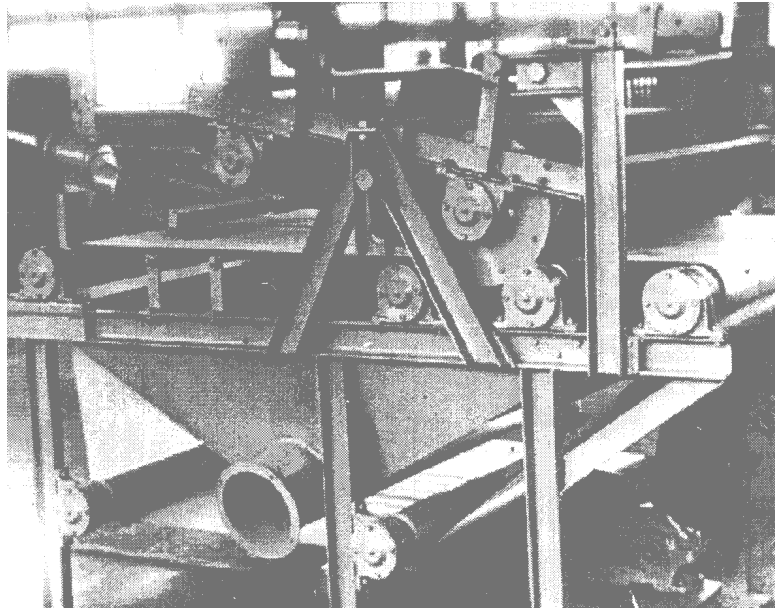


**В. П. КАПУСТИН**

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ  
ПЕРЕРАБОТКИ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО  
НАВОЗА**



Издательство ТГТУ

**В. П. КАПУСТИН**

# **ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА**

Тамбов

• Издательство ТГТУ •  
2002

УДК 631.862.1  
ББК П086-432  
К 207

Рецензент:

Доктор технических наук,  
заместитель директора по научной работе ВИИТиН,  
*А. Н. Зазуля*

**Капустин В. П.**

К 207 Обоснование способов и средств переработки бесподстилочного навоза / Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 80 с.  
ISBN 5-8265-0137-5

Описаны способы и средства разделения бесподстилочного навоза, биологической обработки и очистки жидкой фракции от взвешенных частиц.

Представлены результаты экспериментальных исследований установок для разделения жидкого навоза и математические модели процесса разделения навоза в ленточном фильтр-прессе, даны рекомендации по внедрению разработок.

УДК 631.862.1  
ББК П086-432

технический университет  
(ТГТУ), 2002  
© Капустин В. П., 2002

Научное издание

**КАПУСТИН Василий Петрович**

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ И  
СРЕДСТВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА**

Монография

Редактор Т. М. Федченко  
Инженер по компьютерному макетированию Е. В. Кораблева

ЛР №020851 от 13.01.94

П<sub>др</sub> № 020079 от 28.04.97

Подписано к печати 1.02.2002

Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Times. Объем: 4,65 усл. печ. л.; 4,53 уч.-изд. л.  
Тираж 50 экз. С. 74.

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

### Анализ способов и средств разделения жидкого навоза

Изучение способов и средств уборки и транспортировки навоза позволили сделать вывод о том, что в ближайшие 10 ... 15 лет на животноводческих фермах и комплексах преобладающими останутся бесподстилочные способы содержания животных, кроме того, прослеживаются тенденции к их совершенствованию.

В настоящее время как у нас в стране, так и за рубежом имеется множество технологий переработки и использования жидкого навоза. Понятие переработка бесподстилочного (жидкого) навоза включает следующие технологические операции: разделение, обеззараживание и очистка жидкой фракции от взвешенных частиц. После переработки навоз используется в качестве органического удобрения, из него получают кормовые дрожжи, биогаз, жидкое топливо, используют в качестве добавок в корм животным, на навозе выращивают червей, мух, ряску, сальвинию, хлореллу, на гидропонике выращивают зерновые культуры и т.д. [1, 2, 3, 4, 5].

Изобилие технологий вызывает различные мнения среди ученых и практиков о применении бесподстилочного навоза. Но все же большинство ученых придерживается единого мнения, что навоз необходимо после переработки использовать в качестве удобрения, так как он не только повышает содержание гумуса в почве, но и существенно улучшает ее физико-химические свойства, увеличивает запас питательных веществ, снижает кислотность, повышает содержание поглощенных оснований, поглощательную способность и буферность, влагоемкость, скважность и водопроницаемость, обогащает почву микрофлорой, усиливает биологическую активность и выделение углекислоты, уменьшает сопротивление при обработке [6, 7, 8, 9].

Для разделения жидкого навоза используют: естественный, механический и термический способы, рис. 1. При естественном способе разделения выделение твердых частиц происходит за счет силы тяжести и разности плотностей жидкой и твердой фракций в отстойниках, бункере-накопителе или контейнере.

Удаление жидкой фракции дренированием или фильтрованием при механическом способе осуществляется за счет центробежных сил, вибрации, сил тяжести - в гидроциклонах, осадительных и фильтрующих центрифугах, виброгрохотах, вибросите и дуговом сите. В фильтр-прессах, ленточных фильтрах используют избыточное давление или вакуум. При термическом способе удаление влаги из жидкого навоза происходит в сушилках за счет перепада давлений парциального и водяного пара.



Подобный вертикальный отстойник был разработан в ГИПРОНИСЕЛЬХОЗе [18]. Осадок из отстойника выпускается снизу по иловой трубе через выгрузное устройство, а плавающие частицы с поверхности отстойника 1 ... 3 раза в смену удаляются в лоток вручную.

К основным недостаткам этих отстойников относятся: применение ручного труда для удаления всплывших частиц с поверхности отстойника, большая общая высота, отсутствие контроля за выпуском осадка, периодичность работы, необходимость устройства теплоизоляции корпуса отстойника, большая влажность получаемого осадка, не удовлетворяющая агрозоотехническим и ветеринарным требованиям [10, 20, 21].

На свиноводческом комплексе "Восточный" Ленинградской области работают радиальные отстойники-сгустители из монолитного железобетона, оборудованные четырьмя скребками с центральным приводом для удаления осадка. Время отстаивания 3,3 ч при влажности поступающих стоков не более 98,5 %. Влажность получаемого осадка 94 % [22].

В практике встречаются полузаглубленные отстойники-накопители без донного дренажа прямоугольной формы, дно и стенки которых имеют твердое покрытие. С одной стороны расположен пандус, с другой - жижеотводная камера, соединенная с отстойником окном с сеткой [23]. Из-за частого забивания сетки и низкой эффективности такие отстойники накопители не нашли широкого распространения.

На свиноводческом комплексе "Кузнецовский" Московской области для обезвоживания осадков, полученных после разделения на виброситах, используют бункер-дозатор. За 10 ... 12 ч нахождения в бункере-дозаторе влажность осадка уменьшается с 85 до 75 % [20, 22].

Основными недостатками естественного способа разделения с помощью отстойников различных конструкций являются: малая производительность и эффективность, большая влажность получаемого осадка, который без дополнительной обработки (дообезвоживания и обеззараживания) использовать небезопасно, плохо приспособлены к динамическим изменениям (обладают узкой преемственностью и плохой управляемостью процессом), потери азота составляют до 30 % и массы навоза до 10 ... 25 %; отстойники открытого типа кроме того являются источником загрязнения окружающей среды, размножения мух, пристанищем птиц, которые, в случае эпизоотии, способны перемещать источники инфекционных болезней [4, 6, 19, 20].

В ФРГ, Англии и других странах в качестве фильтра используют тюки сена или соломы [19, 24]. Жидкий навоз подается в емкости, сложенные из солоmistых тюков. Навозная масса абсорбируется соломой, а жидкая фракция стекает в хранилище. Для ускорения процесса окисления через солому снизу вверх нагнетается воздух. При этом фильтруются взвешенные частицы и уничтожаются микробы, так как процесс протекает при температуре 333 К [25].

В США применяют фильтры, принцип действия которых основан на том, что инертный фильтр-наполнитель (гранулированный пластик или прутья зеленых насаждений) используют для образования обширных колоний аэробных бактерий, которые усваивают органическое вещество навоза [26].

Наряду с совершенствованием существующих технологий и технических средств уборки и разделения жидкого навоза разрабатываются и новые. Так на Украине испытан контейнерный способ уборки навоза с одновременным разделением на жидкую и твердую фракции. Сетчатый контейнер размером 1 × 2,2 × 1 м, вместимостью около 2 м<sup>3</sup>, устанавливается под щелевым полом. Наполнение его происходит за 90 ... 120 дней. Отфильтрованная жидкая фракция стекает по каналам к жижеборнику. Твердая фракция влажностью 81 ... 83 % после наполнения контейнеров перемещается к месту выгрузки. Влажность жидкой фракции составляет 97 ... 98 % [27]. Отсутствие данных о потерях азота, массы навоза, воздействии на окружающую среду и надежности устройства не позволяют рекомендовать его к широкому внедрению.

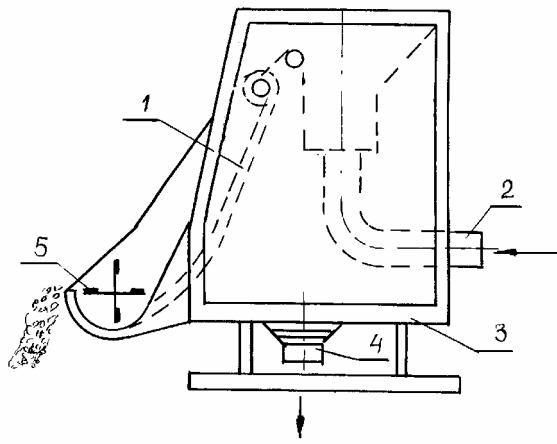
В Нидерландах разработана навозоуборочная установка с сетчатым транспортером, расположенным под щелевыми полами свинарника. Под сетчатым транспортером размещена емкость для сбора жидкой фракции. Навоз с сетки при ее наматывании на ролик счищается скребком на ленточный транспортер [28].

Из механических устройств для разделения навоза самым простым по конструкции и принципу действия является дуговое сито СДФ-50, рис. 2, которое состоит из сварной рамы с наклонно установленным желобом, ломаного дна, которое выполнено в виде шпальтовой сетки из прутков трапециевидного профиля [11]. Под ситом установлен поддон для фильтрата. Исходный навоз через подающую трубу поступает в приемный бачок с гасителем напора, переливается по распределительному лотку тонким слоем на сито по всей его площади, стекая по перфорированной поверхности сита, фильтруется и выводится в сборник. Твердая фракция сползает к нижнему краю сита, из которого лопастями бitera сбрасывается в накопительную емкость или на транспортер. Наклон сита регулируется. Производительность составляет 25 ... 50 м<sup>3</sup>/ч, эффективность разделения 30 ... 60 % при влажности исходного навоза более 96 %. Влажность твердой фракции составляет 86 ... 90 % и требует дополнительного обезвоживания. Жидкая фракция, полученная после разделения, способна при хранении к расслоению и ее необходимо осветлять в отстойниках [10, 11, 21, 29].

Недостатками дуговых сит являются: высокая влажность твердой фракции, фильтрат содержит много тонкодисперсных частиц, требуется ежесменная промывка и периодическая очистка фильтровальной поверхности, чувствительны к изменению влажности исходного навоза [10, 19].

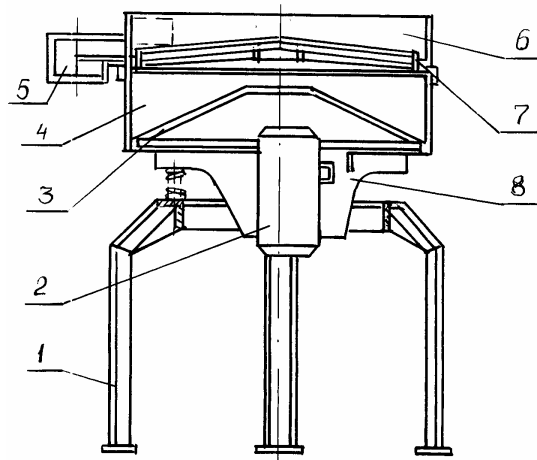
В Венгрии и Литве используются арочные сита английской фирмы "Виккерс", укомплектованные шнековым прессом, [30].

Впервые, у нас в стране, на свиноводческом комплексе "Кузнецовский" Московской области были применены динамические фильтры (вибросита) итальянской фирмы "ДЖИ-Э-ДЖИ", рис. 3. Динамический фильтр представляет собой бункер, верхняя часть которого обечайка диаметром 1 м и высотой 0,175 м имеет два диаметрально расположенные отверстия, в нижней его части на жесткую коническую обрешетку натянута фильтровальная сетка.



**Рис. 2 Дуговое сито СДФ:**

1 - полотно сита; 2 - подающая труба; 3 - корпус; 4 - отводная труба;  
5 - отжимное и сбросное устройство



**Рис. 3 Динамический фильтр фирмы "Дж-Э-Дж":**

1 - рама; 2 - мотор вибратора; 3 - коническое дно; 4 - нижний бункер;  
5 - лоток для вывода твердой фракции; 6 - верхний бункер;  
7 - фильтровальная сетка

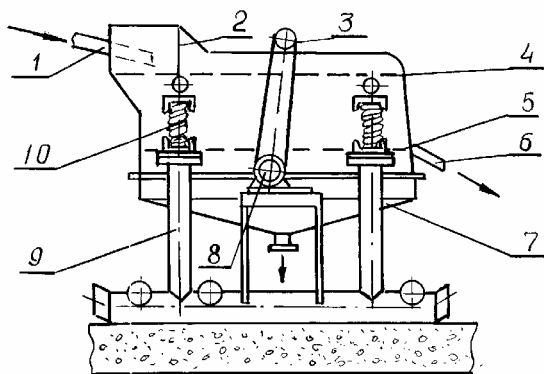
Процесс фильтрования происходит следующим образом. На вибрирующее сито в центр подают жидкий навоз. Жидкая фракция проходит сквозь сетку в нижний бункер и по лотку выходит в приемную воронку отводного трубопровода. Твердая фракция под действием инерционных сил сползает к периферии верхнего бункера и через отверстия в обечайке по лоткам выводится в приемный короб горизонтального транспортера.

Производительность по исходной массе влажностью 97 ... 98 % составляет 5 ... 6 м<sup>3</sup>/ч., эффективность осветления - 35 ... 45 %, влажность твердой фракции - 85 ... 90 %.

При влажности исходного навоза меньше 90 % динамические фильтры работают неудовлетворительно. Сетка забивается и прекращает фильтровать [18].

На многих фермах США используют вибрационные сепараторы фирмы "Corral Industries" [31]. Шведская фирма "Alfa Lawal" выпускает виброфильтры производительностью 2 ... 6 м<sup>3</sup>/ч, при получении твердой фракции влажностью 75 ... 85 % [19].

Виброгрохот ГИЛ-52, заимствованный из угольной промышленности, используется в совхозе "Белая дача" и "Серп и молот" Московской области при разделении свиного навоза, рис. 4, [32].



**Рис. 4** Схема виброгрохота ГИЛ-52:

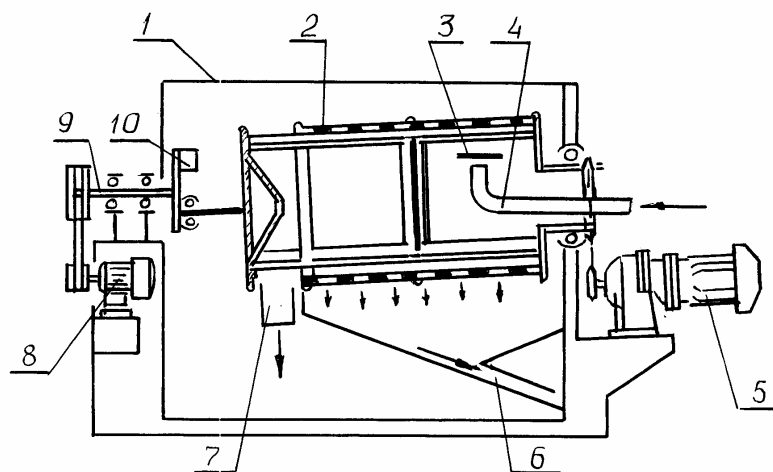
1 - распределительный лоток; 2 - корпус; 3 - вибратор;  
4, 5 - верхнее и нижнее сито; 6 - лоток для отвода твердой фракции;  
7 - поддон; 8 электродвигатель; 9 - поддерживающая рама; 10 - амортизатор

Исходная масса через распределительный лоток подается на верхнее сито и под действием инерционных сил отделяющаяся твердая фракция передвигается вдоль него к лотку. В то же время часть жидкого навоза проходит через отверстия в верхнем сите и попадает на нижнее, имеющее ячейки меньшего размера. Прошедшая через нижнее сито жидкая фракция собирается в поддоне, из которого отводится в жижеборник.

Производительность виброгрохота до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ , при влажности исходной массы  $94 \dots 98 \%$ . При этом твердая фракция имеет влажность  $78 \dots 82$  и жидкая  $97 \dots 98 \%$  [21, 32, 33].

Низкая эффективность разделения, высокая влажность твердой фракции, измельчение крупных частиц и высокие эксплуатационные затраты ограничили использование этих виброгрохотов [17, 18, 21].

Барабанный виброгрохот ГБН-100, рис. 5, предназначен для разделения навоза КРС влажностью более  $97 \%$  [34]. Виброгрохот состоит из фильтрующего барабана, заключенного в кожух и установленного в подшипниках на раме, которая через амортизаторы опирается на основную раму виброгрохота. Барабан вращается вокруг своей оси в цапфах. Привод его осуществляется от мотор-редуктора через цепную передачу. Цапфа со стороны привода имеет полулюк конструкцию и через нее введен загрузочный патрубок. Второй цапфой барабан через подшипники и корпус эксцентрика соединен с валом вибратора, подшипники которого являются второй опорой барабана [17, 35].



**Рис. 5** Схема ГБН-100:

1 - кожух; 2 - перфорированный барабан; 3 - отражательный щиток;  
4 - подводная труба; 5 - моторредуктор; 6 - труба для отвода жидкой фракции; 7 - выход твердой фракции; 8 - электродвигатель привода вибратора;  
9 - вал вибратора; 10 - балансировочный груз

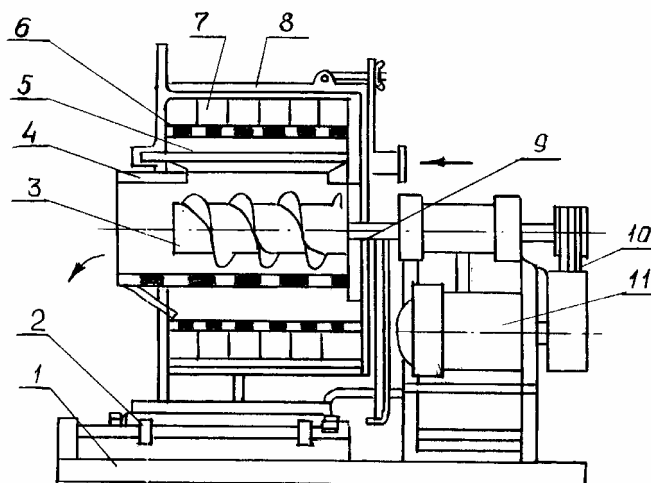
При работе виброгрохота жидкий навоз подают на перфорированную поверхность, который действием инерционных сил прижимается к фильтрующей поверхности, а за счет вибрации барабана перемещается в осевом направлении к выгрузному участку. Производительность барабанного виброгрохота  $40 \dots 80 \text{ м}^3/\text{ч}$ , влажность твердой фракции  $86 \dots 88 \%$ , эффективность разделения  $30 \dots 50 \%$ . Общая мощность электродвигателей  $2,3 \text{ кВт}$ . Барабанный виброгрохот имеет следующие недостатки: высокая влажность твердой фракции, восприимчивость к изменению влажности исходного навоза, необходимость периодической чистки сетки, измельчение твердых частиц, что приводит к снижению влажности жидкой фракции и необходимости дальнейшей ее очистки [16, 17, 18, 19, 21, 29, 35, 36].

