зафиксировать на нулевом уровне или близких к оптимальным все факторы, кроме двух, влияние которых изучаются, и привести уравнение второго порядка к канонической форме.

После канонического преобразования и определения вида поверхности отклика проводится ее анализ с помощью двумерных сечений.

При каноническом преобразовании происходит перенос начала координат в новую точку и поворот осей координат на некоторый угол. В результате такого преобразования изменяется численное значение свободного члена, исчезают линейные члены и эффекты взаимодействия.

Подставляя интересующие нас значения в каноническое уравнение, получим контурные кривые, рис. 3.21 ... 3.26.

Анализируя рисунки видим, что минимальное значение критерия оптимизации в сечении области оптимума относительно влажности и скорости движения жидкого навоза при $X_3 = +0,13$, $X_4 = +0,1$, зафиксированных на указанных уровнях, равно 0,00147 МПа/м, а область оптимума находится в пределах $W = 92,2 \dots 92,8 \%$ и $v = 1,9 \dots 6$ м/с. При этом с уменьшением влажности с 92 до 90 % удельные потери напора возрастают в 1,3 раза, рис. 3.21.

Из рис. 3.21 и 3.22 следует, что в этом случае уместно говорить о некотором условном оптимуме функции, о наиболее благоприятном сочетании факторов.

Поверхность типа минимакса приведена на рис. 3.23 и 3.24. Коэффициенты регрессии имеют разные знаки, центр фигуры находится вблизи центра эксперимента. Значение критерия в области оптимума относительно скорости и диаметра при $X_1 = 92,3 \%$, $X_4 = 14 \%$ равно 0,00010 МПа/м. Область оптимума находится в пределах $v = 1,8 \dots 2,2$ м/с и $d = 0,102$ м. Минимальные удельные потери давления в сечении области оптимума относительно скорости и степени заиливания составляют 0,00098 МПа/м при $W = 92,34 \%$, $d = 0,102$ м.

Оптимальные значения $v = 1,8 \dots 2,0$ м/с и $\alpha = 14 \%$.

Значение критериев в области оптимума относительно влажности и диаметра трубопровода при $X_2 = +0,17$; $X_4 = +0,1$ равно 0,0009 МПа/м, а область оптимума находится в интервале влажности $W = 92,2 \%$ и $d = 0,09 \dots 0,11$ м. С уменьшением влажности с 92 до 90 % потери напора увеличиваются в 1,1 ... 2,0 раза, рис. 3.22. [71,84].

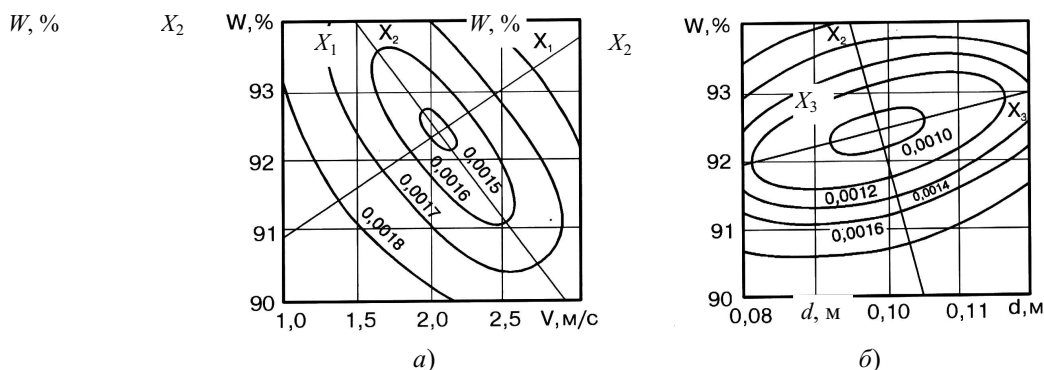


Рис. 3.21 Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие удельные потери напора при:
 а) $X_3 = 0,13; X_4 = 0,10$; б) $X_2 = 0,17; X_4 = 0,10$

