

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Удмуртский государственный университет»

# Технологии вторичного применения органических отходов

Учебно-методическое пособие



Ижевск  
2021

УДК 504.002.8(075.8)  
ББК 20.18:51.21я73  
Т384

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом ФГБОУ ВО «УдГУ»*

**Рецензент** к. п. н., доц. **А.В. Попков**

**Составитель:** к. т. н., доц. каф. «Инженерная защита окружающей среды» **О. П. Дружакина**

Т384 **Технологии вторичного применения органических отходов:** учеб.-метод. пособие / сост. О.П. Дружакина. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. – 80 с.

**ISBN 978-5-4312-0888-1**

В учебно-методическом пособии рассмотрены технологии биологической переработки органических отходов с применением биогазовых установок, факторы, влияющие на количество и качество получаемого биогаза и удобрений, и методика расчета их конструкторско-технологических параметров.

Учебно-методическое пособие предназначено для проведения практических работ по дисциплинам «Утилизация отходов», «Санитарная охрана территорий, управление отходами производства и потребления», «Технологии вторичного применения органических отходов», а так же для написания курсовых работ и проектов, ВКР и НИРС студентов бакалавриата и магистратуры по направлениям подготовки 20.03.02 и 20.04.02 «Природообустройство и водопользование», 20.04.01. «Техносферная безопасность» (программа «Промышленная экология»), а также специалистов в области инженерной защиты окружающей среды и рационального природопользования.

УДК 504.002.8(075.8)  
ББК 20.18:51.21я73

ISBN 978-5-4312-0888-1

© О.П. Дружакина, сост., 2021  
© ФГБОУ ВО «Удмуртский  
государственный университет», 2021

## Оглавление

Введение.....	4
<b>ЧАСТЬ 1. Обработка органических отходов животноводства.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Теоретическая часть.....</b>	<b>6</b>
Влияние состава сырья на выход биогаза	
Факторы, влияющие на процесс брожения	
Обзор конструкций биогазовых установок	
Обзор систем обработки отходов животноводства	
<b>1.2. Методика расчета параметров биореактора.....</b>	<b>41</b>
Тепловой расчёт биогазовых установок	
Расчёт поверхностей нагрева биореакторов	
Тепловой баланс биогазовой установки	
<b>1.3. SWOT-анализ внедрения биогазовой установки</b>	
<b>на примере совхоза в УР.....</b>	<b>49</b>
<b>1.4. Задания для самостоятельного выполнения.....</b>	<b>63</b>
<b>ЧАСТЬ 2. Обработка осадков сточных вод .....</b>	<b>65</b>
<b>2.1. Теоретическая часть .....</b>	<b>65</b>
<b>2.2. Методика расчета сооружений обезвоживания осадков.....</b>	<b>67</b>
Расчет параметров флотационного илоуплотнителя	
Расчет параметров фильтр-прессов	
Расчет параметров центрифуг	
<b>2.3. Задания для самостоятельного выполнения.....</b>	<b>72</b>
Список литературы.....	73
Приложения.....	75

## Введение

Современный подход к системе переработки органических отходов – сельского хозяйства, пищевой отрасли и осадков после очистки сточных вод в аэротенках должен базироваться, прежде всего, на требованиях защиты окружающей среды, куда входят:

- Устранение эмиссии неприятных запахов при получении и хранении органических отходов;
- Предотвращение контаминации продукции, заражения людей и животных возбудителями болезней в местах образования, хранения и утилизации;
- Предотвращение перегрузки почвы, воды и растений вредными веществами при утилизации органических отходов, образующихся при различных производственных процессах.

Все эти вопросы можно разрешить с внедрением в цикл работы предприятий установок по переработке органических отходов, базирующихся на анаэробном сбраживании органических веществ, в частности, навоза, осадков после аэротенков и биофильтров.

При этом применение анаэробных методов дает дополнительные преимущества с точки зрения производства сельскохозяйственной продукции (комбикорма, удобрения в жидкой и твердой фазе) и экономии энергии, так как при известных условиях позволяет экономить привозные удобрения благодаря полезным свойствам продуктов сбраживания (метан), а также первичную энергию путем реализации энергетического потенциала отходов.

Для подготовки специалистов в области разработки технологий вторичного применения органических отходов и рекомендуется данное учебно-методическое пособие.

Данное учебно-методическое пособие рекомендуется студентам:

- направления подготовки бакалавриата 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» при изучении дисциплины «Санитарная охрана территории, управление отходами производства и потребления»;

- направления подготовки магистратуры 20.04.01 «Техносферная безопасность» (программа «Промышленная экология») при изучении дисциплин «Обращение с отходами» и «Отходы как источники сырья альтернативной энергетики»;

- направления подготовки магистратуры 20.04.02. «Природообустройство и водопользование» (программа «Утилизация бытовых и промышленных отходов») при изучении дисциплины «Технологии вторичного применения органических отходов».

В ходе изучения вопросов переработки органических отходов формируются навыки:

- разработки и проведения мероприятий по повышению эффективности природоохранной деятельности в организации при обращении с отходами.
- проработки конструкторской и технологической документации на производство новой продукции в организации путем утилизации отходов.
- контроля выполнения в организации требований в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности при обращении с отходами.

Освоение вопросов технологий и сооружений переработки органических отходов направлено на освоение следующих универсальных и профессиональных компетенций:

*1. Для бакалавриата*

УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемной ситуации на основе системного анализа, выработать стратегию действия.

УК-10 Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности.

ПК-6 Способен к участию в проектировании и реализации малоотходных и безотходных технологий при строительстве промышленных объектов.

*2. Для магистратуры*

УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемной ситуации на основе системного анализа, выработать стратегию действия.

УК – 2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.

ПК-11 Способен определять технологические процессы, оборудование, технологические способы, методы в качестве наилучшей доступной технологии в организации при обращении с отходами

ПК-12 Способен разрабатывать конструкторскую и технологическую документации на производство новой продукции в организации путем утилизации отходов

Актуальность внедрения технологий переработки органических отходов производств, станций очистки сточных вод, объектов животноводства обусловлена вопросами охраны окружающей среды, рационального природопользования, энергосбережения, утилизации отходов и производства на их основе. При написании данного пособия проведен обзор научных статей, авторефератов диссертационных работ, монографий и учебной литературы таких авторов как: Чудновский А.Ф., Осмонов О.М., Кильчуковой О.Х., Миронов М.А., Токарева М.И., Гумерова Р.Х., Черняховский В.А. и другие. Полный перечень использованной по теме пособия литературы приведен в его конце и будет полезен при НИРС и подготовке ВКР по данной теме.

## ЧАСТЬ 1. Обработка органических отходов животноводства

### 1.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**Влияние состава сырья на выход биогаза.** В исходную массу для интенсификации процесса анаэробного сбраживания навоза и выделения биогаза добавляются органические катализаторы, которые изменяют соотношение углерода и азота в сбраживаемой массе (оптимальное соотношение C/N=20/1 - 30/1). В качестве таких катализаторов используются глюкоза и целлюлоза. Ориентировочное содержание азота и соотношение содержания углерода и азота в различных отходах по сухой массе представлены в таблице 1 [1, 5, 6, 12].

Таблица 1. Содержание азота и соотношение C/N в различных отходах

Вид отходов	Содержание общего N (%)	Соотношение C/N
Животноводческие фермы		
Моча	15-18	0,8
Смесь отходов боен	7-10	2,0
Птичий помёт	6,3	-
Навоз овечий	3,8	-
свиной	3,8	-
лошадиный	2,3	25
коровий	1,8	18
Растительные отходы		
Солома	1,1	48
Отходы льна	1,0	58
Сырые опилки	0,25	208

Метод анаэробного сбраживания наиболее приемлем для переработки животноводческих отходов с точки зрения гигиены и охраны окружающей среды, так как обеспечивает наибольшее обеззараживание остатка и устранение патогенных микроорганизмов.

Жидкая фаза навоза после анаэробной переработки обычно отвечает требованиям, предъявляемым к качеству сточных вод органами охраны природы. Отработанная жидкая органическая масса поступает через выгрузочную камеру в резервуар сброженной массы, а оттуда перекачивается в цистерны, с помощью которых вносят на поля обычную навозную массу.

Количество биогаза, которое может быть выделено из различных с/х отходов, остатков и смесей при оптимальных условиях анаэробной переработки, зависит от количества субстрата, условий протекания процесса, бактериального состава в реакторе и др. Некоторые данные приведены в таблице 2.

Таблица 2. Выход метана (биогаза) при метановом сбраживании сельскохозяйственных отходов

Органические отходы	Выход $\text{CH}_4$ , $\text{м}^3/\text{кг}$ сухого вещества	Содержание $\text{CH}_4$ (%)
Помёт индеек	0,640	62,0
Молочные отходы	0,625	82,0
Свиной навоз	0,580	77,5
Помёт кур	0,370	54,0
Навоз быков+меласа	0,300	48,0
Навоз быков	0,290	56,2
Силосные отходы	0,250	84,0
Навоз быков+солома	0,220	52,0
Навоз коров	0,208	55,0

Для увеличения производительности смешивают разные отходы (табл. 3).



Рис. 1. Использование продуктов переработки отходов в биогазовой установке [1]

Таблица 3. Увеличение продукции биогаза при смешивании разных отходов [1, 2, 12]

Отходы	Продукция биогаза	Увеличение продукции (%)
Навоз КРС+куриный	0,634	6,0
Помёт птицы	0,617	
Навоз КРС+ куриный+свиной (1:0,5:0,5)	0,585	11,0
Свиной навоз	0,569	
Навоз КРС+птиц	0,528	6,0
Навоз КРС+свиной	0,510	7,0
Навоз КРС	0,380	
Навоз КРС+сосняки	0,363	5,0
Сосняки	0,277	

### Факторы, влияющие на процесс брожения

**Зависимость от температуры.** Метаболическая активность и репродуктивная способность микроорганизмов находятся в функциональной зависимости от температуры. Таким образом, температура влияет на объем газа, который можно получить из определенного количества органического вещества в течение заданного времени, а также на технологическое время процесса брожения, необходимое для высвобождения при соответствующей температуре определенного количества газа (рис. 2) [5, 6, 7].

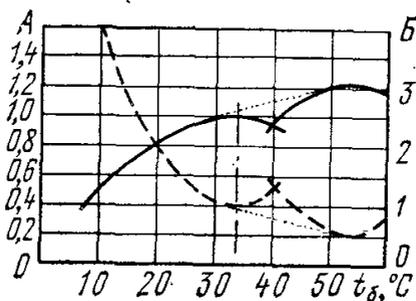


Рис. 2. Отношение количеств (А, сплошные линии) газа, выделяемого при различных температурах бродильной камеры, и необходимой для этого длительности (Б, штриховые линии) брожения к соответствующим значениям этих же величин при 33°C

В многочисленных более ранних работах названы два температурных предела (около 33<sup>0</sup> и 54<sup>0</sup>С), которым соответствует наивысшие значения

метаболической активности. Прерывистый характер протекания функции объясняется заменой мезофильного штамма бактерий на термофильный.

Однако, согласно новейшим исследованиям, такая прерывистость не существует, а это означает, что с повышением температуры примерно до 54°C условия для образования газа улучшаются. Микробиологическая активность почти прекращается, если температура падает примерно до 15°. К перепадам температуры, в особенности к ее внезапным понижениям, микроорганизмы весьма чувствительны и реагируют на это снижением метаболической активности и способности к воспроизведению.

Кроме того, температура влияет на качество газа. Так, при возрастании температуры было установлено снижение доли  $\text{CH}_4$  в общем объеме выделяющихся газов (рис. 3) [1, 2].

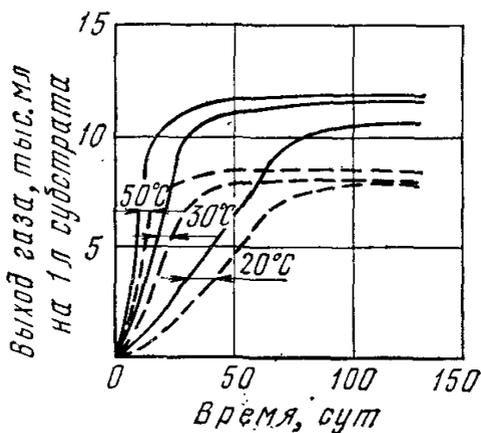


Рис.3. Влияние температуры брожения и продолжительности процесса брожения на выход и состав получаемого газа (сплошные линии - общий выход газа, штриховые – выход метана)

**Содержание кислот, pH, буферные свойства (щелочность).** Так как метаболическая активность и уровень воспроизводства метановых бактерий ниже, чем кислотообразующих, при нарастании количества образующихся органических веществ может получиться избыток летучих кислот, который снижает активность метановых бактерий, как только значение pH опустится ниже 6,5. Обычно величина pH благодаря буферным свойствам субстрата при неравномерном образовании кислот поддерживается на постоянном уровне. Эти свойства проявляются путем образования карбонатов в количествах, превышающих количество выделившегося при брожении  $\text{CO}_2$ .

В качестве оптимальных значений могут быть названы [1, 12]:

1. щелочность 1500...5000 мг  $\text{CaCO}_3$  на 1 л субстрата;

2. pH 6,5...7,5;
3. содержание летучих кислот 600...1500 мг на 1 л субстрата.

Признаки нарушения процесса анаэробного сбраживания:

1. снижение щелочности;
2. уменьшение величины pH;
3. возрастание содержания летучих кислот;
4. увеличение доли CO<sub>2</sub> в выделяющемся газе;
5. снижение выхода газа.

**Ингибиторы.** К веществам, которые в слишком большой концентрации препятствуют жизнедеятельности микроорганизмов, относятся, прежде всего, тяжелые металлы и их соли, щелочные металлы, щелочноземельные металлы, аммиак, нитраты, сульфиды, детергенты, органические растворители, антибиотики.

В таблице 4 для некоторых веществ приведены значения концентрации, которые ведут к существенному замедлению метанообразования. Для детергентов, органических растворителей и антибиотиков не имеется точных данных о критических значениях концентрации. Однако в литературе указывается, что эти вещества даже в самых незначительных количествах препятствуют процессу брожения [1, 12].

Таблица 4. Перечень веществ, негативно влияющих на процесс метанообразования

Вещество	Концентрация, мг на 1л субстрата
Медь	10
Кальций Натрий Магний	8000
Аммиак	1500
Сульфиды	200 (как сера)
Нитраты	50

**Питательная среда.** Предпосылкой беспрепятственного размножения бактерий служит наличие питательной среды, которая содержит как углерод и кислород для обеспечения этого процесса энергией, водород, азот, серу и фосфор — для образования белка, так и щелочные металлы, железо и микроэлементы.

При этом активность микробной реакции в значительной мере определяется соотношением углерода и азота. Наиболее благоприятные условия соответствуют значениям C/N = 10...16.

Если в исходном субстрате углеводов больше, чем белковых веществ, то образуется мало аммонийного азота. Вследствие этого выделяется меньше CH<sub>4</sub> и больше H<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, что ведет к увеличению выхода кислот,

снижению pH и тем самым к дальнейшему уменьшению интенсивности метанового брожения. С другой стороны, избыток белка и аминокислот обуславливает возрастание значения pH более 8, что также приводит к затуханию процесса метанобразования [1, 12].

**Концентрация твердых частиц.** Предпосылкой высокой интенсивности реакции служит беспрепятственный обмен веществ на граничных поверхностях фаз, который должен поддерживаться непрерывным обновлением этих поверхностей благодаря перемешиванию субстрата. Однако это можно обеспечить только в том случае, если вязкость субстрата допускает свободу перемещения жидкости, взвешенных твердых частиц, в особенности бактерий, и пузырьков газа. Верхняя граница концентрации твердых частиц, при которой еще возможно свободное перемещение фаз, для субстрата с мелкодисперсной взвесью твердых веществ соответствует 10... 12%. При больших значениях выход газа значительно уменьшается. Путем интенсивного перемешивания и соответствующего подвода энергии нежелательный эффект можно существенно ограничить [1, 12].

**Размеры твердых частиц.** Активного обмена веществ и высокой скорости биохимических обменных процессов можно достигнуть, если поддерживать и непрерывно обновлять максимально возможную величину граничных поверхностей между твердой и жидкой фазами. Поэтому твердые материалы, в особенности растительного происхождения, должны быть предварительно подготовлены с помощью режущих, разрывающих или плющильных устройств, чтобы в результате эффективного механического воздействия на куски стеблей и соломы получить частицы возможно меньшего размера. Доля взвешенных в жидкости твердых частиц в значительной мере зависит от технических средств, которые используются для получения тщательного перемешивания, гидравлического транспортирования субстрата и отделения газа. Современный уровень развития техники позволяет перерабатывать в сельскохозяйственных биогазовых установках субстраты с содержанием твердых веществ до 12%, если длина частиц отдельных волокнистых и стеблевидных твердых компонентов не превышает 30 мм.

В принципе органические вещества можно сбраживать и в твердой фазе, если иметь достаточно влажную среду. Однако сбраживание твердых веществ практически не получило промышленного значения, поскольку в твердой фазе нельзя обеспечить перераспределение и взаимное перемешивание бактерий и субстрата, а также удовлетворительный отвод газа.

Твердые вещества, плотность которых существенно выше, чем жидкости, обуславливают образование осадка (седиментацию) или

плавающей корки, чему способствует флотация. Возникающие в связи с этим механико-гидравлические проблемы и ухудшение процесса газозообразования могут привести к тому, что для устранения подобных нарушений потребуются более высокие затраты технических средств и энергии. Эти трудности можно исключить, если упомянутые вещества перед подачей в реактор отделить от субстрата с помощью механического сепаратора. Однако это приводит к соответствующему уменьшению выхода газа [1, 12].

**Влияние технологических факторов на выход биогаза.** Выход биогаза в промышленной установке зависит от многочисленных факторов. В дополнение к уже названным в разделе 1.4. факторам существенное значение имеют [5, 6, 7]:

1. загрузка рабочего пространства (количество загружаемой органической массы, приходящейся на единицу времени и единицу чистого объема реактора);
2. технологическое время цикла брожения (время пребывания в реакторе закладываемой в него органической массы);
3. интенсивность перемешивания.

**Загрузка рабочего пространства.** При непрерывном или квазинепрерывном технологическом процессе сбраживания наибольшая интенсивность разложения получается в том случае, если количество органического вещества, которое добавляется в единицу времени к находящемуся в реакторе субстрату, соответствует уже разложившемуся к данному моменту количеству органического вещества. Добавление больших партий массы ведет к получению менее разложившегося субстрата и, следовательно, к меньшему выходу газа, добавление меньших партий - к худшему использованию рабочего объема реактора.

Если реактор, работающий в дискретном режиме, заполнять слишком быстро, то нарушается соотношение между имеющимся количеством активных бактерий и массой питательных веществ, вследствие чего обмен веществ также не может протекать оптимальным образом, и соответственно выделяется меньше газа в единицу времени и на единицу массы органического вещества. Судя по данным на сегодняшний день наибольший выход газа из экскрементов различных сельскохозяйственных животных при условии хорошего перемешивания и небольшой вязкости субстрата может быть получен при значениях загрузки реактора, приведенных в таблице 5 [1, 2, 12]

Таблица 5. Загрузка рабочего объема реактора, время пребывания и разложения органического вещества при температуре брожения около 33<sup>0</sup>С

Экскременты отдельных животных	Загрузка реактора, кг органического вещества на 1 м <sup>3</sup> в сутки	Время пребывания массы в реакторе, сут	Степень разложения массы, %
Дойные коровы	6.0	15	40
Бычки на откорме	4.5	10	40
Свины	3.0	10	50
Куры-несушки	1.5	50	55

Из таблицы видно, что загрузка реактора должна быть тем ниже, чем выше доля способных к разложению веществ в закладываемой в него органической массе и чем больше в ней аммиака (куриный помет).

**Технологическое время брожения (время пребывания массы в реакторе).** Потребность во времени, необходимом для полного сбраживания массы, как правило, очень большая, что соответственно должно было бы привести к применению реакторов больших размеров [1, 12]. Поэтому, исходя из экономических соображений, несколько укорачивают время пребывания массы в реакторе, сознательно идя на некоторое недополучение газа.

Таблица 6. Выход газа и продолжительность цикла брожения (полное сбраживание) для типичных сельскохозяйственных материалов при температуре 30<sup>0</sup>С

Сбраживаемый материал	Выход газа (см <sup>3</sup> /г), отнесенный		Время цикла, сут	Содержание СН <sub>4</sub> , %	Выход газа в % от общего количества по истечении цикла		
	К исходной массе	К массе сухого органического вещества			10 сут	15 сут	20 сут
Экскременты откармливаемых бычков	237	315	117	80	24	36	48
Свиной навоз	257	415	115	81	40	57	88
Солома с длиной резки 30 мм	357	383	123	80	29	38	45

Выбор продолжительности пребывания в реакторе массы зависит, с одной стороны, от скорости реакции, присущей каждому конкретному виду сбраживаемого материала (см. табл. 6 и рис. 4), с другой стороны, от

заданной степени разложения, которая определяет выход газа и ослабление интенсивности запаха перебродившей массы (шлама).