На животноводческих комплексах для разделения жидкого навоза используются фильтрующие и осадительные центрифуги [15, 20, 22, 33, 36, 37].

Фильтрующая центрифуга УОН-700 конструкции (ВНИИМЖ), рис. 6, состоит из рамы с закрепленным кожухом, внутри которого на валу установлен фильтрующий ротор с лопатками и шнек. В нижней части кожуха предусмотрен патрубок для отвода жидкой фракции.



Привод осуществляется от электродвигателя мощностью 23 кВт. через клиноременную передачу, для равномерного распределения массы по всей ширине сетки выход питателя выполнен в виде щели, параллельной оси ротора. Твердая фракция отводится шнеком, а жидкая - самотеком.



**Рис. 6** Схема фильтрующей центрифуги УОН-700:

1 - рама; 2 - тележка мотора; 3 - шнек; 4 - кожух шека; 5 - нож;  
6 - фильтрующий ротор; 7 - лопатка; 8 - кожух; 9 - вал;  
10 - клиноременная передача; 11 - электродвигатель

При работе в центрифугу навозная масса поступает через фильтрующую поверхность вращающегося ротора, вместе с которой движется к неподвижно установленному ножу. Жидкая фракция под действием центробежной силы проходит сквозь поры в сетке и лопатками выбрасывается из кожуха через патрубок. Твердая фракция ножом сбрасывается на шнек, который выводит ее из центрифуги.

Производительность центрифуги при исходной влажности 94 ... 98 % составляет 60 ... 100 м<sup>3</sup>/ч. При этом влажность твердой фракции не превышает 78 ... 82 %, жидкой - 96 ... 98 %, эффективность осветления 40 ... 65 % [11].

К недостаткам УОН-700 и ее модификации относятся: быстрое истирание ножа и фильтровальной перегородки, низкая производительность при высокой энергоемкости, дробление крупных частиц и вытеснение их в жидкую фракцию - фугат. Значительное увеличение содержания сухого вещества в фугате вызывает необходимость разделения его в отстойниках, а высокая влажность твердой фракции требует дополнительного обезвоживания. Все это не позволяет широко использовать фильтрующие центрифуги на свиноводческих комплексах [16, 18, 20, 21, 29, 38].

Отличительной особенностью фильтрующей центрифуги конструкции Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИМЭСХ) от центрифуги УОН-700 является наличие цилиндрическо-конического ротора с конусообразной перегородкой, обеспечивающей поддержание оптимального слоя обрабатываемого навоза в роторе. Высокая степень обезвоживания твердой фракции - основное преимущество центрифуги конструкции ВНИПТИМЭСХа. Однако, значительный вынос частиц с фильтратом, сложный конструктивный исполнения ротора, дробление частиц твердой фракции транспортирующим шнеком, быстрый износ и закупорка фильтровальной перегородки сдерживают внедрение центрифуги в производство [16, 19].

Фильтрующая центрифуга РЖН-6224 конструкции Ярославского завода (ЯМЗ) отличается наличием продувочного устройства, обеспечивающего постоянную регенерацию фильтровальной перегородки ротора путем продувки сжатым воздухом.

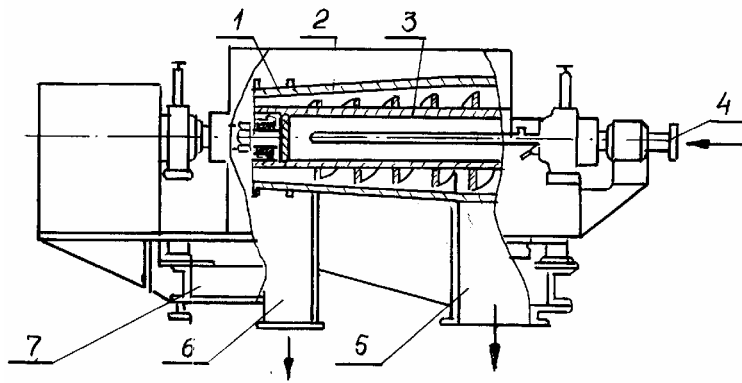
К недостаткам фильтрующей центрифуги ЯМЗ относятся: сложность конструкции, высокая загрязненность фильтрата мелкодисперсными частицами, высокая влажность осадка, для стабилизации процесса требуется предварительное сгущение жидкого навоза. Указанные недостатки ограничивают использование центрифуги в производстве [16, 19].

Центрифуги завода "Пензахиммаш" фильтрующие - коническая или лопастная работают совместно со сгустителем, [39]. Один из образцов такой центрифуги был испытан на комплексе "Панкратовский" Пензенской области. Производительность центрифуги при влажности исходного навоза 88 ... 90 % не превышает 20 м<sup>3</sup>/ч; влажность жидкой фракции 97 ... 98, твердой - 75 ... 78 %.

Сложность конструкции, большая энергоемкость, необходимость предварительного сгущения исходного навоза и подачи его под определенным давлением, загрязненность жидкой фракции и небольшая производительность не создают условий для применения центрифуги на крупных фермах и комплексах [19].

Осадительные центрифуги типа НОГШ-500, НОГШ-502 К-4, применяющиеся на свиноводческих комплексах совхоза "Лузинский" Омской области и в Теленешском районе Молдавии - горизонтальные, непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка [11, 22].

Центрифуга НОГШ-500 состоит из ротора, закрытого кожухом, внутри ротора установлен шнек, имеющий полый вал с отверстиями в цилиндрической поверхности, рис. 7. В корпусе центрифуги предусмотрены точки для выгрузки фугата и осадка, привод ротора и шнека осуществляется от электродвигателя, для принудительной смазки подшипников ротора и шнека используют маслонасос.



**Рис. 7** схема осадительной центрифуги НОГШ-500:  
 1 - ротор; 2 - кожух; 3 - шнек; 4 - вводной патрубок;  
 5 - точка фугаша; 6 - течка осадка; 7 - рама

Исходный навоз влажностью более 91 % поступает по трубе во внутреннюю полость вала шнека и через отверстия в стенках вала выходит в полость ротора. Под действием центробежных сил твердые частицы образуют слой осадка на поверхности ротора и шнеком медленно перемещаются по этой поверхности к меньшему основанию конического ротора. Осветленная жидкая фракция через отверстия в роторе отводится в течку.

Режим работы центрифуги можно регулировать путем изменения частоты вращения ротора и подачи исходного навоза.

Производительность по исходной массе влажностью 91 ... 94 % составляет 20 ... 25 т/ч, влажность твердой фракции - 65 ... 70, жидкой - 97,6 %, эффективность осветления - 80 ... 90 %. Мощность электропривода 32 кВт [14, 19, 21, 22, 40].

Вследствие энергоемкости, сложности привода, требований высококвалифицированного обслуживания, высокой чувствительности к влажности исходного навоза осадительные центрифуги типа НОГШ находят ограниченное применение.

За рубежом для разделения жидкого навоза используют осадительные и фильтрующие центрифуги различной производительности [30]. Например, в штате Калифорния США на молочной ферме "Шеде Гроу" на 640 дойных коров для разделения навоза используют центрифугу производительностью 7 м<sup>3</sup>/ч. Полученную твердую фракцию влажностью 65 ... 70 % подсушивают до 35 ... 40 % и частично используют на подстилку [41]. В штате Огайо используют центрифугу производительностью более 10 м<sup>3</sup>/ч [42].

Осадительная центрифуга "Шарплз" используется на животноводческих фермах Англии. Производительность центрифуги 4 ... 8 м<sup>3</sup>/ч, влажность твердой фракции в зависимости от влажности исходного навоза составляет 74 ... 83 %. Привод осуществляется от двигателя мощностью 30,8 кВт. [39].

В Швеции и Дании для разделения жидкого навоза применяют промышленные сепараторы "МОНО РИТР" производительностью 8 м<sup>3</sup>/ч и получают твердую фракцию влажностью 70 % [42].

В Чехословакии испытаны центрифуги Titan, выпускаемые датской фирмой Titan СМТ 026. При разделении навоза получены влажность твердой фракции 74,6, жидкой 98,6 % при производительности 11 м<sup>3</sup>/ч [43].

В Германии для разделения жидкого навоза используют осадительные и фильтрующие центрифуги и гидроциклоны [44, 45].

Взвешенные частицы из жидкого навоза под действием центробежных сил можно выделить не только в центрифугах, но и в аппаратах, не имеющих движущихся рабочих органов, например, в гидроциклонах [19, 30].

Гидроциклон представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрической и конической частей. В цилиндрической части имеются два отверстия: одно - для подачи жидкого навоза, обеспечивающее поступление струи по касательной к внутренней поверхности цилиндра, другое - для выпуска осветленной фракции.

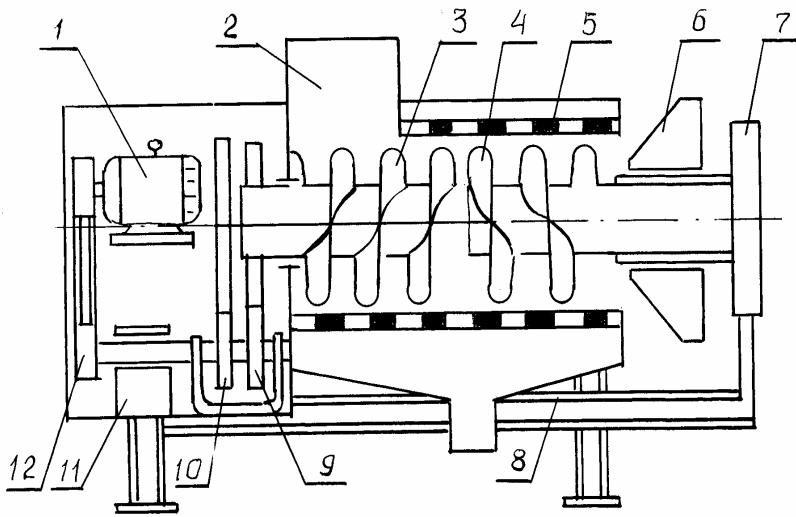
В вершине конической части гидроциклона находится нижнее сливное отверстие для выпуска сгущенной фракции. Под действием центробежных сил тяжелые частицы осаждаются на конусной части гидроциклона, а легкие поднимаются вверх.

Эффективность осветления в гидроциклоне составляет 45 ... 75 %. Устойчивость работы гидроциклона зависит от однородности и постоянства концентрации исходного навоза, которые трудно обеспечить. Поэтому наиболее эффективно их используют для осветления жидкой фракции, полученной на фильтровальных установках. В этом случае они могут заменять громоздкие отстойники, выдавая при этом осветленную жидкую фракцию и сгущенный осадок влажностью 75 ... 82 % [46], 90 ... 92 % [47] или 85 % [48].

Несмотря на компактность, малую металлоемкость, энергоемкость и простоту обслуживания, при работе гидроциклона быстро изнашивается внутренняя поверхность, забивается выходное отверстие твердой фракции [19].

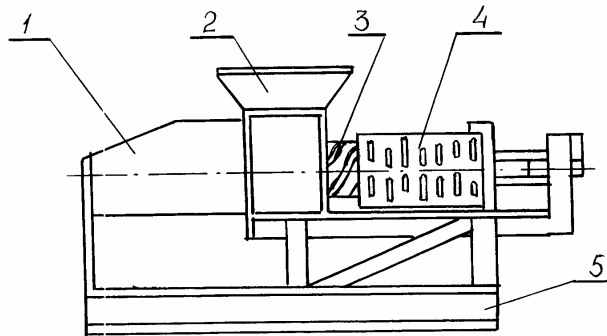
Для дообезвоживания получаемой на виброгрохотах твердой фракции, пригодной для биотермического обеззараживания в буртах в естественных условиях, используют прессы шнековые ВПНД-5, ВПНД-10, ВПО-20, рис. 8 [10, 21, 22, 32, 36, 49], заимствованные из пищевой промышленности и специально изготовленный для переработки навоза - пресс-фильтр ПЖН-68 [50].

Пресс-фильтр ПЖН-68 состоит из рамы, корпуса и перфорированного цилиндра, транспортирующего и прессующего шнеков, нажимного корпуса, гидропривода и электродвигателя с редуктором, рис. 9.



**Рис. 8** Схема шнекового пресса ВПО-20:

- 1 - электродвигатель; 2 - загрузочный бункер; 3 - подающий шнек;  
 4 - прессующий шнек; 5 - перфорированный цилиндр; 6 - нажимной конус; 7 - гидропривод нажимного привода; 8 - кожух; 9 - передача на транспортирующий шнек; 10 - передача на прессующий шнек;  
 11 - редуктор; 12 - клиноременная передача



**Рис. 9** Схема пресс-фильтра ПЖН-68:

- 1 - электропривод; 2 - загрузочная воронка; 3 - прессующий шнек;  
 4 - сепарирующий барабан; 5 - станина

При поступлении в загрузочную горловину исходного навоза влажностью 82 ... 89 % транспортирующим шнеком он перемещается в перфорированный цилиндр. Под действием двух шнеков, вращающихся с разной скоростью, происходит отжатие массы, сопровождающееся выделением жидкости, которая через отверстие в цилиндре отводится в емкость. По конструктивному исполнению прессы ВПНД-5, ВПНД-10 и ВПО-20 от ПЖН-68 отличаются незначительно, их производительность по исходному навозу составляет 5, 10, 20 и 17 т/ч соответственно, влажность твердой фракции после разделения - 65 ... 70, жидкой - 96 ... 98 % [3, 19, 21, 32, 51].

Недостатками, ограничивающими применение шнековых пресс-фильтров, являются: большая энергоемкость и металлоемкость, получение фильтрата пониженной влажности, сложность в обслуживании, заключающаяся в постоянной чистке шнека и перфорированного цилиндра, восприимчивость к изменению и ограничению влажности исходного навоза [19, 23, 52].

Для разделения осадков сточных вод промышленных городов и жидкого навоза применяются вакуумные фильтры [53]. Типовая схема вакуумных фильтров включает: резервуар для приема фильтруемых стоков, насос-дозатор, ресивер, воздуходувку и насос для откачки фильтрата [53].

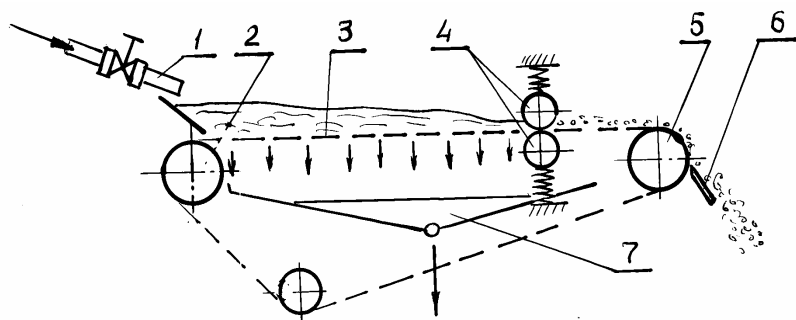
Ленточный вакуумный фильтр ЛТ-1,6-0,5 при влажности исходного навоза 94 ... 97 % выделяет твердую фракцию влажностью 76 ... 82 % и имеет производительность 4 ... 10 м<sup>3</sup>/ч. Привод осуществляется от электродвигателя мощностью 3 кВт.

Ленточный вакуум-фильтр, работая в суженном диапазоне влажности, при сильном закупоривании ячеек фильтрующего элемента позволяет получать хорошее качество очистки и пониженную влажность твердой фракции, удовлетворяющие агрозоотребованиям, при небольшой производительности.

Вакуумные фильтры не получили широкого распространения из-за значительной энергоемкости, низкой производительности и больших эксплуатационных затрат [19, 21].

Существует более ста разработанных устройств для разделения жидкого навоза, но не прошедших ни экспериментальных, ни производственных испытаний. Среди них различные по конструктивному исполнению дуговые сита с механизмами для дополнительного обезвоживания [54, 55.], шнековые прессы [56, 57], барабанные разделители [58, 59], вакуумные фильтры [60, 61], фильтрующие центрифуги [62]. Так как результатов исследований перечисленных устройств не имеется, то о их преимуществах и недостатках судить не представляется возможным.

Во Франции нашел широкое применение ленточный фильтр "Сафите", рис. 10. Он состоит из сварной рамы с поддоном для жидкой фракции, приводной станции, ведущего и ведомого валиков, нейлоновой фильтрующей ленты, двух обрезиненных отжимных валиков, выравнивающего ролика с пневмоцилиндром наведения ленты и защитного кожуха.



**Рис. 10** Схема ленточного фильтра "Сафите":

1 - подводная труба; 2 - исходный навоз; 3 - нейлоновая фильтрующая лента; 4 - подпружиненные обрезающие валики; 5 - ведущий барабан; 6 - чистик; 7 - поддон для жидкой фракции

Жидкий навоз насосом подается через разделительное устройство на ленту приемного лотка, движущаяся лента захватывает навоз и подает его между двумя подпружиненными валиками. При этом жидкость проходит сквозь ленту через выгрузную трубу и отводится в резервуар, а отжатая валиками твердая фракция очищается с ленты скребком и попадает на транспортер. Установка может работать в автоматическом режиме или на ручном управлении.

Производительность ленточного фильтра "Сафите" в зависимости от исходной массы 4 ... 6 м<sup>3</sup>/ч. Мощность привода 0,3 кВт, эффективность осветления 80 ... 90 %, влажность твердой фракции 75 %. В жидкой фракции при длительном хранении не образуется всплывающей корки, поэтому для ее хранения могут быть использованы более дешевые полевые хранилища. Твердая фракция может быть подвергнута буртованию при рыхлой укладке. В этом случае в бурте протекают биотермические процессы, обеспечивающие дегельминтизацию и дезодорацию массы.

На установке можно разделять любой бесподстилочный навоз, полученный при механических и гидравлических способах [11].

В связи с тем, что ленточный фильтр "Сафите" имеет малую производительность, его целесообразно использовать на крупных животноводческих комплексах [22].

В табл. 1 представлены показатели эффективности устройств для разделения жидкого навоза, полученные различными исследователями. Из табл. 1 видно, что по влажности получаемой твердой фракции агротехническим и ветеринарным требованиям удовлетворяют осадительная центрифуга типа НОГШ, центрифуги ВНИПТИМЭСХ и ЯМЗ, пресс шнековый ВПО-20, пресс-фильтр ПЖН-68 и ленточный фильтр "Сафите". Наибольшую эффективность разделения имеет ленточный фильтр "Сафите", осадительная центрифуга и пресс-фильтр ПЖН-68. Однако прессы работают хорошо при влажности исходного навоза 78 ... 89 %, а осадительная центрифуга 91 ... 94 % и ленточный фильтр 90 ... 96 %.

Из приведенных данных следует, что только осадительная центрифуга и ленточный фильтр "Сафите" способны разделять исходный навоз без предварительной подготовки на твердую и жидкую фракции, удовлетворяющие агротехническим и ветеринарным требованиям. Технология разделения жидкого навоза позволяет сократить на 70 % погрузо-разгрузочные и транспортные работы, благодаря применению трубопроводов, снизить потери навоза, питательных веществ и исключить загрязнение территории. По данной технологии уменьшается объем дорогостоящих бетонированных навозохранилищ, обеспечивается использование фракций, облегчаются условия труда благодаря возможности комплексной механизации и автоматизации операций приготовления, хранения, погрузки, транспортировки и внесения их в почву [32, 46].