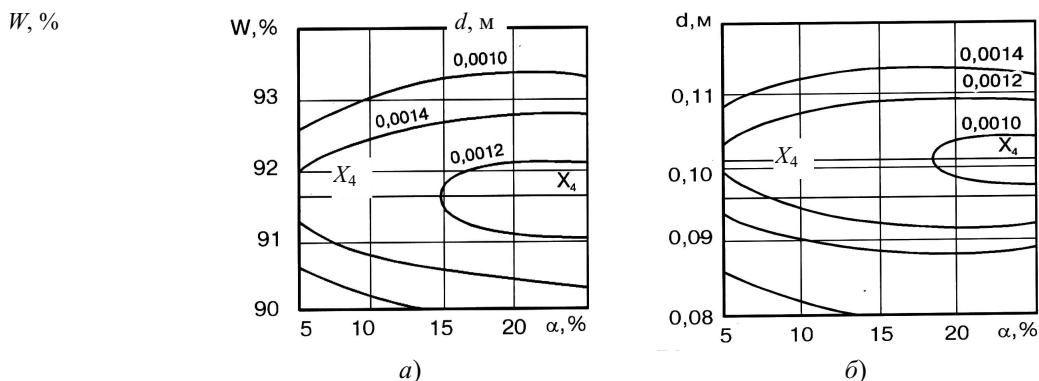


Рис. 3.22 Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие удельные потери давления при:
 а) $X_2 = 0,17; X_3 = 0,13$; б) $X_1 = 0,15; X_2 = 0,17$

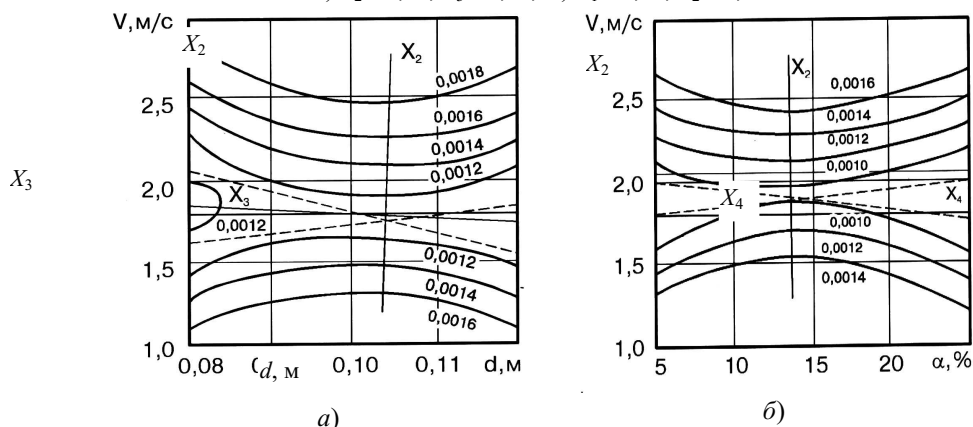


Рис. 3.23 Двумерные сечения поверхности отклика, характеризующие удельные потери напора при:
 а) $X_1 = 0,15; X_2 = 0,10$; б) $X_1 = 0,15; X_3 = 0,10$

Результаты исследований процесса гидротранспорта, оптимизация параметров навозоприемников, насоса с промежуточной емкостью, установленного выше уровня перекачиваемого навоза позволили автоматизировать процесс перекачивания и разделения жидкого навоза в Рассказовском комплексе по откорму свиней.

Система управления поточной линией уборки и обработки жидкого навоза, включающей насосную станцию для подачи исходного навоза от навозоприемника к виброгрохоту и прессу и насосную станцию для перекачивания жидкой фракции, полученной после разделения, состоит из подсистем (станций): станция E1 – управляет фекальными насосами перекачивающей станции, E2 – насосами сборника жидкой фракции и станция управления механизмами разделения, рис. 3.27. [98, 99].

