

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт  
пищевой промышленности

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
КТИПП

Н.А.Прядко

22.10.1988г.

Лабораторный регламент

на метановую ферментацию стоков животноводческого комплекса

СОГЛАСОВАНО

Директор совхоза «Пригородный»

В.А.Белозеров

28.10.1988г.

Киев – 1988г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Характеристика конечной продукции производства	3
2. Химическая схема производства	3
3. Технологическая схема производства	5
4. Аппаратурная схема производства	5
5. Характеристика сырья, материалов, полупродуктов	6
6. Изложение технологического процесса	7
7. Материальный баланс	8
8. Переработка и обезвреживание отходов производства	11
9. Контроль производства и управление технологическим процессом	11
10. Техника безопасности, пожарная безопасность и производительная санитария	12
11. Охрана окружающей среды	12
12. Перечень производственных инструкций	12
13. Техничко-экономические нормативы	13
14. Информационные материалы	13

## 1. Характеристика конечной продукции производства

Регламент разработан на период испытаний лабораторной установки для очистки стоков животноводческого комплекса совхоза «Пригородный».

Использование метановой ферментации как предочистки позволит получить в качестве конечной продукции очищенную воду, которую затем направляют на доочистку в аэротенки.

Физико-химические свойства конечного продукта представлены в таблице 1.

Таблица 1

Состав исходных и очищенных стоков

Показатели, единицы измерения	Мезофильный режим						Термофильный режим					
	Загрузка 10%		Загрузка 20%		Загрузка 40%		Загрузка 10%		Загрузка 0%		Загрузка 40%	
	ИСХОДН	КОНЕЧН	ИСХОДН	КОНЕЧН	ИСХОДН	КОНЕЧН	ИСХОДН	КОНЕЧН	ИСХОДН	КОНЕЧН	ИСХОДН	КОНЕЧН
рН	7,8	7,9	7,8	7,9	7,5	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,5	7,6
БПК, гО <sub>2</sub> /л	2,80	0,67	4,20	1,00	4,00	0,85	2,8	0,60	4,20	0,60	4,0	0,7
ХПК, гО <sub>2</sub> /л	6,0	1,0	8,0	1,5	7,2	1,2	6,0	0,8	8,0	1,0	7,2	0,8
ЛЖК, г/л	0,6	0,49	0,92	0,47	0,85	0,30	0,6	0,3	0,92	0,6	0,85	0,4
Газ, л/сутки	-	2,5	-	3,2	-	5,2	-	4,6	-	4,9	-	5,0

Вода по своим конечным показателям пригодна для подачи в аэротенки.

## 2. Химическая схема производства

Предлагаемая технологическая схема анаэробной очистки стоков основывается на использовании различных биоценозов микроорганизмов, в основном анаэробных.

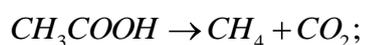
Исходные органические загрязнения разлагаются анаэробной микрофлорой до углеводов и органических кислот. Разложение этих соединений по типу маслянокислого или смешанного брожения приводит к образованию водорода и уксусной кислоты, которые используются метановыми бактериями для образования метана. Метанообразующие бактерии завершают этап анаэробных превращений органического вещества.

На первой стадии разложения органического субстрата аэробные бактерии, потребляя кислород, создают анаэробные условия. При неполном окислении аэробные бактерии могут образовывать соединения (жирные кислоты, спирты), которые непосредственно усваиваются метанообразующими бактериями, при создании условий, благоприятных для их развития.

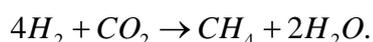
На следующем этапе анаэробные микроорганизмы, разлагают органическое вещество с образованием соединений, усваиваемых метан образующими бактериями – жирные кислоты, спирты, окись углерода, углекислый газ и водород. В дальнейшем действует метаболическая ассоциация метанообразующих микроорганизмов. Жирные кислоты, спирты разлагаются до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и уксусной кислоты, из которых на последней стадии образуется метан.

Метанообразующие бактерии являются лишь отдельным звеном сложных биохимических процессов преобразования метана:

- 1) трансформация уксусной кислоты



- 2) восстановление диоксида углерода



Образование метана может идти и смешанным путем – брожением ацетата и метанола и восстановлением диоксида углерода.