### 1 Показатели эффективности механических средств разделения жидкого навоза

Устройство и литературные источники	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Влажность, %			Эффективность осветления	
		3	4	5		
1	2	3	4	5	6	
Дуговое сито	19	50	94 ... 99	88	-	-
	39	50	92 ... 96	-	-	30 ... 60
	198	60	94 ... 98	86,6	98,6	-
	207	50 ... 60	-	86 ... 88	-	30 ... 35
	218	60	97 ... 98	86 ... 90	96	30 ... 40
Динамический фильтр	50	6 ... 8	97 ... 98	85 ... 90	96	35 ... 40
	70	5	98	85	99	-
	207	6 ... 8	-	86 ... 88	-	35 ... 40
Вибро-грохот плоский	50	100	-	82 ... 85	99	-
	70	100	94 ... 98	78 ... 81	97 ... 99	-
	126	-	95 ... 97	88 ... 91	97 ... 98	40 ... 50
	198	100 ... 120	98 ... 98,5	85 ... 89	98 ... 98,6	-
	207	100 ... 120	-	84 ... 86	-	45 ... 50

Вибро- грохот бара- банный ГБН-1000	19	100	93 ... 99	-	-	22
	39	100	97 ... 99	84 ... 85	-	20
	41	40 ... 80	-	86 ... 88	-	30 ... 50
	145	70 ... 80	95 ... 96	84 ... 86	-	35 ... 40
	198	35 ... 100	90 ... 99	86 ... 88	97 ... 99	-
	218	40 ... 80	96 ... 98	84 ... 86	-	30 ... 50
	126	-	93 ... 94	81 ... 84	96 ... 98	40 ... 60
Фильтру- ющая центри- фуга УОН-700	19,5	50 ... 120	94 ... 98	73 ... 75	-	40 ... 65
	70	40	96	75	98	
	126	-	94 ... 96	73 ... 75	96 ... 98	40 ... 60
	128	30 ... 100	90 ... 99	70 ... 92	98,4	-
	207	39 ... 40	-	80 ... 82	-	40 ... 50

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	
Осади- тельная центри- фуга типа НОГШ	19,5	20 ... 25	91 ... 94	67 ... 70	-	80 ... 90
	38	18,6	90,3	67,4	96,6	-
	70	25	90	67	97	-
	198	15 ... 18	90 ... 96	65 ... 70	96,6	-
	208	15 ... 28	91 ... 93	62 ... 67	-	60 ... 80
Центриф уга ВНИПТИ МЭСХ	198	20 ... 30	97 ... 98	97 ... 70	97 ... 98	-
Центри- фуга ЯМЗ	198	18	96,3	75,4	98	
Пресс шнеко- вый ВПО-20	39	-	85	65 ... 70	-	-
	50	20	82 ... 85	65 ... 70	-	-
	70	20	92	67	95	-
	126	-	82 ... 85	65 ... 70	96 ... 98	-
	145	25	78 ... 82	58 ... 62	-	-
	198	10 ... 20	82 ... 89	65 ... 73	-	-
Пресс ПЖН-68	19	10	98	75	-	-
	39	6 ... 10	84 ... 92	65 ... 68	-	75 ... 80
	41	6 ... 10	84 ... 92	65 ... 72	97	-
Гидро- циклон	50	-	-	90 ... 92	-	-
	226	-	97	85	-	-
	227	-	-	75 ... 82	-	-
Ленточ- ный фильтр: "Сафите"	50	-	90	75	96	-
	198	4 ... 6	90	75	98	-
	222	-	90	75	-	-
	220	6	91	84,4	99,1	-

Представленные в табл. 1 данные показывают, что оценка эффективности разделительных устройств проводится по производительности, влажности полученных твердой и жидкой фракций и фактору разделения, которые не дают полной картины процесса разделения, снижения энергоемкости и металлоемкости существующих и разрабатываемых машин.

Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод о том, что для разделения жидкого навоза используется малопроизводительное оборудование, дорогое и сложное в эксплуатации. Установленные в поток технические средства не всегда увязаны по производительности, требуют больших капитальных затрат, отличаются высокой энергоемкостью и металлоемкостью, не обеспечивают подготовку кондиционных продуктов, отвечающих агро- и ветеринарным требованиям, что приводит к загрязнению окружающей среды и снижению качества навоза.

Изучение способов и средств разделения жидкого навоза выявляет возможности повышения эффективности процесса. Однако они не предполагают существенного повышения эффективности, поэтому, наряду с совершенствованием существующих способов и средств, необходимо продолжить поиск новых путей решения проблемы.

### Способы и средства биологической обработки навоза

Для интенсификации процесса разложения и осаждения органической массы в исходном жидком навозе применяют системы переработки, основанные на анаэробном процессе, действии микроорганизмов, использующих кислород и разлагающих органическое вещество на углекислый газ и воду. По степени интенсивности окислительного процесса аэробные системы подразделяют на пруды с естественной аэрацией, аэробные лагуны или биологические пруды с механической аэрацией, окислительные траншеи и аэротенки [63].

В результате окислительного процесса значительно ускоряется осаждение твердой фракции жидкого навоза и уменьшается интенсивность запаха.

Окислительные каналы и траншеи получили распространение как у нас в стране, так и за рубежом [33, 63, 64, 65]. В системе биохимической очистки окислительные каналы эффективнее аэротенков, особенно при обработке малых объемов навоза [22].

На животноводческих фермах и комплексах страны для биологической очистки жидкого навоза используют бетонные и металлические аэротенки [37, 66, 67].

В Ростовской области В. П. Коваленко [64] исследован процесс аэробно-анаэробно биоферментации в заглубленном бетонном реакторе. В реактор послойно загружают солому и навоз, герметично закрывают. Через 2-е суток температура поднимается до 323 ... 328 К.

В Тверской области [65], совместно с американской фирмой "Биоферм", применяют технологию переработки сырья на основе биооконверсии компостной смеси в ферментаторах. Процесс ферментации массы длится 5 ... 7 суток при температуре 333 ... 343 К.

Основным недостатком этих способов является то, что для развития процесса необходимо иметь влажность исходного навоза меньше 55 %.

Система "Ликом" фирмы Альфа - Лаваль предназначена для переработки жидкого навоза в аэраторах и цилиндрическом баке, благодаря насыщению кислородом, при этом сохраняются все питательные вещества [30].

Несмотря на распространение анаэробного разложения навоза в различных устройствах, этот способ имеет существенные недостатки. При работе аэротенков образуются застойные зоны и требуются устройства для выгрузки ила, в северных районах необходимо аэраторы размещать в отапливаемых помещениях [63]. Обработка жидкого навоза в аэротенках и окислительных каналах приводит к потерям до 90 % азота и 5 ... 25 % углерода по одним источникам [37, 66], по другим уменьшение питательных веществ происходит в 9 ... 10 раз [41].

Процесс дегельминтизации при анаэробном разложении достигается на 94 ... 100 %. Из-за больших потерь питательных веществ, значительных затрат электроэнергии имеются рекомендации по запрещению обработки навоза в аэротенках [36, 68].

В совхозе "Знамя Октября" Московской области с целью ускорения процесса окисления органической массы был испытан биофильтр [69]. Из-за низкой производительности, сложности в изготовлении и эксплуатации биофильтры не нашли применения.

Анаэробное сбраживание навоза в метантенках является микробиологическим способом переработки навоза. В результате брожения выделяется горючий газ и получается качественное удобрение без потерь азота, фосфора и калия [2, 10, 20, 67, 70, 71, 72, 73, 74, 75].

Процесс сбраживания навоза может осуществляться при мезофильном (температура 293 ... 313 К) и термофильном (температура 313 ... 328 К) режимах. Для протекания процесса сбраживания температуру навозной массы поддерживают на постоянном уровне, на что теряется до 50 % выделяемого газа, содержащего 55 ... 70 % метана, 27 ... 44 % углекислого газа с примесью сероводорода до 3 %, калорийностью 5000 ... 5500 ккал/кг [67].

Для сбраживания необходим навоз влажностью 89 ... 94 %. При термофильном сбраживании скорость загрузки в 2 ... 3 раза выше, чем при мезофильном и составляет 15 ... 20 и 2 ... 10 % соответственно [72], поэтому в первом случае образуется на 25 % газа больше и теплотворная способность его повышается на 7 %

Переработка 10 % животноводческих стоков в стране позволит произвести 69,2 млн. м<sup>3</sup> газа в год, что эквивалентно условному топливу 54,3 млн. т. Кроме того, получаемый газ можно переработать в кормовой белок для добавки в корм животным [74], а сброженный навоз использовать как ценное органическое удобрение [2, 67].

В России и странах СНГ разработано и построено несколько биогазовых установок [75]. Промышленностью осваивается выпуск комплекта оборудования для анаэробного сбраживания "Кобос" и К-Р-9-1, которые могут использоваться на фермах на 400 ... 800 голов КРС, а также на 3 ... 6 тыс. голов свиней [20, 75, 76].

В настоящее время в мире используют биогазовые установки более чем в 55 странах, в том числе в крупных и промышленно развитых странах - Китае [77], США [78], ФРГ [79], Франции [80], Англии, Японии [81], Швейцарии [82] и Чехословакии [83].

Биогазовые установки зарубежных стран отличаются от отечественных, в основном, конструкцией метантенков.

Существенные недостатки, которые не позволяют широко применять биогазовые установки в нашей стране следующие. Необходимость подготовки для сбраживания навоза влажностью 89 ... 94 %, обеззараживание массы происходит при температуре 323 ... 328 К [84], поэтому от 30 до 100 % биогаза расходуется на поддержание процесса [75, 78], не решает проблемы утилизации иловой воды, полученной в результате сбраживания [85], теряется от 5 до 12 % азота и до 25 % углерода, несовершенство конструкции метантенков, жесткие режимы процесса (поддержание постоянной температуры и влажности), большие капитальные и эксплуатационные затраты [67], отсутствие объективных методик оценки эффективности такой технологии [86].

Распространенными способами обработки жидкого навоза перед использованием являются гомогенизация и компостирование [10, 22, 32, 33, 35, 36, 87].

Навозохранилища-гомогенизаторы являются дорогостоящими, громоздкими сооружениями, потребляют много энергии, при длительном хранении и перемешивании жидкого навоза потери азота составляют до 50 %, сухого вещества до 14 % [11, 16]. Кроме того

этот способ не обеспечивает полного обеззараживания жидкого навоза от яиц и личинок гельминтов и способствует загрязнению окружающей среды [4].

Один из способов переработки жидкого навоза - компостирование его с торфом и добавление минеральных удобрений в специальном цехе, на фабрике или специальных площадках [11, 16, 20, 30, 32, 33, 36].

При компостировании торфа с навозом устраняется его излишняя кислотность, создаются условия для активизации биологических процессов, ускоряется разложение торфа, благодаря чему несколько увеличивается количество подвижного азота, доступного растениям [21]. Компостирование на торфяной основе позволяет мобилизовать инертное органическое вещество торфа и в 1,5 ... 2,0 раза увеличить выход высококачественного удобрения, которое по эффективности не уступает навозу [29].

Для приготовления компоста на специальных площадках разработаны типовые проекты 801-9-19.84, 801-9-20.84, 801-9-21.84 производительностью 5, 10 и 20 тыс. т в год для молочных ферм с поголовьем 100, 200 и 400 коров при влажности получаемого навоза 88 ... 92 % [22].

На комплексе "Новый свет" Ленинградской области эксплуатируется фабрика компостов, которая перерабатывает суточный выход свиного навоза в объеме 650 ... 800 м<sup>3</sup>.

К недостаткам компостирования относятся: высокая стоимость компостов, большие транспортные расходы, большой расход торфа, низкое качество приготовления компоста, особенно на площадках, ограниченность применения компоста по климатическим зонам страны, не обеззараживается от яиц и личинок гельминтов, что способствует загрязнению окружающей среды [10, 20, 22].

Суть переработки жидкого навоза с помощью гидропоники заключается в том, что в сооружениях переработки навоза на навозопроницаемом основании настилают слой органического субстрата (солома, опилки, торф и другие в смеси или по отдельности), куда высеваются семена зерновых культур, которые на 20 ... 40 мм заделывают субстратом [88]. Ввиду отсутствия производственного опыта переработки навоза с помощью гидропоники нет оснований рекомендовать его к широкому использованию.

Попытка получения кормовых дрожжей и вестлажа из навоза, выращивание личинок мух предпринималась в ряде стран [20, 67, 89].

Технология получения и скармливания высушенного навоза была применена в Молдавии. Откорм свиней на Котовском свиноводческом комплексе подтверждает безвредность скармливания свиньям муки из свиного навоза и возможность замены им 10 ... 15 % (по массе) концентрированных кормов. Однако массовое использование высушенного навоза для скармливания свиньям не получило широкого распространения ввиду высокой стоимости его переработки и отсутствия в нем обогащающих комбикорма питательных веществ [33].

В университете штата Флорида (США) разработана технология получения растительных кормов из навозных стоков, в полученном продукте содержится до 40 % протеина [90].

Фирма "Coral Industries" (США) разработала систему комбинированной переработки навоза для крупных животноводческих ферм, расположенных в различных зонах страны. Сначала навоз обрабатывают слабым раствором серной кислоты, затем обеззараживают хлором и разделяют. Твердую фракцию обрабатывают раствором формальдегида. Часть обработанной твердой фракции используют в корм скоту, жидкую - для полива полей.

В США используют в корм скоту навозный силос вестлаж. Корм состоит из 57 частей навоза и 43 частей сена. Эта смесь созревает в течение 3 недель в силосохранилищах и содержит до 12 % сухого протеина [20]. Одной из перспективных технологий переработки навоза, как считают Бескровный Ю. Г., Козинец М. В., Бойко В. И. и другие, является получение биогаза [91]. Использование червей для получения биогаза нашло широкое распространение в США, Японии, Испании, Италии, Франции и других странах [91].

Необходимым условием подготовки субстрата для червей является хранение отходов в течение определенного времени, иначе возможна гибель червей из-за повышения температуры и выделения газов, образующихся в результате гниения отходов.

В Венгрии на 10 т навоза вносят 1 млн. червей или на 1 м<sup>3</sup> - 20 ... 40 тыс. экземпляров. Процесс переработки длится 3 месяца при температуре 293 ... 303 К [92]. Сведений о получении вермикомпоста на животноводческих фермах нашей страны не имеется [91].

После разделения жидкую фракцию подвергают различным видам обработки с целью доведения ее до норм агрозоотехнических и ветеринарных требований, после чего осветленную жидкость можно безопасно использовать на орошении, на смыве осадка из каналов или спускать в водоемы, а осадок - твердую фракцию, полученную в результате обработки - в качестве органических удобрений.

При очистке жидкой фракции используются отстаивание, выдержка, аэробная и анаэробная обработки, естественная аэрация и испарение, фильтрование, химическая и электрическая коагуляции, флотация, озонирование и др. [1, 2, 3, 6, 15, 16, 19, 20, 21, 31, 36, 37, 66, 67, 92, 93, 94, 95].

Биологическую очистку жидкой фракции применяют на свиноводческих комплексах мощностью 54, 108, и 216 тыс. голов в год в районах с недостаточным количеством земельных угодий для использования всего объема стоков в качестве органического удобрения. Для биологической обработки пригоден навоз влажностью более 93 % [93].

В результате биологической обработки достигается минерализация органического субстрата, снижается уровень запаха, повышается стабильность очистки, происходит перераспределение биогенных элементов органического вещества между жидкой и твердой фазами, снижается микробная обсемененность и содержание яиц гельминтов [94].

### **Очистка жидкой фракции от взвешенных частиц**

Для очистки жидкой фракции от взвешенных частиц наибольшее применение нашли аэротенки на промышленных комплексах "Кузнецовский" Московской области, "Поволжский" - Самарской области, "Калитянский" - Киевской, "Пашский" - Ленинградской, "Апостоловский" - Днепропетровской областей [18, 22, 67, 95].

При обработке жидкой фракции в аэротенках, в среднем, количество взвешенных частиц снижается на 70 ... 80 %, углерода на 25 ... 40 %.

После биологической очистки в аэротенках осветленная жидкость для доочистки может быть направлена после отстойников в биологические пруды или рыбоводно-биологические пруды. Успешно работают рыбоводно-биологические пруды в опытном хозяйстве "Кленово-Чегодаево" Московской области и совхозе "Шуваловский" Костромской области [20].

Обработка навоза на сельскохозяйственных полях орошения основана на очищающих способностях почвы и почвенной микрофлоры под действием солнца, воздуха и жизнедеятельности растений. Органические вещества, содержащиеся в жидкой фракции навоза, проходя по капиллярам через активный слой почвы, окисляются до углекислого газа, воды, нитратов и сульфатов. Непрерывность окислительного процесса обеспечивается за счет постоянного поступления вместе с жидкостью атмосферного кислорода.

Земледельческие поля орошения отличаются от других типов очистных сооружений тем, что позволяют: сократить капитальные и эксплуатационные затраты; обеспечить получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур на малопродуктивных в обычных условиях землях [96]. Вместе с тем следует отметить, что использовать жидкую фракцию навоза в течение года можно ограниченное время, при наличии полей орошения и залегания грунтовых вод не выше 2 м.

Установлено, что в результате обработки жидкой фракции на сооружениях искусственной биологической очистки теряется до 75 % азота, 15 % калия, до 80 % фосфора и внесение очищенной жидкой фракции свиного навоза не всегда дает прибавку урожая [66].

Для ускорения процесса осаждения взвешенных частиц и устранения цветности в практике очистки промышленных сточных вод и жидкой фракции навоза используют коагулирование. При добавлении к воде химических веществ-коагулянтов происходит осаждение взвешенных частиц и коллоидной взвеси. В качестве коагулянтов применяют сернокислый алюминий, хлорид железа, гидроксид кальция, карбонат кальция, хлорид цинка [1, 6, 20, 30, 67, 91, 97, 98], доза коагулянта в зависимости от pH воды, ее температуры наличия в ней бикарбонатов гуминовых кислот, характера взвеси и т.д. составляет от 0,1 до 30 % (от массы исходной фракции) [99].

Для повышения эффективности коагулирования применяют ультразвук или дробное внесение разнотипных коагулянтов [97]. С помощью коагуляции можно увеличить количество питательных веществ в осадке путем нарушения устойчивости коллоидно-дисперсной системы и переводом ионо-растворимых веществ в нерастворимые соединения [6, 97].

Применение дробного коагулирования с предварительным сгущением осадков позволяет снизить влажность обезвоженного осадка на ленточных фильтр-прессах с 80 ... 85 до 72 ... 75 %, по сравнению с центрифугированием, что делает их конкурентноспособными.

Очистка жидкой фракции навоза только с использованием коагулянтов сдерживает их применение из-за большого расхода дорогостоящих материалов.

Электрокоагуляция основана на пропускании через сточные воды постоянного электрического тока с помощью погруженных заряженных электродов. В результате обработки жидкости влажностью не менее 98,5 % в электрическом поле коллоидные частицы разноименно заряжаются, притягиваются друг к другу, уплотняются и выпадают в осадок в отстойнике [6, 22, 53, 66, 67, 100].

Электрокоагуляция имеет определенные преимущества перед обработкой сточных вод с использованием химических реагентов, упрощая технологию и эксплуатацию установок, но требует значительных затрат электроэнергии и металла, который в виде гидросмеси собирается в осадке [53].

Флотация - один из способов удаления из жидкой фракции нерастворенных примесей и пузырьков тонкодиспергированного в жидкости воздуха. Повышение устойчивости пузырьков воздуха достигается введением в поток реагентов-пенообразователей.

Флотационные установки широко применяют при очистке сточных вод во многих отраслях промышленности [17, 20]. Имеются сведения об использовании электрофлотаторов при очистке жидкой фракции навоза [20, 100, 101, 102]. Установлено, что расход электроэнергии на обработку 1 м<sup>3</sup> при электрофлотации меньше, чем при электрокоагуляции, особенно после предварительного хлорирования исходной жидкой фракции.

Недостатком флотации являются - высокая влажность пенного продукта (91 ... 93 %) и связанная с этим необходимость его обезвоживания, высокие эксплуатационные издержки и небольшая производительность [17].

Хорошие показатели качества очистки жидкой фракции навоза достигнуты на экспериментальной ультрафильтрационной установке, принцип действия которой основан на использовании полупроницаемых мембран, через которые проходит очищенная жидкость. Очищенная таким способом вода может использоваться на орошении и смыве осадка из каналов. Ультрафильтрационные установки позволяют сократить в 4 ... 5 раз земельные площади под очистные сооружения и уменьшить загрязнение окружающей среды. Однако, из-за низкой производительности 140 (л/ч)/м<sup>2</sup> и сложности технологического процесса, этот способ не нашел применения на животноводческих комплексах [94].

При необходимости достижения более высокой степени очистки жидкой фракции свиного навоза, которую нельзя достичь на сооружениях биологической очистки, применяют озонирование [3, 66, 67, 100]. Озон является весьма сильным окислителем и обращение с ним требует особой осторожности [3, 101].

При действии озона на жидкую фракцию достигается высокая степень очистки равная 78 ... 85 %. Однако, из-за большого расхода электроэнергии, сложности технологического процесса получения и использования озона для очистки жидкой фракции этот способ не получил распространения [3].