Кроме того, следует учитывать, что с увеличением времени брожения увеличивается содержание  $\text{CH}_4$  в общем объеме выделяющегося газа и одновременно уменьшается содержание  $\text{CO}_2$ , что означает улучшение качества получаемого газа (рис. 3 и 4) [1, 12].

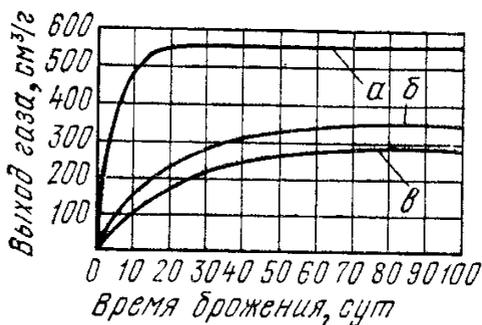


Рис.4. Выход газа в расчете на 1 г сухого органического вещества типичных сельскохозяйственных материалов при температуре брожения  $30^{\circ}\text{C}$  (а - трава, б - солома, в - экскременты КРС)

Таким образом, для выбора оптимального времени пребывания массы в реакторе тоже нельзя дать универсальных рекомендаций. Ориентировочные данные приведены в табл. 6. Довольно большое время пребывания в реакторе куриного помета обусловлено относительно высоким содержанием аммиака. Отметим, что данные табл. 6. справедливы лишь для хорошо перемешанных субстратов в реакторах, работающих по проточному принципу. Продолжительность брожения в условиях прерывистого производства газа, по современным данным, примерно на 20... 25% дольше.

**Интенсивность перемешивания.** Интенсивным перемешиванием содержимого реактора достигается контакт бактерий с субстратом вследствие постоянной перемены ориентации и обновления граничных поверхностей отдельных фаз, а также затрудняется накопление промежуточных и конечных продуктов процесса разложения. Будучи основной предпосылкой высокой скорости реакции, перемешивание способствует также равномерному распределению питательных веществ в объеме реактора. В то же время оно препятствует образованию осадка и плавающей корки и обеспечивает перемещение массы в реакторе [1, 12].

## Обзор конструкций биогазовых установок

**Типы биогазовых установок (БГУ).** Установки для производства биогаза из органических отходов обычно подразделяют на четыре основных типа:

1. без подвода тепла и без перемешивания сбраживаемой биомассы;
2. без подвода тепла, но с перемешиванием сбраживаемой массы;
3. с подводом тепла и с перемешиванием биомассы;
4. с подводом тепла, с перемешиванием биомассы и со средствами контроля и управления процессом сбраживания.

Обязательные компоненты биогазовой установки - сам биореактор и газгольдер для сбора биогаза, дополнительные - устройства для подогрева биомассы, ее перемешивания, а также средства контроля.

Классификация БГУ и технологических их схем показаны в Приложениях 1 и 2.

**Биореактор** — основа любой биогазовой установки, и к его конструкции предъявляются достаточно жесткие требования. Так, корпус биореактора должен быть достаточно прочен при абсолютной герметичности его стенок. Обязательны хорошая теплоизоляция стенок и их способность надежно противостоять коррозии. При этом необходимо предусмотреть возможность загрузки и опорожнения реактора, а также доступ к его внутреннему пространству для обслуживания.

Формы реакторов весьма разнообразны. Так, с точки зрения создания наиболее благоприятных условий для перемешивания жидкого субстрата, накапливания газа, отвода осадков и разрушения образующейся корки целесообразно использование резервуара, формой напоминающего яйцо. Крупные реакторы такой формы обычно сооружают из бетона, поэтому для них характерна высокая стоимость изготовления, что существенно ограничивает их применение. Зато подсобные реакторы меньших объемов достаточно несложно выполнить из стеклопластика, то есть из полиэфирной смолы, армированной стекловолокном, и обходятся они не так уж и дорого.

Для цилиндрического резервуара с конусными верхней и нижней частями, как и для яйцеобразного, характерны небольшое пространство для накопления газа, ограниченный объем плавающей корки, а также хороший отвод шлама. Однако в подобных реакторах создаются менее благоприятные условия для перемещения жидкого субстрата. Резервуары большого объема такой формы, используемые в коммунальных установках для очистки и разложения стоков, как и реакторы в форме яйца, изготавливают из бетона. Однако «цилиндрические» реакторы несколько дешевле. В индивидуальных хозяйствах реакторы вышеуказанной формы, но, естественно, меньшей вместимости, делают из стали или из стеклопластика. Кстати, в реакторах из стеклопластика легче достичь лучших условий перемещения субстрата.

Цилиндрические резервуары относительно просты в изготовлении, что объясняется обширным опытом строительства емкостей для

сельскохозяйственных целей (стальные, бетонные, стеклопластиковые цистерны-бункера для силоса и других кормов). Однако по сравнению с резервуарами предыдущих форм в цилиндрическом резервуаре невозможно организовать достаточные хорошие условия для перемещения субстрата, при этом приходится считаться с более высокими затратами на удаление осадка и разрушение плавающей корки, что связано с увеличением расхода энергии на перемешивание массы.

Если резервуар цилиндрической формы разделить поперечной вертикальной перегородкой на две камеры, то можно организовать систему получения биогаза с поочередным использованием камер резервуара. Причем строительство резервуара с перегородкой обойдется дешевле, чем сооружение двух отдельных резервуаров. Заметим также, что при такой компоновке уменьшается значение теплоизоляции наружных стенок резервуара, а в перегородку, выполняемую из достаточно теплопроводного материала, не очень сложно встроить какое-либо нагревательное устройство, что придает установке дополнительные конструктивные выгоды.

В простых, большей частью небольших, биогазовых установках, сооружаемых собственными силами, обычно бродильная камера имеет форму параллелепипеда (бассейн или яма с крышкой). Для повышения эффективности такой реактор перегородывают вертикальной стенкой, создавая главную бродильную камеру и камеру для окончательного сбродивания и осаждения шлама. Правда, установки подобного типа не позволяют достичь высокой степени разложения субстрата, так как в них практически невозможно обеспечить ни равномерное перемешивание массы, ни управление загрузкой рабочего объема камеры, ни соблюдение времени пребывания массы в реакторе, что необходимо для получения максимального количества газа. Да и разрушение плавающей корки и осадка связано здесь с большими затратами.

В горизонтально расположенном резервуаре субстрат перемешивается в продольном направлении. Здесь для небольших установок пригодны цилиндрические реакторы из стали или стеклопластика. Горизонтальные резервуары значительной вместимости имеют форму параллелепипеда, и выполняют их из бетона.

Наклонное расположение таких резервуаров облегчает отекание шлама к выгрузочному отверстию. Такая конструкция удобна для размещения простейшего перемешивающего механизма.

Резервуар в виде вырытой в грунте траншеи позволяет обрабатывать большие количества субстрата. В качестве строительного материала для стенок реактора используют, как правило, бетон (рис.5).

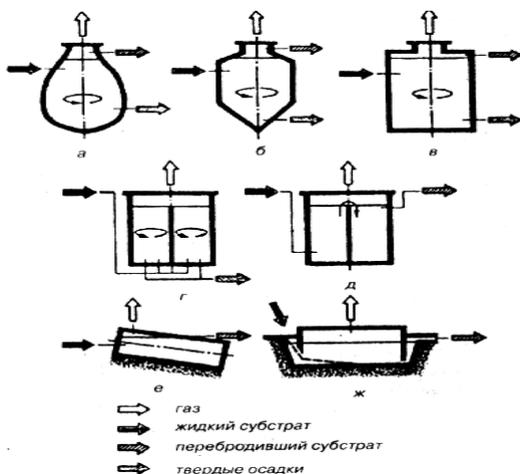


Рис. 5. Наиболее распространённые типы резервуаров биореакторов [2]:  
 а – в виде яйца, б – цилиндрический с конусными верхней и нижней частями, в – цилиндрический, г – цилиндрический с перегородкой, д – в виде параллелепипеда (с перегородкой), е – цилиндрический (наклонно расположенный), ж – траншея в грунте (с крышкой).

Теперь более подробно рассмотрим устройство некоторых видов биогазовых установок, уже применяющихся в практике. Сейчас на основе резервуара в форме параллелепипеда с перегородкой разработана и надежно действует двухкамерная биогазовая установка проточного типа, где субстрат направляется сначала в одну часть резервуара (бродильную камеру), а затем самотеком поступает в другую часть (камеру дображивания). Для повышения эффективности работы такая установка снабжена перемешивающим устройством в бродильной камере, нагревателем, шнеком для удаления крупных включений в осадке.

Все большее распространение получают траншейные биогазовые установки. Возьмем, например, траншейную установку из ФРГ. Здесь прямо из помещения, где содержат животных, навоз, разведенный водой, идет в биореактор, в котором сбраживается. В установке предусмотрены механическое перемешивание субстрата и грейфер для погрузки сброженного навоза (рис.6) [2].

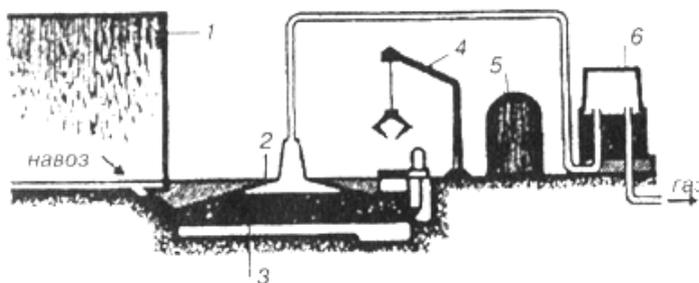


Рис. 6. Траншейная биогазовая установка: 1-помещение для животных; 2-биореактор; 3-мешалка; 4-грейфер; 5-хранилище для сброженного навоза; 6-газгольдер

В другой траншейной установке (США) свежий жидкий навоз поступает в бродильную камеру сверху, а подогретая вода — снизу. Газосборник установки эластичный, а на поверхности сброживаемого субстрата для теплоизоляции расположены пенопластовые плиты (рис.7).

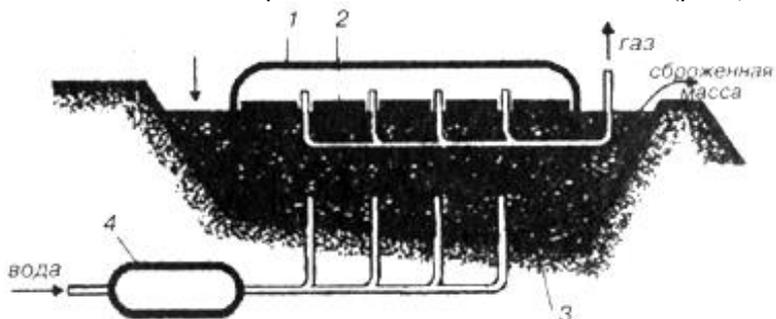


Рис. 7. Траншейная биогазовая установка: 1-эластический сборник; 2-плиты из пенопласта; 3-бродильная камера; 4-нагреватель (бойлер).

Обратим внимание на эластичные реакторы, обычно используемые в странах Юго-Восточной Азии. Подобные реакторы (емкости) делают из плотной прорезиненной ткани или из синтетической пленки. Для организации работы таких биореакторов их приходится либо заглублять в грунт, либо помещать внутри достаточно прочного «кругового» ограждения (рис.8).

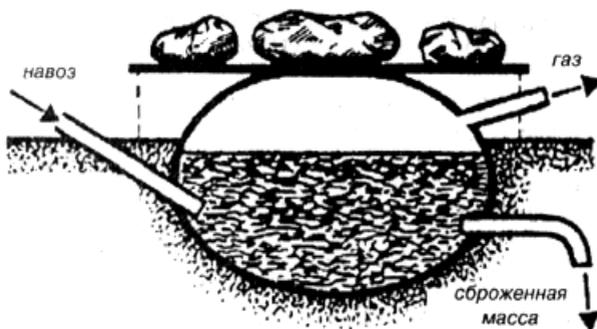


Рис.8. Эластичный биореактор

**Нагревательные элементы.** Чтобы получить необходимую для процесса брожения температуру и по возможности поддерживать ее на постоянном уровне, следует, прежде всего, подогреть подаваемый в реактор субстрат до нужной температуры; дополнительный же подвод теплоты необходим для компенсации тепловых потерь. В принципе теплоту можно подводить к субстрату в рабочем пространстве реактора или в питающем его устройстве. Поскольку перепады температуры отрицательно влияют на ход биологического процесса, необходимо по возможности сочетать подвод теплоты с интенсивным перемешиванием. Кроме того, в системе подвода теплоты необходимо предусмотреть, чтобы на поверхностях теплопередачи не могли откладываться взвешенные в субстрате твердые частицы (поэтому рекомендуются, например, высокие скорости движения субстрата относительно поверхностей теплопередачи) или чтобы эти поверхности легко очищались. И наконец, на работу теплообменника не должно влиять присутствие в субстрате твердых материалов (например, стеблей соломы, перьев, шерсти).

*Подогрев в рабочем пространстве.* Для небольших реакторов с перемешивающими устройствами вполне подходят теплообменные нагревательные агрегаты (например, шланги, цилиндрические или плоские теплообменники), через которые прокачивается горячая вода ( $T \leq 60^\circ\text{C}$ ) и которые можно вынимать из реактора при его очистке.

Нагреватели, встроенные в стенки реактора, целесообразно применять с точки зрения их КПД лишь в том случае, если они могут передавать теплоту субстрату с обеих сторон стенки, как это происходит в двухкамерном реакторе с внутренней перегородкой (рис. 5).

Кроме того, подогрев горячую воду субстрата можно осуществлять непосредственно, подавая в него горячую воду или пар. Поскольку вода служит одновременно для разбавления и турбулизации субстрата, который при загрузке содержит еще очень большое количество твердых частиц, этот метод может

оказаться эффективным. Подогрев субстрата путем введения пара под давлением ведет к повышению содержания влаги в газе, для устранения которой при подготовке газа к использованию требуются дополнительные меры. В крупных установках, в особенности в коммунальных установках для очистки стоков, этим недостатком пренебрегают, имея в виду более высокий энергетический КПД теплопередачи.

*Подогрев подаваемого в реактор субстрата.* Равномерную передачу теплоты субстрату можно обеспечить с помощью теплообменников, расположенных вне реактора. Однако их следует применять только в сочетании с системой принудительной циркуляции субстрата, что влечет за собой соответствующее повышение затрат, но позволяет надежно регулировать температуру брожения. Эта система подогрева имеет преимущество в том, что благодаря одновременному подогреву и перемешиванию свежего и циркулирующего субстрата разница между температурами поступающего в камеру и уже имеющегося там субстрата будет незначительной. Кроме того, надежно поддерживается скорость перемещения субстрата, необходимая для предотвращения выпадения твердого осадка на поверхностях теплообменника. И, наконец, расположение теплообменников вне рабочего пространства реактора значительно облегчает доступ к ним для обслуживания и ремонта.

В качестве нагревательных агрегатов применяют большей частью трубчатые теплообменники, где теплоносителем служит вода, нагретая до температуры  $T \leq 60^{\circ}\text{C}$ . Более высокая температура, которую необходимо было бы поддерживать, в частности в установках с термофильными бактериями, повышает риск налипания взвешенных твердых частиц на поверхность теплообменника. Пока что мы еще не обладаем достаточно большим практическим опытом эксплуатации установок с термофильными бактериями. Равным образом нуждаются в дальнейших исследованиях теплообменники, предназначенные для подогрева загружаемой в реактор массы путем вторичного использования запасенной отводимым субстратом теплоты. Это можно было бы осуществить либо путем прямой теплопередачи, с помощью помещенного в шлам теплообменника, либо посредством теплового насоса, оснащенного конденсатором или испарителем, конструкция которого в каждом конкретном случае должна определяться свойствами субстрата.

**Устройства для перемешивания субстрата.** Перемешивание сброженной массы в реакторе повышает эффективность работы биогазовых установок и обеспечивает:

- высвобождение образующегося биогаза;
- перемешивание свежего субстрата и популяций бактерий;
- предотвращение формирования корки и осадков;
- равномерное распределение популяций бактерий;

предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих рабочую площадь реактора.

*Методы перемешивания.* [20, 24] Перемешивание сырья может осуществляться следующими основными способами: механическими мешалками, биогазом, пропускаемым через толщу сырья, и перекачиванием сырья из верхней зоны реактора в нижнюю. Рабочими органами механических мешалок являются шнеки, лопасти, планки. Приводиться в действие они могут вручную или от двигателя.

*Механическое перемешивание* с помощью лопаточных роторов используется чаще всего в горизонтальных стальных реакторах. Горизонтальная ось проходит по всей длине реактора. К ней крепятся лопатки или трубки, загнутые в петли. При повороте оси сырье перемешивается, корка ломается, а осадок устремляется к выходному отверстию [2, 5, 6, 7].

Механические мешалки с ручным приводом наиболее просты в изготовлении и эксплуатации. Они используются в реакторах с незначительным выходом биогаза. Конструктивно они представляют собой горизонтально или вертикально установленный вал внутри реактора параллельно центральной оси. На валу закреплены лопасти или другие элементы с винтовой поверхностью, обеспечивающей перемещение массы, обогащенной метановыми бактериями, по направлению от места выгрузки к месту загрузки. Это позволяет увеличить скорость образования метана и сократить время пребывания сырья в реакторе.

*Гидравлическое перемешивание.* С помощью насоса можно полностью перемешивать сырье при одновременной загрузке и выгрузке сырья. Такие насосы часто располагаются в центре реактора для выполнения дополнительных функций.

*Пневматическое перемешивание* путем закачивания выделяющегося газа обратно в реактор осуществляется с помощью монтажа на дне реактора системы трубопроводов и обеспечивает мягкое перемешивание сырья. Главная проблема таких систем заключается в проникновении сырья в газовую систему. Это можно предотвратить, установив систему клапанов.

Перемешивание путем пропускания биогаза через толщу сырья дает хорошие результаты только в том случае, если сбрасываемая масса сильно разжижена и не образуется корка на свободной поверхности.

**Система сбора биогаза.** Система сбора биогаза состоит из распределительного газового трубопровода с запорной арматурой, сборника конденсата, предохранительного клапана, компрессора, ресивера, газгольдера и потребителей биогаза (кухонные плиты, нагреватели воды, ДВС и др.), система монтируется только после установки биогазового реактора в рабочее положение. Отверстие для отбора биогаза из реактора должно располагаться в его верхней части. Вслед за сборником конденсата

устанавливается предохранительный клапан, а также водяной затвор, выполненный в виде емкости с водой, который обеспечивает пропускание газа только в одном направлении.

*Водяные затворы.* Биогаз, образующийся в реакторе биогазовой установки, содержит большое количество водяных паров, которые могут конденсировать на стенках трубопроводов и приводить к их закупорке. В идеале газовая система должна располагаться так, чтобы конденсирующаяся влага могла стекать прямо в реактор. Если это невозможно, на низких участках должны быть установлены водяные затворы. Ручные водяные затворы легки в эксплуатации, но, если их регулярно не опустошать, система будет блокироваться из-за слишком высокого уровня воды в них.

*Газопровод.* Газовая система соединяет биогазовую установку с газовыми приборами с помощью труб. Эта система должна быть безопасной, экономичной и представлять необходимое количество газа для каждого прибора. Наиболее часто используются трубы из гальванизированной стали или пластиковые трубы. Очень важно, чтобы газовая система была газонепроницаемой и служила на протяжении всего эксплуатационного периода биогазовой установки.

Трубопроводы для подачи биогаза от установки к потребителям должны быть защищены от повреждения. Утечки газа могут быть проверены с помощью мыльного раствора, наносимого на места соединения труб. Газопровод также должен быть оснащен предохранительно-сбросным клапаном, выпускающим биогаз в атмосферу при повышении давления свыше  $0,5 \text{ кг/см}^2$ . Избыток биогаза необходимо сжигать в факельных горелках.

*Газовые трубы.* Минимум 60% неработающих биогазовых установок относятся к установкам, не работающим из-за дефектов в газопроводной системе. Поэтому важно правильно установить газопроводную систему. Рекомендуется пользоваться одним размером труб, клапанов и деталей для всей системы. Требования к трубопроводной системе для биогаза не отличаются от общих стандартов. Можно использовать пластиковые трубы, устойчивые к действию ультрафиолетовых лучей.

*Стальные трубы.* Трубы диаметром 1,2-1,8 см и длиной менее 30 м подходят для маленьких и средних биогазовых установок. Для больших установок, большей длины труб и меньшего давления необходим особый расчет размера труб. При установке газовых труб особое внимание должно уделяться:

- газонепроницаемым соединениям;
- водяному затвору на самом низком участке труб для сбора влаги;
- защите от механических повреждений.

Гальванизированные стальные трубы являются надежной и долговечной альтернативой пластиковым трубам. Они могут быть демонтированы и использованы снова, если необходимо. Установка

возможна при наличии специалистов, поэтому рекомендуемы только в тех местах, где нельзя установить пластиковые трубы.