Принципиальная электрическая схема обеспечивает управление линией в двух режимах – ручном (Р) и автоматическом (А). Станция цеха разделения имеет переключатели S7 ... S9 для обеспечения режимов "накладка" (Н) и "работа" (Р). При ручном режиме (переключатель S1.1 ... S1.5 в положении "Р") механизмами линии управляют с помощью кнопочных постов S2 ... S6, переключатели S7 ... S9 находятся в положении "Р". При этом механизмы разделения и фекальные насосы перекачивающей станции можно включить только после согласования и оповещения о готовности к пуску с помощью тумблера S (E1) и сигнальных ламп H1, которые

находятся в станции управления механизмами цеха разделения. Наблюдение за работой ведут операторы в насосной и в цехе разделения навоза на фракции.

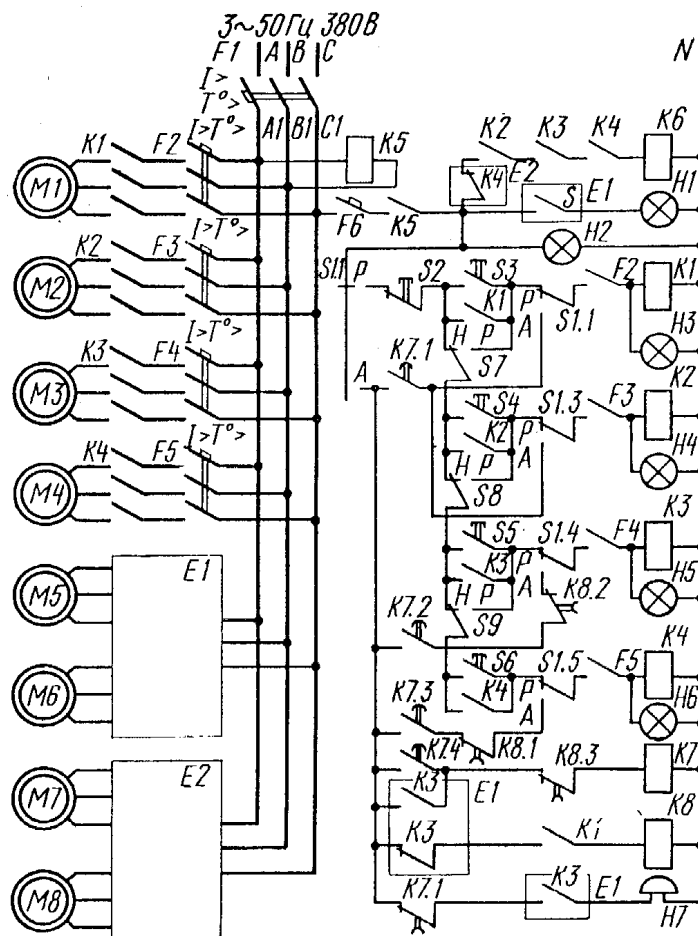


Рис. 3.27 Принципиальная электрическая схема управления фекальными насосами

При заполнении навозоприемника до верхнего уровня срабатывает реле K3 станции E1 и выдает в схему управления механизмами разделения сигнал к пуску, т.е. контакты K3 замыкают цепь питания программного реле времени K3 и предупредительного звонка Н7. Через 15 ... 20 с контакта K7.1 отключают звуковую сигнализацию и включают электродвигатели M1 и M2 наклонного и промежуточного транспортеров, замыкая контакты пускателей K1 и K2.

Затем по заданной программе, рис. 3.28 с интервалом между включениями, превышающим время пуска соответствующих электродвигателей, замыкнутся цепи питания пускателя K3 (контактом K7.2) и пускателя K4 (контактом K7.3) и соответственно включатся электродвигатели M3, M4 пресса и виброгрохота. При включении всех механизмов разделения сработает реле K6 и своими контактами замкнет цепи питания магнитных пускателей (станция E1), т.е. разрешит включение электродвигателей M5 или M6 насосов, подающих исходную массу по трубопроводу на виброгрохот. Навоз сначала разделяется виброгрохотом, а затем прессом на жидкую, которая сливается в сборник и на твердую, которая удаляется от пресса транспортерами за пределы цеха.