Имеются сведения о применении коагуляции, флотации и озонирования для очистки жидкой фракции от взвешенных частиц и за рубежом [103].

Установлено [29], что ни одна из применяемых на действующих животноводческих фермах и комплексах биологическая очистка жидкой фракции навоза, заимствованная из очистных сооружений промышленных сточных вод, которые по загрязненности на порядок ниже жидкой фракции, не удовлетворяет агротехническим и санитарным требованиям.

### **Теоретические исследования процесса разделения жидкого навоза**

Изучением процессов разделения жидкого навоза под действием сил тяжести занимались В. П. Коваленко, В. В. Казакевичус, В. Н. Письменов, Л. С. Полонский, Г. И. Личман, И. И. Лукьянчиков и др.

При исследовании горизонтального отстойника В. П. Коваленко [104] установлена математическая зависимость производительности от параметров отстойника и физико-механических свойств жидкого навоза.



Для определения влажности отстоя и осветленной фракции при разделении свиного навоза влажностью 92 ... 98,9 % в отстойниках Л. С. Полонским [105] получены следующие уравнения

$$W_{от} = a_1(W_n - 90\%) + b_1, \quad W_{от} = a_2(W_n - 90\%) + b_2,$$

где  $a$  и  $b$  - коэффициенты,  $a_1 = 0,16 \dots 0,19$ ;  $b_1 = 98,25 \dots 98,6$ ;  $a_2 = 0,01 \dots 0,28$ ;  $b_2 = 88,26 \dots 89,47$ ;  $W_n$  - влажность исходного навоза, %

В. В. Казакевичусом [106] описаны дифференциальными уравнениями процесс изменения объемной концентрации твердых частиц фильтрата и накопления осадка.

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

Исследованию процесса фильтрования суспензий в химических производствах и жидкого навоза на фильтровальных пористых перегородках посвящены многие работы отечественных и зарубежных ученых [38, 104, 107].

И. И. Лукьянчиковым [107] предложена формула для определения производительности фильтрующей центрифуги.

Конструктивно-режимные параметры центрифуг были определены В. П. Коваленко [104], П. И. Гридневым, Л. С. Полонским [105], Ю. А. Кировым [38] с учетом физико-механических свойств жидкого навоза.

Используя методику планирования эксперимента, Яблочков В. М. определил влияние производительности, числа оборотов и высоты сливного порошка на качество разделения и влажность получаемого осадка в центрифуге.

П. И. Леонтьевым и А. П. Рухленко [35] теоретически обосновано количество выделяемой влаги центрифугой в зависимости от средней скорости перемещения осадка, длины образующей ротора, толщины слоя осадка и средней скорости

$$q = b [1 - \exp(-v_{ф. ср.} k_e \cos \alpha) / v_{ос. ср.} h_{вых}],$$

где  $b$  - объем жидкости в единичном объеме твердой фазы центрифугирования,  $m^3$ ;  $v_{ф. ср.}$  - средняя скорость фильтрования;  $k_e$  - коэффициент, характеризующий отношение длины участка образующей ротора, на котором формируется осадок, к образующей длине ротора;  $v_{ос. ср.}$  - скорость перемещения осадка,  $m/c$ ;  $h_{вых}$  - толщина слоя осадка на выходе,  $m$ ;  $\alpha$  - угол наклона образующей ротора, град.

При исследовании гидроциклона П. А. Фурсиным [46] установлено, что скорость разделения определяется по формуле Стокса

$$v_0 = \frac{1}{18} R \delta^2 \frac{\rho_T - \rho_{ж}}{\mu} \omega^2,$$

где  $R$  - расстояние твердых частиц до центра гидроциклона,  $m$ ;  $\delta$  - диаметр частиц,  $m$ ;  $\omega$  - угловая скорость потока,  $рад/с$ ;  $\rho_T$ ,  $\rho_{ж}$  - плотности твердых частиц и жидкости,  $кг/м^3$ ;  $\mu$  - динамическая вязкость,  $Па \cdot с$ .

Процесс работы прессов при обезвоживании жидкого навоза исследовали Г. В. Комаров, А. П. Кузнецов, В. П. Лосяков, В. Н. Рыженков. Ими определены конструктивные параметры прессов, обоснованы математическими формулами процесс прессования.

В. И. Семеновым, П. П. Сарычевым и автором при исследовании виброгрохота выведена формула определения скорости удаления осадка с вибрирующей поверхности [109, 110]

$$v_{уд} = 2(C_{исх} - C_T) M_{исх} f / (C_{исх} - C_T) F_{ф} \rho_{ос} k,$$

где  $C_{исх}$ ,  $C_{ос}$ ,  $C_{ф}$  - концентрация сухого вещества в исходном жидком навозе, осадке и фильтрате, %;  $M_{исх}$  - масса исходного навоза,  $кг$ ;  $f$  - фактор разделения;  $\rho_{ос}$  - плотность осадка,  $кг/м^3$ ;  $k$  - коэффициент, равный 0,02;  $F_{ф}$  - площадь фильтрования,  $m^2$ .

Исследуя вакуумный фильтр, В. П. Коваленко [16] установил длину зоны фильтрования жидкого навоза, зависящую от его физико-механических свойств, подачи и перепада давления.

На основании анализа теоретических исследований установлено, что многими авторами определены зависимости конструктивных и режимных параметров машин (аппаратов) для разделения жидкого навоза: отстойников, дуговых сит, фильтрующих и осадительных центрифуг, виброгрохота, шнековых фильтрпрессов, вакуумного фильтр-пресса. Вместе с тем результатов теоретических исследований ленточного фильтр-пресса для разделения жидкого навоза, процессов очистки жидкой фракции от взвешенных частиц коагулированием и обеззараживанием в литературных источниках не выявлено. Поэтому имеющихся сведений недостаточно для обоснования и разработки новых способов и средств уборки, транспортировки и переработки навоза и совершенствования имеющихся для обеспечения оптимального функционирования технологических процессов, позволяющих создавать безхотходные, надежные и энергосберегающие биотехнологические процессы.

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

Разделение неоднородных систем является гидромеханическим процессом, который осуществляется, в основном, осаждением, фильтрованием и центрифугированием [111].

Основная закономерность фильтрования, выражающая соотношение движущей силы и силы сопротивления, записывается в виде закона Дарси

$$w = k(H / l) = H(1/R), \quad (1)$$

где  $w$  - скорость фильтрации;  $k$  - коэффициент фильтрации, характеризующий проницаемость и равен  $1/R$ ;  $R$  - сопротивление фильтрации;  $H$  - разность напоров в начале и конце участка;  $l$  - длина участка.

Если фильтрация происходит под действием избыточного давления, разрежения или инерционных сил, а вязкость жидкости отличается от влажности воды, уравнение 1 запишется в виде

$$w = \Delta P / (\mu R). \quad (2)$$

При этом выявлено, что объем фильтрата, получаемый за малый промежуток времени с единицы поверхности фильтра, прямо пропорционален вязкости фильтрата и общему сопротивлению осадка и фильтровальной перегородки. В дифференциальной форме это выражение имеет вид [110]

$$w = dV_{\phi} / S d\tau = \Delta P / (\mu(R_{oc} + R_{\phi})), \quad (3)$$

где  $V$  - объем фильтрата, м<sup>3</sup>;  $S$  - поверхность фильтрования, м<sup>2</sup>;  $\tau$  - продолжительность фильтрования, с;  $\Delta P$  - разность давлений, Па;  $\mu$  - динамическая вязкость, Па · с;  $R_{oc}$  - сопротивление осадка, м<sup>-1</sup>;  $R_{\phi}$  - сопротивление фильтровальной перегородки, м<sup>-1</sup>.

Учитывая пропорциональность объемов осадка и фильтрата, отношение объема осадка к объему фильтрата обычно обозначают через  $X_0$  [112, 113]. Вместе с тем объем осадка будет равен  $X_0 V$  или  $hS$ . Тогда толщина слоя осадка будет равна  $h, = X_0(V_{\phi}/S)$ . Сопротивление осадка выразится

$$R_{oc} = r_0 h, = r_0 X_0 (V_{\phi}/S),$$

где  $r_0$  - удельное сопротивление слоя осадка, м<sup>2</sup>.

В практике разделения суспензий различают несколько случаев фильтрования при:

- постоянной разности давлений осуществляется наиболее часто при использовании вакуума и реже сжатого воздуха. В данном случае проинтегрировав уравнение 3 получим

$$V_{\phi}^2 / 2\tau = \Delta P S / (r_0 \mu X_0),$$

что дает основание заявить о наличии линейной зависимости между  $V_{\phi}$  и  $\tau$ ;

- фильтрование при постоянной скорости процесса происходит, когда разделяемая суспензия подается на фильтр поршневым насосом. После дифференцирования 3 имеем

$$V_{\phi} / \tau = \Delta P S / (r_0 \mu V_{\phi} X_0), \text{ т.е. } \Delta P \text{ прямо пропорционально } V_{\phi};$$

- постоянной разности давлений и одновременно при постоянной скорости, если перед началом процесса суспензия расслаивается под действием силы тяжести, т.е. фильтрование идет через слой осадка  $V_{\phi}^2 / 2\tau = \Delta P S / (r_0 \mu X_0)$ ;

- наиболее часто встречающийся случай переменных  $\Delta P'$  и  $W'$ . Такой процесс осуществляется, когда суспензия подается на фильтр центробежным насосом, в соответствии с его характеристиками, связывающими производительность и напор. Основное уравнение данного процесса аналогично случаю 1, только переменная разность давления усредняется, т.е. принимается эквивалентная разность давления, которая находится из уравнения

$$\Delta P_{\text{эkv}} = \Delta P' dt / \tau,$$

где  $\Delta P'$  - переменная разность давления.

Во всех перечисленных способах сопротивлением фильтровальной перегородки пренебрегли.

Все рассуждения и допущения при выводе основных уравнений, описанных выше, применимы к процессу фильтрования с образованием несжимаемого осадка на несжимаемой перегородке. По своим свойствам жидкий навоз при разделении на фильтрах образует слой волокнистых частиц, который сжимается при увеличении давления. Характер распределения давлений в таком осадке „очень трудно установить экспериментально. Но как отмечают некоторые авторы [112, 113] зависимости и уравнения фильтрования при постоянной скорости процесса и постоянной разности давлений, выведенные для несжимаемых пористых сред, применимы и для сжимаемых. Необходимо только учитывать, что при работе с осадками, состоящими из частиц, обладающих большой способностью к деформации, может оказаться, что скорость фильтрования при повышении давления сначала увеличивается до некоторого максимального значения, а затем уменьшается.

Исходя из выбора процесса и применяя то или иное уравнение, рассчитывают параметры машин для разделения [110, 111]. Для непрерывно действующих фильтров расчет сводится к определению скорости перемещения поверхности фильтрования и числа факторов. При этом поверхность фильтрования может быть задана или принята. Наибольшая производительность может быть достигнута за счет быстрого удаления осадка с фильтровальной перегородки. Этому требованию в большей степени отвечают ленточные фильтры. Аналогичный фильтр был разработан, изготовлен и испытан в Тамбовском филиале ВИЭСХ [113, 114].

Анализ теоретических исследований по разделению суспензий в промышленности и применительно к жидкому навозу показывает, что каждая зависимость, выраженная одним из приведенных уравнений, применима только для непосредственного рассматриваемого процесса. Поэтому для расчета конструктивных параметров и режима работы ленточного фильтра, на котором можно получать осадок влажностью меньше 75 %, необходимо разработать математическую модель процесса.

Сепарирующие машины с бесконечной фильтрующей лентой характеризуются непрерывностью процесса, простотой конструкции и

малыми удельными энергозатратами. Эффективность работы ленточных фильтров зависит от выбора рациональных конструктивных и технологических его параметров и физикомеханических свойств жидкого навоза.

Рассматривая схему ленточного фильтра, рис. 11, следует отметить, что основная часть свободной жидкой фракции отфильтровывается под действием силы тяжести на открытой части перфорированной ленты (сетки), длиной  $L_c$ .

Для доведения твердой фракции до требуемой влажности необходимо обезвоживать ее устройствами, создающими давление (например, валиками, как в рассматриваемой модели, шнеком - в прессах и другими) [115, 116].

Оптимальная скорость сетки должна соответствовать определенной подаче исходного навоза и длине открытой части сетки. В противном случае при большой скорости валики не успеют отжать жидкость из осадка, а при наличии оставшейся свободной жидкости будет создаваться горизонтальный градиент давления, что приведет к выдавливанию осадка из зазора и накоплению его перед валиками. Если же скорость мала, то производительность установки неоправданно снижается.

Процесс фильтрования на сетке характеризуется постепенным снижением напора, под действием которого происходит фильтрация жидкой фракции через сетку, и накоплением слоя твердых частиц на ней [116].

Поместим начало координат в место подачи исходной массы на сетку и мысленно остановим ее движение. В этом случае можно рассматривать процесс фильтрации как происходящий на неподвижной фильтрующей перегородке. Без учета сопротивления фильтрующей перегородки основное уравнение фильтрования представляет вид [110]

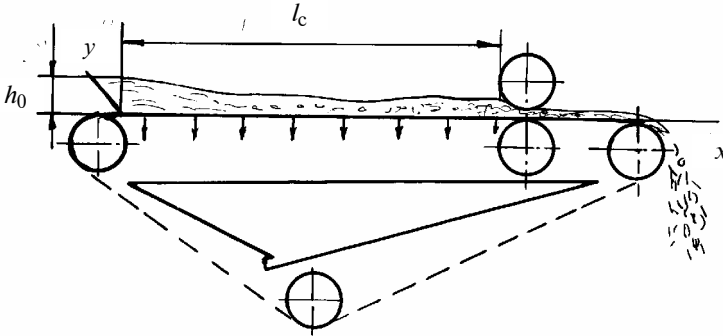


Рис. 11 Схема ленточного фильтр-пресса

$$dV_{\phi}/Sd\tau = \Delta P \mu r_0 l, \quad (4)$$

где  $V_{\phi}$  - объем отфильтрованной жидкой фракции,  $m^3$ ;  $S$  - площадь фильтрования,  $m^2$ ;  $\tau$  - время фильтрования,  $s$ ;  $\Delta P$  - разность давлений, Па;  $\mu$  - динамическая вязкость,  $Pa \cdot s$ ;  $r_0$  - удельное сопротивление слоя осадка,  $m^{-2}$ ;  $l$  - толщина слоя осадка,  $m$ .

Принимая объем осадка в каждый момент времени пропорциональным объему полученного к этому времени фильтрата [118], запишем

$$V_{\phi} x_0 = V_0 = lS, \quad (5)$$

где  $x_0$  - коэффициент пропорциональности;  $V_0$  - объем осадка,  $m^3$ .

Перепад давления  $\Delta P$  выразим через напор столба исходной массы

$$\Delta P = \rho_n g h, \quad (6)$$

где  $\rho_n$  - плотность исходной массы,  $kg/m^3$ ;  $g$  - ускорение свободного падения,  $m/s^2$ ;  $h$  - текущее значение действующего напора  $h_0 - h_1$ ,  $m$ ;  $h_0$  - высота слоя исходной массы,  $m$ ;  $h_1$  - высота слоя, ушедшего через сетку фильтра,  $m$ . С учетом выражений (5) и (6) уравнение (4) примет вид

$$dV_{\phi}/(Sd\tau) = [\rho_n g (h_0 - h_1) S] / (r_0 \mu_0 V_{\phi} x_0). \quad (7)$$

Произведение  $(h_0 - h_1) S$  в (7) представляет собой разность объемов поступившего (исходного) навоза и фильтрата, т.е.

$$(h_0 - h_1) S = V_n - V_{\phi},$$

где  $V_n$  - объем исходной массы. Подставляя в (7) и разделяя переменные, проинтегрируем полученное выражение

$$\int (V_{\phi} dV_{\phi}) / (V_n - V_{\phi}) = \int (\rho_n g d\tau) / (r_0 \mu x_0). \quad (8)$$

Для интегрирования левой части обозначим  $V_{\phi}/V_n = y$ , тогда  $dV_n/V_n = dy$ , откуда  $dV_{\phi} = V_n dy$ .

Интегрируя с учетом замены, получим

$$\int (V_{\text{н}} y dy) / (1 - y) = V_{\text{н}} [-y - \ln(1 - y)] + c. \quad (9)$$

Подставляя значение  $y$  в выражение (9) и проинтегрировав правую часть уравнения (9), имеем

$$-V_{\text{ф}} - V_{\text{н}} \ln(1 - V_{\text{ф}}/V_{\text{н}}) + c' = \rho_{\text{н}} g S \tau / (r_0 \mu x_0). \quad (10)$$

Время фильтрования равно отношению длины участка  $L_c$  к скорости движения сетки  $V_c$  т.е.  $\tau = L_c V_c$ . Постоянная интегрирования  $c'$  при  $L_c = 0$ ,  $V_c = 0$  и  $V_{\text{ф}} = 0$  также будет равна нулю. Так как объем фильтрата  $V_{\text{ф}}$  всегда меньше объема исходной массы  $V_{\text{н}}$ , т.е.  $0 < V_{\text{ф}} / V_{\text{н}} < 1$ , можно  $\ln(1 - V_{\text{ф}} / V_{\text{н}})$  разложить в ряд и принять равным  $-V_{\text{ф}} / V_{\text{н}} - 0,5(V_{\text{ф}} / V_{\text{н}})^2$ . Тогда после подстановки и преобразований уравнение (10) примет вид

$$V_{\text{ф}}^2 / 2V_{\text{н}} = (\rho_{\text{н}} g S L_c) / (r_0 \mu x_0 v_c). \quad (11)$$

Из соотношения материального баланса процесса разделения  $V_{\text{н}} = V_{\text{ф}} + V_{\text{и}}$  выражения (5)  $V_{\text{ф}} = V_{\text{н}} / (1 + x_0)$  получим. Подставляя (4) и преобразовывая, будем иметь

$$V_c = \frac{(1 + x_0^2) 2 \rho_{\text{н}} g S L_c}{x_0 \mu r_0 V_{\text{н}}}. \quad (12)$$

или, разделив на площадь фильтрования  $S$  и заменяя  $V_{\text{н}}/S = h_0$  получим

$$V_c = [(1 + x_0^2)/x_0] (2 \rho_{\text{н}} g L_c) / (\mu r_0 h_0). \quad (13)$$

Коэффициент пропорциональности  $x_0$  можно найти из соотношения материального баланса по формуле

$$x_0 = V_{\text{ф}} / V_{\text{и}} [\rho_{\text{ф}} (W_{\text{ф}} - W_{\text{н}}) / [\rho_0 (W_{\text{н}} - W_0)]],$$

где  $\rho_{\text{ф}}$  и  $\rho_0$  - плотности осадка и отфильтрованной жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $W_{\text{ф}}$ ,  $W_{\text{н}}$ ,  $W_0$  - соответственно влажность фильтрата, исходной массы и осадка, %.

Значение плотности, вязкости и удельного сопротивления находят экспериментально для конкретного вида навоза.

Заменяя значение  $X_0$  из формулы (5) в формуле (13), получим

$$V_0 = V_0^2 / (V_{\text{н}} V_{\text{ф}}) (2 \rho_{\text{н}} g L_c) / (\mu r_0 h_0). \quad (14)$$

Если известна скорость сетки, то можно определить длину зоны фильтрования

$$L_c = (V_c V_{\text{ф}} \mu r_0 h_0) / (2 \rho_{\text{н}} g V_{\text{н}}^2). \quad (15)$$

Таким образом, из полученного уравнения (14) следует, что скорость движения сетки ленточного фильтр-пресса, как одного из основных факторов, влияющих на производительность, зависит от физико-механических свойств исходного навоза (влажности, плотности, температуры, динамической вязкости), а также от длины участка свободного фильтрования и высоты слоя подаваемой массы [117].

Как показали испытания фильтр-пресса, влажность твердой фракции, получаемой при свободном фильтровании на сетке, составляет 86 ... 90 % [117, 118]. Поэтому для того, чтобы твердая фракция отвечала агротехническим требованиям, т.е. влажность должна быть 70 ... 75 %, ее необходимо дополнительно обезвоживать устройствами, создающими давление. В конструкции ленточного фильтр-пресса в качестве такого устройства использованы валики.