*Пластиковые трубы.* Так как пластиковые трубы подвержены механическим деформациям и воздействию солнечной радиации, рекомендуется монтаж под землей.

*Диаметр труб.* Необходимый диаметр труб зависит от расхода биогаза газовыми приборами и расстоянием между газгольдером и приборами, в которых используется биогаз. Большие расстояния понижают давление биогаза в трубе. Чем больше расстояние и расход газа, тем больше потери за счет трения. Углы и арматура увеличивают потери давления. Потери давления в трубах из пластика меньше, чем в трубах из гальванизированной стали.

*Краны и арматура.* Наиболее надежные краны- хромированные шаровые клапаны. Клапаны, обычно используемые для водных систем, не подходят для использования в газовых системах. Главный газовый клапан должен быть установлен близко к реактору. Шаровые клапаны, как предохранительные приборы, должны быть установлены на всех газовых приборах. Правильно подобранные и установленные краны и арматура позволяют проводить работы по ремонту и чистке газовых приборов без отключения главного газового крана [2, 5, 6, 7].

### **Параметры, определяющие выбор метода и состав сооружений**

Современные сооружения по удалению, обработке, обеззараживанию, хранению навоза и подготовке его к использованию – это сложные системы, входящие в состав животноводческих комплексов и ферм. Строительство систем может осуществляться по типовым, индивидуальным и экспериментальным проектам в соответствии с нормативными документами. [2, 5, 6, 7] Способ удаления навоза из животноводческих помещений и конструктивные особенности систем удаления, транспортирования, переработки и использования навоза устанавливаются в каждом отдельном случае. При привязке типового проекта учитывают конкретные природно-климатические условия строительства животноводческих помещений и сооружений по переработке навоза. Правильный выбор системы удаления и обработки больших объемов навоза при проектировании сооружения способствует снижению себестоимости продукции, повышению плодородия почв, увеличению кормовой базы комплексов, соблюдению правил охраны окружающей среды. При проектировании таких систем необходимо учитывать разнообразные факторы: направленность и размер предприятия, технологические, природно-климатические и экономические условия, соблюдение санитарно-гигиенических и зооветеринарных требований к использованию навоза, а также охраны окружающей среды.

Основными исходными данными для создания сооружений являются: выход навоза в сутки с фермы (комплекса), его физико-химические свойства, намечаемые способы использования (утилизации), сроки хранения навоза и продуктов его обработки.

В результате оценки начальных местных условий, количества и состава сырья определяют приоритетные направления переработки и утилизации навоза, осуществляют технологических схем сравнение и выбор наиболее подходящей, разрабатывается технико-экономическое обоснование проекта. Принятые в проекте технологии уборки, подготовки и использования навоза должны обеспечивать выполнение ветеринарных и санитарно-гигиенических требований эксплуатации животноводческих помещений, способствовать предотвращению загрязнения окружающей среды.

Задача проектировщика состоит в разработке системы сооружений, дающей наибольший экономический эффект и обладающей высокими *техничко-экономическими показателями*, такими как [9, 10]:

- высокая производительность;
- прочность;
- надежность;
- малая материалоемкость;
- малые габариты;
- энергоемкость;
- объем и стоимость возможных ремонтных работ;
- расходы на оплату труда;
- высокая степень автоматизации;
- простота обслуживания;
- удобство управления, строительства, сборки и разборки;
- апробированность технологии и т.д.

Сравнение и выбор вариантов проектных решений выполняется на основе выявления минимума приведенных затрат, представляющих собой сумму годовых эксплуатационных затрат и капиталовложений с учетом нормативного коэффициента их эффективности.

Приведенные затраты по каждому рассматриваемому варианту определяют из уравнения:

$$П = С + E_n K, \quad (1)$$

где  $C$  – эксплуатационные затраты по рассматриваемому варианту;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый равным 0,15;  $K$  – величина капитальных вложений.

Величина капитальных вложений и эксплуатационных затрат определяется на стадии предпроектных разработок на основе укрупненных показателей стоимости строительства сооружений или смет по объектам-аналогам, на стадии проектирования – на основе смет по данному объекту.

При расчетах экономических показателей следует учитывать дополнительную продукцию, получаемую в виде прибавки урожая при использовании органических удобрений, в виде белковых препаратов, при переработке навоза на кормовые цели, возобновляемую энергию при термомеханической и биоконверсии навозных стоков.

Стоимость чистой продукции в растениеводстве определяется путем исключения из стоимости валовой продукции материальных затрат в сопоставимом выражении.

Для определения прироста чистой продукции с удобряемых полей из стоимости чистой продукции следует вычесть стоимость продукции, получаемой на этих участках до использования навозных стоков в среднем за последние 3-5 лет.

Водоохранный эффект, получаемый в результате почвенной утилизации навозных стоков, равный величине предотвращенного экономического ущерба, можно определить из выражения:

$$\mathcal{E}_y = \kappa p M, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_y$  – величина предотвращенного экономического ущерба;  $\kappa$  – константа экономического ущерба, руб./усл. Т;  $p$  – константа, зависящая от места расположения водохозяйственного участка;  $M$  – приведенная масса предотвращенного годового сброса примесей, усл. т/год.

$$M = \sum_{i=1}^{i=n} A_i m_i \quad (3)$$

где  $n$  – общее число примесей;

$m_i$  – предотвращенная масса годового сброса, т/год;

$A_i$  – показатель относительной опасности сброса  $i$ -й примеси для водных объектов, равный  $1/ПДК$ .

Теплотворная способность вырабатываемого биотоплива может быть определена по формуле Д.И. Менделеева. Для расчета обычно применяется низшая теплотворная способность  $Q_n$  топлива, которая учитывает тепловые потери с парами воды. Для твердых и жидких топлив величина  $Q_n$  (МДж/кг) приближенно определяется по формуле:  $Q_n = 0.339[C] + 1.025[H] + 0.1085[S] - 0.1085[O] - 0.025[W]$ . Для этого необходимо знать элементарный состав топлива (эквивалентную формулу топлива), то есть процентное содержание в нем следующих элементов: кислорода (O), водорода (H), углерода (C), серы (S), золы (A), воды (W).

В странах ЕС энергия, получаемая при переработке органических отходов в БГУ, составляет 3 – 4 % от всей потребляемой энергии. Тенденции развития мирового рынка биогаза показаны в Приложении 5.

## Обзор систем обработки отходов животноводства [2]

**Проект подпольного хранилища навоза для фермы на 100-400 голов (рис. 9).** Исходные условия: мощность предприятия – 100-400 голов; содержание коров в боксах, привязное с применением подстилки; низкий уровень грунтовых вод; не рекомендуется строить в районах с вечной мерзлотой, скальными породами и т.д.

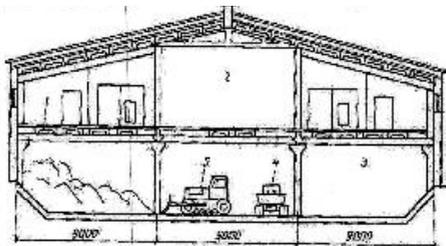


Рис. 9. Поперечный разрез коровника с подпольным навозохранилищем (размеры указаны для коровника на 400 голов):

- 1 – решетчатый пол; 2 – коровник; 3 – подпольное навозохранилище;  
4 – самосвал; 5 – погрузчик

Описание технологии: в коровнике предусмотрено подпольное навозохранилище. Подстилочный навоз через решетчатый пол 1 проталкивается ногами животных в подпольное навозохранилище 3, где хранится в течение всего стойлового периода. Во время хранения происходит гомогенизация и частичное обеззараживание навоза.

Выгружают и вывозят навоз 2 раза в год — весной и осенью с использованием бульдозеров ПБ-35 (самосвалов и тракторных прицепов). Выгрузку производят после выгона коров на пастбища с интервалом в шесть дней. Если в этот период не произошло вспышки эпизоотии, то навоз считается благополучным в санитарном отношении и его можно вывозить и вносить на поля. В противном случае навоз подвергают специальной обработке в зависимости от заболевания животных.

Днище подпольного навозохранилища выполнено с уклоном в сторону пандуса, где предусмотрены колодцы для сбора навозной жижи, которую по мере накопления откачивают в цистерны РЖУ-3Б и отвозят на поля. Из галереи, соединяющей коровники, навоз удаляется самосплавом в подпольное навозохранилище.

Преимущества: резко сокращается труд на уборку навоза внутри помещения; полностью исключаются расходы на транспортирование навоза из помещений; улучшается микроклимат на ферме; не требуется дополнительного строительства сооружений для обработки навоза;

соблюдаются правила охраны окружающей среды при эксплуатации сооружения.

**Недостатки:** высокая стоимость строительства коровника за счет сооружения подпольных навозохранилищ при содержании коров на глубокой подстилке; ограничение строительства таких коровников природно-климатическими условиями, высокие потери азота при хранении (до 15 %); после обработки сохраняется жизнеспособность части семян сорных растений и микроорганизмов; отсутствует эффект дезодорации.

**Проект площадки компостирования для ферм молочного направления на 400 голов (рис. 10).** Исходные условия: мощность предприятия – 400 голов; подстилочное содержание животных; механическое удаление навоза из коровников; исходная влажность навоза 86-92 % (рекомендуемая 86 %); средняя летняя температура воздуха выше 10<sup>0</sup>С; не рекомендуется для районов с избыточным увлажнением.

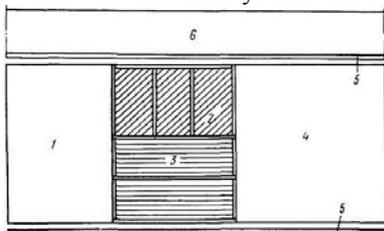


Рис. 10. Площадка для карантинирования навоза, приготовления компостов и их хранения:

1 – секция для хранения торфа; 2 – карантинные резервуары; 3 – секции для перемешивания навоза с торфом; 4 – секция для хранения компостов; 5 – подкрановые пути; 6 – дорога.

Основные показатели типового проекта площадки карантинирования навоза и приготовления компостов представлены в таблице 7. Описание технологии: Площадка состоит из секций 1 и 4 соответственно для хранения торфа и компостов, трех карантинных резервуаров, двух секций 3 для перемешивания навоза с торфом. Покрытие секций выполнено из монолитного железобетона М200. Предварительно навоз для карантинирования подается с фермы насосом ПЖН-200 или установкой УТН-10 в секции 2, где выдерживается до 3 суток. При обнаружении на ферме заболеваний животных навоз предварительно обеззараживается непосредственно в карантинных емкостях химическим способом. После карантинирования навоз направляется в секцию 3, где он смешивается с торфом. Рекомендуется послойная укладка навоза и торфа, возможна добавка фосфогипса и иных минеральных добавок для улучшения свойств компоста (нормы внесения по ОНТП 17-99). Секция для хранения компоста рассчитана

на шестидневное его выдерживание, после чего компосты вывозятся на поля и буртуются. Бурты формируются погрузчиком-бульдозером ПФП-12 с трактором ДТ-75М или погрузчиком ПОУ-40. Исходная влажность торфа 53 %, компоста 68 %, соотношение навоза с торфом 1:1,2. Вызревание компоста длится в зависимости от погодных условий 1-2 месяца. Работают на площадке в теплое время года.

Таблица 7. Основные показатели типового проекта площадки карантинирования навоза и приготовления компостов

Показатели	Мощность фермы. кодов	
	400	800
Выход компоста, т/год	1848	3696
Расход строительных материалов: цемента, т	106,86	188,66
бетона и железобетона, м <sup>3</sup>	351,5	620,6
стали, т	0,89	1,53
Площадь застройки, м <sup>2</sup>	2050	3444
Трудозатраты на строительство, чел.-дн.	338,7	562,7

Преимущества: более высокая удобрительная ценность торфонавозного компоста по сравнению с некомпостируемым навозом; минимальные эксплуатационные расходы; высокая надежность; долгий период эксплуатации площадки без ремонтных работ.

Недостатки: ограниченность применения по климатическим зонам страны; эксплуатация только в летний период; низкий уровень автоматизации работ; значительные затраты бетона и железобетона на строительство; относительно низкое качество смешивания навоза с торфом; высокие затраты на доставку торфа; потери азота при компостировании до 12 %, при разбрасывании компоста до 4 %; низкая степень обеззараживания и дезодорации; выделение в атмосферный воздух аммиака, сероводорода и бактерий.

**Проект механизированной площадки компостирования для ферм молочного направления на 800-1200 коров (рис. 11).** Исходные условия: мощность предприятия – 800-1200 голов, остальное аналогично проекту 2.

Принципиальная схема:

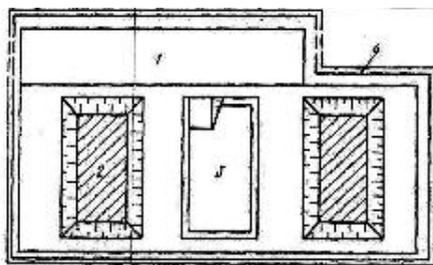


Рис. 11 Механизированная площадка для приготовления компостов:  
1 – секция для хранения торфа; 2 – секции для перемешивания навоза с торфом; 3 –навозохранилище; 4 – кювета.

Описание технологии: Жидкий навоз с фермы по напорному трубопроводу подается в карантинный резервуар, оборудованный насосом ПЖН-200, и далее в секцию 2. В секции 2 для перемешивания предусматривается послойный способ приготовления компостов — торф высотой 40-50 см чередуется с навозом. Подача торфа в секцию, перемешивание его с навозом, выгрузка компостов на площадку и погрузка в транспортные средства осуществляются погрузчиком-перегрузчиком органических удобрений ПОУ-40 и погрузчиком-бульдозером ПБ-35. Секция для хранения компостов рассчитана на 6-дневный запас с последующим вывозом на поля в бурты, где происходит вызревание в течение 1-2 месяцев. Для обеспечения непрерывности процесса компостирования на площадках предусмотрены по две секции для перемешивания. Основные показатели типового проекта механизированной площадки приготовления компостов показаны в таблице 8.

Таблица 8. Основные показатели типового проекта механизированной площадки приготовления компостов

Показатель	Мощность фермы, коров		
	400	800	1200
Выход компоста, т/год	35040	70080	105120
Расходы строительных материалов: цемента, т	244,0	366,4	529,7
стали, т	61,0	86,84	109,2
бетона, м <sup>2</sup>	779,7	1437,3	1672,2
Площадь застройки, м <sup>2</sup>	1961	3551	5160

**Проект системы обработки навоза методом метанового брожения для фермы молочного направления на 400 голов.** Исходные условия: мощность предприятия – 400 коров; подстилочное содержание животных; влажность навоза – 86-95 %; рекомендуется для ферм, расположенных вблизи населенных пунктов и зон отдыха.

Описание технологии: в состав заводской установки входят два горизонтальных реактора метантенка объемом по 125 м<sup>3</sup>, измельчитель навоза, подогреватель-выдерживатель, газгольдер, теплообменные нагревательные устройства, водогрейный котел, насос-дозатор, газовые компрессоры, системы управления и контроля.

Согласно принятой технологии исходный жидкий навоз подвергают измельчению и подают в подогреватель-выдерживатель, где происходит его нагрев до 40°C, гидролиз высокомолекулярных соединений (углеводов, жиров, белковых веществ) и кислотообразование (летучие жирные кислоты, спирт, аммиак, углекислый газ и др.). Из подогревателя навоз насосом-дозатором периодически подают в реактор, где в процессе анаэробного сбраживания образуется биогаз.

Поддержание необходимой для процесса сбраживания температуры (40°C), компенсацию тепловых потерь в реакторах и выдерживателе обеспечивают с помощью теплообменников, через которые прокачивают горячую воду (65°C), получаемую от сжигания биогаза.

Сброженный навоз направляют в резервуар-накопитель, откуда его цистернами-разбрасывателями транспортируют на поля.

Преимущества: высокая степень заводской готовности установки; автоматизация процесса; получение обеззараженного и дезодорированного удобрения; получение топливного газа; соблюдение ветеринарных и экологических требований.

Недостатки: взрывоопасность установки; не предусмотрена система обработки сброженного навоза.

**Проект для фермы молочного направления на 1200 коров и более с разделением навозных стоков (рис. 12).** Исходные условия: мощность предприятия – 1200 голов и более; содержание животных бесподстилочное; самотечное удаление навоза; исходная влажность навоза более 94 %; рекомендуется для ферм, расположенных вблизи населенных пунктов и зон отдыха.

Описание технологии: Навоз из помещений удаляется через щелевые полы и поступает по самотечным коллекторам в напорные трубопроводы, откуда направляется в карантинные резервуары, где выдерживается в течение 3 дней и, при необходимости, обеззараживается формалином непосредственно в карантинных емкостях. Обеззараженный навоз перекачивается в цех разделения. Разделение может производиться как естественным способом в отстойниках, так и с использованием центрифуг и

фильтр-прессов. В данном случае рекомендуется механическое обезвоживание с использованием 4 центрифуг (комплектация цеха обезвоживания определяется в зависимости от объемов поступающего навоза). Обезвоженная твердая фракция направляется на площадки для дополнительной сушки и созревания в течение 2-6 месяцев; вносится на поля при помощи цистерн-разбрасывателей РЖТ

Фильтрат поступает в полевые хранилища, где выдерживается в течение 2 месяцев и направляется на оросительные поливы.

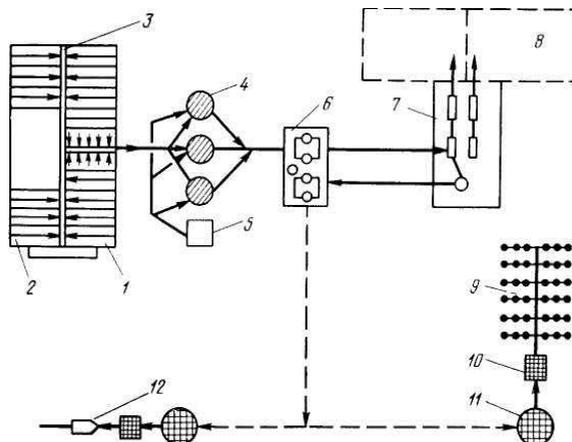


Рис. 12. Технологическая схема удаления и обработки навоза для комплексов на 1200 коров: 1 – производственная зона; 2 – зона сухостойных коров; 3 – самотечный коллектор; 4 – карантинные резервуары; 5 – реагентное хозяйство; 6 – насосная станция; 7 – цех разделения; 8 – площадка; 9 – напорный трубопровод; 10 – передвижная станция перекачки; 11 – полевые хранилища; 12 – цистерна-разбрасыватель РЖТ.

Преимущества: снижение затрат на транспортировку навоза на поля; улучшение санитарной обстановки; механизация переработки, отсутствие ручного труда; улучшение условий труда работающих.

Недостатки: отсутствие технологии дезодорации; высокие капитальные и эксплуатационные затраты; дополнительные амортизационные расходы цеха механического обезвоживания.

**Типовой проект системы обработки навоза с разделением на фракции для фермы молочного направления на 2000 коров (рис. 13).** Исходные условия: мощность предприятия – 2000 голов; бесподстилочное содержание животных; механическое удаление навоза скреперными установками; рекомендуется для комплексов, расположенных вблизи населенных пунктов, при неблагоприятных природных условиях.

Описание технологии: Из животноводческих помещений навоз удаляется в навозосборники, собирается в смесителе, представляющем собой подземное бетонное цилиндрическое сооружение. Вместимость смесителя в 2 раза превышает максимальные расчетные суточные объемы стоков. В смесителе жидкий навоз тщательно перемешивается, а затем подвергается измельчению мацератором; перекачивается в цех 4 на центрифуги для разделения на фракции (три центрифуги: две — для разделения свежего навоза и одна — для избыточного активного ила). Твердая фракция ленточным конвейером транспортируется на площадку для компостирования. Жидкая фракция самотеком направляется в промежуточную емкость и оттуда насосом направляется на биологическую трехступенчатую очистку в аэротенках. Затем поступает в аэрируемый бассейн 9 для дезодорации.

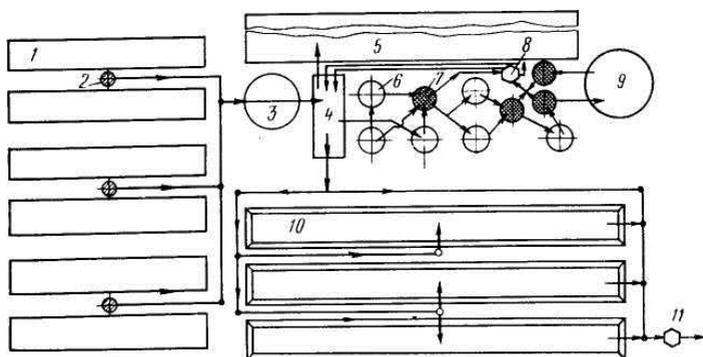


Рис. 13. Схема обработки навоза с разделением навозных стоков:

1 — коровники; 2 — навозосборники; 3 — смеситель; 4 — цех разделения с насосами для перекачки очищенной жидкой фракции в лагуны; 5 — площадка для твердой фракции; 6 — аэротенки; 7 — отстойники; 8 — резервуар с насосами для перекачки осадков на центрифугу и очищенной жидкой фракции; 9 — аэрируемый бассейн; 10 — лагуны; 11 — станция перекачки очищенных стоков в систему орошения.