При заполнении сборника до заданного уровня станция управления E2 автоматически включает электродвигатель рабочего насоса M7, который откачивает жидкую фракцию в хранилище. Если в процессе работы какая-либо машина перегружается, срабатывает тепловая защита соответствующего автоматического выключателя (F2...F5), отключается электродвигатель, реле K6, подающий насос и все остальные механизмы. При нормальной работе навозоприемник освобождается до нижнего уровня, электродвигатель насоса отключается и контакт K3 замыкает цепь питания программного реле времени K8, которое по заданной программе, рис. 3.28. Отключает все механизмы разделения. Насос сборника жидкой фракции работает до полного удаления ее из сборника.

При аварийном уровне (переполнение) в сборнике, срабатывает реле K4 станции E2 и своим контактом K4 разрывает цепь питания реле K6, контакты которого размыкают цепь питания электродвигателя насоса перекачивающей станции; подача жидкого навоза прекращается. При потере фазы цепь управления разрывается контактом реле K5 и все электродвигатели отключаются.

Время включения контакта
K7.1
K7.2
K7.3
K7.4
Время отключения контакта
K8.1
K8.2
K8.3

Рис. 3.28

Производственная проверка станций управления фекальными насосами в двух свинооткормочных комплексах показала, что вероятность их безотказной работы находится в пределах 0,96 ... 0,98.

ВЫВОДЫ

1 Анализ способов и средств транспортировки жидкого навоза показывает, что гидротранспорт является основным средством, позволяющим повысить производительность труда в 1,5 ... 2,0 раза, снизить потери массы и питательных веществ до 30 %, затраты труда и энергии на 15 ... 20 %, избежать загрязнения территории животноводческих предприятий и опасности распространения инфекции и инвазии на пути перемещения, автоматизировать процессы транспортировки, разделения, очистки и обеззараживания жидкой фракции.

2 Теоретические исследования процесса гидротранспортирования жидкого навоза позволили формализовать параметры навозопровода, производительность насосов, местные и линейные потери напора и определить незаиливающие скорости при переходном и турбулентном режимах движения. Вместе с тем в работах исследователей не нашли отражения реальные вопросы оптимизации параметров навозоприемников насосных станций, всасывающих элементов насосов и режимы транспортирования жидкого навоза по заиленным трубопроводам, решение которых будет способствовать повышению эффективности транспортирования навоза.

3 В результате теоретических исследований получены математические модели процесса всасывания жидкого навоза фекальным насосом при изменяющихся его свойствах, скорости перемещения и расхода с учетом заиливания навозопровода.

4 Экспериментальными исследованиями выявлено, что на комплексах с поголовьем свиней более 4 тыс., экономически целесообразно строить навозоприемники круглой формы с соотношением D/H равным 1,5 ... 2,0, вместимостью 125 ... 137 м³, при использовании насосов с подачей до 144 м³/ч.

Определены оптимальные параметры и режимы работы насоса с промежуточной емкостью, устанавливаемого выше уровня перекачиваемого навоза: диаметр всасывающего трубопровода до 0,10 ... 0,25 м, высота всасывания 4 ... 6 м, скорость потока во всасывающей трубе 1,8 ... 2,0 м/с, потери напора 35 ... 55 Па, вместимость промежуточного бака $V_6 = (6,5 \dots 7,0)Q$. Оптимальный режим работы установки обеспечивает транспортировку навозной массы влажностью 88 ... 98 %, любой консистенции и эффективность процесса.