Для расчета конструктивных параметров отжимного устройства и согласования их вращения со скоростью движения сетки, рассмотрим теорию процесса удаления влаги давлением, создаваемым валиками [111].

Под действием распорного усилия, которое создается в зазоре между валиками, слой твердой фракции уплотняется. При этом часть жидкости отфильтровывается через сетку. Если допустить, что вся жидкость движется в направлении сетки, то задачу фильтрационного уплотнения можно считать одномерной. Такая задача достаточно полно решена относительно грунтов [118, 119]. Если исходить из основного закона уплотнения грунтов [112], то

$$m_0 = -dl/dP, \quad (16)$$

где  $m_0$  - коэффициент сжимаемости;  $P$  - давление;  $l$  - коэффициент пористости.

Применительно к твердой фракции навоза коэффициентом пористости назовем отношение объема пор  $n$  в единице объема твердой фракции к объему твердых частиц  $t$ , т.е.

$$l = n/m \quad (17)$$

Из этого определения следует, что  $m + n = 1$ . (18)

Решив совместно уравнения (17) и (18) относительно  $n$  и  $m$ , получим

$$n = l/(1 + l) \quad (19)$$

и

$$m = 1/(1 + l). \quad (20)$$

Рассмотрим действие сплошной нагрузки на слой твердой фракции, рис. 12, который будет испытывать только сжатие без бокового расширения. В этом случае усадка обусловлена изменением объема слоя из-за уменьшения пористости, объем твердых частиц практически остается постоянным.

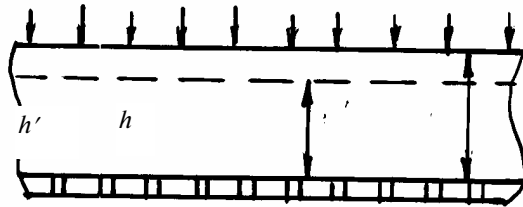


Рис. 12 Схема сжатия слоя твердой фракции навоза при сплошной нагрузке

Выделим в рассматриваемом слое цилиндр, площадь основания которого равна  $F$ , высота  $h$ . Приняв во внимание уравнение (20) приравняем объем твердых частиц слоя выделенного цилиндра до приложения нагрузки к объему после полного компрессионного уплотнения под нагрузкой

$$(1 + l_1)^{-1} = (1 + l_2)^{-1} F h', \quad (21)$$

где  $l_1$  - начальный коэффициент пористости слоя после отфильтровывания свободной жидкости, определяется по плотности, влажности и удельному весу;  $l_2$  - коэффициент пористости, соответствующий увеличению давления на слой;  $h'$  - конечная высота слоя (после стабилизированного уплотнения).

Решив уравнение (21) относительно  $h'$ , получим

$$S = h - h' = h(l_1 - l_2)/(1 + l_1). \quad (22)$$

Усадка слоя равна разности высот слоя до и после уплотнения

$$S = h - h' = h(l_1 - l_2)/(1 + l_1). \quad (23)$$

Связь между влажностью, давлением и коэффициентом пористости характеризуется компрессионной кривой, рис. 13.

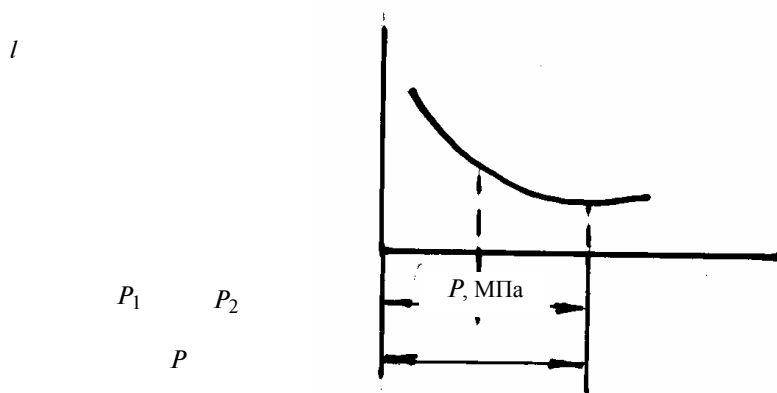


Рис. 13 Компрессионная кривая

Учитывая уравнение (16), т.е. что  $l = l_1 - l_1 = m_0 P$

$$S = h m_0 P / (1 + l_1). \quad (24)$$

Значение  $m_0/(l - l_1) = m_v$  в теории механики грунтов называют коэффициентом относительной сжимаемости. С учетом этого  $S = hm_v P$ .

Если предположить, что изменение расхода жидкой фракции, вытесняемой из пор слоя твердой фракции, с достаточной точностью описывается законом фильтрации, а соответствующее изменение пористости - законом уплотнения, задачу протекания процесса во времени усадки слоя можно описать уравнением. При этом для любого момента, на любой глубине слоя  $Z$  от дренирующей поверхности внешнее давление равно сумме давлений в поровой воде  $P_w$  и скелете  $P_z$ , т.е.

$$P = P_w + P_z. \quad (25)$$

Для элементарного слоя  $dz$  на глубине  $z$  увеличение расхода воды  $q$  равно уменьшению пористости  $h$ , т.е.

$$\partial q / \partial z = -\partial n / \partial \tau. \quad (26)$$

Учитывая закон фильтрации, преобразуем левую часть уравнения (26)  $\partial q / \partial z = K(\partial H / \partial z)$ . Принимая во внимание, что  $H = P/\gamma_{ж}$  и с учетом уравнения (25) получим

$$\partial^2 H / \partial z = \partial P / (\gamma_{ж} \partial z^2) \quad \text{или} \quad \partial q / \partial z = K_{\phi} \partial^2 P / (\gamma_{ж} \partial z^2),$$

где  $K_{\phi}$  - коэффициент фильтрации;  $P$  - напор жидкости;  $g$  - удельный вес.

Для правой части уравнения (26), если учесть уравнение (17) и пренебречь в знаменателе этого выражения изменением коэффициента пористости по сравнению с единицей, взяв некоторое его среднее значение  $l_{cp}$ , получим  $\partial n / \partial \tau = -m$ .

По закону уплотнения  $\partial l / \partial \tau = -m (\partial P / \partial \tau)$ .

Следовательно, для правой части уравнения (26) получим

$$\partial n / \partial \tau = -m \partial P / (1 + l_{cp}) \partial \tau = -m (\partial P / \partial \tau). \quad (27)$$

Подставив найденные значения  $\partial q / \partial z$  и  $\partial n / \partial \tau$  в (26) и перенеся постоянные величины в левую часть, имеем

$$K_{\phi} = \partial^2 P / (m \gamma_{ж} \partial z^2) = (\partial P / \partial \tau). \quad (28)$$

Обозначив постоянный множитель левой части через  $C_v$  и назвав его коэффициентом уплотнения, окончательно получим

$$C_v (\partial^2 P / \partial z^2) = \partial P / \partial \tau. \quad (29)$$

Данное уравнение решается применением рядов Фурье при удовлетворении начальных и граничных условий, которые можно сформулировать, если рассматривать задачу сжатия слоя толщиной  $2h$ , но при двусторонней фильтрации (вверх и вниз), т.е. дополняя рассматриваемый слой зеркальным отображением.

При равномерном распределении уплотняющих давлений по глубине решение уравнения (29) можно представить в таком виде

$$P_z = P \left[ 1 + U \pi^{-1} \left( \sum_{i=1,3,5}^{\infty} i^{-1} \sin \pi z / 2h e^{-N_i} \right) \right], \quad (30)$$

где  $U$  - степень уплотнения.

При сжатии твердой фракции с целью ее обезвоживания необходимо иметь формулу усадки слоя для любого промежутка  $t$  от начала загрузки. Для определения  $S$  в механике грунтов [120] введено понятие о степени уплотнения  $U$ , равной отношению площади эпюры давлений в скелете для времени  $t$  к площади эпюры при  $t = \infty$ . Математически это положение можно записать в таком виде

$$U = \int_0^h P_z dz / dh, \quad (31)$$

где  $Ph$  - площадь эпюры уплотняющих давлений.

Подставив уравнение (31) в (30) и проинтегрировав полученное выражение, имеем

$$U = 1 - 8/\pi^2 [e^N + (1/9) \exp(-9N_i) + (1/25) \exp(-25N_i)]. \quad (32)$$

Степень уплотнения можно выразить следующим образом  $U = S/S_0$ .

Учитывая выражение (24), получим усадку для любого времени  $t$

$$S_{\tau} = hm_{\sqrt{p}} \left[ 1 - 8/\pi^2 \left( \sum_{i=1,3,5}^{\infty} (1/i^2) e^{-N} \right) \right]. \quad (33)$$

При отжиме требуется знать продолжительность процесса, необходимую для достижения определенной концентрации жидкости в прессуемом продукте.

Для этого можно воспользоваться выражением (25), учитывая при этом, что

$$U = S/S = (W_1 - W)/(W_1 - W_2) = (l_2 - l)/(l_1 - l_2), \quad (34)$$

где  $W_1, W, W_2$  - начальная, промежуточная и конечная концентрация жидкости в продукте;  $l_1, l, l_2$  - соответствующие им коэффициенты пористости.

Коэффициент пористости, соответствующий полной усадке, определяется по компрессионной кривой. Строят эти кривые по известной внешней нагрузке и соответствующей ей пористости при  $\tau = \infty$ , т.е. при условии, когда усадка материала стабилизировалась. В этом случае вся внешняя нагрузка воспринимается скелетом, а давление в жидкости отсутствует.

### Испытания установок для разделения жидкого навоза

Фильтр-накопитель (А.с. 651741), предназначен для обезвоживания жидкого навоза и состоит из емкости 1, смотрового окна 2, шнека 3, электродвигателя 4, сетки 5, электродвигателя 4, сетки 5, рамы 6, трубопровода 7, вентиля 8, патрубков 9, рис. 14.

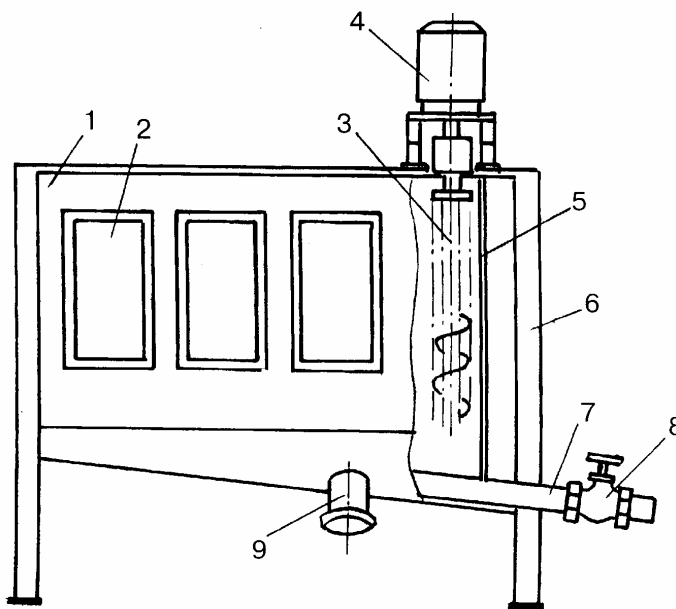


Рис. 14 Схема установки фильтр-накопителя:

1 - емкость; 2 - смотровое окно; 3 - шнек; 4 - электродвигатель; 5 - сетка;  
6 - рама; 7 - трубопровод; 8 - вентиль; 9 - патрубок

Работает фильтр-накопитель следующим образом. В емкость 1 поступает жидкий навоз, из которой через сетку 5 отфильтровывается жидкая фракция и уходит по трубопроводу 7, а твердая обезвоженная остается в емкости.

Исследование проводилось в цехе по переработке навоза в Рассказовском РСХО. Для исследования использовался жидкий навоз влажностью 92 ... 96 %.

Металлическая сетка испытывалась двух типов: с размером ячеек  $2 \times 2$  и  $4 \times 4$  мм. Частота вращения шнека менялась от 0,05 до  $6,00 \text{ с}^{-1}$ , скорость перемещения от 0,017 до  $0,033 \text{ м/с}$ . Период включения установки менялся от 0,5 до 1 часа. Температура навоза составляла 291 ... 294 К.

В результате испытаний установлено, что использовать сетку без очистки нецелесообразно, так как ячейки ее забиваются через 10 ... 15 мин и фильтрование прекращается.

Частота вращения шнека должна составлять  $2 \dots 5 \text{ с}^{-1}$ .

Фактор разделения получили наименьший (74,6 %) при фильтровании через сетку с размером ячеек  $2 \times 2$  мм, наибольший (94,1 %) при фильтровании через сетку с размером ячеек  $4 \times 4$  мм.

Производительность фильтра-накопителя с очищающей сеткой увеличивается по сравнению с фильтр-накопителем с неочищающей сеткой в 4 ... 5 раз. А это приводит к тому, что обезвоживание навоза в навозохранилищах будет продолжаться в течение времени его заполнения и мало будет зависеть от времени года. Такие фильтр-накопители целесообразно использовать на небольших фермах с содержанием до 1000 условных голов [23].

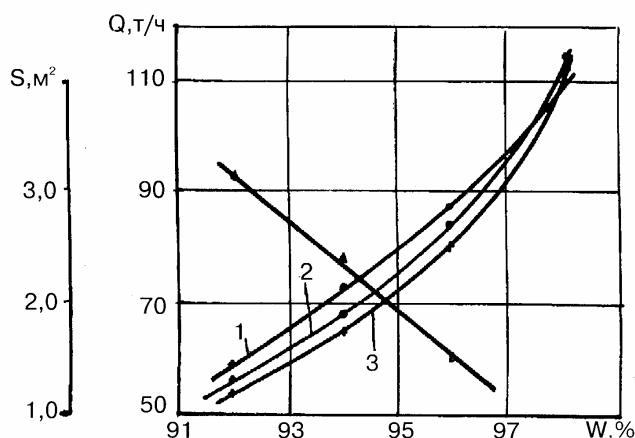
По результатам испытаний виброгрохота, построены графики зависимости производительности и площади фильтрования от влажности исходного навоза, рис. 15 [109, 120].

В зависимости от размера ячеек решет фактор разделения составил 0,3 ... 0,7, влажность твердой фракции была 79 ... 80 %, жидкой 98 ... 99,2 %. Откуда следует, что твердую фракцию необходимо дообезвоживать в другой установке, например, в прессах типа ВПНД-10, ВПО-20, ПЖН-68 и других.

Испытания пресса ВПНД-10 на обезвоживании жидкого навоза влажностью 80 ... 98 % показали, что пресс хорошо работает при влажности 87 ... 89 %. Это объясняется тем, что в навозе влажностью более 89 % содержание свободной влаги резко увеличивается и в приемной части пресса наблюдается процесс фильтрования. Но так как площадь фильтрования остается постоянной и частота вращения не меняется, то масса не успевает профильтроваться, поэтому резко снижается производительность.

Влажность твердой фракции после разделения на прессе составляет 65 ... 70 %, жидкой более 98 % [47, 120].

Испытания гидроциклона показали, что для предварительного обезвоживания жидкого навоза с влажности 98 % до 92 ... 94 % его можно использовать вместо отстойников.



**Рис. 15** Зависимость производительности и площади фильтрования от влажности исходного навоза:

- 1 - размер ячеек решет 4 × 4 + 2 × 2 мм;
- 2 - размер ячеек решет 2 × 2 + 1 × 1;
- 3 - размер ячеек решет 2 × 2 + 0,5 × 0,5 мм

Испытания центрифуги НОПС-500, рис. 15 показали, что она работает удовлетворительно при влажности исходного навоза более 92 %. Если влажность его менее 92 % центрифуга часто отключается из-за перегрузок. Влажность твердой фракции составила 58 ... 65 %, жидкой - 98,5 ... 99 % при производительности 18 ... 25 м³/ч [14].

Испытания ленточного фильтра со свертывающейся лентой (А.с. 570377 [121] и 871810 [122], и ленточного фильтр-пресса с плоской лентой [123] проводилась с целью определения конструктивно-кинематических и режимных параметров.

Ленточный фильтр со свертывающейся лентой состоит из рамы, на которой установлены приемный бункер с сеткой и задвижкой, фильтрующей ленты, огибающей ведущий и ведомый барабаны, натяжных устройств лотка, прессующего устройства, дополнительной ленты и отжимных валков.

Процесс разделения жидкого навоза происходит следующим образом. Подлежащая разделению навозная масса поступает в приемный бункер, в котором предварительно обезвоживается благодаря установленной в нем сетки. Предварительно обезвоженная масса поступает на ленту, на которой с помощью прессующего устройства, обезвоживается и подается основной и дополнительной сетками к отжимным валкам. Проходя к прессующему устройству, состоящему из нескольких разъемных подпружиненных колец, у первого кольца лента сворачивается в рукав и зажимает массу во внутренней полости. При дальнейшем движении ленты через последующие кольца сечение рукава уменьшается, за счет этого внутри него создается относительно высокое давление, под действием которого жидкая фракция отфильтровывается на поверхности ленты и стекает в лоток для отвода фильтрата. Необходимое давление прессования устанавливается изменением площади поперечного сечения рукава.

При колебании подачи объема массы, зажимаемой лентой, может увеличиться или уменьшиться тогда в месте одного разъема кольца могут раздвинуться, сжав пружину, или сблизиться под действием той же пружины, при этом части разъемных колец поворачиваются в месте другого разъема на шарнире. Этим обеспечивается увеличение или уменьшение площади сечения рукава, т.е. саморегулирование давления. После прохождения всего ряда колец прессующего механизма и отжимных валков, лента разворачивается и принимает плоское положение на ведущем барабане, а обезвоженная твердая фракция сбрасывается с ленты.

Ленточный фильтр-пресс с плоской лентой, разработанный под руководством и при участии автора в Тамбовском филиале ВИЭСХ [23, 114, 115, 117] состоит из, рамы на которой установлены распределитель исходного навоза 1, перфорированной основной 11 и

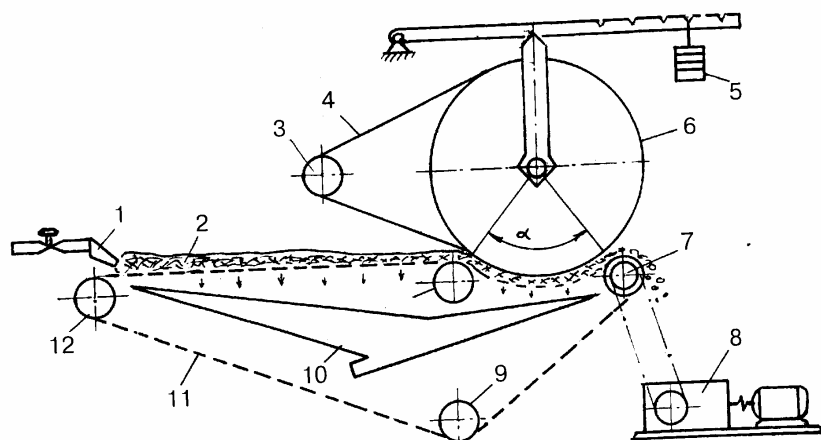


прижимной 4 лент, прессующего барабана 6, приводного 7, направляющего 9 и натяжного 12 валов, грузов 5 и лотка для сбора фильтрата 10, рис. 16.

Жидкий навоз для разделения с помощью распределителя 1 равномерно подают на всю ширину фильтрующей ленты 11, где он обезвоживается от свободной влаги. Дообезвоживание твердой фракции происходит с помощью прессующего барабана, усилие прижатия которого регулируется грузом 5.

Обезвоженная твердая фракция сбрасывается с приводного вала 7, а жидкая поступает в лоток 10. Привод ленточного фильтр-пресса осуществляется от электродвигателя мощностью 2,2 кВт. через редуктор.

По результатам предварительных испытаний ленточных фильтров при разделении свиного навоза влажностью 90 ... 97 % и скорости ленты 0,32 м/с, построен график изменения коэффициента разделения в зависимости от влажности исходного навоза.