Из бассейна очищенную жидкую фракцию через отстойник насосами перекачивают в лагуны 10 для временного хранения, а затем, по мере необходимости подают в оросительную сеть. Избыточный активный ил из отстойников направляется на центрифугу для обезвоживания с применением флокулянтов (типа сернокислого или хлорного железа). Фугат самотеком поступает в аэротенки первой ступени для инокуляции; твердая фракция направляется на площадку для биотермического обеззараживания.

Преимущества: соблюдение санитарных требований охраны окружающей среды; полная дезодорация и обеззараживание навоза; получение качественных органоминеральных удобрений.

Недостатки: высокие капитальные и эксплуатационные затраты на обработку 1 м<sup>3</sup> навоза; большие потери азота (в процессе обработки – 25 %, при хранении – 5-10 %).

**Проект сооружений обработки навоза с механическим обезвоживанием для комплексов по выращиванию и откорму 24 тыс. свиней (рис. 14).** Исходные условия: мощность предприятия – 24 тыс. голов; самотечная система навозоудаления; влажность навоза до 96 %; возможно применение на фермах, расположенных вблизи населенных пунктов и зон отдыха, при неблагоприятных природных условиях. Описание технологии: Технология обработки навоза предусматривает напорную подачу навоза с комплексов в приемный резервуар 2. Из приемного резервуара 2 навоз подается в цех разделения, где установлены дуговые сита 3, прессы 4 и ленточные транспортеры. Фильтрат из цеха разделения перекачивается насосами в вертикальные отстойники диаметром 6 м. Осадок из отстойников 6 перекачивается в отстойники-накопители 8. Твердая фракция из цеха разделения по ленточному транспортеру и затем бульдозером подается на секционную площадку 14 для промежуточного хранения и биотермического обеззараживания.

Жидкая фракция из вертикальных отстойников 6, дренажные и ливневые воды от площадки для твердой фракции и отстойников-накопителей 8 самотеком поступают в резервуар 9, по мере потребления перекачиваются в накопители 10, а затем на поля. Твердая фракция из отстойников и с площадки мобильным транспортом вывозится на поля под запашку. При вспышке эпизоотии обеззараживание предусмотрено путем длительного выдерживания в секционных накопителях или химическим способом с применением формалина в секционном резервуаре 11.

Преимущества: снижение затрат на транспортировку продуктов переработки на поля по сравнению с неразделенным навозом; улучшение санитарной обстановки; высокая эффективность разделения навозных стоков.

Недостатки: отсутствует эффективная система дезодорации; высокие эксплуатационные и капитальные затраты; дополнительные амортизационные расходы; высокие потери азота (20 % - в твердой фракции, 16 % - жидкой).

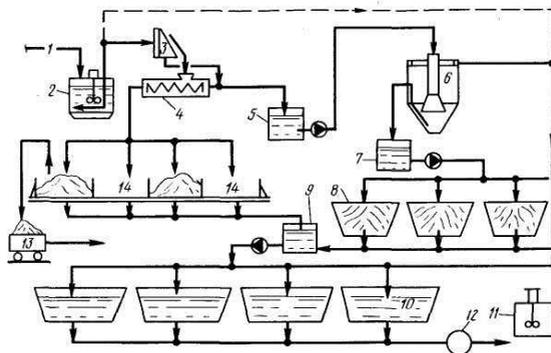


Рис. 14. Схема обработки навоза влажностью до 96 %: 1 – трубопровод подачи навоза с комплекса; 2 – приемный резервуар; 3 – дуговое сито; 4 – пресс; 5 – промежуточный резервуар для фильтрата; 6 – вертикальный отстойник; 7 – резервуар для осадков; 8 – отстойник-накопитель; 9 – резервуар для ливневых и дренажных стоков; 10 – накопители жидкой фракции; 11 – резервуар для обеззараживания навоза; 12 – станция перекачки жидкой фракции; 13 – транспортное средство; 14 – площадки для твердой фракции

**Проект сооружений обработки навоза для комплексов по выращиванию и откорму 24 тыс. свиней с метановым сбраживанием и биологической очисткой стоков (рис. 15).** Исходные условия: мощность предприятия – 24 тыс. голов; самотечная система навозоудаления; влажность навоза до 94 %; возможно применение на фермах, расположенных вблизи населенных пунктов и зон отдыха; при сложных природных условиях; при отсутствии земельных площадей при неблагоприятной эпизоотической ситуации.

Описание технологии: Жидкий навоз, удаляемый из свиноводческих помещений самосплавом (с минимальным добавлением воды), проходит через специальную решетку, которая удерживает содержащиеся в нем крупные посторонние включения, и поступает в приемный резервуар, откуда насосом перекачивается в метантенк вместимостью 1500 м<sup>3</sup> (при этом исходный жидкий навоз имеет БПК<sub>5</sub> = 20000 мг/л).

В результате анаэробного процесса в метантенке органические вещества минерализуются до форм, которые легко усваиваются растениями; выделяется биогаз. Газ поступает в газгольдер, верхняя часть которого выполнена из полиэтиленовой пленки, около 25% полученного газа сжигается для подогрева метантенков с целью обеспечения термофильного процесса, а 75% используется для выработки электроэнергии генератором, работающим на метане.

Обработанный в метантенке жидкий навоз, имеющий БПК<sub>5</sub>=3000 мг/л, перекачивается в вертикальный отстойник непрерывного действия, где происходит осветление жидкой фракции и осаждение твердых частиц. Осветленная жидкая фракция с БПК<sub>5</sub>=800 мг/л направляется в смесительную емкость, куда подаются химические реагенты.

Подготовленная таким образом жидкая фракция поступает в электрофлотатор, где происходит дальнейшая очистка жидкой фракции от коллоидных частиц. В результате этого БПК<sub>5</sub> снижается до 200 мг/л. Далее осветленная и доочищенная жидкая фракция подвергается обработке озоном, после чего она уже имеет БПК<sub>5</sub>=30 мг/л, а пройдя еще ряд фильтров, очищенная и обеззараженная жидкая фракция имеет следующие показатели: БПК<sub>5</sub> = 3-5 мг/л, рН 7,5, содержание нитратов = 0,05 мг/л, бактериальная загрязненность равна нулю. Отделенная в отстойнике твердая фракция направляется на пресс-фильтры, где она обезвоживается до влажности 60 %. Обезвоженную фракцию упаковывают в мешки и реализуют как органическое удобрение.

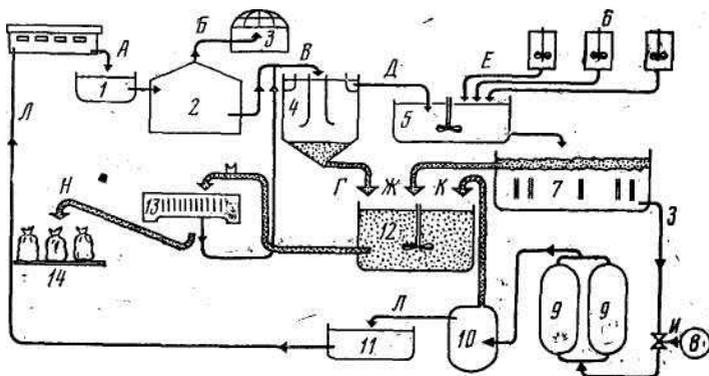


Рис. 15. Схема системы биологической очистки жидкого свиного навоза:

А — жидкий навоз из производственных помещений; Б — метан; В — сброженный жидкий навоз; Г — осадок; Д — осветленная жидкая фракция навоза; Е — химические реагенты; Ж — пена; З — жидкая фракция, осветленная флотацией; И — озон; К — окисленные озоном органические вещества; Л — очищенная и обеззараженная жидкая фракция; М — смесь твердых фракций; Н — готовое органическое удобрение; 1 — приемный резервуар; 2 — метантенка; 3 — газгольдер; 4 — вертикальный отстойник; 5 — смесительная емкость жидкой фракции и химических реагентов; 6 — емкости для химических реагентов; 7 — электрофлотатор; 8 — озонатор; 9 — каталитический реактор; 10 — фильтр; 11 — резервуар очищенной и обеззараженной жидкой фракции навоза; 12 — смесительная емкость твердых фракций; 13 — пресс-фильтр; 14 — упакованные органические удобрения

Преимущества: высокая эффективность очистки и дезодорации стоков; соблюдение ветеринарных и экологических требований; высокая степень автоматизации процессов; самоэнергообеспечение системы.

Недостатки: очень высокие эксплуатационные и капитальные затраты; взрывоопасность установки.

**Проект системы обработки навоза методом метанового брожения с получением гранулированного удобрения для малых ферм (менее 12 тыс. свиней).** Исходные условия: мощность предприятия – 12 тыс. свиней и менее; самотечная система удаления навоза; влажность навоза до 95 %; рекомендуется при дефиците площади полей орошения или невозможности их организации; .

Описание технологии: Исходное сырье, предварительно нагретое в реакторе-теплообменнике, поступает в метантенки, работающие в мезофильном режиме. Объем и количество метантенков рассчитывается в зависимости от ежесуточного объема сырья. Выделяемый в результате брожения биогаз накапливается в газгольдере и используется для выработки тепловой и электрической энергии.

Жидкая сброженная биомасса, получаемая в реакторах, насосом подается в центрифугу, где происходит её разделение на жидкое органическое удобрение (влажностью 99%), которое самотёком сливается в хранилище жидкого удобрения, и твёрдое удобрение (влажностью 60%), загружаемое в скруббер-смеситель. Жидкое удобрение из хранилища может использоваться для полива и подкормки растений в поле и в гидропонных теплицах.

В смеситель-гранулятор также подается пылевидное удобрение (влажностью 20%) после осаждения в циклоне, происходит смешивание твердого и пылевидного удобрений и формирование гранул заданных размеров, которые подаются в сушилку. Гранулы в сушилке высушиваются горячим воздухом до заданной влажности (20%) и направляются в дозатор-затариватель. Смесь пылевидных удобрений и воздуха, получаемых в процессе сушки, направляется для осаждения удобрений в циклон. Дозатор-затариватель высушенные гранулы удобрения дозирует по заданному весу и затаривает в упаковку. Готовый к реализации продукт поступает на склад готовой продукции.

Преимущества: получение топливного газа, который может быть использован для производства тепловой и электрической энергии; получение высококачественного удобрения в товарном виде; самоэнергообеспечение системы; автоматизация процесса.

Недостатки: высокие капитальные затраты; длительность процесса брожения (до 15 суток и более); взрывоопасность.

**Проект сооружений по обработке навоза для комплексов по выращиванию и откорму 54 и 108 тыс. свиней с полным обеззараживанием (рис. 16).** Исходные условия: мощность предприятия – 54 и 108 тыс. голов; самотечная система навозоудаления; влажность навоза до 96 %; рекомендуется при неблагоприятной эпизоотической ситуации; наличие необходимых площадей, на которых возможна организация сезонного и круглогодичного орошения сельскохозяйственных культур, и надежных водоисточников для разбавления навоза.

Описание технологии: В технологической линии по обработке навоза происходят следующие процессы: отделение механических включений размером более 8 мм; термическая обработка всех стоков; разделение стоков на твердую и жидкую фракции; подготовка жидкой фракции для круглогодичного орошения сельскохозяйственных земель; обезвоживание и временное хранение твердой фракции.

Навоз от свиноводческого комплекса по трубопроводу 1 поступает в приемный резервуар 2 с насосной станцией. Для задерживания крупных предметов на входе в резервуар установлены две решетки. Из резервуара 2 при помощи погружных насосов навоз подается на виброгрохот 3. Далее самотеком он направляется в резервуар, расположенный в цехе обезвоживания, из которого насосом перекачивается в теплообменник на пароструйную установку, откуда полностью обезвоженный навоз поступает в отстойники 7. Здесь основная масса взвешенных веществ выпадает в осадок. Производительность пароструйной установки 1230-2470 м<sup>3</sup>/сут.

Установка состоит из приемного резервуара, электромагнитных фильтров, теплообменников, пароструйных аппаратов, трубчатого выдерживателя и промежуточной емкости. Для обеззараживания в пароструйных аппаратах навоз нагревают до 130°C и выдерживают 10 мин. в трубчатом выдерживателе. Осветленная жидкая фракция (фугат) из первичных отстойников 7 самотеком идет в резервуар 11 обеззараженных и осветленных вод, откуда вместе с фугатом от центрифуг она перекачивается в полевые хранилища. Осадок из отстойников 7 под гидравлическим напором попадает в резервуар 8 для осадка, а затем на центрифуги 9. Обезвоженный осадок системой транспортеров подается на склад 10 твердой фракции или непосредственно на транспортер для погрузки в транспортные средства и вывозки на поля.

Преимущества: обеззараживание всего объема жидкого навоза с сохранением питательных веществ (N, P, K); высокая степень разделения стоков на жидкую и твердую фракции; соблюдение санитарных и экологических требований; полная механизация и автоматизация процессов.

Недостатки: высокие капитальные и эксплуатационные затраты; взрыво- и пожароопасность; необходим постоянный контроль процесса.

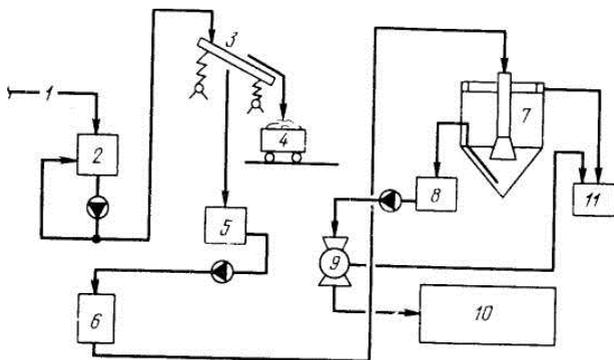


Рис. 16. Схема проекта сооружений по обработке навоза с полным обеззараживанием:

1 – трубопровод подачи навоза с комплекса; 2 – резервуар-усреднитель; 3 – виброгрохот; 4 – тракторная тележка; 5 – резервуар для фильтрата; 6 – пароструйная установка; 7 – вертикальный отстойник; 8 – резервуар для осадка; 9 – центрифуга; 10 – склад твердой фракции; 11 – резервуар для жидкой фракции; 12 – трубопровод подачи жидкой фракции на орошение.

**Проект сооружений по обработке навоза для комплексов по выращиванию и откорму 54 тыс. свиней с биологической очисткой жидкой фракции.** Исходные условия: мощность предприятия – 54 тыс. свиней; гидросмывная система удаления навоза; влажность навоза – более 98 %; наличие необходимого количества площадей для орошения; рекомендуется при неблагоприятной эпизоотической ситуации.

Описание технологии (рис. 17): Навозные стоки от комплекса по трубопроводу 1 подаются в приемный резервуар, откуда насосами перекачиваются на дуговые сита, установленные в здании отстаивания и обеззараживания. После разделения на фракции стоки с дуговых сит самотеком поступают в первичные отстойники 9. Из первичных отстойников осветленные стоки направляются в здание аэрации, где они проходят дальнейшую очистку в аэротенках 10 и вторичных отстойниках 11. После биологической очистки стоки подаются в карантинные резервуары 12, где их выдерживают, а затем перекачивают в пруд-накопитель 20 и на орошение. Твердая фракция с дуговых сит 3 поступает в бункер-дозатор, где дополнительно обеззараживается. Из бункера-дозатора с помощью транспортеров твердая фракция подается в тракторную тележку, далее на площадку 7 с твердым покрытием, затем ее отправляют на поля для удобрения. Осадок из первичных отстойников под гидростатическим напором выпускается в резервуар для осадка, откуда его перекачивают насосами в дуговое сито.

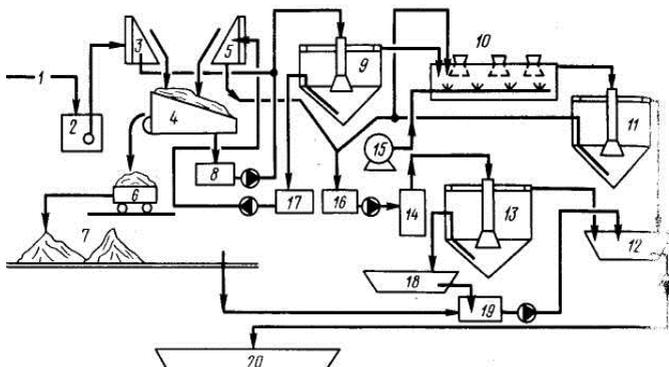


Рис. 17. Технологическая схема обработки навоза с биологической очисткой жидкой фракции: 1 – трубопровод подачи навоза с комплекса; 2 – приемный резервуар; 3 – дуговое сито для исходных стоков; 4 – бункер-дозатор; 5 – дуговое сито для осадка; 6 – тракторная тележка; 7 – площадка для твердой фракции; 8 – резервуар фильтрата; 9 – первичный отстойник; 10 – аэротенк; 11 – вторичный отстойник; 12 – карантинный резервуар; 13 – илоуплотнитель; 14 – пароструйная установка; 15 – воздуходувка; 16 – резервуар для ила; 17 – резервуар осадка; 18 – иловая площадка; 19 – резервуар для ливневых и дренажных стоков; 20 – пруд-накопитель.

Твердую фракцию осадка после дуговых направляют в бункер-дозатор, затем при помощи транспортеров грузят на автотранспорт и вывозят на поля для обеззараживания в буртах. Фильтрат осадка с дуговых сит, активный ил из вторичных отстойников направляют в резервуар для осадка и ила и подают в цех обеззараживания на пароструйных установках. Ил поступает в илоуплотнитель 13 и далее на иловые площадки 18. Фильтрат с иловых площадок направляют в емкость дренажных стоков и далее на поля. В случае эпизоотии твердую фракцию обеззараживают реагентами на бетонированной площадке, рассчитанной на двухмесячное хранение навоза.

Эта площадка может быть использована для хранения навоза в случае бездорожья. На площадку ежедневно поступает 43 т навоза влажностью 70%.

Преимущества: высокая степень разделения стоков; высокая эффективность очистки стоков; стабилизация органического вещества жидкой фракции; автоматизация процессов.

Недостатки: громоздкость сооружений; дополнительные амортизационные расходы; круглосуточный режим работы сооружений; потребность в большом количестве полей орошения

**Проект сооружений по обработке навоза по технологии метанового брожения для комплекса мощностью 54 тыс. голов (рис. 18).** Исходные условия: мощность предприятия – 54 тыс. свиней; самотечная система

удаления навоза; влажность навоза до 95 %; рекомендуется при дефиците площади полей орошения или невозможности их организации.

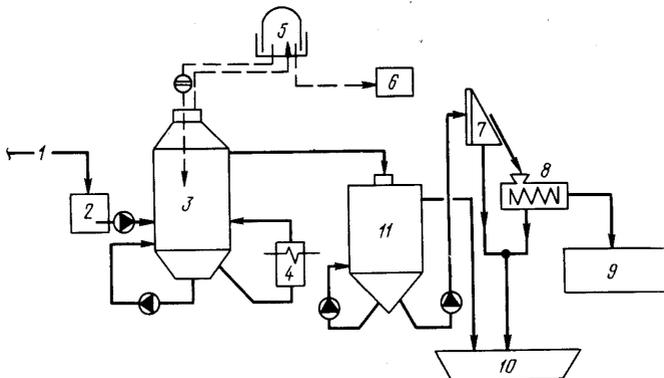


Рис. 18. Технологическая схема метанового сбраживания навоза:

1 – трубопровод подачи навоза с фермы; 2 – приемный резервуар; 3 – метантенк; 4 – котел-теплообменник; 5 – газгольдер; 6 – котельная фермы; 7 – дуговое сито; 8 – пресс; 9 – склад твердой фракции; 10 – пруд-накопитель жидкой фракции; 11 – осветлитель.

Описание технологии: Жидкий навоз (влажностью 94-95%, предварительно измельченный и гомогенизированный) поступает в приемный-резервуар 2, откуда его насосами подают в два метантенка. Сбраживание происходит при температуре 38°C в течение 16 суток под давлением 400 Па. Температура сбраживания поддерживается котлами-теплообменниками, в которых сжигается получаемый биогаз. Перемешивается навоз в метантенках с помощью биогаза и насоса. Излишек биогаза сжигается в котельной свинофермы.

Сброженный остаток из метантенков поступает в три осветлителя 11 рабочим объемом 400 м<sup>3</sup>. После 20-часового отстаивания осадок подают на дуговые сита с прессом, а осветленные стоки и фильтрат в пресса сливают в пруд-накопитель для использования на орошение.

Твердую фракцию системой транспортеров отправляют на склад для промежуточного хранения и дальнейшего использования в качестве органического удобрения.