Минимальные удельные потери напора составили 0,00147 МПа при перекачивании навоза влажностью 92 ... 93 % со скоростью 1,8 ... 2,0 м/с, при степени заиливания до 14 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Берглунд С., Анианссон Г., Экесбу И. Транспортировка жидкого навоза: / Пер. со швед. под ред. И. Ф. Ромашкевича. М.: Колос, 1962. 183 с.
- 2 Вейнла В. Э., Ази М. М. Удаление подстилочного навоза из коровников // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 5. С. 26-27.
- 3 Жаловский С. М., Гудухин В. Ф. Определение оптимальной влажности навоза для пневмотранспортирования: Научно-техн. бюллетень по электрификации сел. хоз-ва / ВИЭСХ. М., 1977. Вып. 1 (31). С. 42 – 47.
- 4 Фурсин П. А. Пневмогидравлическая установка для удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1980. № 6. С. 18-19.
- 5 Вейнла В. Э., Ази М. М. Энергоемкость системы удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1984. № 7. С. 47.
- 6 Фурсин П. А., Овчаренко А. С., Гайдаш О. И. Обоснование параметров накопительного участка пневмогидравлической установки для удаления навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 7. С. 25 – 27.
- 7 Вейнла В. Э., Ази М. М. Удаление навоза с помощью поршневой установки // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1977. № 2. С. 18 – 20.
- 8 Смолдырев А. Е. Гидро- и пневмотранспорт. М.: Металлургия, 1976. 367 с.
- 9 Мельников С. В., Калюга В. В., Сафронов Ю. К. Гидравлический транспорт в животноводстве. М.: Россельхозиздат, 1976. 187 с.
- 10 Каленс Я. Г., Гетерс Э. Х. Исследование пневматического способа транспортировки навоза на свинокомплексах: Тр. ЛатвНИИМЭСХ. Рига, 1974. № 7. С. 22 – 24.
- 11 Алехин Е. Г. Некоторые результаты исследования напорного гидротранспортирования барды, жома, навоза // Тр. НИПТИМЭСХ С.-З. Л.-Пушкин, 1971. Вып. 8. С. 155 – 157.
- 12 Красехин И. Д., Сафронов Ю. К. Исследование движения навозных масс по навозопроводам // Тр. НИПТИМЭСХ С.-З. Л.-Пушкин, 1971. Вып. 9. С. 134 – 139.
- 13 Любинас В. К вопросу определения разбавления кормовых смесей, транспортируемых по трубопроводам // Тр. ЛитНИИМЭСХ. Вильнюс, 1972. № 5. С. 14-15.
- 14 Билибин Е. Б., Лепа В. С. Зарубежная техника для механизации удаления, транспортировки и распределения навоза по полям. Киев: УкрНИИНТИ, 1971. 36 с.
- 15 Ковалев Н. Г., Глазков И. К., Еселевич М. М. Системы удаления, переработки и применения навоза в качестве органических удобрений. М., 1977. 41 с.
- 16 Fertilizer Solutions. 1974. V. 18.3. P. 70 – 57.
- 17 Fertilizer Solutions. 1974. V. 17.4. P. 21-22.
- 18 Бесподстильный навоз и его использование для удобрения: / Пер. с нем. М.: Колос, 1978. 271 с.
- 19 Временные рекомендации по использованию для удобрения бесподстилочного навоза, получаемого на крупных животноводческих фермах промышленного типа. М.: Колос, 1973. 32 с.
- 20 Грачева Л. И., Шумляк Н. Н., Олешко И. Д. Гидротранспорт в сельском хозяйстве и его экономическая эффективность: Обзор. информ. /ВНИИТЭИСХ. М., 1977. 52 с.