**Рис. 16** Схема ленточного фильтр-пресса:

- 1 - распределитель; 2 - навозная масса; 3 - натяжной вал;
- 4 - прижимная лента; 5 - дополнительный груз; 6 - прессующий барабан;
- 7 - приводной вал; 8 - привод; 9 - направляющий вал;
- 10 - лоток для сбора фильтрата; 11 - перфорированная лента;
- 12 - натяжной вал

Подача навоза осуществлялась из бункера, который предварительно заполнялся исходным навозом определенной влажности из навозоприемника. Количество подаваемой навозной массы регулировалось заслонкой.

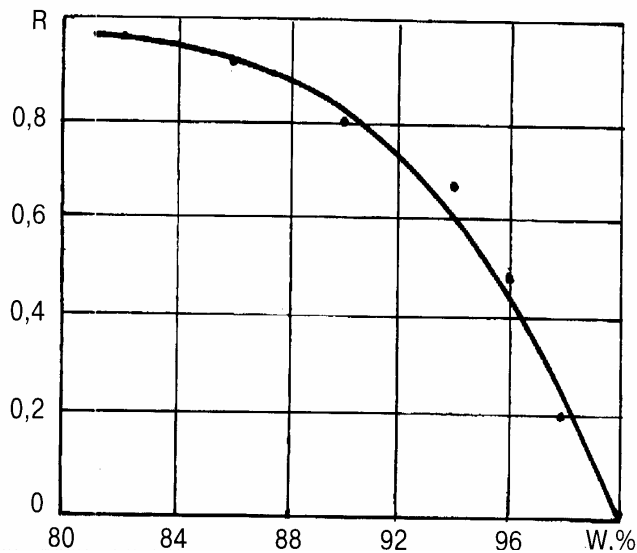
Из анализа полученных результатов видно, что на плоской ленте отжимается больше жидкой фракции. Но при этом твердая фракция налипала на верхний валик и ее влажность в большинстве случаев меньше, чем влажность твердой фракции, получаемой при разделении на ленте, свернутой в трубу.

Это объясняется тем, что слой навоза на плоской ленте при прохождении валиков меньше, чем на ленте, свернутой в трубу [68].

Коэффициент разделения изменяется от 0,2 до 0,8 и зависит от влажности исходного навоза, так как влажность жидкой фракции остается постоянной и равна 98 %. Из графика, рис. 17 видно, что с увеличением влажности исходной массы коэффициент разделения уменьшается. Это происходит от того, что при большой влажности с жидкой фракцией уносится больше коллоидных частиц твердой фракции. Наибольший процент выделения твердых частиц получается при влажности исходного навоза, равной 91 ... 95 %.

Исследованиями установлено, что на плоской ленте процесс разделения идет устойчиво только при определенной подаче и скорости движения. Превышение нормы подачи навоза на ленте вызывает скопление его перед валиками и сбрасывание с ленты до удаления жидкой фракции на валиках. Это объясняется тем, что при постоянных скорости ленты и зазоре между валиками навоз может пройти только определенным слоем, равным или меньшим зазору между валиками. Такое же явление происходит при разделении жидкого навоза на ленте, свернутой в трубу. В этом случае объем захватываемого исходного навоза ограничивается сечением образовавшейся из ленты трубы. Если подача увеличивается, то происходит заклинивание ленты в формирующих кольцах.

В процессе разделения навоза на ленте основная часть жидкой фракции отфильтровывается сразу и частично отжимается на валиках. Влажность осадка на ленте, поступающего на валики, колеблется в пределах 81 ... 85 %. Поэтому необходимо в разделителе предусмотреть конструктивные и технологические изменения с тем, чтобы увеличить время нахождения навоза на ленте до валиков. При влажности исходного навоза, равной 94 ... 95 % на ленточных фильтрах можно выделить до 70 % твердых частиц.



**Рис. 17 Измерение коэффициента разделения в зависимости от влажности исходного навоза**

Результаты испытания фильтр-прессов с плоской лентой, рис. 18 и свернутой в трубу показали, что лучше процесс разделения осуществляется в фильтр-прессе с плоской лентой. Влажность твердой фракции изменяется в большей степени при скорости плоской ленты в интервале 0,2 ... 1,0 м/с, затем при увеличении скорости до 1,3 м/с происходит незначительное увеличение влажности, рис. 19 [68].

При исследовании процесса разделения в фильтр-прессе с лентой, свернутой в трубу, установлено что при скорости 0,2 ... 1,0 м/с происходит максимальное выделение влаги и конечная влажность осадка изменяется незначительно. При скорости ленты больше 1,0 м/с интенсивность выделения влаги уменьшается, а влажность осадка значительно повышается.

Верхний предел скорости плоской ленты (0,7 ... 0,8 м/с) ограничивают агрозоотребования, т.е. влажность получаемого твердого навоза должна быть не более 75 %, а нижний предел сокращает производительность установки. Таким образом исследованиями установлено, что скорость плоской ленты должна быть в пределах 0,5 ... 0,8 м/с, что подтверждает теоретические исследования.

В результате исследования разработан макетный образец ленточного фильтр-пресса с подпружиненными валиками вместо устройства для регулировки давления с помощью груза.

Испытания усовершенствованного фильтр-пресса показали, что производительность его в зависимости от влажности исходного навоза составила 18 ... 40 м<sup>3</sup>/ч. При этом влажность твердой фракции была 72 ... 75 %, жидкой 98 ... 99 % [23].

Для определения коэффициента уплотнения и построения компрессионной кривой, необходимых для расчета конструктивных и кинематических параметров ленточного пресс-фильтра, использовали экспериментальную установку, представленную на рис. 20. Порция жидкого навоза заливалась на перфорированную перегородку и после отфильтровывания свободной жидкости замерялся объем, оставшейся твердой фракции. Затем поршень опускался на поверхность слоя и прикладывалась на его шток нагрузка, которая фиксировалась показанием динамометра, а усадка слоя фиксировалась при помощи индикатора, который жестко соединен со штоком поршня, а его подвижная ножка опирается на крышку цилиндра. Хронометраж времени проводился с помощью секундомера. Окончание процесса отжима соответствовало полному затуханию усадки от данной нагрузки. После этого с помощью грузов на рычаге, прикладывалась следующая степень нагрузки и также измерялась усадка слоя через определенные промежутки времени.

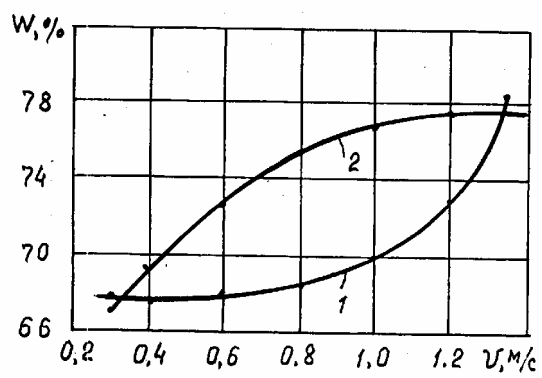
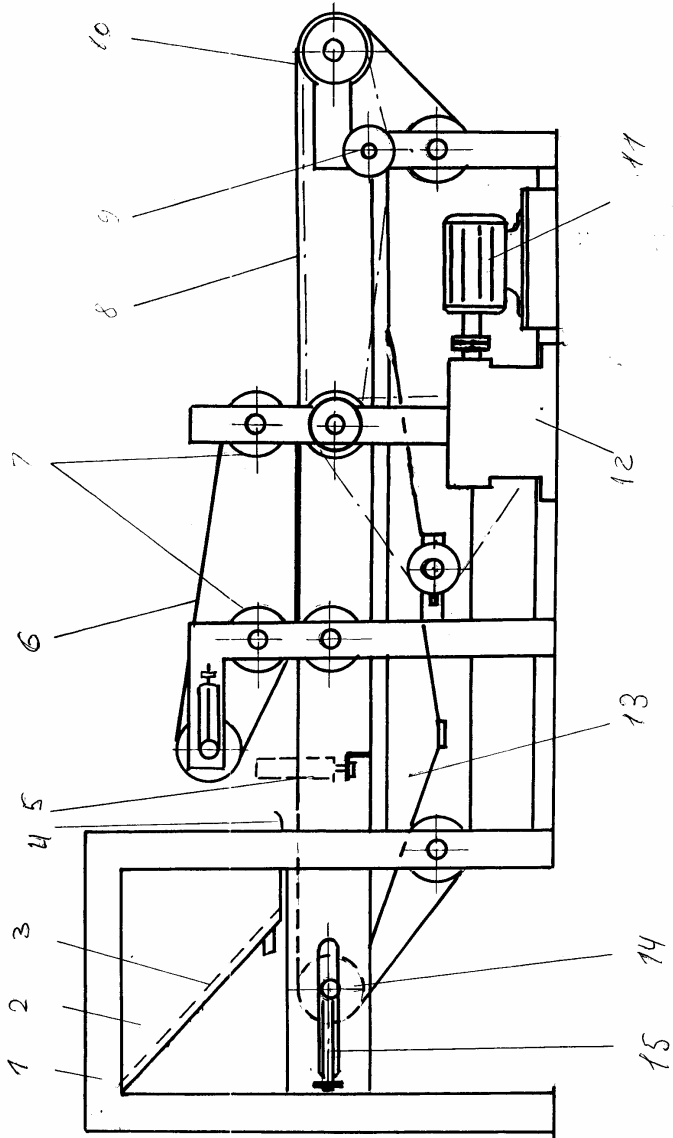
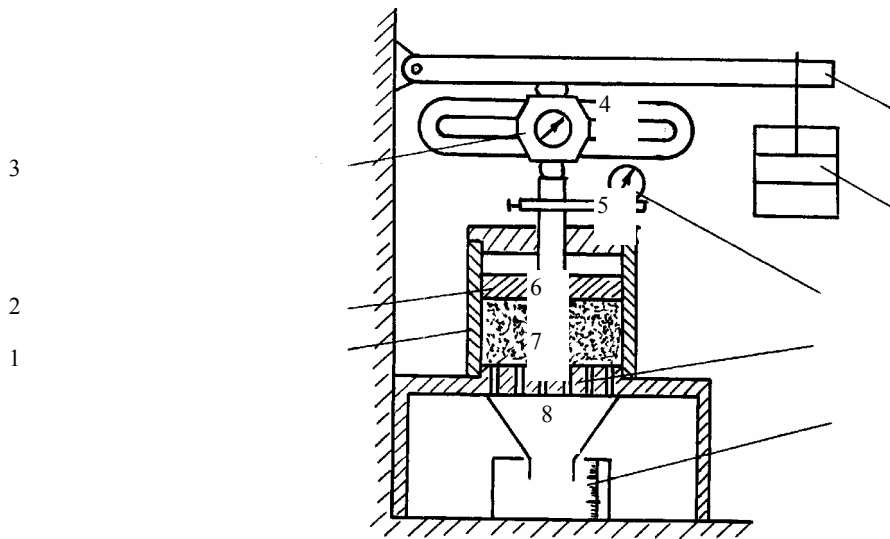


Рис. 19 Измерение влажности твердой фракции в зависимости от скорости ленты:  
1 - плоская лента; 2 - лента, свернутая в трубу



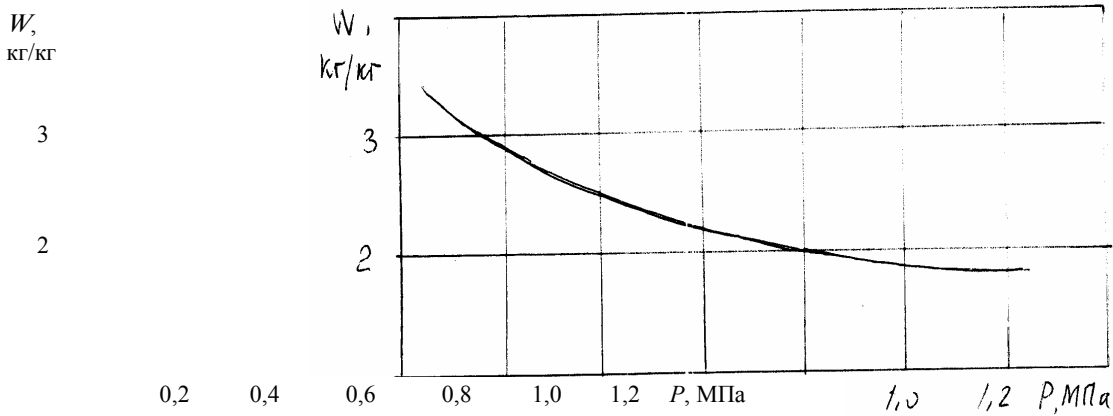
**Рис. 20** Схема экспериментальной установки:  
 1 - цилиндр; 2 - поршень со штоком; 3 - перефорированная перегородка;  
 4 - мерный цилиндр; 5 - индикатор усадки; 6 - динамометр;  
 7 - рычаг; 8 - груз

После установившейся усадки от последней нагрузки определялась конечная влажность прессуемого слоя, по которой вычислялась промежуточная влажность от предыдущих нагрузок.

По результатам опытов построена компрессионная кривая, рис. 21.

Коэффициенты уплотнения, представляющие собой тангенсы наклона прямых, касательных к компрессионной кривой, рис. 22, показывает, что давление свыше 0,6 МПа мало влияет на изменение влажности. Используя данные этой зависимости, а также зависимости коэффициента уплотнения от давления по формулам и можно рассчитать время, необходимое для отжима твердой фракции до требуемой влажности с заданным давлением. Кроме полученных данных для этого необходимо иметь экспериментальные зависимости скорости фильтрования от сопротивления слоя действующей нагрузки.

Применив приведенные уравнения и необходимый экспериментальный материал можно рассчитать отжимное устройство для фильтр-пресса, согласовав его конструктивные размеры со скоростью сетки.



**Рис. 21** Компрессионная кривая зависимости изменения массовой влажности от давления

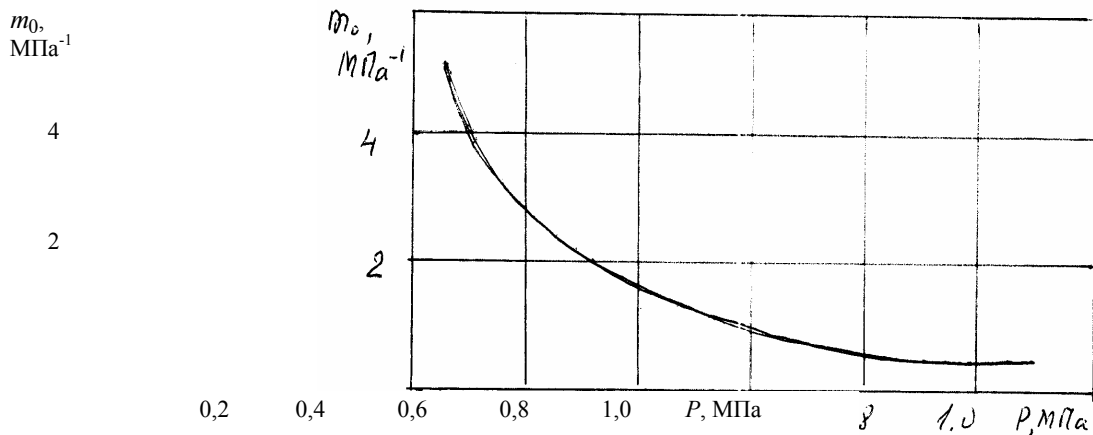


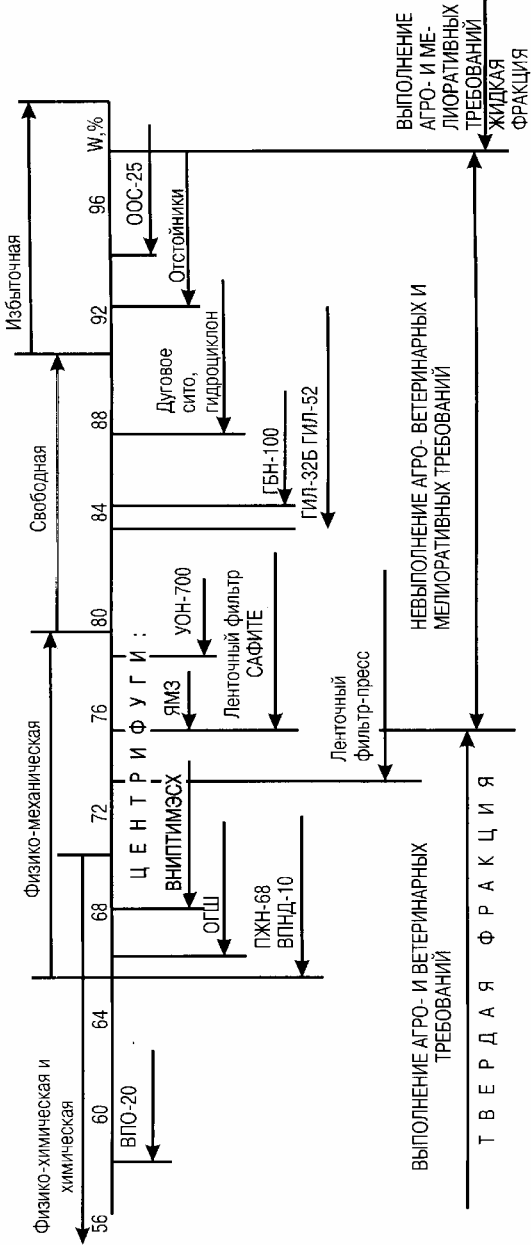
Рис. 22 Зависимость коэффициента уплотнения от давления

Используя классификацию форм связи влаги с пористой средой, разработанную Ребиндером П. А., результаты испытаний установок, проведенных непосредственно под руководством и участия автора в Тамбовском филиале ВИЭСХ и литературные данные, разработана схема функционирования установок, рис. 23, из которой следует, что агротехническим и ветеринарным требованиям (получение твердой фракции влажностью меньше 75 %) удовлетворяют только прессы шнековые ПЖН-68, ВПНД-10, ВПО-20, центрифуги конструкции ЯМЗ, ВНИПТИМЭСХ, типа ОГШ, ленточные вакуумный и "Сафите", а также ленточный фильтр-пресс, разработанный в Тамбовском филиале ВИЭСХ. С помощью этих установок удаляется избыточная, физико-химически связанная влага, свободная и частично капиллярная.

Твердая фракция, полученная на центрифуге УОН-700, барабанном грохоте ГБН-100, плоских грохотах ГИЛ-32 и ГИЛ-52, дуговых ситах, гидроциклонах и отстойниках требует дополнительного обезвоживания, как правило, в шнековых прессах.

Перечисленные установки способны удалять только избыточную и свободную влагу. Поэтому рассмотрим эффективность установок, на которых при разделении влажность твердой фракции составит меньше 75 %, табл. 2 [120, 124].

ФОРМЫ СВЯЗИ ВЛАГИ:



Затраты энергии (МДж/м<sup>3</sup>) подсчитывали по формуле

$$Z_3 = N/Q = 3,6 N/Q,$$

где  $N$  - мощность, потребляемая электроприводом, кВт·ч;  $Q$  - производительность установки, м<sup>3</sup>/ч; 3,6 - коэффициент перевода кВт·ч в МДж.

Интенсивность снижения влажности в единицу времени (%·ч/м<sup>3</sup>) определяли по формуле

$$I_c = (W_{исх} - W_{тв})/Q,$$

где  $W_{исх}$  - влажность исходного навоза, %;  $W_{тв}$  - влажность твердой фракции, %. Затраты энергии на процент снижения влажности (МДж/%) подсчитывали по выражению

$$Z_{эс} = 3,6N/(W_{исх} - W_{тв}),$$

Затраты труда на процент снижения влажности (чел·ч/%) рассчитывали по формуле

$$Z_{тр с} = Z_{тр}/(W_{исх} - W_{тв}),$$

где  $Z_{тр}$  - затраты труда, чел·ч

Эффективность разделения (%) определяли по формуле

$$\mathcal{E}_p = [(C_{исх} - C_{ф})/C_{исх}] 1000,$$

где  $C_{исх}$  - содержание сухого вещества в исходной фракции, %;  $C_{ф}$  - содержание сухого вещества в жидкой фракции, %.

Из табл. 2 следует, что лучшие показатели эффективности имеют ленточный фильтр-пресс Тамбовского филиала ВИЭСХ, центрифуга НОГШ-500 и ВНИПТИМЭСХ, ленточный фильтр "Сафите".