Преимущества: получение топливного газа, который может быть использован для производства тепловой и электрической энергии; получение высококачественного удобрения, полностью обеззараженного, стабилизированного, содержащего азот в легко усваиваемой растениями форме; самознергообеспечение системы.

Недостатки: высокие капитальные и эксплуатационные расходы; длительность процесса брожения (до 15 суток и более); взрывоопасность; сложность регулирования процесса.

Схема промышленной биогазовой установки на примере объекта сельского хозяйства показан в Приложении 4.

## 1.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ БИОРЕАКТОРА

Исходными данными для определения объёма биореактора являются суточная загрузка субстрата, длительность сбраживания, периодичность загрузки и выгрузки субстрата из биореактора [5, 6, 7].

С точки зрения надежности эксплуатации рекомендуется установка не менее двух биореакторов. В случае остановки одного реактора работает другой. Каждый из них рассчитывается на сбраживание половины общего суточного количества субстрата. Требуемая вместимость  $V_{тр}$ , м<sup>3</sup>, каждого реактора:

$$V_{mp} = G_n * t / n \quad (4)$$

где  $G_n$  – суточная загрузка субстрата, м<sup>3</sup>/сут;  $t$  – длительность сбраживания, сут;  $n$  – количество биореакторов.

Для снижения теплопотерь через стенки биореактора его форму нужно выбрать так, чтобы поверхность теплообмена была минимальной. Цилиндрическая емкость имеет наименьшую поверхность при соотношении высоты  $h$  и радиуса  $R$  реактора, равном:

$$h = 4R \quad (5)$$

Требуемые размеры биореактора:

– объём  $V$ , м<sup>3</sup>

$$V = \pi R^2 h \quad (6)$$

– площадь поверхности  $S$ , м<sup>2</sup>

$$S = 2(\pi R^2 + \pi R h) \quad (7)$$

– радиус биореактора  $R$ , м:

$$R = (V / 2\pi)^{1/3} \quad (8)$$

Рассмотрим пример расчётов по представленной методике.

*Задача. Определить размеры биореакторов в сельскохозяйственной биогазовой установке с суммарным суточным выходом навоза 2,89 м<sup>3</sup>/сут. Длительность сбраживания субстрата 10 сут. Примем к установке 2 биореактора.*

1. Найдём требуемую вместимость каждого реактора по формуле 4.

$$V_{тр} = 2,89 \cdot 10 / 2 = 14,45 \text{ м}^3$$

2. Найдём оптимальный радиус биореактора по формуле 8.

$$R = 1,05 \text{ м}$$

3. Примем к установке биореактор радиусом  $R = 1,2$  м и высотой  $h = 4$  м. Объем каждого биореактора:  $V = 18, 1 \text{ м}^3$
4. Площадь поверхности каждого биореактора по формуле 7:  $S = 39,2 \text{ м}^2$

Несколько большие размеры реактора по сравнению с требуемыми для размещения субстрата обеспечивают свободное пространство над поверхностью сбраживаемой массы для накопления биогаза. В случае совмещенных биореакторов-газгольдеров общий объем реактора должен превышать требуемое значение на величину 2-х – 4-х часового выхода биогаза.

### **Тепловой расчёт биогазовых установок**

**Определение тепловых затрат на собственные нужды биогазовых установок** [5, 6, 7]. Статьи расхода теплоты на нужды биогазовой установки:

- на подогрев свежего субстрата до температуры брожения;
- на компенсацию теплопотерь биореактора через ограждающие конструкции;
- на компенсацию теплопотерь биореактора с биогазом и с водяными парами.

Тепловой поток, кВт, для подогрева свежего субстрата:

$$Q_c = [m_c \cdot c_p \cdot (t_{бр} - t_c)] : [3600 \cdot \Delta\tau] \quad (9)$$

где  $m_c$  – загрузка субстрата, кг/сут.;  $c_p$  – теплоемкость субстрата, кДж/(кг×°С);  $t_{бр}$  – температура брожения, °С;  $t_c$  – минимальная температура свежего субстрата, °С;  $\Delta\tau$  – время нагрева, час.

Минимальная температура свежего субстрата принимается равной 5 °С в холодный период года и 15 °С в теплый период года.

Суточная загрузка, кг, субстрата определяется как:

$$m_c = \rho \cdot G_H \quad (10)$$

где  $\rho$  – плотность субстрата, кг/м<sup>3</sup>, для технических расчётов можно принять  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ .

Тепловой поток, кВт, через ограждающие конструкции:

$$Q_k = F \cdot k \cdot (t_{бр} - t_H) \quad (11)$$

где  $F$  – поверхность теплообмена реактора, м<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций, Вт/(м<sup>2</sup>×К);  $t_H$  – расчётная температура наружного воздуха для холодного периода года.

Теплопотери  $Q_{бг}$ , кВт, связанные с выходом биогаза из реактора, определяются как:

$$Q_{бг} = [Q_g \cdot V_{бг}] : [24 \cdot 3600] \quad (12)$$

где  $Q_g$  – объёмное теплосодержание биогаза, кДж/ м<sup>3</sup>.

$$Q_z = \rho \cdot c_{\text{бг}} \cdot t_p \quad (13)$$

где  $c_{\text{бг}}$  – удельная теплоемкость биогаза, кДж/(кг×К);  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $t_p$  – температура газа, °С.

Плотность  $i$ -го компонента биогаза  $\rho_i$  определяется из уравнения состояния идеального, считая биогаз смесью идеальных газов:

$$P_i = [P \cdot \mu \cdot k_i] : [R \cdot T] \quad (14)$$

где  $P$  – абсолютное давление биогаза (избыточное давление газа в биореакторе принимается равным 2-3 кПа);  $m_i$  – молекулярная масса  $i$ -го компонента;  $k_i$  – объемная доля  $i$ -го компонента;  $R = 8,31$  кДж/(кмоль×К) – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура газа, равная температуре режима сбраживания, К.

Теплоемкость газовой смеси при постоянном давлении:

$$c_{\text{БГ}} = \sum_{i=1}^n v_i c_i \quad (15)$$

где  $v_i$  – объемная доля  $i$ -го компонента в газе;  $c_i$  – теплоемкость  $i$ -го компонента при постоянном давлении.

Биогаз насыщен водяными парами, поэтому необходимо учесть и тепловую энергию, уносимую с ними. Теплотери  $Q_{\text{вп}}$ , связанные с уносом водяного пара, определяются так же, как и для теплового потока, уносимого биогазом.

Суммарный тепловой поток, кВт, на собственные нужды биогазовой установки определяется как:

$$\sum Q = Q_c + Q_k + Q_{\text{бг}} + Q_{\text{вп}} \quad (16)$$

Этот тепловой поток необходимо компенсировать с помощью системы обогрева биореактора.

### Расчёт поверхностей нагрева биореакторов

Методика расчёта приводится для биореактора, в котором в качестве нагревательных приборов используются гладкие трубы, расположенные вдоль стенок реактора по его периметру [5, 6, 7]. Теплоносителем является горячая вода. Для предотвращения налипания субстрата на поверхность приборов температура воды на входе в спиральный теплообменник при мезофильном режиме сбраживания принимается не выше 60 °С.

Поверхность теплообмена  $F$ , м<sup>2</sup>, определяется из уравнения теплопередачи:

$$F = Q / k \cdot \Delta t \quad (17)$$

где  $Q$  – тепловой поток, который необходимо возместить нагревательными приборами, Вт;  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м×°С);  $\Delta t$  – средний перепад температур, °С.

Для расчёта коэффициента  $k$  нужно определить среднюю температуру теплоносителя. Для этого сначала вычисляется площадь живого сечения трубы  $f$ ,  $\text{м}^2$ , по которой он циркулирует:

$$f = \pi d^2 / 4 \quad (18)$$

где  $d$  – внутренний диаметр трубы, м.

Объёмный расход теплоносителя,  $\text{м}^3/\text{сек.}$ , определяется как:

$$V = f \cdot v; \quad (19)$$

где  $v = 1,0 - 1,2$  м/сек. – скорость движения теплоносителя.

Массовый расход теплоносителя,  $\text{кг}/\text{сек.}$ :

$$G = V \cdot \rho; \quad (20)$$

где  $\rho$  – плотность теплоносителя,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Перепад температур,  $^{\circ}\text{C}$ , на входе и на выходе нагревательных приборов:

$$\Delta t = Q / G_c \quad (21)$$

где  $c = 4,18$   $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$  – удельная теплоемкость воды, при начальной температуре теплоносителя  $t_{\text{вн}} = 60$   $^{\circ}\text{C}$ .

Конечная температура воды  $t_{\text{вк}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , на выходе из приборов:  $t_{\text{вк}} = t_{\text{вн}} - \Delta t$ .

Средняя температура теплоносителя,  $^{\circ}\text{C}$ :  $t_{\text{cp}} = (t_{\text{вн}} + t_{\text{вк}}) / 2$

Коэффициент теплопередачи  $k$  определяется по формуле 22 для цилиндрической стенки:

$$1/k = \{ [1/a_d \cdot d_b] + [1/(2\lambda \cdot \ln(d_n : d_b))] + 1/(\lambda \cdot d_n) \} + R_n + R_b \quad (22)$$

где  $d_b$  и  $d_n$  – соответственно внутренний и наружный диаметр трубы, м;  $a_b$  и  $d_b$  – коэффициенты теплоотдачи с внутренней и внешней поверхности трубы соответственно,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, для стали  $\lambda = 60$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $R_n$  и  $R_b$  – соответственно факторы загрязнения со стороны субстрата и со стороны теплоносителя,  $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ .

Расчёт коэффициентов теплоотдачи выполняется с использованием критериев подобия. Режим течения жидкости определяется по величине числа Рейнольдса  $Re$  [5, 6, 7]:  $Re = V \cdot d / \nu$ , где  $\nu = 0,485 \times 10^{-6}$   $\text{м}^2/\text{с}$  – кинематическая вязкость жидкости (воды);  $d$  – характерный размер (диаметр трубы), м.

По числу Рейнольдса выявляется режим движения теплоносителя. Коэффициент теплоотдачи  $a$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ , вычисляется как  $a = l \cdot Nu \cdot \lambda_{ж}$ , где  $\lambda_{ж}$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $l$  – характерный линейный размер системы, м;  $Nu$  – критерий Нуссельта, который рассчитывается по формуле 23а:

$$Nu = 0,021 \cdot Re_{жс}^{0,8} \cdot Pr_{жс}^{0,68} \cdot Pr_c^{0,25} \quad (23a)$$

где  $Pr_{жс}$  и  $Pr_c$  – значения критерия Прандтля, относящиеся к средней температуре жидкости и стенки соответственно.

При расчёте коэффициента тепловосприятости со стороны сбраживаемого субстрата используются формулы для свободного конвективного теплообмена. Уравнение средней теплоотдачи для горизонтальных труб диаметром  $d$  при  $10^3 < Gr_{ж} Pr_{ж} < 10^8$  имеет вид:

$$Nu = 0,5(Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,25} \cdot [Pr_{ж}/Pr_c]^{0,25} \quad (23б)$$

где  $Gr_{ж}$  – критерий Грасгофа:

$$Gr_{ж} = g \cdot \beta \Delta t \cdot d^3 / \xi^2 \quad (24)$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения среды,  $\beta = 3,54 \times 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ ;  $d$  – наружный диаметр трубы,  $d = 0,057 \text{ м}$ ;  $\Delta t$  – характерная разность температур,  $\Delta t = 15 \text{ }^\circ\text{С}$ ;  $\xi$  – кинематическая вязкость субстрата,  $\xi = 0,732 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Средний температурный напор,  $^\circ\text{С}$ :

$$\Delta t = [\Delta t_6 - \Delta t_m] : [\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)] \quad (25)$$

где  $\Delta t_6 = \Delta t_{вн} - t_{бр}$ ,  $^\circ\text{С}$ ;  $\Delta t_m = \Delta t_{вк} - t_{бр}$ ;  $t_{бр}$  – температура в бродильной камере,  $^\circ\text{С}$ .

Общая требуемая длина труб для обогрева, м:

$$l = F / (\pi \cdot d_n) \quad (26)$$

При расчёте для горизонтальных труб вычисляется внутренний периметр  $\Pi$ , м, биореактора:  $\Pi = \pi \cdot D_в$ .

### Тепловой баланс биогазовой установки

Тепловой поток  $Q_r^*$ , кВт, эквивалентный потенциальному количеству теплоты, образуемому при сжигании выделившегося биогаза, составит [5, 6, 7]:

$$Q_r^* = Q_n^p \cdot V_{62} / 86400 \quad (27)$$

где  $Q_n^p$  – низшая теплота сгорания биогаза, кВт/м<sup>3</sup>;  $V_{62}$  – выход биогаза, м<sup>3</sup>/сут.

Коэффициент расхода биогаза на собственные нужды биогазовых установок:

$$\eta_{62} = \sum Q : [Q_c \cdot \eta] \quad (28)$$

где  $\sum Q$  – суммарный тепловой поток на собственные нужды биогазовой установки, кВт;  $\eta$  – КПД нагревательного устройства.

Количество товарного биогаза  $V_{62}^r$ , м<sup>3</sup>/сут., составит:  $V_{62}^r = V_{62} (1 - \eta_{62})$ .

Приведём пример расчёта по рассмотренной методике [5, 6, 7].

Задача. Определить тепловую потребность сельскохозяйственной биогазовой установки, расположенной в районе с расчётной температурой наружного воздуха в холодный период года  $t_n = -6 \text{ }^\circ\text{С}$ . Установка оборудована двумя биореакторами радиусом 1,2 м и высотой 4 м. Общее количество жидкого субстрата  $G_n = 2,89 \text{ м}^3$ , влажность субстрата  $W = 90\%$ .

Продолжительность сбраживания  $t = 10$  сут. Режим сбраживания – мезофильный ( $t_p = 35^\circ \text{C}$ ).

Жидкий навоз в количестве  $2,89 \text{ м}^3$  из животноводческих помещений подается в бродильную камеру биогазового реактора два раза в сутки при помощи шнека. Для обеспечения надежного перемешивания содержимого бродильной камеры установлена мешалка, закрепленная на раме в верхней его части, а также внизу реактора, при этом лопасти мешалки выполнены в виде дуг, выпуклые части которых направлены в сторону их вращения и закреплены на оси в шахматном порядке. Реактор имеет изоляцию, которая стабильно поддерживает режим сбраживания и поддается быстрой замене при выходе из строя. Суточный выход биогаза составляет  $72,26 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Потенциальный тепловой поток от сжигания выделившегося биогаза составит (по формуле 27):

$$Q_{\text{г}}^* = 25000 \cdot 72,26 / 86400 = 20,9 \text{ кВт.}$$

Суточная загрузка, кг, субстрата составит (по формуле 10):

$$m_{\text{с}} = 900 \cdot 2,89 - 2601,36 \text{ кг.}$$

Тепловой поток, необходимый для подогрева свежего субстрата при продолжительности нагрева  $\Delta t = 24$  часа, составит:

$$\text{– для холодного периода года (по формуле 9) } Q_{\text{с}} = 3,79 \text{ кВт;}$$

$$\text{– для тёплого периода года } Q_{\text{с}} = 2,53 \text{ кВт.}$$

Тепловой поток через ограждающие конструкции для каждого биореактора:  $Q_{\text{к}} = 37,3 \cdot 0,2(35 - (-6)) = 0,309 \text{ кВт}$

Для определения теплопотерь с биогазом вычислим его плотность. Примем, что он содержит большое количество балластных примесей. Состав биогаза в % по объёму:  $\text{CH}_4 - 60 \%$ ,  $\text{CO}_2 - 20 \%$ ,  $\text{N}_2 - 19 \%$ ,  $\text{H}_2\text{S} - 1 \%$ . Молекулярные массы компонентов:  $\mu_{\text{CH}_4} = 16$ ,  $\mu_{\text{CO}_2} = 44$ ,  $\mu_{\text{N}_2} = 28$ ,  $\mu_{\text{H}_2\text{S}} = 34$ .

$$\text{Абсолютная температура процесса брожения: } T = 35 + 273,15 = 308,15 \text{ К}$$

Плотность компонентов биогаза при избыточном давлении в биореакторе, равном 2 кПа:  $\rho_{\text{CH}_4} = 0,39 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{CO}_2} = 0,36 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{N}_2} = 0,22 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{H}_2\text{S}} = 0,014 \text{ кг/м}^3$ .

$$\text{Суммарная плотность биогаза } \rho = 0,97 \text{ кг/м}^3.$$

Теплоемкость отдельных компонентов газа при постоянном давлении:  $c_{\text{CH}_4} = 2,17 \text{ кДж/(кг} \times \text{}^\circ\text{C)}$ ,  $c_{\text{CO}_2} = 0,818 \text{ кДж/(кг} \times \text{}^\circ\text{C)}$ ,  $c_{\text{N}_2} = 1,04 \text{ кДж/(кг} \times \text{}^\circ\text{C)}$ . Тогда теплоемкость биогаза составит  **$c_{\text{б}} = 1,66 \text{ кДж/(кг} \times \text{}^\circ\text{C)}$** .

$$\text{Удельное теплосодержание биогаза: } Q_{\text{г}} = 1,66 \cdot 0,97 \cdot 35 = 56,4 \text{ кДж/м}^3.$$

$$\text{Теплопотери, связанные с выходом биогаза из реактора } Q_{\text{бр}} = 0,047 \text{ кВт.}$$

Давление насыщенных водяных паров при температуре  $35^\circ \text{C}$  составляет  $4,754 \text{ кПа}$ , теплоемкость  $c = 4,174 \text{ кДж/(кг} \times \text{}^\circ\text{C)}$ . Плотность водяного пара составит:  $\rho_{\text{вп}} = [18 \cdot (101,3 + 4,75)]: (8,31 \cdot 308) = 0,745 \text{ кг/м}^3$ .

Объёмное теплосодержание водяного пара:  $Q_{\text{п}} = 0,746 \cdot 4,174 \cdot 35 = 108,6 \text{ кДж/м}^3$

Теплопотери с водяными парами:  $Q_{\text{вп}} = 0,091 \text{ кВт}$ .

Суммарные теплопотери двух биореакторов:  $Q_{\text{г}} = 0,756 \text{ кВт}$ .

Суммарный тепловой поток на нужды биогазовой установки:  $Q_{\text{г}} = 4,55 \text{ кВт}$

Для каждого биореактора:  $Q_{\text{г}}^1 = 4,55 \cdot 4 = 2,275 \text{ кВт}$ .

Обогрев биореактора выполняется путём размещения по периметру его стенок теплообменников в виде спирали из труб [5, 6, 7]. В качестве теплоносителя используется горячая вода, подготовка которой ведется в специальном помещении телятника. Температура воды на входе в спиральный теплообменник равна  $60^\circ\text{C}$ , скорость её движения  $V = 1 \text{ м/с}$ . Выгрузка сброженного осадка выполняется с помощью выгрузного устройства, состоящего из двух ёмкостей прямоугольного сечения, расположенных одна в другой. Одна из них неподвижна, на неё устанавливается биореактор. Другая подвижна, находится внутри первой и оборудована механизмом привода из двух цилиндров. Выгрузка происходит путём поступательного движения внутренней ёмкости внутри внешней при выдвигании штоков гидроцилиндров. Верхняя поверхность внутренней ёмкости предотвращает падение массы навоза до момента начала обратного движения ёмкости. Для лучшего сползания навоза по дну реактора оно расположено под углом  $60^\circ$  к поверхности ёмкости. Отверстие выгрузки оборудовано самозакрывающейся дверцей.

Расчёт поверхностей нагрева проводится для одного биореактора. Тепловой поток, который необходимо возместить нагревательными приборами,  $Q_{\text{г}} = 2,275 \text{ кВт}$ . Предварительные расчёты показывают, что целесообразно выбрать трубы  $\text{Æ}50$  с толщиной стенки 3 мм.

Площадь живого сечения трубы  $\text{Æ}50$  составит:  $f = 3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 4 = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

Секундный объёмный расход теплоносителя:  $V = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Массовый расход теплоносителя (плотность воды при температуре  $60^\circ\text{C}$  составляет  $983,2 \text{ кг/м}^3$ ):  $G = 1,96 \cdot 10^{-3} \cdot 983,2 = 1,93 \text{ кг/сек}$ .

Перепад температур на входе и на выходе нагревательных приборов:  $\Delta t = 0,282^\circ\text{C}$ .

Конечная температура вода на выходе из приборов:  $t_{\text{вк}} = 60 - 0,282 = 59,718^\circ\text{C}$ .

Средняя температура теплоносителя:  $t_{\text{ср}} = (60 + 59,72) : 2 = 59,9^\circ\text{C}$

Для расчёта коэффициента теплопередачи вначале определяем число Рейнольдса:  $Re = 1 \cdot 0,05 : (0,485 \cdot 10^{-6}) > 10^4$

следовательно, режим движения теплоносителя турбулентный.