- 21 Тырнов Ю. А. Система транспортирования навоза фекальными насосами на свиноводческих комплексах: Автореф дис... канд. техн. наук.- М., 1986. 179 с.
- 22 Васильев В. А. Органические удобрения и плодородие почвы // Земледелие. 1982. № 7. С. 41 – 45.
- 23 Долгов В. С. Гигиена уборки и утилизации навоза. М.: Россельхозиздат, 1984. 175 с.
- 24 Методические рекомендации по профилактике гельминтозов сельскохозяйственных животных и птиц в крупных специализированных хозяйствах и комплексах промышленного типа. М., 1975. 33 с.
- 25 Извеков А. С. Предотвратить экологическую катастрофу // Земледелие. 1981. N 4. С. 42 – 46.
- 26 Гамзиков Г. П., Кулагина М. Н. Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования: Обзор. информ / ВНИИТЭИагропром. М., 1992. 48 с.
- 27 Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Л.:Колос,1978. 560 с.
- 28 Ковалев Н.Г., Глазков И.К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. М.: Агропромиздат, 1989. 160 с.
- 29 Мелер Х., Хейнинг В. Постройки и оборудование для содержания КРС: / Пер. с нем. под ред. В. С. Алимова, М.: Колос, 1974. 560 с.
- 30 Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета: ОНТП 17-81. М.: Колос,1983. 32 с.
- 31 Астахов В. В. Оптимизация концентрации индустриального свиноводства с учетом экологических факторов // Достижения науки и техники. 1995. № 5. С. 33 – 35.
- 32 Зальгин А. Г. Механизация реконструируемых свиноводческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1990. 255 с.
- 33 Белянчиков Н. Н., Смирнов А. И. Механизация животноводства. М.: Колос, 1977. 368 с.
- 34 Зуев В. А. Научно-технические основы индустриальной технологии заготовки кормов и уборки навоза на фермах крупного рогатого скота.: Автореф. дис... д-ра техн. наук. М., 1972. 45 с.
- 35 Массо В. Я. Технологические основы навозного хозяйства на фермах для молочного скота Эстонской ССР: Автореф. дис... д.с.-х. наук. Таллин, 1974. 64 с.
- 36 Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: / Пер. с англ. под ред. А. Н. Шамко. М.: Колос, 1979. 415 с.
- 37 Тиво П. Ф., Дробот С. Г. Эффективное использование бесподстильного навоза. Минск: Ураджай, 1988. 116 с.
- 38 Бесподстильный навоз и его использование для удобрения: / Пер. с нем. М.: Колос, 1978. 271 с.
- 39 Мироненко М. А., Ярмолик И. Ф., Коваленко А. В. Санитарная охрана внешней среды в районах промышленно-животноводческих комплексов. М.: Медицина, 1978. 160 с.
- 40 Усачева И. Г., Поляков А. А. Эпизоотологические и гигиенические аспекты уборки навоза и обеззараживание сточных вод в крупных промышленных фермах. М.: ВИНТИ, 1972. 72 с.
- 41 Поляков А. А. Основы ветеринарной санитарии. М.: Колос, 1959. 496 с.
- 42 Кушнарев А. С. Проблемы повышения плодородия почв // Техника в сел. хоз-ве. 1989. № 1. С. 4 – 7.
- 43 Горбунов И. Б. Роль химии в повышении плодородия почв ЦЧЗ // Науч. тр. НИИСХ Центр. Чернозем. полосы. 1979. Вып. 16, № 1. С. 47 – 56.
- 44 Грачева Л. И., Шумляк Н. Н. Трубопроводный транспорт на животноводческих фермах. М.: Колос, 1979. 159 с.
- 45 Коба В. Г., Потапов В. В., Монидин Н. А. Потери напора при подаче текучих кормов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1969. № 12. С. 18-19.
- 46 Зуев В. А., Меликов Р. А. Расчет трубопроводной системы для транспортировки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1979. № 9. С. 23.
- 47 Марченко Н. М. Расчет трубопроводных систем для жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1975. № 6. С. 20-21.
- 48 Голушко А. С. Исследование транспортирования свиного навоза по трубам // Тр.ЧИМЭСХ. Челябинск, 1969. С. 27 – 30.
- 49 Харитонов М. Ф. Исследование местных потерь напора при гидротранспортировании жидких кормов и свиного навоза по трубам: Автореф. дис. канд. техн. наук. Л.- Пушкин, 1973. 20 с.
- 50 Казакевичус В. В. Исследование и обоснование технологии приготовления и внесения органических удобрений из свиноводческих комплексов с повторным использованием фильтра навоза: Автореф. дис... канд.техн. наук. Елагава, 1979. 18 с.
- 51 Капустин В. П., Тырнов Ю. А. Гидротранспортирование навоза по трубам. Информ. листок. Тамбов, ЦНТИ, 1974. № 59 – 74. 4 с.
- 52 Личман Г. И. Исследование процесса движения навоза по напорным трубопроводам с целью обоснования их параметров и режимов транспортирования: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1975. 27 с
- 53 Капустин В. П., Тырнов Ю. А. Анализ способов всасывания жидкости фекальными насосами // Механизация и автоматизация животноводческих ферм: Крат. тез. докл. конф. по электромеханизации. жив-ва. Тамбов, 1974. С. 101 – 103.
- 54 Капустин В. П., Тырнов Ю. А. Установка насосов выше уровня перекачиваемой массы // Животноводству – промышленную основу. ВАСХНИЛ, Отд. по нечерноз. зоне РСФСР. М., 1978. С. 40-41.
- 55 Смирнов П.П., Неманихин Л.Н. Фабрика свинины. М.: Россельхозиздат, 1971.73 с.
- 56 Временные рекомендации по проектированию систем удаления, транспортирования, обработки, обеззараживания и использования навоза, получаемого на животноводческих комплексах и фермах промышленного типа. М.: ГипроНИСЕЛЬХОЗ, 1975. 55 с.
- 57 Славин Р. М. Научные основы автоматизации производства в животноводстве и птицеводстве. М.: Колос, 1982. 373 с.
- 58 Проектирование и эксплуатация систем удаления, переработки и использования навоза ферм и комплексов КРС: Рекомендации. М.: Россельхозиздат, 1979. 63 с.
- 59 Ледин Н. П., Письменный В. К., Полищук В. И. Расчет мощности роторного устройства для уборки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1979. № 4. С. 22 – 24.
- 60 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 (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В.П. Капустин. № Гр 7707740; Инв. № Б 629569. Тамбов, 1976. 152 с.