Потери навоза и питательных элементов  $N$ ,  $P$ ,  $K$  при разделении на установках происходят за счет промывки их фильтрующих поверхностей и продолжительности процесса. Чем чаще проводится промывка установок и чем меньше их производительность работы, тем потери массы навоза и питательных элементов увеличиваются.

Затраты энергии на ленточном фильтр-прессе Тамбовского филиала ВИСХ в 2 раза меньше, чем на ленточном фильтре "Сафите" и в 5 раз меньше, чем на центрифуге ВНИПТИМЭСХ и в 16,8 раз меньше, чем на центрифуге НОГШ.

По интенсивности снижения влажности ленточный фильтр-пресс уступает только центрифуге НОГШ, а затратам энергии на процент снижения влажности - фильтру "Сафите" [125].

Затраты труда на процент снижения влажности в ленточном фильтр-прессе в 2,5 раза меньше, чем на шнековом фильтре ПЖН-68 и в 6 раз меньше, чем на центрифуге ВНИПТИМЭСХ. На ленточном фильтр-прессе можно выделить из жидкого навоза до 81 % взвешенных частиц, на ленточном фильтре "Сафите" только 75 % [126].

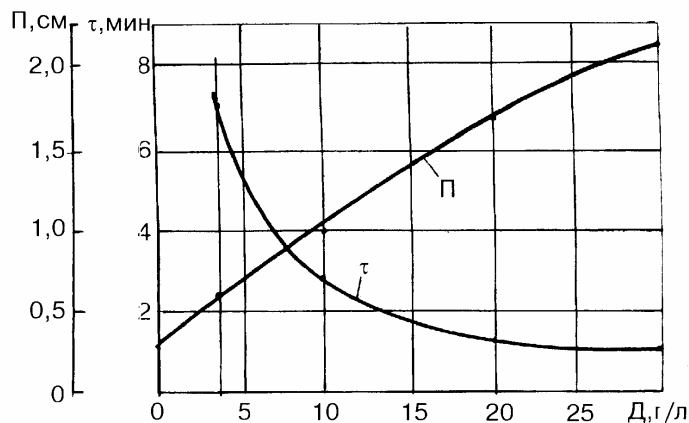
### **Исследование процесса коагуляции жидкого навоза с помощью фосфогипса**

Для исследования процесса коагулирования использовали жидкую фракцию влажностью 98 %, полученную после разделения в ленточном фильтр-прессе [125, 126].

Фосфогипс вводили дозами 1 ... 4, 5 ... 10, 10 ... 20, 20 ... 30 г/л исходной жидкой фракции. По результатам исследований построены графики зависимости времени осаждения, реакции среды pH, количества взвешенных частиц  $G$  и прозрачности от дозы коагулянта, рис. 24 и 25.

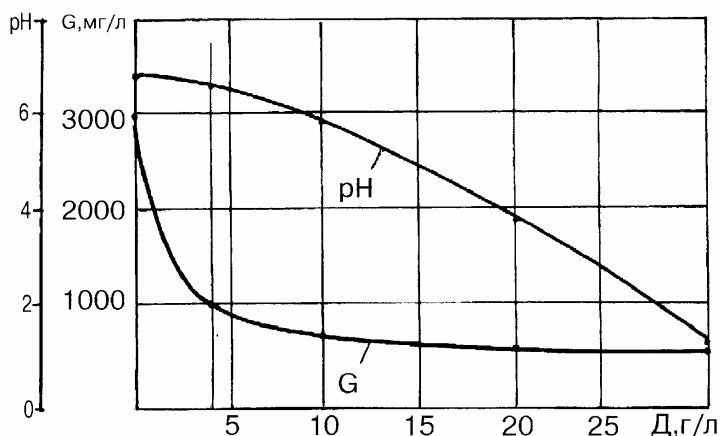
Как видно из рис. 24, оптимальной дозой коагулянта является 5 ... 10 г/л. При увеличении дозы до 20 ... 30 г/л происходит значительное снижение pH, что резко ограничивает область использования осадка и осветленной жидкости. Увеличение содержания твердых частиц и ХПК потребует дополнительных затрат на обработку осветленной жидкости.

При применении фосфогипса продолжительность процесса очистки значительно сокращается, поскольку время отстаивания составляет 3 мин, количество взвешенных веществ уменьшается на 75 %, показатель pH - до значения нейтральной среды, что позволяет использовать очищенную жидкость и осадок для орошения и удобрения на любых типах почв. Содержание фосфора в очищенной жидкости увеличивается, повышая ее ценность как удобрения. Снижаются показатели БПК и ХПК. Фосфогипс является побочным продуктом производства минеральных удобрений, что снижает себестоимость очистки навоза по сравнению с обработкой известными коагулянтами - известью и хлорным железом [126].



**Рис. 24** Зависимость времени осаждения твердых частиц и прозрачности от дозы коагулянта:

П - прозрачность, см;  
τ - время осаждения твердых частиц, мин



**Рис. 25** Зависимость количества осаждаемых взвешенных частиц и pH от доз коагулянта:

pH - реакция среды; G - взвешенные частицы

Экспериментами установлено, что в результате коагулирования жидкой фракции навоза происходит осаждение яиц и личинок гельминтов вместе с твердыми частицами, в результате чего очищенная вода освобождается от них, т.е. происходит ее обеззараживание. А выпавшие в осадок яйца и личинки гельминтов обеззараживаются биотермическим способом.

Необходимая доза фосфогипса с учетом значения реакции среды определяется по уточненной формуле

$$Д = [1,08 \cdot 10^{-6} W_{исх}(14 - pH_{исх})] / c + 1,6Б/3,$$

где  $W_{исх}$  - влажность исходного навоза, %;  $pH_{исх}$  - значение реакции среды исходного навоза;  $C$  - концентрация сухого вещества в исходной массе, %;  $Б$  - содержание органического вещества в исходном навозе, %;  $З$  - зольность исходной массы, %.

#### Оценка эффективности процессов уборки, транспортировки и переработки бесподстильного навоза



Определение основных показателей эффективности производства продукции животноводства в новых условиях хозяйствования является чрезвычайно важным, так как позволяет выявить не только ее конкурентоспособность, но и воздействие на окружающую среду, в том числе и на плодородие почвы.

Повышение эффективности процессов уборки, транспортировки и переработки навоза осуществляется за счет: оптимизации параметров каналов и процесса удаления, совершенствования насосных станций и процессов гидротранспортирования, использования для разделения ленточного фильтр-пресса и применения нового способа очистки жидкой фракции от взвешенных частиц.

Реализация соответствующих разработок предполагает их комплексное внедрение для достижения конечной цели: получения высокого качества получаемого навоза (влажность не более 92 ... 94 %), повышение производительности установок, снижения потерь массы, затрат энергии и труда, влияния на окружающую среду и улучшение условий труда и содержания животных.

#### Эффективность процессов уборки, транспортировки и переработки бесподстильного навоза

При расчете экономической эффективности использовались общеизвестные методики, ГОСТ 23728 - 79 ... ГОСТ 23730 - 79 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки, письма статистического управления РФ по ценам на 01.01.1996 г. и нормативы амортизационных отчислений.

Годовой экономический эффект определяли по экономии приведенных затрат и рассчитывали по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_6 + E_n K_6) - (C_n + E_n K_n) A_n,$$

где  $\mathcal{E}$  - годовой экономический эффект, тыс. р.;  $C_6, C_n$  - себестоимость единицы продукции по базовому и новому вариантам, тыс. р.;  $K_6, K_n$  - капитальные вложения в базовом и в новом варианте, тыс. р.;  $E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,15;  $A_n$  - объем применения результатов новой техники в расчетном году в натуральных единицах, м<sup>3</sup>.

Для сравнения показателей эффективности приняты две базовые, используемые в производстве и предлагаемая схемы уборки, транспортировки, разделения жидкого навоза и очистки жидкой фракции от взвешенных частиц.

Схема 1. Для уборки навоза используется самотечная система периодического действия. Транспортировка жидкого навоза от навозоприемника к цеху для разделения осуществляется фекальным насосом 3Ф-12 (Типовой проект насосной станции ТП 815-59-81). Разделение исходного навоза происходит в цехе, построенному по типовому проекту ТП 815-60-87, в котором установлены четыре дуговых сита СДФ-50 и два пресса ПЖН-68.

Очистка жидкой фракции от взвешенных частиц проводится в отстойнике ООС-25.

Твердая фракция после разделения обеззараживается биотермическим способом, после чего используется в качестве органического удобрения, жидкая, после отстаивания - для полива сельскохозяйственных культур.

Схема 2. Используется технологическая линия, разработанная в ВНИПТИМЭСХе. По этой схеме уборка и транспортировка навоза осуществляется также, как и в первой схеме. Для разделения используется дуговое сито и центрифуга конструкции ВНИПТИМЭСХ. Очистка жидкой фракции от взвешенных частиц осуществляется в тонкослойном отстойнике конструкции ВНИПТИМЭСХ. Твердая и жидкая фракции используются, как и в первом варианте.

Схема 3. (Предлагаемая). Уборка навоза происходит по каналам самотечной системы с оптимальными параметрами, транспортировка навоза осуществляется насосами, установленными выше уровня перекачиваемого навоза (разработка выполнена при участии автора). Жидкий навоз разделяется в ленточном фильтр-прессе (установка разработана и подготовлена при участии автора), очистка жидкой фракции от взвешенных частиц проводится по новому способу в отстойнике-коагуляторе с помощью фосфогипса (разработка автора). Твердая фракция подвергается биотермическому обеззараживанию и используется в качестве органического удобрения. Жидкая фракция, после очистки от взвешенных частиц, применяется для удаления осадка из каналов и на орошении сельскохозяйственных культур.

Исходные данные по трем схемам (вариантам), необходимые для расчета показателей эффективности, представлены в табл. 4.1.

Основными элементами, составляющими эффективность при уборке навоза, являются: разница объема получаемого исходного навоза и осадка, остающегося в канале после истечения и, в соответствии с этим, значительные затраты труда и энергии на их удаление.

### 3 Исходные данные для расчета технологического эффекта

Наименование показателей	Вариант		
	1	2	3
1 Уборка навоза			
Количество животных тыс. шт.	27	27	27
Выход навоза в сутки, м <sup>3</sup> ,	276	276	210
в том числе:			
экскременты	162	162	162
вода для смыва осадка	114	114	48
Влажность получаемого навоза, %	96	96	96
2 Транспортировка навоза			
Производительность насосов, м <sup>3</sup> /сут.	276	276	210
Тип насоса	3Ф-12	3Ф-12	3Ф-115/38

Количество насосов, шт.	2	2	2
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	115	115	80
Мощность электродвигателя, кВт	30	30	17

Продолжение табл. 3

Наименование показателей	Вариант		
	1	2	3
3 Разделение навоза			
Тип установки	СДФ-50	СДФ-50	Ленточный фильтр-пресс
Количество	2	2	1
Мощность электродвигателя, кВт	2,76	6,9	3,5
Тип установки	Пресс-фильтр ПЖН-68	центрифуга ВНИПТИМЭСХ	
Количество	2	1	
Мощность электродвигателя, кВт	6,9	13	
Очистка жидкой фракции	Отстойник ООС-25	Тонкослойный отстойник	Отстойник-коагулятор
Количество	1	1	1
Мощность электродвигателя, кВт	2,85		3,0

Использование ленточного фильтр-пресса для разделения жидкого навоза, разработанного под руководством и при участии автора по третьему варианту, вместо двух дуговых сит и шнекового пресса по первому, дуговых сит и центрифуги ВНИПТИМЭСХ по второму вариантам позволяет снизить затраты труда, энергии и время обработки, что приводит к снижению потерь питательных веществ в единице объема.

Основным фактором, влияющим на эффективность процесса очистки жидкой фракции от взвешенных частиц по третьему варианту, в котором используется новый способ, предложенный автором, по сравнению с первым и вторым вариантами, при которых используются отстойник ООС-25 и тонкослойный отстойник конструкции ВНИПТИМЭСХ соответственно, является время обработки и, в связи с этим, потребление электроэнергии и затрат труда.

Из табл. 3 следует, что происходит сокращение объема получаемого навоза по предлагаемому третьему варианту, по сравнению с первым и вторым на 24 %, что объясняется использованием очищенной воды (жидкой фракции) на удаление осадка, вместо питьевой.

Результаты расчетов показателей технико-экономической эффективности процессов уборки, транспортировки и переработки представлены в табл. 4.

#### 4 Показатели технологического эффекта процессов уборки, транспортировки и переработки навоза

Наименование показателей	Вариант			Относит. показатель, %
	1	2	предлагаемый	
	2	3	4	
1 Уборка навоза				
Время смыва осадка, ч	1,4	1,4	0,8	
Затраты электроэнергии, кВт	23,8	23,8	13,6	на 43
Затраты труда, чел. ч	1,4	1,4	0,8	меньше
Удельные затраты труда, чел. ч/м <sup>3</sup>	0,05	0,05	0,04	на 20 меньше
Расход воды на одно животное, л/сут.	4,2	4,2	1,8	на 57 меньше
2 Транспортировка навоза				
Производительность, м <sup>3</sup> /сут.	276	276	210	на 24 меньше
Время работы насосов, ч	4,76	4,76	8,4	на 76 больше

Расход электроэнергии, кВт · ч	142,5	142,5	142,8	
Затраты труда, чел · ч	4,76	4,76	1,0	на 79 меньше
3 Разделение Тип установки	Дуговое сито	Дуговое сито	Ленточный фильтр-пресс	
Время работы, ч	5,52	5,52	8,4	

Продолжение табл. 4

Наименование показателей	Вариант			Относит. показатель, %
	1	2	предлагаемый	
	2	3	4	5
Затраты труда, чел · ч	2,76	2,76	4,0	
Расход электроэнергии, кВт · ч	13,8	13,8	29,4	
Тип установки	Шнековый фильтр-пресс	Центрифуга ВНИИП-ИМЭСХ		
Объем навоза, м <sup>3</sup> /сут.	6,7	8,9		
Время работы, ч	8,67	3,9		
Затраты труда, чел · ч	8,67	3,9		
Расход электроэнергии, кВт · ч	59,8	57,2		
Всего на разделении Время работы установок, ч	14,9	9,42	8,4	на 40/11* меньше
Затраты труда, чел · ч	11,43	6,66	4,0	на 65/40* меньше
Расход электроэнергии, кВт · ч	73,6	71,0	29,4	на 60/59* меньше
4 Очистка жидкой фракции Объем жидкой фракции, м <sup>3</sup>	258,8	230	157	на 39/32* меньше
Время работы, ч	11,7	11,7	1,0	в 11,7 раз меньше
Расход электроэнергии, кВт · ч	33,4	32,8	3,0	в 11/10* раз меньше

\*Числитель, по сравнению с первым вариантом, знаменатель - по сравнению со вторым.

Анализ результатов расчетов показателей энергии и трудозатрат показывает, что: затраты труда по предлагаемому варианту по сравнению с первым базовым снижаются в 4,6, со вторым базовым в 2,4 раза; затраты электроэнергии - в 1,45 и 1,43 раза; расход воды на 58 % соответственно, годовой экономический эффект от внедрения составляет 138 и 182 млн. руб. по сравнению с первым и вторым вариантами.

Ввиду того, что получение, транспортировка и переработка жидкого навоза по предлагаемому варианту происходит в потоке, по времени в 2,9 и 2,4 раза меньше соответствующих базовых вариантов, то потери массы и питательных веществ снижаются до минимума, вследствие чего пропорционально снижается степень загрязнения окружающей среды.

## ВЫВОДЫ

1 Установлено, что в настоящее время получить в одном устройстве жидкую и твердую фракции, удовлетворяющие агротехническим, ветеринарным и мелиоративным требованиям с малыми затратами труда и энергии не удастся. Причинами сложившегося положения являются: большое изменение влажности исходного навоза (92 ... 98 %), жесткие требования к получаемым

продуктам разделения, необходимость высокой производительности в связи с обработкой большого количества навоза, несоответствие принципов действия используемых машин физико-механическим свойствам, отсутствие показателей эффективности работы установок, способствующих повышению интенсивности разделения, снижению трудо- и энергозатрат и металлоемкости.

2 При очистке жидкой фракции от взвешенных частиц химическими коагулянтами, электрокоагуляцией, электрофлотацией, озонированием, ультрафильтрацией достигается высокая степень очистки, но большие расходы коагулянтов, электроэнергии и низкая производительность сдерживают внедрение этих методов.

Следовательно, изыскание способов очистки жидкой фракции от взвешенных частиц, использование очищенной воды на смыве осадка при уборке, позволяющих снизить расход чистой воды в 1,2 ... 1,8 раза, получить навоз оптимальной влажности при сохранении в нем питательных веществ, остается на сегодня одним из путей эффективности уборки и переработки жидкого навоза.

3 Получены математические зависимости, позволяющие определять конструктивные и кинематические параметры ленточного фильтр-пресса.

4 Сравнительные испытания различных устройств позволили сделать заключение, что на сегодня наиболее эффективным для разделения жидкого навоза, удовлетворяющим агротехническим, ветеринарным и мелиоративным требованиям, является ленточный фильтр-пресс, так как:

- эффективность разделения выше, чем у центрифуги типа НОГШ и ВНИПТИМЭСХ, ленточного фильтра "Сафите";
- затраты энергии в 2 раза меньше, чем на ленточном фильтре "Сафите", в 5 раз меньше, чем на центрифуге ВНИПТИМЭСХ и в 16 раз меньше, чем на центрифуге НОГШ;
- затраты труда на процент снижения влажности в 2,5 раза ниже, чем в шнековом прессе ПЖН-68 и в 6 раз - в центрифуге ВНИПТИМЭСХ;
- за счет использования свободной фильтрации и фильтрации под давлением выделяется до 81 % взвешенных частиц, вместо 75 % - в ленточном фильтре "Сафите", при этом удаляется избыточная, свободная и частично капиллярная влага;
- совмещение процессов свободной и под давлением фильтрации приводит к уменьшению потерь массы и питательных веществ вдвое, снижению загрязнения окружающей среды.

5 Впервые, для разделительных устройств, предложен показатель интенсивности снижения влажности в единицу времени с единицы объема и его производные - трудо- и энергозатраты на процент снижения влажности. Для различных устройств эти показатели изменяются от 0,4 до 4,74, 0,1 ... 3,0 и 0,14 ... 1,62 соответственно. Оптимальным значением показателя интенсивности снижения влажности для современных установок является 0,7 ... 0,9.

6 Производительность предлагаемого ленточного фильтр-пресса в зависимости от влажности исходного навоза составила 18 ... 40 м<sup>3</sup>/ч, при влажности получаемых твердой 72 ... 75 и жидкой 98 ... 99 % фракций и скорости ленты 0,6 ... 0,8 м/с, что подтвердило теоретические расчеты.

7 Использование предложенного способа очистки жидкой фракции от взвешенных частиц с помощью фосфогипса, внесенного в количестве 0,5 ... 1,0 % к массе исходной фракции позволяет: сократить время осаждения более чем в 40 раз по сравнению с естественным отстаиванием, снизить капитальные вложения на строительство отстойников, повысить качество очистки, содержание фосфора в осадке, использовать очищенную от взвешенных частиц, яиц и личинок гельминтов сточную воду при удалении осадка и орошении сельскохозяйственных культур. Стоимость 1 м<sup>3</sup> очищенной сточной воды с помощью фосфогипса, являющегося побочным продуктом химического производства в 2 ... 5 раз меньше, чем при использовании сернокислого алюминия, хлорида железа, гидроокиси кальция и хлорида цинка.

8 Совокупность испытанных устройств, составляющих биотехнологическую систему уборки, транспортировки и переработки навоза позволяют: создавать замкнутую, энергосберегающую, природоохранную систему уборки и утилизации бесподстилочного навоза; использовать самотечные системы уборки навоза периодического действия; получать жидкий навоз влажностью 92 ... 94 % с минимальным разбавлением водой; транспортировать его по трубам с оптимальными скоростями, используя для этих целей совмещенные насосные станции с установкой насосов выше уровня перекачиваемого жидкого навоза, разделять полученный навоз в одном устройстве - ленточном фильтр-прессе; очищать жидкую фракцию от взвешенных частиц с помощью фосфогипса до норм, при которых очищенную воду можно использовать при удалении осадка из каналов и поливе сельскохозяйственных культур.