Значения критерия Прандтля, относящиеся к температуре жидкости и стенки, равны соответственно  $Pr_{ж} = 2,59$ ,  $Pr_c = 2,98$ . Подставив значения в формулы (7.38) и (7.39), получим:  $Nu = 372,7$ ;  $a_b = 4362 \text{ Вт}/(\text{м} \times ^\circ\text{C})$ .

Рассчитав коэффициент тепловосприятости со стороны навоза получим:  $Gr = 2,4 \times 10^7$ ;  $Pr = 4,87$ ;  $Nu = 53,37$   $l = 0,648 \text{ Вт}/(\text{м} \times ^\circ\text{C})$ .

Поставив полученные значения, вычислим  $a_n = 519 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})$ . Значения факторов загрязнения  $R_n$  и  $R_b$  приняты по справочным данным:  $R_b = 0,002 \text{ м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $R_n = 0,02 \text{ м}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .  
 $k^{-1} = 3,32 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ .

Коэффициент теплопередачи составит  $k = 30,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})$ .

Определяем средний температурный напор:

$$\Delta t_6 = 60 - 35 = 25 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_m = 59,72 - 35 = 24,72 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t = 24,86$$

$$\text{Требуемая поверхность нагрева: } F = 2,275 \cdot 10^3 / 30,05 \cdot 24,86 = 3,045 \text{ м}^2$$

Общая требуемая длина труб для обогрева:  $l = 17 \text{ м}$ .

Расчёт выполнен для горизонтальных труб. Внутренний периметр биореактора П:  $\Pi = 3,14 \times 0,057 = 8,8 \text{ м}$ .

Количество витков обогревательных труб  $n$ :  $n = 17/8,8 = 1,93 \approx 2$

Принимаем теплообменник с двумя витками. Биореактор с системой обогрева, обеспечивающей мезофильный режим.

Затраты теплоты на собственные нужды процесса:

– в холодный период года (зимнее время):

$$Q_{сн}^{зим} = (502,1 + 71,6) / 0,7 = 604,3 \text{ кДж}.$$

– в тёплый период года (летнее время):

$$Q_{сн}^{лет} = 2,89 \cdot 4,06 \cdot (35 - 15) / 0,7 = 335,3 \text{ кДж}.$$

Общее количество биогаза, на собственные нужды:

$$V_{об}^{зим} = 604,3 / 25 = 24,17 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

$$V_{об}^{лет} = 335,3 / 25 = 13,4 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Выход товарного биогаза:

$$V_{ог}^{зим} = 72,26 - 24,21 = 48,09 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

$$V_{ог}^{лет} = 72,26 - 13,41 = 58,85 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Коэффициент расхода биогаза на собственные нужды:

$$\eta_{ог}^{зим} = 24,17 / 72,26 = 0,33$$

$$\eta_{ог}^{лет} = 13,41 / 72,26 = 0,19$$

На основании расчёта для мезофильного режима расход биогаза на собственные нужды в зимний период составляет 33 %, а в летний период 19 %. Таким образом, выход товарного биогаза в зимний период составляет 67 %, а в летний период 81 % (рис. 19).



Рис.19. Тепловой баланс сельскохозяйственной биогазовой установки при мезофильном режиме сбраживания

### Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на объем и состав получаемого в биогазовых установках (БГУ) биогаза?
2. Для чего в конструкциях БГУ предусмотрены системы перемешивания и подогрева?
3. Назовите основные типы БГУ и критерии выбора типа установки для перерабатываемого сырья.

### 1.3. SWOT-АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ НА ПРИМЕРЕ СОВХОЗА В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Согласно данным Википедии <https://ru.wikipedia.org/wiki/SWOT-анализ> — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории:

- Strengths (сильные стороны),
- Weaknesses (слабые стороны),
- Opportunities (возможности),
- Threats (угрозы).

Сильные (S) и слабые (W) стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа, (то есть тем, на что сам объект способен повлиять); возможности (O) и угрозы (T) являются факторами внешней среды (то есть тем, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется

объектом). SWOT-анализ эффективен при осуществлении начальной оценки текущей ситуации, однако он не может заменить выработку стратегии или качественный анализ динамики.

Сильные стороны SWOT-анализа:

- Это универсальный метод, который применим в самых разнообразных сферах экономики и управления. Его можно адаптировать к объекту исследования любого уровня (продукт, предприятие, регион, страна и пр.).

- Это гибкий метод со свободным выбором анализируемых элементов в зависимости от поставленных целей (например, можно анализировать город только с точки зрения туризма или только с точки зрения работы транспорта и т.д.).

- Может использоваться как для оперативной оценки, так и для стратегического планирования на длительный период.

- Использование метода, как правило, не требует специальных знаний и наличия узкопрофильного образования.

Рассмотрим пример анализа на проекте внедрении БГУ в Удмуртской Республике [9, 10].

Рассматриваемый «Совхоз» - это крупное специализированное предприятие по производству продукции свиноводства с замкнутым циклом хозяйственной деятельности.

Проектная мощность комплекса по производству мяса в живом весе в год 12,5 тысяч тонн. Совхоз известен на рынке мясопродуктов Уральского региона более 25 лет.

Первоначально специализировавшееся на выращивании и продаже мяса, сегодня предприятие представляет собой замкнутую цепочку, включающую выращивание свиней, производство комбикормов для их вскармливания, разведение и выращивание племенных животных, мясопереработку и реализацию готовой продукции. На основной площадке предприятия располагаются 70 корпусов по содержанию животных – порядка 100 тысяч голов в год. Перерабатывающее производство включает в себя убойный и колбасный цеха, цех полуфабрикатов, консервный цех, которые перерабатывают до 80% от всего объема выращенного поголовья свиней. Безотходный производственный процесс позволяет вырабатывать также шкуры свиные различных категорий для кожевенных заводов. Бесперебойную работу свиного комплекса обеспечивают различные службы – механики, энергетики, экологи, службы водоснабжения, кормов, безопасности.

В состав предприятия входит Киясовский свиного комплекс, приобретенный в октябре 2002 года: предприятие, насчитывающее 200 голов свиней, сегодня работает на полную мощность, поголовье увеличено до 18,5

тысяч; и Туклинский свинокомплекс в Уве. В собственности предприятия находится основной пакет акций Увинского мясокомбината. В совхозе создана система производства комбикормов для откорма свиней на собственном комбикормовом заводе. Для организации комбикормового производства выбрали цех Можгинского элеватора, который находится в непосредственной близости к зерновым районам Удмуртии и Татарстана. Он имеет складские емкости для хранения зерна около 36 тысяч тонн и сушильное хозяйство.

Наряду с переработкой на предприятии развивается и основное, исторически сложившееся направление деятельности – племенное воспроизводство свиней. Предприятие использует систему чистопородного разведения и гибридизации свиней, которая была разработана совместно со специалистами Государственного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института племенного хозяйства.

В 2000 году предприятие получило статус племенного завода российского значения по разведению крупной белой породы свиней, в 2002 году стало племенным репродуктором породы Ландрас, а в 2003 году получило право разводить и продавать свиней породы Дюрок и Йоркшир. За год предприятие имеет возможность реализовать до 4 тысяч голов племенного молодняка четырех пород. На предприятии разработана и внедрена информационно-аналитическая система на базе ПЭВМ по автоматизации зоотехнического труда.

Предприятие осуществляет оптовую продажу мяса свиного 2 категории, промышленного забоя - до 500 тонн в месяц, свиней в живом весе до 5 тыс. голов в месяц, колбасных изделий, консервов и мясопродуктов. Имеющийся цех переработки на предприятии выпускает до 20 тонн колбасных изделий, до 10 тысяч условных банок мясных и мясорастительных консервов в сутки.

**Анализ внешней среды (таблица 9).** По-прежнему основная часть продукции животноводства производится в сельскохозяйственных организациях: молока – 72%, мяса – 61% и яиц – 86%.

**Анализ технологических факторов (таблица 10).** На предприятиях Республики наблюдается значительный износ основных фондов, что приводит к снижению конкурентоспособности и рентабельности предприятий. Ограниченность инвестиционных и инновационных возможностей предприятий ведет к снижению объемов инвестиций в основной капитал и капитальное строительство, формированию неблагоприятного инвестиционного климата и снижению инвестиционного имиджа республики, малому притоку иностранных инвестиций.

Таблица 9. Сильные стороны Удмуртской Республики

Сильные стороны	Возможности
1. Политически стабильный регион России	Обеспечение конкурентоспособности Удмуртской Республики, повышение ее инвестиционного имиджа, привлечение инвесторов и увеличение притока инвестиций. Обеспечение социального благополучия и повышение уровня жизни населения.
2. Выгодное транспортно-географическое положение республики	Условия для развития кооперационного и внешнеэкономического сотрудничества, формирование долгосрочных рынков сбыта продукции, экономически выгодных логистических моделей и условия повышения инвестиционной привлекательности республики
3. Возможность агропромышленного комплекса полностью обеспечивать потребности населения Удмуртской республики в основных продуктах питания	Стимулирование внутреннего спроса, удовлетворение потребностей населения в продуктах питания, рост конкурентоспособности сельскохозяйственных товаропроизводителей и предприятий пищевой промышленности

Но, с другой стороны, Республика располагает развитым промышленным потенциалом, мощной природно-сырьевой базой, что обуславливает дополнительный приток долгосрочных инвестиционных ресурсов, расширение номенклатуры инновационной и конкурентоспособной продукции. Высококвалифицированный персонал предприятий, научно-исследовательских учреждений обеспечивает развитие инновационных и наукоемких производств, инновационного бизнеса.

Потребителями продукции предприятия являются жители не только в Удмуртии, но и других регионах России. Главная причина популярности продукции - неизменно высокое качество и постоянное обновление ассортимента. Предприятие имеет собственную оптово-розничную сеть, которая позволяет обеспечивать потребителей свежей и гарантированно качественной продукцией. В торговую сеть входит 28 розничных и 2 оптовых магазина на территории Удмуртии (Ижевск, Италмас, Воткинск, Можга) и Пермского края (Чайковский). Продукцию предприятия охотно берут на реализацию многие крупные торговые сети республики, с каждым годом спрос на продукцию со стороны населения растет.

Таблица 10. Критические факторы для развития мясоперерабатывающей отрасли, предприятия и их возможные последствия

Критические факторы	Возможные последствия	
	Мясоперерабатывающая отрасль	Рассматриваемый совхоз
1. Проведение жесткой тарифной политики естественных монополий, рост тарифов на газ, электроэнергию, транспортные, коммунальные услуги	Увеличение себестоимости мясной продукции, опережающий рост инфляции цен	Рост цен на мясо, колбасы, консервы и прочие изделия. Снижение спроса и сокращение прибыли
2. Вступление России в ВТО и интеграция в мировую экономику	Усиление конкуренции на товарных рынках республики, снижение конкурентоспособности продукции республиканских производителей.	Потеря доли рынка.

Производственный потенциал мясоперерабатывающей отрасли республики представлен 9 промышленными предприятиями (Ижевский, Воткинский, Глазовский, Игринский, Увинский, Можгинский, Сарапульский мясокомбинаты, ОАО «Восточный», ООО «Тавр» (Кизнер) и 13 малыми цехами, наделенными статусом заготовителей. Кроме того, имеются малые цеха, перерабатывающие мясо, которые не входят в систему АПК, такие как ЗАО «Севак», «Телец» и некоторые другие. 26 цехов мясопереработки действуют в системе Удмуртпотребсоюза. Неплохо развиваются на этом рынке и предприятия общественного питания, предлагающие полуфабрикаты. Конкуренция на мясном рынке заставляет предприятия искать свои ниши. Этот процесс протекает не всегда одинаково успешно, что становится причиной ослабления позиций одних и усиления других. Многие из предприятий сегодня прошли, либо начинают процесс реорганизации или смены собственника. Так, почти прекратил выпуск продукции Можгинский МК, сменил акционеров Игринский МК, часть цехов сократили производство колбас, занявшись исключительно поставками мяса.

На мощностях предприятия производится 32,6% мяса и 41,2% колбасных изделий от общереспубликанского объема. Далее с приблизительно одинаковыми показателями по производству мяса следуют Сарапульский и Увинский мясокомбинаты (около 16%). Среди лидеров колбасного рынка также можно выделить ИМКО (18,1%) и Бабинский МПК. Доля основных производителей колбас на рынке УР показана на рис. 20.

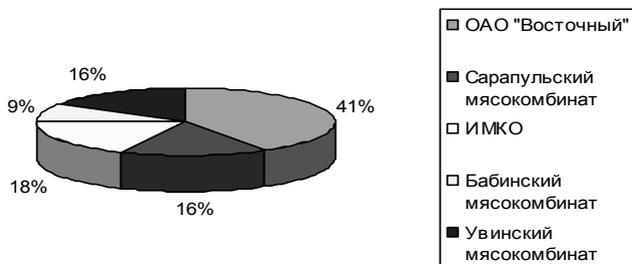


Рис. 20. Доля основных производителей колбас на рынке УР [9, 10]

В таблице 11 приведена сравнительная характеристика основных конкурентов рассматриваемого предприятия их сильные и слабые стороны.

Таблица 11. Сравнительная характеристика основных конкурентов рассматриваемого предприятия их сильные и слабые стороны

Конкурент	Сильные стороны	Слабые стороны
Сарапульский мясокомбинат	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Развитие собственной торговой сети</li> <li>2. Постоянное расширение ассортимента</li> <li>3. Современное оборудование (модернизация пельменного производства)</li> <li>4. Высокое качество продукции</li> </ol>	1. Отсутствие собственного свиного комплекса, зависимость от поставщиков сырья
Ижевский мясокомбинат (ИМКО)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фирменная упаковка продукции с логотипом предприятия</li> <li>2. Постоянное расширение ассортимента</li> <li>3. Высокое качество продукции</li> <li>4. Популярность среди покупателей</li> </ol>	1. Отсутствие собственного свиного комплекса, зависимость от поставщиков сырья
ООО «Бабинский МПК»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Лидер потребительских предпочтений</li> <li>2. Высокое качество продукции</li> </ol>	1. Отсутствие собственного свиного комплекса, зависимость от поставщиков сырья

**Внутренние факторы.** Рост поголовья стал возможен благодаря завершённой в августе 2004 года реконструкции. Претерпела изменение и система откорма. Для половины поголовья используется технология жидкого кормления, разработанная и внедрённая на предприятии специалистами немецкой фирмы WEDA. Она предусматривает щелочную очистку,

возможность ввода медикаментов, весь процесс кормления управляется с помощью компьютерной программы, корм автоматически подается в пустые кормушки.

Свинокомплекс пользуется комбикормами собственного производства. Корма на Можгинском элеваторе вырабатываются на основе белково-витаминно-минеральных добавок (БВМД) и зерна. Кроме того, предприятие освоило выпуск белкового сухого продукта из отходов своего убойного цеха. Получаемая на его основе добавка содержит до 18% протеина и позволяет значительно удешевить рацион, сохранив необходимую питательность.

Одной из составляющих успеха предприятия стало развитие собственной переработки и сбыта продукции через собственную оптовую сеть.

Перерабатывающее направление организовано в совхозе в 1990 году, когда был открыт колбасный цех. Сегодня около 85% мяса, производимого предприятием, перерабатывается собственными силами. В таблице 7 представлена структура отдельных видов товарной продукции в общем объеме производства.

В настоящее время ассортимент предприятия насчитывает более 80 наименований колбасных изделий и деликатесов, 23 вида полуфабрикатов, 17 мясных и мясорастительных консервов. Высокая оценка качества предлагаемой продукции обеспечивается едиными условиями содержания, полнорационным кормлением свиней, а также их ветеринарным обслуживанием. С первых дней основания предприятия большое место уделяется строгому соблюдению технологии производства мяса, колбасных изделий, полуфабрикатов и консервов. Имеющаяся на перерабатывающем производстве производственно-пищевая лаборатория, осуществляет полный контроль за процессом производства мяса и мясопродуктов, а также производит оценку качества мяса по его основным показателям.

С 2004 году предприятием принята политика в области качества, в которой руководство предприятия рассматривает качество продукции как решающий фактор в конкурентной борьбе, как важнейшее условие повышения уровня жизни общества и коллектива предприятия.

В мае 2005 года на предприятии сертифицирована система менеджмента качества применительно к производству свинины на промышленной основе, выращиванию племенного скота, производству мяса и мясной продукции на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 2001 (ИСО 9001 : 2000).

По данным социологического обследования проблема утилизации органических отходов животноводческих комплексов и птицефабрик в настоящее время решается плохо. Свинокомплекс не исключение: уборка в свинарниках происходит путем смыва навоза водой. Эта вода создает большой объем токсичных навозных стоков. Навоз по специальным лоткам поступает в отстойники. Здесь идет разделение: жидкую фракцию прогоняют через сита, отстойники, центрифугу. Затем очищенная, но не до природных

показателей, вода поступает в пруды-накопители, а отсюда за сезон (с мая по октябрь) ее всю надо вылить на поля орошения. Твердую фракцию транспортируют в навозохранилище (полигон под открытым небом), а отсюда на поля. Проблема вывоза на поля осложняется наличием большого объема отходов (113т. ежедневно, около 41245 тонн навоза в год) и высокой стоимости транспортных расходов. Вывоз на поля непереработанного навоза увеличивает засоренность посевов сорняками и необходимость применения ядохимикатов.

По результатам исследования можно сказать, что *основными проблемами в деятельности организации являются:*

- Увеличение расходов на энергоносители и минеральные удобрения.
- Устаревшая методика утилизации отходов, рост экологических платежей.

С целью улучшения экологической обстановки, уменьшения в сельхозпроизводстве затрат на электрическую энергию, топливо и минеральные удобрения необходимо внедрить на свинокомплексе технологии переработки органических отходов животноводческого комплекса - биогазовую установку, являющуюся альтернативным источником энергии.

Получаемые продукты:

В процессе работы биоэнергетической установки выделяется биогаз, представляющий собой смесь метана ( $\text{CH}_4$ ) до 70% и углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ). Средний выход биогаза с 1 м<sup>3</sup> емкости биореактора составляет 2,5 м<sup>3</sup>. 1 м<sup>3</sup> биогаза эквивалентен по теплотворной способности 0,6 м<sup>3</sup> природного газа, 0,7 литрам мазута, 0,4 л керосина, 3,5 кг дров и составляет 5,5 - 6,5 тыс. ккал/м<sup>3</sup>. При сжигании 1 м<sup>3</sup> биогаза возможно производить 2,5 - 3 кВт/час электроэнергии и 4 - 5 кВт тепловой энергии. После сжатия биогаза до 200-220 атмосфер возможно использование его для заправки автотранспорта. Газ может быть использован для отопления бытовых и производственных помещений. На собственные нужды установки расходуется не более 30% вырабатываемого газа. Таким образом, биоэнергетическая установка является потенциально энергонезависимой и может покрыть значительную часть энергопотребления основного производства.

Основным товарным продуктом промышленной переработки навоза и растительных остатков в биогазовой установке являются высококачественные удобрения. Удобрения содержат все необходимые компоненты: азот, фосфат, калий, макро- и микроэлементы. Удобрение может быть внесено в почву, может быть высушено и гранулировано, при необходимости брикетировано. При смешении в определенных пропорциях с различными составляющими могут быть получены компосты, почвенные смеси для теплиц.

Применение этих удобрений обеспечивает увеличение урожайности от 20% до 350% по различным культурам, уменьшает необходимость

применения минеральных удобрений (может полностью их заменить) и пестицидов, что позволяет вести процесс выращивания различных культур экономически более эффективно и получать продукцию с улучшенными потребительскими свойствами – экологически чистые продукты питания.

**Решаемые экологические проблемы.** В условиях повышения степени концентрации производства и его интенсивности перед производителями стоит задача минимизировать вред окружающей среде, которая решается при помощи различных очистных сооружений, создания полигонов для захоронения отходов. Затраты на перевозку отходов, на работу очистных сооружений дополнительно ложатся на стоимость основной продукции. Отходы сельскохозяйственного производства являются великолепным сырьем для производства иной продукции (биогаза и удобрений).

Предлагаемая технология и разработанное оборудование позволяют перевести проблему отходов с целью недопущения загрязнения окружающей среды в нормальную производственную задачу выпуска продукции (органических удобрений), имеющую самостоятельное значение и потенциальную нишу на рынке, и ее реализации с целью получения прибыли.

Внедрение биогазовых установок в производственный цикл позволит решить четыре задачи:

1. Утилизировать отходы животноводства в зонах производства и переработки сельхозпродуктов и улучшить экологическую обстановку.

2. Получить дополнительные энергетические ресурсы на основе местного возобновляемого сырья, и, таким образом, обеспечить потребности хозяйства в тепловой и электрической энергии за счет собственных недорогих ресурсов.

3. Получить дешевые экологически чистые органические удобрения и обеспечить процесс восстановления и увеличения естественного плодородия почв за счет применения высокоэффективных удобрений собственного производства.

4. Вследствие вышесказанного значительно снизить затраты при производстве продукции [9, 10].