- 61 Письменов В. Н. Получение и использование бесподстилочного навоза. М.: Россельхозиздат, 1988. 206 с.
- 62 Тырнов Ю. А. К вопросу определения оптимального размера навозоприемника // Тез. докл. обл. конф. по электромеханизации животноводства. Тамбов, 1976. С. 20-21.
- 63 Крупенин А. В. Движение жидких кормов и навоза по трубам // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1973. № 7. С. 18-19.
- 64 Сурнин В. И. Использование жидкого навоза. М.: Россельхозиздат, 1978. 64 с.
- 65 Голушко А.С. Исследование линейных и местных сопротивлений в навозопроводах на свиноводческих фермах: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1969. 31 с.
- 66 Новиков В. М., Игнатова В. В., Костанди Ф. Ф. и др. Механизация уборки и утилизации навоза. / Под ред. Ф. Ф. Костанди. М.: Колос, 1982. 285 с.
- 67 Верховский В. М., Мусаев А. Х, Шебалкин А. Е. и др. Физико-механические свойства жидкого бесподстилочного навоза. // Научные основы механизации внесения органических удобрений. М., 1974. С. 50 – 54.
- 68 Бацанов И. Н., Лукьяненок И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. М.: Россельхозиздат, 1977. 160 с.
- 69 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 (промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 735051. Тамбов, 1978. 133 с.
- 70 Зуев В. А., Тырнов Ю. А., Капустин В. П. Интегральные характеристики процесса гидротранспортирования смеси экскрементов // Вопросы механизации, технологии и строительства в свиноводстве: Тр. ВНИИМЖ.-Подольск, 1978. Т. 13. С. 31 – 37.
- 71 Тырнов Ю. А., Капустин В. П. Исследование процесса заиления трубопроводных систем // Вопросы механизации, технологии и строительства в свиноводстве: Тр. ВНИИМЖ. Подольск, 1979. С. 38 – 46.
- 72 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 (промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В.П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 693979. Тамбов, 1977. 147 с.
- 73 Письменов В. Н. Уборка, транспортировка и использование навоза. М.: Россельхозиздат, 1975. 200 с.
- 74 Ветеринарно-санитарные и гигиенические требования к устройству технологических линий удаления, обработки, обеззараживания и утилизации навоза, получаемого на животноводческих комплексах и фермах. М., 1979. 13 с.
- 75 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 (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 7707912; Инв. № Б 913155. Тамбов, 1980. 125 с.
- 76 Капустин В. П., Тырнов Ю. А. Определение допустимой высоты всасывания жидкого навоза фекальными насосами // Вопросы механизации, технологии и строительства в животноводстве: Тр. ВНИИМЖ. Подольск, 1975. Т. 7. С. 63 – 68.
- 77 Стариков А. С. Пути повышения производительности речных землесосов. М.: Речной транспорт, 1961. 152 с.
- 78 Крынько И. Н. Всасывающее бурение как метод повышения производительности скважин // Науч. тр. УСХА. Киев, 1974. Вып. 121. С. 36 – 42.
- 79 Климентов А. Н. К вопросу о выборе оптимального режима работы земснаряда // Гидротехническое строительство. 1951. № 12. С. 41 – 43.
- 80 Мирзаджанзаде А. Х. Гидравлика глинистых и цементных растворов. М.: Недра, 1966. 296 с.
- 81 Рабинович Е. З. Гидравлика. М.: Недра, 1974. 296 с.
- 82 Капустин В. П. Расчет параметров навозоприемника насосной станции // Техника в сел. хоз-ве. 1992. № 5-6. С. 13 – 15.
- 83 Юфин А. П. Гидромеханизация. М.: Стройиздат, 1974. 223 с.
- 84 Ковалев А. А., Тырнов Ю. А., Капустин В. П. Удельные потери давления в заиленных навозопроводах // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1981. № 5. С. 24 – 26.
- 85 Великанов М. А. Руслый процесс (основы теории). М.: Физматгиз, 1958. 231 с.
- 86 Кнэпп Р., Дейми Д. Кавитация. М.: Мир, 1974. 561 с.
- 87 Романков П. Г., Курочкин М. И. Гидромеханические процессы химической технологии. Л.: Химия, 1982. 288 с.
- 88 Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 752 с.
- 89 Жужиков В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. 4 изд. М.: Химия, 1980. 398 с.
- 90 Гришаев И. Д. Ветеринарно-санитарные аспекты обработки жидкого навоза // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч.-производств. конф. Минск 19-20 декабря 1979. Минск, 1979. С. 69-70.
- 91 Капустин В. П. Методика расчета поточной линии уборки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1982. № 7. С. 22 – 25.
- 92 Капустин В. П., Тырнов Ю. А. Установка для всасывания жидкого навоза фекальным насосом // Техника в сел. хоз-ве. 1975. № 7. С. 40-41.
- 93 Капустин В. П., Тырнов Ю. А. Установка насосов выше уровня перекачиваемой массы // Животноводству – промышленную основу. ВАСХНИЛ, Отд. по нечерноз. зоне РСФСР. М., 1978. С. 40-41.
- 94 Дружинин В. В., Конторов Д. С. Системотехника. М.: Радио и связь, 1985. 200 с.
- 95 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 (промежуточный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Руководитель В. П. Капустин. № Гр 77079120; Инв. № Б 844039. Тамбов, 1979. 112 с.
- 96 Саяпин В. А., Капустин В. П. Применение ленточного фильтр-пресса для разделения жидкого навоза // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. докл. науч. произв. конф., Минск, 19-20 декабря 1979 г. Минск, 1979. С. 87-88.