9 Теоретически обоснованный и экспериментально проверенный замкнутый цикл БТС уборки, транспортировки, разделения и обеззараживания жидкого навоза и очистки жидкой фракции дает основание для разработки рекомендаций по: улучшению содержания животных, безопасных условий работы обслуживающего персонала, охране окружающей среды и снижению энергоемкости всех процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лер Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: Пер. с англ. / Под. ред. А. Н. Шамко. М.: Колос, 1979. 415 с.
- 2 Тиво П. Ф., Дробот С. Г. Эффективное использование бесподстилочного навоза. Минск: Ураджай, 1988. 116 с.
- 3 Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. М.: Колос, 1983. 61 с.
- 4 Долгов В. С. Гигиена уборки и утилизации навоза. М.: Россельхозиздат, 1984. 175 с.
- 5 Звягинцев Д. Г. Современные проблемы экологии почвенных микроорганизмов // Микробиология окружающей среды. Алма-Ата, 1980. С. 65 - 78.
- 6 Васильев В. А., Филиппова Н. В. Справочник по органическим удобрениям. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Росагропромиздат, 1988. 255 с.
- 7 Агрохимия / Под ред. В. М. Ключковского и А. В. Петербургского. М.: Колос, 1967. 583 с.
- 8 Хохлов В. И. Подготовка и применение органических удобрений в условиях интенсивного земледелия // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1988. № 12. С. 11 - 14.
- 9 Васютин А. С. Земледелие России: состояние и задачи // Земледелие. 1996. № 3. С. 4 - 5.
- 10 Ковалев Н. Г., Глазков И. К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. М.: Агропромиздат, 1989. 160 с.
- 11 Бацанов И. Н., Лукьяненко И. И. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах. М.: Россельхозиздат, 1977. 160 с.
- 12 Лексиков В. А., Пискун В. И., Самофалов А. П. Линия для разделения и очистки жидкого навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1986. № 11. С. 15 - 16.
- 13 Савин Д. К., Наурузбаев С. К. Механизация разделения навоза на фракции // Техника в сел. хоз-ве. 1983. № 8. С. 22 - 24.
- 14 Королева М. М., Капустин В. П. Способы переработки жидкого навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1973. № 9. С. 37 - 41.
- 15 Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета: ОНТП 17-81. М.: Колос, 1983. 32 с.
- 16 Коваленко В. П. Механизация обработки бесподстилочного навоза. М.: Колос, 1985. 156 с.
- 17 Письменов В. Н. Получение и использование бесподстилочного навоза. М.: Россельхозиздат, 1988. 206 с.
- 18 Гришин Е. А. Состояние и перспективы механизации и переработки навоза: Обзор. информ. / ЦНИИТЭИ. М., 1986. 54 с.
- 19 Семченко А. И., Рязанцев В. П. Пути решения проблемы переработки сточных вод животноводческих ферм промышленного типа: Обзор. информ. М.: ВНИИТЭИ. 1979. 43 с.
- 20 Савин В. Д., Шрамков В. М., Жирков Е. И. и др. Механизация подготовки к использованию органических отходов ферм и комплексов: Обзор. информ. М.: ВНИИТЭИагропром, 1992. 44 с.
- 21 Андреев В. А., Новиков М. Н., Лукин С. М. Использование навоза свиней на удобрение. М.: Росагропромиздат, 1990. 94 с.
- 22 Мельников С. В., Калюга В. В., Сафронов Ю. К. Гидравлический транспорт в животноводстве. М.: Россельхозиздат, 1976. 187 с.
- 23 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.
- 24 Гриднев П. П., Ковалев А. А., Капустин В. П. Отстойник-сгуститель ООС-25 // Уборка навоза на животноводческих фермах: Комплект плакатов. М.: Колос, 1983. Лист 14.
- 25 Ashfield G. Dual lagoons delay reckoning day // Dairy Herd. 1977. V. 14. № 5. P. 14 - 22.
- 26 The Arcub process - how it works-British // Farmer and Stockbreeder. 1977. V. 6. P. 27.
- 27 . Линник Н. К., Сапун В. П., Ковалев Н. Г. и др. Контейнерный способ удаления бесподстилочного навоза // Техника в сел. хозяйстве. 1982. № 7. С. 22 - 23.
- 28 A net under slats? // Pig American. 1980. November. P. 28 - 30.
- 29 Васильев В. А., Лукьяненко И. И., Минеев В. Г. и др. Органические удобрения в интенсивном земледелии / Под ред. В. Г. Минеева. М.: Колос, 1984. 303 с.
- 30 Чудин Е. И. Тенденции развития оборудования для удаления, хранения и переработки навоза за рубежом: Обзор. информ. / ЦНИИТЭИ В/О, "Сельхозтехника". М.: 1976. 25 с.
- 31 Manure treatment in nerspective // Pig International. 1976. V. 6, № 4. P. 38 - 40.
- 32 Письменов В. Н. Уборка, транспортировка и использование навоза. М.: Россельхозиздат, 1975. 200 с.
- 33 Сурнин В. И. Использование жидкого навоза. М.: Россельхозиздат, 1978. 64 с.
- 34 Лосяков В. П., Ковалев А. А., Капустин В. П. Виброгрохот ГБН-100 // Уборка навоза на животноводческих фермах: Комплект плакатов. М.: Колос, 1983. Лист 12.

- 35 Рекомендации по проектированию обработки и использования сточных вод животноводческих комплексов и птицефабрик. М.: Колос, 1979. 79 с.
- 36 Васильев В. А., Швецов М. М. Применение бесподстилочного навоза для удобрения. М.: Колос, 1983. 174 с.
- 37 Леонтьев П. И. Рухленко А. П. Зависимость количества выделяемой при фильтровании влаги от длины ротора // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1978. № 10. С. 28 - 29.
- 38 Киров Ю. А. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров фильтрующей центрифуги: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 1971. 20 с.
- 39 Гришин Б. М., Бойцов А. И. Оборудование для разделения жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1995. № 9 - 10. С. 13 - 14.
- 40 Мельников С. В. Технологическое обслуживание животноводческих ферм и комплексов. 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, 1985. 640 с.
- 41 В. М. Новиков, В. В. Игнатова, Ф. Ф. Костанди и др. Механизация уборки и утилизации навоза / Под ред. Ф. Ф. Костанди. М.: Колос, 1982. 285 с.
- 42 Lucas N. How to separate a liqued asset // Power Farming. 1976. V. 5, № 7. P. 44 - 47.
- 43 Separace kudy prasat odstredivkou Titan // Mechanizace zemedelstvi. 1978, R. 26, C. 1. S. 28 - 31.
- 44 Litzenger F.W. Flussigkeitfilter, Zentrifugen und Hydrozirkone // Chemie-Itgenieur-Technik.-Weinheim, 1967. № 39. S. 1326 - 1331.
- 45 Reimann W., Iock K., Muller R. Fest-Flusig-Trennung von Gulle mit der Burstensichschnecke // Agrartechnik. 1986. № 1. S. 29 - 31.
- 46 Фурсин П. А. Обоснование поточно-технологических линий удаления и переработки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1983. № 8. С. 34 - 36.
- 47 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; Рук. В. П. Капустин. № Гр 7707740; Инв. № Б 629569. Тамбов, 1976. 152 с.
- 48 Ходченко Н. Инженерные средства сооружения по уборке, обработке и переработке навоза на животноводческих фермах и предприятиях. М.: ЦИНИС, 1976. 34 с.
- 49 Марченко Н. М., Шебалкин А. Е., Воропаев В. В. и др. Технология и технические средства для внесения органических удобрений. М.: Росагропромиздат, 1991. 190 с.
- 50 Билык В. В., Лосяков В. П., Капустин В. П. Пресс-фильтр ПЖН-68 // Уборка навоза на животноводческих фермах: Комплект плакатов. М.: Колос, 1983. Лист 13.
- 51 Комаров Г. В. Обезвоживание свиного навоза при помощи виброгрохота и прессы: Науч.-техн. бюллетень по электрификации сел. хоз-ва / ВИЭСХ, М., 1977. Вып. 1. С. 36 - 40.
- 52 Рыженков В. Н., Комаров Г. В. Режим отжатия свиного навоза шнековым прессом: Науч.-техн. бюллетень по электрификации сел. хоз-ва / ВИЭСХ, М., 1977. Вып. 1(31). С. 41 - 42.
- 53 Бакулов И. А., Кокурин В. А., Котляров В. М. Обеззараживание навозных стоков в условиях промышленного животноводства. М.: Росагропромиздат, 1988. 126 с.
- 54 А.с. 1646497 СССР, МКИ А 01С 3/00. Установка для разделения навозных стоков.
- 55 А.с. 927274 СССР, МКИ А 01С 3/00. Устройство для разделения стоков.
- 56 А.с. 1470212 СССР, МКИ А 01С 3/00. Установка для разделения навоза на фракции.
- 57 А.с. 1715227 СССР, МКИ А 01С 3/00. Установка для транспортировки и разделения материалов на фракции.
- 58 А.с. 1166694 СССР, МКИ А 01С 3/00. Устройство для разделения навоза на фракции.
- 59 А.с. 1665903 СССР, МКИ А 01С 3/00. Устройство для разделения навоза на фракции.
- 60 А.с. 902788 СССР, МКИ В 01Д 33/04. Ленточный вакуум-фильтр.
- 61 278. А.с. 548300 СССР, МКИ В 01Д 33/04. Ленточный фильтр непрерывного действия для обезвоживания осадков.
- 62 А.с. 1757500 СССР, МКИ А 01С 3/00. Устройство для разделения животноводческих стоков.
- 63 Making the most of Waste // Feedstuffs, 1977. V. 49, № 49. P. 22 - 24.
- 64 Коваленко В. П. Анализ технологий биоферментации навоза // Исследование и разработка средств механизации технологических процессов в животноводстве / ВНИПТИМЭСХ. зерноград, 1983. С. 56 - 66.
- 65 Веригин В. С., Половцев Е. Л. Утилизация и переработка навоза и помета // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1993. № 9. С. 14 - 15.
- 66 Пузанков А. Г., Мхитарян Г. А., Гришаев И. Д. Обеззараживание стоков животноводческих комплексов. М.: Агропромиздат, 1986. 175 с.
- 67 Выпирайло А. Г., Ковалев А. А., Лосяков В. П. и др. Методы переработки и обеззараживания навоза: Экспресс-информ. КазНИИТИ. Алма-Ата, 1980. Вып. 117 (751). 36 с. Серия 21.10.
- 68 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; Рук. В. П. Капустин. № Гр. 7707912; Инв. № Б 913155. Тамбов, 1980. 125 с.

- 69 Байдукин Ю. А., Першин А. Ф., Пяева О. Д. и др. Очистка сточных вод дисковыми биофильтрами // Техника в сел. хоз-ве. 1978. № 10. С. 40 - 43.
- 70 Львов Н. С. Биотермическое обеззараживание навоза. М.: Сельхозгиз, 1953. 88 с.
- 71 Некрасов В. Г. Оценка экономического эффекта метанового сбраживания навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1989. № 6. С. 27 - 29.
- 72 Ковалев А. А., Гриднев П. И. Перспективы применения анаэробного сбраживания для переработки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 8. С. 38 - 39.
- 73 Ясенецкий В. А., Таргоня В. С. Оборудование для получения биогаза из навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1990. № 6. С. 23 - 25.
- 74 Пузанков А. Г., Бородин В. И., Гребцов Ю. И. и др. Биоэнергетическая установка для переработки навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1994. № 5 - 6. С. 7 - 8.
- 75 Шароборо И. Д. Состояние и перспективы развития биогазовых установок: Обзорн. информ. / ЦНИИТЭИ. М., 1980. 40 с.
- 76 Николаев А. И. Ветромеханическая биогазовая установка // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1994. № 5 - 6. С. 9.
- 77 Sweeten J. Mathone production from livestock Waste. Texas. Agr. Progress. 1978, V. 24, № 3. S. 19 - 22.
- 78 Фокина В. Д., Хитров А. Н. Переработка навоза в биогаз. М.: НИИТЭИСХ, 1981. 50 с.
- 79 Technische Neuentwicklungen landwirtschaft-licher Biogasanlagen // Korrespondenz Alwasser. 1983. № 6. S. 406 - 416.
- 80 Гришин Б. М., Бойцов А. И. Оборудование для разделения жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1995. № 9 - 10. С. 13 - 14.
- 81 Wastetreatment in agriculture // Applied Scince. London, 1978. P. 1 - 256.
- 82 Gobel W. Biogasanlagen: Reizvolle Hufgabe fur Ingenieure // Schweizerische technische Zeitschrift. 1982. № 24. S. 4 - 7.
- 83 Штясны М., Гриммова Х. Производство и применение биогаза. Прага: ИНТИСХ, 1980. 37 с.
- 84 Зубко Б. И., Новосельская А. П., Драч Ю. А. Особенности технологии переработки и обеззараживания жидкого навоза в процессе анаэробно-метанового сбраживания // Биологическая переработка: Тез. докл. совещ. Киев, 1983. С. 91 - 93.
- 85 Половцев Е. Л., Черкасов А. Н. Производство органических компостов на промышленную основу // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1992. № 9 - 12. С. 16 - 18.
- 86 Севернев М. М. Важнейшие направления энергосбережения в сельскохозяйственном производстве // Техника в сел. хоз-ве. 1989. № 3. С. 3 - 5.
- 87 Берглунд С., Анианссон Г., Экесбу И. Транспортировка жидкого навоза / Пер. со швед. под ред. И. Ф. Ромашкевича. М.: Колос, 1962. 183 с.
- 88 Рекомендации по использованию жидкого навоза на полях и методом гидропоники. М.: РосНИПИагропром, 1987. 47 с.
- 89 Вороневский С. И., Шлейдер М. С., Зайцев К. П. Белок и удобрения из навоза // Сельское хоз-во Молдавии. 1972. № 9. С. 15 - 19.
- 90 Feeld algal grown in hog Waste // Hog farm management. 1977. V. 14. № 10. P. 27 - 28.
- 91 Покровская С. Ф., Прижуков Ф. Б. Вермикомпостирование // Земледелие. 1990. № 12. С. 57 - 59.
- 92 Бондаренко А. М., Устенко С. Ф. Обоснование технологии и некоторых технических средств производства биогаза // Исследования и разработка средств механизации технологических процессов в животноводстве / зерноград: ВНИПТИМЭСХ. 1993. С. 67 - 71.
- 93 Линник Н. К., Супрун В. П., Портман М. Н. Комплексная технико-экономическая оценка технологических схем уборки и утилизации навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1985. № 11. С. 3 - 6.
- 94 Котов В. В., Гребцов В. А., Конопкин Н. В. Ультрафильтрационная установка // Техника в сел. хоз-ве. 1987. № 6. С. 26 - 27.
- 95 Полонский Л. С., Дмитренко Н. Г. Очистные сооружения на комплексах // Техника в сел. хоз-ве. 1981. № 6. С. 26 - 28.
- 96 Яковлев С. В., Найдено В. В., Швецов В. Н. и др. Проблема очистки и использование сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1984. № 5. С. 7 - 9.
- 97 Линник Н. К., Трегуб Н. И., Ковалев Н. Г. Очистка навозных стоков известковой суспензией // Техника в сел. хоз-ве. 1989. № 6. С. 32 - 33.
- 98 Быстраков Ю. И., Колосов А. В. Экономика и экология. М.: Агропромиздат, 1988. 202 с.
- 99 Черепанов А. А. Система санитарно-гельминтологических мероприятий по подготовке и использованию стоков и навоза животноводческих комплексов. М.: ВАСХНИЛ, 1985. 186 с.
- 100 Сергеев А. Л. Методика расчета электрофлоккоагуляторов для очистки навозных стоков // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1984. № 7. С. 45 - 46.
- 101 Капустин В. П., Пчелинцев В. А. Физико-химические методы оценки сточных вод // Свиноводство. 1981. № 10. С. 33 - 34.
- 102 Наумов Е. М., Капустин В. П., Пчелинцев В. А. Электрофлотация сточных вод животноводческих комплексов // Проблемы совершенствования молочных ферм: Тез. докл. к Всесоюз. науч.-техн. совещ. М., 1978. С. 74 - 76.
- 103 Терновцев В. Е., Пухачев В. М. Очистка промышленных сточных вод. Киев: Будивельник, 1986. 120 с.
- 104 Коваленко В. П. Механико-технологическое обоснование процессов разделения навоза на свиноводческих комплексах: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Ленинград-Пушкин, 1985. 40 с.

- 105 Полонский Л. С. Разделение свиного навоза с помощью осадительной центрифуги // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1975. № 6. С. 21 - 22.
- 106 Казакевичус В. В. Исследование и обоснование технологии приготовления и внесения органических удобрений из свиноводческих комплексов с повторным использованием фильтрата навоза: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Елагва, 1979. 18 с.
- 107 Лукьяненко И. И. Центробежное фильтрование свиного навоза // Вопросы механизации, технологии и строительства в животноводстве: Тр. ВНИИМЖ. Подольск, 1975. Т. 5. С. 60 - 63.
- 108 Семенов В. И., Капустин В. П., Сарычев П. П. Определение скорости удаления осадка навоза из зоны фильтрования // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1977. № 9. С. 46.
- 109 Сарычев П. П., Капустин В. П. Исследование процесса обезвоживания жидкого навоза // Науч.-техн. бюллетень по электрификации сел. хоз-ва. М.: ВИСХ. 1977. Вып. 1(31). С. 33 - 38.
- 110 Жужиков В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. 4-ое изд. М.: Химия, 1980. 398 с.
- 111 Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. 318 с.
- 112 Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. 4-е изд., перераб. и доп. Киев: Наук. думка, 1983. 528 с.
- 113 А.с. № 1119986. СССР, МКИ СО2F 1/52. Способ очистки жидкого навоза от взвешенных частиц.
- 114 Саяпин В. А., Капустин В. П. Определение скорости сетки фильтр-пресса при разделении жидкого навоза // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 1979. № 12. С. 47 - 48.
- 115 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. С. 87 - 88.
- 116 Малиновская Т. А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза. М.: Химия, 1971. 318 с.
- 117 Капустин В. П. Обезвоживание твердой фракции навоза в отжимном устройстве // Техника в сел. хоз-ве. 1995. № 1. С. 25 - 26.
- 118 Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.
- 119 Александров А. П., Лазуркин Ю. С. Принцип температурно-временной суперпозиции // Теоретическая физика. 1939. Т. 9. С. 1924 - 2260.
- 120 Капустин В. П. Биотехнологическая система уборки, транспортировки и переработки жидкого навоза // Техника в сел. хоз-ве. 1996. № 4. С. 9 - 11.
- 121 А.с. 530377 СССР, МКИ В 01 Д 33/04. Ленточный фильтр для обезвоживания осадков.
- 122 А.с. 871810 СССР, МКИ В 01 Д 33/04. Ленточный фильтр для обезвоживания осадков.
- 123 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 (Про-межучастный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; Рук. В. П. Капустин. № Гр. 77079120; Инв. № Б 735051. Тамбов, 1978. 133 с.
- 124 Капустин В. П. Технологические показатели эффективности процесса разделения жидкого навоза // 2-я науч. конф: Крат. тез. докл. / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов. 1995. С. 74 - 75.
- 125 Капустин В. П. Повышение эффективности технологических процессов уборки, транспортировки и переработки бесподстилочного навоза: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 1997. 40 с.
- 126 Капустин В. П., Названцев В. И., Жилкин К. В. Очистка жидкого навоза от взвешенных частиц // Первая науч. конф. Крат. тез. докл. Тамб. техн. ун-т. Тамбов, 1994. С. 114 - 115.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ**

<b>БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА</b> .....	3
Анализ способов и средств разделения жидкого навоза .....	3
Способы и средства биологической обработки навоза .....	22
Очистка жидкой фракции от взвешенных частиц .....	27
Теоретические исследования процесса разделения жидкого навоза .....	30
Испытания установок для разделения жидкого навоза .....	44
Исследование процесса коагуляции жидкого навоза с помощью фосфогипса .....	59
Оценка эффективности процессов уборки, транспортировки и переработки бесподстилочного навоза .....	61
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	67
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	70