В настоящее время у садоводов и огородников есть огромный выбор: на рынке им предлагаются широкий ассортимент удобрений самых разных компаний и фирм. В 1991 году по заказу Ижевского городского комитета по охране окружающей среды в Хохряках организовано небольшое предприятие по переработке органических отходов «Плодородие и экология». Организация отладила технологию производства органических удобрений, превосходящих мировые аналоги. Лидером по производству органических удобрений является ОАО «Удмуртторф», в состав которого входят семь торфопредприятий в Глазовском, Можгинском, Вавожском, Якшур-Бодьинском, Завьяловском, Кезском и Сюмсинском районах Удмуртии.

На сегодняшний день торфопредприятия Республики производят 26 наименований удобрений. Эта продукция пользуется немалым спросом: география поставок охватывает чуть ли не всю Россию, в том числе Поволжье, Сибирь, Дальний Восток, страны ближнего зарубежья. Актуальность этих идей растет стремительными темпами. Гранулированные органические удобрения, которые можно получать из сброженного в биогазовых установках навоза, стоят сейчас на западных рынках до 15 - 35 USD/кг (стоимость таких удобрений в Удмуртии 3 руб./кг или 3000 руб./т). Такую продукцию готовы закупать в Центральной и Северной Европе, Сингапуре. Огромная потребность в ней не только за границей, но и в России.

В Удмуртии рынка супердорогих органических удобрений пока нет. Сырья много, но и производство наладить нелегко. Интерес у руководителей предприятий есть – оно окупится за год, но нет у предприятий оборотных средств для запуска новых проектов.

Внедрение биогазовой установки на рассматриваемом предприятии позволит наладить производство и реализацию экологически чистых органических удобрений с целью получения прибыли.

Реализация удобрений будет производиться:

В торговой сети через:

а) специализированные магазины («Сюрприз», «Все для сада и хозяйства»);

б) рынки;

в) торговые точки, расположенные в местах отправки на огороды (вокзалы, автобусные станции) и на садоогородных массивах.

2. Оптовым покупателям со склада фирмы.

3. Реализация на сельскохозяйственных ярмарках и выставках.

Распространение продукции будет, таким образом, производиться по следующим схемам:

• Производитель – розничная торговля – конечный потребитель.

• Производитель – оптовая торговля – розничная торговля – конечный потребитель.

Основу системы реализации продукции составляет оптовая торговля. Определена необходимость выделения в организационно-штатной структуре отдела сбыта 2 человек, ответственных за исследование рынка, рекламную работу, обеспечение сбыта через сеть оптовых покупателей.

Анализ эффективного маркетинга [9, 10] позволил сделать вывод о возможных путях продвижения органических удобрений на региональные рынки Российской Федерации. Примерная схема распространения товара, определяемая наработанными связями, по оценкам экспертов предприятия состоит в следующем: Удмуртская республика 70% годового объема производства, Пермский край – 20%, Татарстан – 10%. Данная схема распространения действительна первые 2 года. В дальнейшем должен быть

запланирован выход на страны ближнего зарубежья и Европы, которые испытывают огромную потребность в экологически чистых органических удобрениях при существенной ограниченности собственных сырьевых ресурсов.

**Расчет экономии по энергоресурсам [9, 10].** Объем получаемого товарного биогаза 2737,5 тыс. м<sup>3</sup> в год, 90% идет на замену природного газа (2463,75 тыс. м<sup>3</sup>) и 10% - дизельного топлива (273,75 тыс. м<sup>3</sup>). Учитывая, что теплотворная способность 1 м<sup>3</sup> биогаза равноценна 0,6 м<sup>3</sup> природного газа или 0,7 л дизельного топлива, получаем следующее:

Количество заменяемого природного газа:  $2463,75 \text{ тыс. м}^3 * 0,6 = 1478,25 \text{ тыс. м}^3$

Количество заменяемого дизельного топлива:  $273,75 \text{ тыс. м}^3 * 0,7 = 191,625 \text{ тыс. л}$

Сложившаяся цена природного газа на 01.06.2007 в Удмуртской республике 1 руб. 47 коп. за 1 м<sup>3</sup>, дизельного топлива 17 руб. 60 коп. за 1 литр. (2005 год)

Количество заменяемого природного газа:  $1478,25 \text{ тыс. м}^3 * 1,47 \text{ руб.} = 2173,03 \text{ тыс. руб.}$

Количество заменяемого дизельного топлива:  $191,625 \text{ тыс. л} * 17,6 = 3372,6 \text{ тыс. руб.}$

**Расчет дохода по органическим удобрениям [9, 10].** Количество получаемых органических удобрений в год составляет 29200 тонн. При норме внесения органических удобрений 500 кг/га 2 раза в год и обрабатываемой площади земель 2700 га + 690 га (мелиорация), собственная потребность в удобрениях составит:  $3390 * 0,5 \text{ т/га} * 2 = 3390 \text{ т.}$

Следовательно, 25810 т органических удобрений идет на реализацию, что, при стоимости получаемого удобрения 3 руб. за 1 кг или 3000 руб. за тонну, приносит доход в размере:  $25810 \text{ т} * 3 \text{ тыс. руб./т} = 77430 \text{ тыс. руб.}$

**Расчет экономии по минеральным удобрениям [9, 10]**

Норма внесения минеральных удобрений составляет – 200 кг/га. Стоимость минеральных удобрений – 4000 руб./т.

Экономия на минеральных удобрениях составит:  $2700 \text{ га} * 0,2 \text{ т/га} * 4 \text{ тыс. руб./т} = 2160 \text{ тыс. руб.}$

Положительная часть эффекта составляет 85685,63 тыс. руб. Чистый эффект можно получить при учете годовых затрат (амортизационных отчислений и эксплуатационных расходов). Эти показатели характеризуют совершенство конструкторских разработок и режим работы установки. Поэтому составляющую эксплуатационных затрат принимаем в среднем 20% от капитальных затрат.

В таблице 12 представлены издержки на внедрение биогазовой установки (единовременные и текущие).

Себестоимость органических удобрений составит 1,1 тыс. руб.

Простой срок окупаемости затрат:  $76016,5 / 85685,63 = 0,9 \text{ года}$

Простой срок окупаемости проекта – около одиннадцати месяцев после ввода в эксплуатацию за счет реализации удобрений.

Экономический расчет произведен по укрупненным показателям: по минимальной производительности установки, по стоимости изготовления единичного опытного образца, без учета совершенства технологии производства. На самом деле экономическая эффективность будет выше по следующим факторам:

1. В расчетах не учтены затраты на перевозку топлива.

2. Шлам после сбраживания можно использовать не только как удобрения, но и для получения белково-витаминного концентрата (БВК) в качестве добавки в корма. При использовании шлама для получения БВК экономия кормов составляет 25 %. По мнению зарубежных ученых, эффект от использования шлама в кормопроизводстве в 2 раза выше, чем в качестве удобрения.

3. При замене технологии штабельного хранения и компостирования навоза анаэробным сбраживанием потери азота в шламе снижаются на 20%. Эффективность этого явления в расчете не учтена.

4. Не учтена в расчетах эффективность влияния па почву бактериальной стерилизации и потери всхожести сорняков, входящих в исходную массу.

5. При метановом сбраживании устраняется запах навоза и другого исходного сырья. Оценку данному эффекту в денежном выражении сделать трудно, однако это необходимо учитывать.

6. При замене топлива биогазом устраняются вредные выбросы в атмосферу, и улучшается общая экологическая обстановка. Пока нет точной экономической оценки этого фактора, но количественную оценку можно рассчитать.

Таблица 12. Издержки на внедрение биогазовой установки

Наименование расходов	Затраты, тыс. руб.
Единовременные расходы:	
- стоимость БГУ (НИОКР, изготовление)	39000
- строительно-монтажные работы	9750
- расходы по подготовке персонала	25
<b>ВСЕГО единовременных расходов</b>	<b>48775</b>
Текущие расходы в расчете на 1 год	
- эксплуатационные расходы	7800
- затраты на реализацию удобрений	19357,5
- продвижение товара на рынок	84
<b>ВСЕГО текущих расходов</b>	<b>27241,5</b>
<b>ИТОГО издержек</b>	<b>76016,5</b>

Замена жидкого топлива биогазом позволит предотвратить вредные выбросы в атмосферу: несгоревшего топлива - 1 т/год, оксидов серы - 14,83 т/год, оксидов углерода - 35 т/год и диоксидов азота - 6,9 т/год. Это улучшит экологическую обстановку вокруг свиного комплекса.

Даже укрупненный расчет показывает, что применение биогазовой установки в совхозе целесообразно, экономически и экологически эффективно.

Финансирование проекта предполагается за счет следующих возможных источников:

- средства федерального бюджета;
- собственные средства организации;
- инвестиционные кредиты банков.

Источником средств бюджетного финансирования являются земельные налоги и арендная плата за землю. Федеральным бюджетом финансируются 2/3 процентной ставки по кредитам, привлекаемым сельскохозяйственными товаропроизводителями для целей реализации проекта, то есть льготное кредитование под 6-6,5% (согласно национальному проекту «Развитие агропромышленного комплекса»).

Наиболее приемлемым источником финансирования являются собственные средства предприятия.

**Анализ и оценка рисков [9, 10].** В ходе анализов и оценки рисков были определены основные группы дестабилизирующих факторов (рисков), способных повлиять на реализацию проекта (таблицы 13 и 14).

*Внешние риски:*

- несовершенство, противоречивость, нестабильность законодательной базы, в том числе налоговой политики;
- сложность в прогнозировании различных тенденций и факторов, проведении финансовых и экономических расчётов по проекту.

*Социальные и организационные риски:*

- некомпетентность, недобросовестность партнёров, работников;
- ошибки в оценке ситуации, выборе стратегии и тактики управления;
- недостаток квалифицированных кадров.

*Экономические, коммерческие риски:*

- увеличение стоимости продукции.

*Технические риски:*

- непроработанность многих технических вопросов на начальной стадии;
- низкое качество проектной документации.

Таблица 13. Степень опасности рисков

№	Вид риска	Возможный ущерб	Вероятность возникновения
Внешние риски:			
1	1.1 Несовершенство налоговой политики	+	+
	1.2 Сложность в прогнозировании различных тенденций и факторов, проведении финансовых и экономических расчетов по проекту	+	+
Социальные и организационные риски:			
2	2.1 Некомпетентность, недобросовестность партнёров и работников	+	-
	2.2 Ошибки в оценке ситуации, выборе стратегии и тактики управления	+	-
	2.3 Недостаток квалифицированных кадров	+	-
Экономические, коммерческие риски			
3	Увеличение стоимости продукции	+	+
Технические риски			
4	4.1 Непроработанность многих технических вопросов на начальной стадии	+	+
	4.2 Низкое качество проектной документации	+	-

Таблица 14. Шкала оценок рисков и ущербов

Показатель	+	-
Возможный ущерб	Угроза достаточно серьезна, чтобы приостановить реализацию проекта	Угроза не представляет большой опасности для бизнеса
Вероятность возникновения риска	Большая (скорее да, чем нет)	Небольшая (скорее нет, чем да)

Таблица 15. Оценка и механизмы управления рисками

Риски	Механизмы управления
1. Несовершенство, противоречивость, нестабильность законодательной базы, в том числе налоговой политики	Снижение неопределенности. Суть метода заключается в устранении вероятности рисков ситуации за счет получения дополнительной информации о причинах ее возникновения.
2. Сложность в прогнозировании различных тенденций и факторов, проведении финансовых и экономических расчетов по проекту	
3. Увеличение стоимости продукции	Сокращение издержек производства
4. Непроработанность многих технических вопросов на начальной стадии	Распределение рисков: назначение ответственным за реализацию технической части проекта того участника, который в состоянии лучше всех рассчитать и контролировать риск, способен преодолеть последствия с минимальными потерями.

Все перечисленные выше риски могут нанести значительный ущерб и приостановить реализацию проекта. По мнению экспертов, высокую вероятность возникновения имеют 4 фактора: несовершенство налоговой политики; сложность в прогнозировании различных тенденций и факторов, проведении финансовых и экономических расчётов по проекту; увеличение стоимости продукции; непроработанность многих технических вопросов на начальной стадии. По результатам проделанной работы проводится оценка и механизмы управления рисками, что показано в таблице 15.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные этапы проведения SWOT-анализа.
2. Дайте понятие рисков и методов управления ими.

### **1.4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ**

Задача 1. Определить размеры биореакторов в сельскохозяйственной биогазовой установке с суммарным суточным выходом навоза  $3,26 \text{ м}^3/\text{сут.}$  Длительность сбраживания субстрата 12 сут.

Задача 2. Определить тепловую потребность сельскохозяйственной биогазовой установки, расположенной в районе с расчётной температурой наружного воздуха в холодный период года  $t_n = -4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Установка оборудована двумя биореакторами радиусом 1,4 м и высотой 3 м. Общее количество жидкого субстрата  $G_n = 3,26 \text{ м}^3$ , влажность субстрата  $W = 90\%$ . Продолжительность сбраживания  $t = 12 \text{ сут.}$  Режим сбраживания – мезофильный ( $t_p = 35^\circ \text{C}$ ).

Жидкий навоз в количестве  $3,26 \text{ м}^3$  из животноводческих помещений подается в бродильную камеру биогазового реактора два раза в сутки при помощи шнека. Для обеспечения надежного перемешивания содержимого бродильной камеры установлена мешалка, закрепленная на раме в верхней его части, а также внизу реактора, при этом лопасти мешалки выполнены в виде дуг, выпуклые части которых направлены в сторону их вращения и закреплены на оси в шахматном порядке. Реактор имеет изоляцию, которая стабильно поддерживает режим сбраживания и поддается быстрой замене при выходе из строя. Суточный выход биогаза составляет  $76,13 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Задача 3. Составить SWOT анализ по внедрению БГУ на примере свиного комплекса, описание которого приведено выше.

	Положительное влияние	Отрицательное влияние
Внутренняя среда	Strengths (свойства проекта или коллектива, дающие преимущества перед другими в отрасли)	Weaknesses (свойства, ослабляющие проект)
Внешняя среда	Opportunities (внешние вероятные факторы, дающие дополнительные возможности по достижению цели)	Threats (внешние вероятные факторы, которые могут осложнить достижение цели)

## ЧАСТЬ 2. Обработка осадков сточных вод

### 2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**Технологии обработки осадков сточных вод** [3, 11]. Осадки сточных вод после аэротенков и биофильтров обладают высокой влажностью, являются источником неприятного запаха и требуют обработки, что позволит в дальнейшем их применить в качестве удобрений.

При использовании осадков сточных вод и компостов на их основе, в качестве удобрения или почвогрунтов в почвах увеличивается содержание органического вещества, азота, фосфора, других макро- и микроэлементов. Под действием осадков, как правило, снижается кислотность почв, увеличивается их влагоемкость, что особенно важно для почв легкого гранулометрического состава.

Обработка осадков, выделяемых в процессах очистки сточных вод, проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве. Эта цель достигается осуществлением трех основных процессов в различных технологических последовательностях: обезвоживанием, стабилизацией, обезвреживанием. В данной практической работе рассматриваются процессы обезвоживания осадка.

*Обезвоживание* – удаление из осадков части свободной влаги с целью уменьшения их объема, удобства их транспортировки, дальнейшей обработки и использования [22].

Для уплотнения избыточного активного ила рекомендуется применять флотационные илоуплотнители, которые позволяют предотвратить загнивание активного ила, сократить продолжительность уплотнения и объемы сооружений.

Флотаторы для уплотнения избыточного активного ила обычно представляют собой резервуары круглые в плане диаметром 6, 9, 12, 15, 18, 20, 24 м и глубиной 2-3 м, различающиеся внутренним оборудованием (рис. 21).

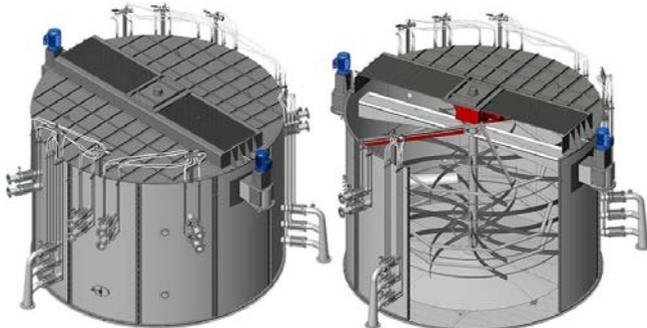


Рис.21. Флотационный илоуплотнитель

Избыточный активный ил, предварительно насыщенный воздухом под давлением, подается в пространство между зонами флотации и отстаивания равномерно по сечению флотатора. Насыщенный пузырьками воздуха активный ил всплывает и удаляется в желоб подвижным скребком. Нижняя часть флотатора (зона осаждения) используется для Выделения крупных частиц, имеющих плотность более 1,0. Осевшая часть избыточного ила удаляется под гидростатическим давлением.

Достоинства: позволяет применять компактные сооружения с небольшой поверхностью и малым объемом; обеспечивает эффективное уплотнение осадков с коллоидной структурой. К недостаткам метода относятся более высокие по сравнению с гравитационным уплотнением эксплуатационные затраты и невозможность накопления большого количества ила в уплотнителе.

Для обезвоживания сжимаемых, аморфных осадков сточных вод применяют фильтр-прессы типа ФПАКМ – фильтр-пресс автоматизированный камерный модернизированный (рис. 22). Их целесообразно применять в тех случаях, когда производится предварительная тепловая обработка осадков, исключающая необходимость их предварительного коагулирования. Показатели работы фильтр-прессов значительно улучшаются при реагентной обработке осадков и добавлении присадочного материала, в качестве которого может служить зола от сжигания осадков [3, 11].

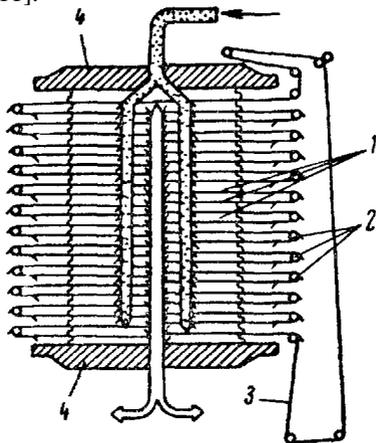


Рис. 22. Схема установки фильтр-прессов ФПАКМ: 1 – фильтровальные плиты; 2 – направляющие ролики; 3 – фильтрвальная ткань; 4 – основные фильтровальные плиты;

Фильтр состоит из нескольких фильтровальных плит и фильтрующей ткани, протянутой между ними с помощью направляющих роликов. Каждая фильтровальная плита состоит из верхней и нижней частей. Нижняя часть перекрыта перфорированным листом, под которым находится камера приема фильтрата: На перфорированном листе находится фильтровальная ткань. Верхняя часть представляет собой раму, которая при сжатии плит образует камеру, куда подается осадок. В верхней части расположена эластичная водонепроницаемая диафрагма. В камеру по коллектору подаются осадок и воздух. По каналам фильтрат и воздух отводятся в коллектор. Затем осадок отжимается диафрагмой, для чего в полость нагнетается вода под давлением. После этого раздвигаются плиты, передвигается фильтровальная ткань и кек снимается с нее ножами, ткань промывается и очищается в камере регенерации ткани.

Достоинства: отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов; сокращение расхода электроэнергии. К недостаткам можно отнести возможность распространения запаха.

Высокоэффективным методом обезвоживания осадков является центрифугирование. Применение непрерывно действующих горизонтальных центрифуг со шнековой выгрузкой осадка типа ОГШ целесообразно для станций пропускной способностью до 70-100 тыс.м<sup>3</sup>/сут.

В центрифугах твердые частицы, имеющие плотность большую, чем плотность жидкой фазы, под действием центробежной силы отлагаются на внутренней поверхности сплошного ротора и удаляются шнеком, а жидкая фаза в виде кольцевого слоя располагается вблизи оси вращения ротора и непрерывно выводится из центрифуги.

Достоинства: простота и экономичность процесса, низкая влажность кек, возможность работы без применения реагентов.

Недостатки: необходимость извлечения из осадков крупных включений и песка, периодической наплавки или замены шнеков; повышенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливно-энергетические расходы на термосушку [3, 11].

## 2.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ

1. Расчет параметров флотационного илоуплотнителя [3, 11]

1. Определяется прирост активного ила в аэротенках  $\Pi$ , мг/л:

$$\Pi = 0,8 \cdot C_{cdp} + 0,3 \cdot L_{en} \quad (29)$$

где  $C_{cdp}$  – концентрация взвешенных веществ в сточных водах, мг/л;

$L_{en}$  – БПК<sub>полн</sub> поступающих сточных вод в аэротенк, мг/л.

2. Прирост активного ила колеблется в течении года, уменьшаясь в летние месяцы, максимальное его содержание определяют по формуле:

$$\Pi_{max} = K_m \cdot \Pi, \text{ мг/л} \quad (30)$$

где  $K_m$  – коэффициент месячной неравномерности прироста активного ила, равный 1,2.

3. Расчет илоуплотнителей ведут на максимальный часовой приток избыточного активного ила  $q_{max}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$q_{max} = (\Pi_{max} \cdot q_w) / 24C_i \quad (31)$$

где  $q_w$  – расчетный расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$C_i$  – концентрация уплотняемого избыточного ила, г/л.