97 Харитонов М. Ф. Исследование местных потерь напора при гидротранспортировании жидких кормов и свиного навоза по трубам: Автореф. дис... канд. техн. наук. Л.- Пушкин, 1973. 20 с.

98 Капустин В. П., Гудухин В. Ф., Сарычев П. П. Автоматизированная поточная линия разделения жидкого навоза. // Механизация и электрофикация сел. хоз-ва. 1982. № 1. С. 30-31.

99 Жаловский С. М. Автоматизация удаления жидкого навоза. // Техника в сел. хоз-ве. 1976. № 12.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ	3
I ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА	5
1.1 Роль навоза в повышении плодородия почвы и улучшения экологической среды	5
1.2 Физико-механические и реологические свойства и химический состав навоза	8
.....	
Выводы	30
Список литературы	30
II УБОРКА НАВОЗА	40
2.1 Механический способ	40
2.2 Гидравлические способы	43
Выводы	72
Список литературы	74
III ТРАНСПОРТИРОВКА БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА	82
3.1 Анализ способов и средств транспортировки навоза	82
3.2 Анализ теоретических исследований транспортировки навоза	85
3.3 Математические модели описания процесса гидротранспорта жидкого навоза	87
.....	
3.4 Исследование процесса транспортирования бесподстилочного навоза по трубам	96
.....	
ВЫВОДЫ	122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122