4. По таблице 16 определяется гидравлическая нагрузка на поверхность зеркала  $q_f$ , которая зависит от произведения илового индекса  $J_i$  на концентрацию поступающего активного ила  $C_i$ .

5. Площадь поперечного сечения флотационной камеры  $F$ ,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле:

$$F = q_{max} : q_f \quad (32)$$

6. Диаметр флотационной камеры  $D$ , м:

$$D = 2 \cdot (F \cdot \pi)^{1/2} \quad (33)$$

Таблица 16. Значения гидравлической нагрузки на флотационный илоуплотнитель

$J_i \times C_i$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$q_f, \text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$	12	10	9	8	7,5	6,7

## II. Расчет параметров фильтр-прессов [3, 11]

1. По таблице 17 в зависимости от вида осадка принимаются показатели работы фильтр-пресса:

— доза химических реагентов  $C_{FeCl_3}$ ,  $C_{CaO}$ , % массы от сухого вещества;

— Удельная производительность  $q_u$ ,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ;

— Влажность обезвоженного осадка  $P_2$ , %;

2. Рассчитывается расход хлорного железа и извести по чистому продукту  $Q_{FeCl_3}$  и  $Q_{CaO}$ ,  $\text{кг}/\text{сут}$ , по формулам:

$$Q_{FeCl_3} = [q_w \cdot (100 - P_1) \cdot C_{FeCl_3}] : 10000 \quad (34)$$

$$Q_{CaO} = [q_w \cdot (100 - P_1) \cdot C_{CaO}] : 10000 \quad (35)$$

где  $q_w$  – расход смеси, поступающей на обезвоживание,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $P_1$  – влажность поступающей смеси, %;  $C_{CaO}$  – доза извести, %;  $C_{FeCl_3}$  – доза хлорного железа, %.

3. Определяется необходимая рабочая площадь фильтр-прессов  $F$ ,  $\text{м}^2$ :

$$F = [q_w \cdot (100 - P_1) \cdot 1000] : [100 \cdot q_u T] \quad (36)$$

где  $q_u$  – удельная производительность фильтр-пресса,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ;

$T$  – продолжительность работы фильтр-пресса за сутки, ч (принимается равным 24 ч).

4. По таблицам 17 и 18 в зависимости от рассчитанной рабочей площади поверхности фильтрования подбирается марка фильтр-пресса и его технические характеристики.

Таблица 17. Технические характеристики фильтр-прессов (Бердичевский завод химического машиностроения)

Показатели	Марки фильтр-прессов						
	ФПАК М-2,5У	ФПАК М-5У	ФПАК М-10У	ФПАК М-25У	ФПАК М-50У	ФПА В100	ФПА В300
Площадь поверхности фильтрования, м <sup>2</sup>	2,5	5	10	25	50	100	300
Зазор между плитами, мм	45	45	45	45	50	-	-
Рабочее давление, МПа	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1	0,8
Число фильтрующих плит, шт	6	6	12	16	20	55	11,1
Ширина фильтрующей ткани, мм	700-750	845-920	845-920	1100-1200	1450	1600	1600
Мощность электродвигателя, кВт:							
• механизма зажима плит	3	5,5	5,5	7,5	10	7,5	10
• передвижки плит	-	-	-	-	-	7,5	9
• привода перемещения	1,5	3	3	5,5	5,5	-	-
• маслонасосной станции	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-
• водонасосной станции	17	17	17	22	22	-	-
Габаритные размеры, мм	2660× 1760× 2750	3375× 2000× 2780	3375× 2000× 3525	3780× 2150× 4250	5000× 2930× 5560	9500× 3000× 3400	14300× 3000× 4200
Масса фильтр-пресса, кг							
• без оборудования	4770	6900	8670	14280	23305	28750	60000
• с комплектующим оборудованием	6300	8400	10200	16600	25930	-	-

Таблица 18. Показатели работы фильтр-прессов

Осадок сточных вод	Доза химических реагентов $C_i$ , % массы от сухого вещества	Удельная производительность $q_u$ , кг/м <sup>2</sup> ·ч	Влажность обезвоженного осадка $P_2$ , %
Сброженный осадок из первичных отстойников	FeCl <sub>3</sub> – 3,6÷4,8 CaO – 9,6÷12	12 – 17	60 – 65
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	FeCl <sub>3</sub> – 4,8÷7,2 CaO – 12,0÷18,0	10 – 16	62 – 68
То же, в термофильных условиях	FeCl <sub>3</sub> – 4,8÷7,2 CaO – 12,0÷18,0	7 – 13	62 – 70
Сырой осадок из первичных отстойников	FeCl <sub>3</sub> – 2,4÷4,2 CaO – 7,2÷10,8	12 – 16	55 – 60

5. Рассчитывается объем образующегося кека  $q_k$ , м<sup>3</sup>:

$$q_k = q_w \cdot (100 - P_1) : (100 - P_2) \quad (37)$$

где  $P_2$  – влажность обезвоженного осадка, %;

6. Определяется объем фильтрата  $q_f$ , м<sup>3</sup>/сут:

$$q_f = q_w - q_k \quad (38)$$

### III. Расчет параметров центрифуг [3, 11]

1. Определяется продолжительность работы центрифуги  $t$ , ч/сут, по формуле:

$$t = q_w : q_u \quad (39)$$

где  $q_w$  – расход осадка, поступающего на обезвоживание, м<sup>3</sup>/сут;

$q_u$  – расчетная производительность, м<sup>3</sup>/ч (по таблице 21 принимается минимальное значение, а при  $t > 24$  ч принимается максимальное значение  $q_u$ ). Технические характеристики серийных центрифуг показаны в таблице 19.

2. Рассчитывается масса сухого вещества в поступающем осадке  $M_1$ , кг/сут:

$$M_1 = q_w \cdot (100 - P_1) : 100 \quad (40)$$

где  $P_1$  – влажность поступающего осадка, %.

3. Определяется масса сухого вещества, задерживаемого центрифугой  $M_2$ , кг/сут:

$$M_2 = (M_1 \cdot \mathcal{E}) : 100 \quad (41)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность задержания сухого вещества, %;

4. Находится объем образующегося кека  $q_k$ , м<sup>3</sup>/сут.

$$q_k = M_2 \cdot 100 : (100 - P_2) \quad (42)$$

где  $P_2$  – влажность кека, %.

5. Объем образующегося фугата  $q_f$ , м<sup>3</sup>/сут:  $q_f = q_w - q_k$

6. Масса сухого вещества в фугате  $M_3$ , кг/сут, будет равна:

$$M_3 = M_1 \cdot (100 - \mathcal{E}) : 100 \quad (43)$$

Таблица 19. Технические характеристики серийных центрифуг

Показатели	Типы центрифуг		
	ОГШ-351К-6	ОГШ-50К-4	ОГШ-631К-2
Расчетная производительность по исходному осадку, м <sup>3</sup> /ч	4 – 6	9 – 14	25 – 35
Диаметр ротора, мм	350	500	631
Длина ротора, мм	630	900	2370
Частота вращения ротора, об/мин	2800 – 3600	2000 – 2650	2000
Фактор разделения	1500 – 2500	1100 – 1950	1400
Габариты (с электродвигателем), мм: длина/ширина/высота	2380×1585×1030	2710×1990×1525	4530×2780×1430
Масса, т	1,2	1,8	12
Мощность электродвигателя, кВт	22	28,32	100

### Пример расчета

*Исходные данные:* На городской станции очистки сточных вод образуется сброженный осадок из первичных отстойников, расходом  $q_w = 550$  м<sup>3</sup>/сут, влажностью 95,0 %.

*Задание:* подберите необходимую марку фильтр-пресса и рассчитайте параметры его работы для обезвоживания данного вида осадка.

*Решение:*

1. В соответствии с таблицей 13 для данного типа осадка принимаем:

— доза хлорного железа  $C_{FeCl_3} = 4$  %;

— доза извести  $C_{CaO} = 11$  %;

— удельная производительность  $q_u = 15$  кг/м<sup>2</sup>·ч;

— влажность обезвоженного осадка  $P_2 = 62$  %.

2. Рассчитаем расход хлорного железа:  $Q_{FeCl_3} = 1,1$ , кг/сут.

Расход извести:  $Q_{CaO} = 3,02$  кг/сут

3. Определим необходимую площадь фильтр-прессов:  $F = 76,4$  м<sup>2</sup>

4. По таблице 8 Приложений по площади фильтрования подбираем фильтр-пресс ФПА В 100.

5. Рассчитаем объем образующегося кека:  $q_k = 72,4$  м<sup>3</sup>

6. Объем фильтрата составит:  $q_f = 477,6$  м<sup>3</sup>/сут

### Контрольные вопросы

1. Расскажите по схеме принцип работы флотационного илоуплотнителя.  
2. Расскажите, используя схему сооружения, принцип работы фильтр-пресса.

3. Расскажите принцип работы центрифуги, ее достоинства и недостатки по сравнению с другими сооружениями обезвоживания осадков сточных вод.

### 2.3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

**Задача 1.** Рассчитайте необходимую площадь поперечного сечения флотационной камеры, если известны следующие данные:

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Расчетный расход сточных вод $q_w$ , м <sup>3</sup> /сут;	50 000	67 000	54 000
Концентрация уплотняемого избыточного ила $C_i$ , г/л.	4,8	3,6	3,0
Концентрация взвешенных веществ в сточных водах $C_{взв}$ , мг/л	120	161	145
БПК <sub>полн</sub> поступающих сточных вод в аэротенк $L_{ен}$ , мг/л.	150	135	167
Иловый индекс $J_i$ , см <sup>3</sup> /г	95	100	80

**Задача 2.** Рассчитайте параметры работы фильтр-пресса при следующих исходных данных:

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Тип осадка	Сброженный осадок из первичных отстойников	Сырой осадок из первичных отстойников	Сырой осадок из первичных отстойников
Расход смеси, поступающей на обезвоживание $q_w$ , м <sup>3</sup> /сут	700	574	425
Влажность поступающей смеси $P_1$ , %;	96,4	97	96,6

**Задача 3.** Рассчитайте параметры работы центрифуги при следующих исходных данных:

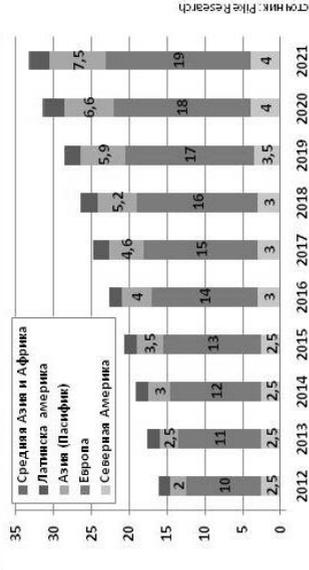
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Тип центрифуги	ОГШ-351К-6	ОГШ-50К-4	ОГШ-631К-2
Расход осадка, поступающего на обезвоживание $q_w$ , м <sup>3</sup> /сут	126	184	526
Влажность поступающего осадка $P_1$ , %.	98	96,8	97,5
Влажность кека $P_2$ , %	70	68	64
Эффективность задержания сухого вещества $\mathcal{E}$ , %;	55	57	59

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелетуха, Г.Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы // Экотехнологии и ресурсосбережение, 2002, № 4. – с. 3-8.
2. Голубев И.Г., Шванская И.А., Коноваленко Л.Ю., Лопатников М.В. Рециклинг отходов в АПК: справочник. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011 – 296 с.
3. Исаев, А.М. Обработка и утилизация осадков сточных вод: учебное пособие / А.М. Исаев. – 2-изд., переработанное и доп. – Пенза: ПГАУС, 2013. – 128 с.
4. Капустин В. П. Обоснование способов и средств переработки бесподстилочного навоза. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 80 с.
5. Методы расчета оборудования биотехнологических производств : учеб.-метод. пособие / М. А. Миронов, М. И. Токарева: М-во образования и науки рос. Федерации, урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : изд-во урал. ун-та, 2017. — 47 с.
6. Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. М. : Колос, 1983. 61 с.
7. Осмонов О.М. Расчет биоэнергетической установки: Методические указания / М.: Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 68 с.
8. Савин, В. Д. Механизация подготовки к использованию органических отходов ферм и комплексов: Обзор информации / В. Д. Савин, В. М. Шрамков, Е. И. Жирков и др. – М. : ВНИИТЭИагропром, 1992. – 44 с.
9. Сатликова, Д. Ф., Дружакина, О. П. Перспективы использования органических отходов животноводства как возобновляемого источника энергии / Д. Ф. Сатликова, О. П. Дружакина // Современные наукоемкие технологии. - 2009. - № 2. - С. 73-74. - <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/5558>.
10. Сатликова, Д. Ф., Дружакина, О. П. Проблемы развития технологий утилизации органических отходов животноводства в России // Современные наукоемкие технологии. - 2009. - № 2. - С. 74. - <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/5558>.
11. Сидоренко О. Д., Исаева А.М. Обработка и утилизация осадков сточных вод: учеб. пособие / А.М. Исаева. – 2Не изд., перераб. и доп. – Пенза: ПГАУС, 2013. – 128 с.
12. Эрнст Л. Переработка отходов животноводства и птицеводства // Животноводство России, 2004, №5. – с. 23-24.

## Интересные факты

Прогноз объема мирового рынка биогаза по регионам, 2012 – 2022 гг., млрд. Долл.

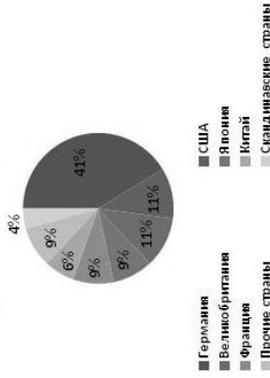


Источник: Pike Research

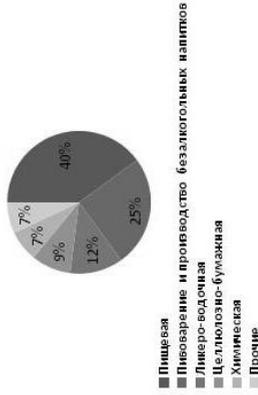
### Ключевые факты

- В большинстве развитых стран переработка органических отходов в биогазовых установках чаще используется для производства тепловой энергии и электричества. Производимая таким образом энергия в Европе составляет около 3-4% всей потребляемой энергии.
- В Финляндии, Швеции и Австрии, которые поощряют использование энергии биомассы

Рыночные доли стран по объемам внедрения биогазовых установок в в 2010 г., %



Объемы использования биогазовых установок по отраслям в мире на 2010 г., %

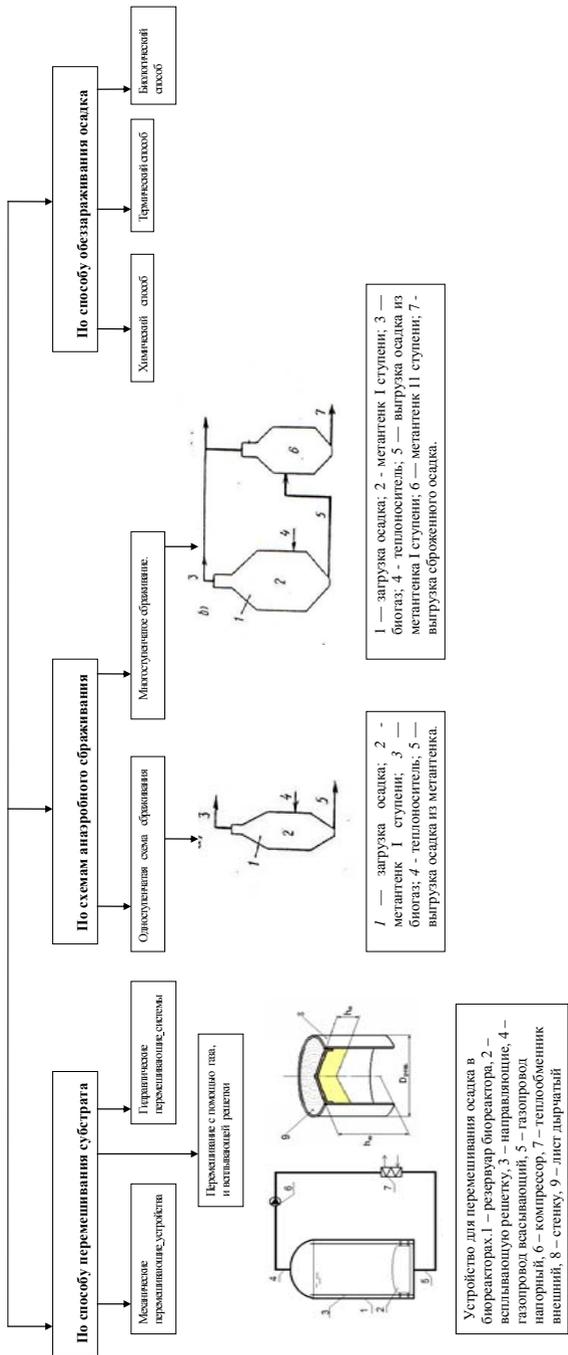


Источник: ABERCROMBIE

## ПРИЛОЖЕНИЯ



Классификация систем и конструктивных решений БГУ



Теплотворная способность топлива

**Определяют расчетным и опытным путем.**

□ Для жидкого и твердого топлива ее рассчитывают по формуле Менделеева:

$$Q_n = [339C + 1030H - 109(O - S) - 25,1W] 10^3 \text{ Дж/кг}$$

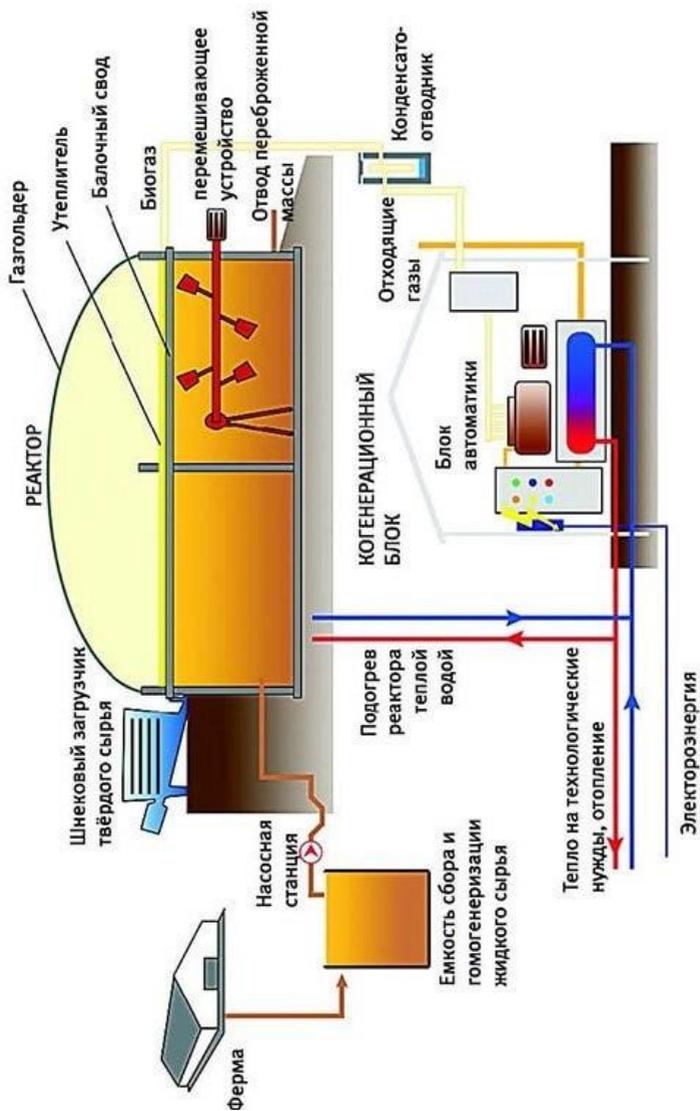
$C, H, O, S, W$  – содержание в топливе углерода, водорода, кислорода, серы, влаги, мас. %.

□ Для газообразного топлива:

$$Q_n = [127CO + 108H_2 + 360CH_4 + 598C_2H_4 + 147H_2S] 10^3 \text{ Дж/м}^3$$

$CO, H_2, CH_4, C_2H_4, H_2S$  – содержание в топливе соответствующих компонентов, об. %

Схема промышленной биогазовой установки



*Учебное издание*

Составитель  
Дружакина Ольга Павловна

## **Технологии вторичного применения органических отходов**

Учебно-методическое пособие

Авторская редакция

Подписано в печать 14.04.2021. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Усл. печ. л. 4,65. Уч. - изд. л. 4,39.  
Тираж 300 экз. Заказ № 753.

Издательский центр «Удмуртский университет»  
426034, Ижевск, Университетская, д. 1, корп. 4, каб. 207  
Тел./факс: +7(3412)500-295 E-mail: editorial@udsu.ru

Типография Издательского центра «Удмуртский университет»  
426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 2.  
Тел. 68-57-18