### 3. Технологическая схема производства

Предлагаемая технологическая схема анаэробной очистки основывается на применении метанового брожения концентрированных по органическим загрязнениям сточных вод, которое осуществляется в герметическом ферментере – метантенке, который представляет собой емкость, объем бл, снабженную мешалкой и помещенную в термостат для поддержания необходимой температуры брожения. Коэффициент заполнения метантенка составляет 85%. Полунепрерывный (отъемно-доливной) процесс метанового брожения проводят в мезофильных (30-35°C) и термофильных (50-55°C) условиях при скоростях разбавления  $0,0042 \text{ ч}^{-1}$ ,  $0,0084 \text{ ч}^{-1}$ ,  $0,0168 \text{ ч}^{-1}$ , что соответствует 10, 20 и 40%-ной дозам загрузки объема сбраживаемой жидкости.

### 4. Аппаратурная схема производства

Аппаратурная схема производства представлена на рис.4.1, а спецификация оборудования в таблице 4.1.

Таблица 4.1

№ позиции	Наименования оборудования	количество единиц	Материал рабочей части	Характеристика оборудования
1.	Метантенк	3	стекло	объем бл
2.	Термостат	3		марка ТС-80м
3.	Воронка	3	стекло	
4,5.	Трубка	6	резина	Ø 10-12 мм
6.	Колба с затевающей жидкостью	3	стекло	объем 5л
7.	Мешалка	3		К-во оборотов в минуту
8,9.	Зажимы	6		лабораторные

## 5. Характеристика сырья, материалов, полупродуктов

В качестве субстрата для метантенков используются воды животноводческого комплекса, которые представляют собой жидкость темнобурого цвета с высоким содержанием органических соединений, находящихся во взвешенном и растворенном состоянии, со значительным содержанием солей и интенсивным бактериальным обсеменением.

Характеристика очистки сточной воды в результате метанового брожения по основным показателям представлена 5.1. Как видно из приведенных результатов, очищенная сточная вода после метантенков может быть направлена на дополнительную очистку в аэротенки.

В результате жизнедеятельности микрофлоры метантенков питательные компоненты, содержащиеся в сточной воде животноводческого комплекса, превращаются в биологически активные вещества и биогаз.

Химический состав микробной биомассы активного ила метантенков представлен в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Химический состав активного ила метантенков

Компоненты	% (в пересчете на сухое вещество)
Сырой протеин	45 - 47
Истинный протеин	40 - 43
Жир	2,3 - 4,2
Зола	30
Углеводы	-
Аминокислоты	21,5 - 24,5
Витамин В <sub>12</sub> (мкг/г)	37,4

Полученные данные свидетельствуют о полноценности биомассы активного ила по белкам, жирам, а также по аминокислотному, витаминному составу.

Биогаз, образующийся в процессе метанового брожения сточных вод животноводческого комплекса, содержит в среднем 60 - 65% метана и 35 - 40% диоксида углерода. В таблице 5.2 приведен качественный состав биогаза, в образующего в процессе метанового брожения сточных вод животноводческого комплекса.

Таблица 5.2.

#### Качественный состав биогаза

Показатели	Температурный режим	
	термофильный	мезофильный
Метан, %	64 - 68	58 - 62
Диоксид углерода, %	36 - 40	42 - 46
Водород, %	0	0,5
Окись азота, %	0	0
Сероводород, %	0	0

Теплотворная способность биогаза, образующегося в процессе метанового брожения животноводческих стоков, приближается к теплотворной способности метана естественного происхождения и составляет  $4700 \text{ ккал/м}^3$ .

#### 6. Изложение технологического процесса

Согласно приведенной схеме работы метантенка в полунепрерывном режиме (рис.4.1.), концентрированная по органическим загрязнением сточная вода животноводческого комплекса направляется в метантенк (поз.1), объемом 6,0л. Два раза в сутки через воронку (поз.3) при помощи вентиля (поз.9) в метантенк добавляют сточную жидкость, а через шланг (поз.4) при помощи

вентиля (поз.9) выводят очищаемую воду. Коэффициент заполнения метантенка составляет 85%. Скорость разбавления составляет  $0,0042 \text{ ч}^{-1}$ ,  $0,0084 \text{ ч}^{-1}$  и  $0,0168 \text{ ч}^{-1}$ , что соответствует 10, 20, и 40%-ной дозам загрузки к объему сброживаемой жидкости. При помощи мешалки (поз.7) содержимое метантенка через каждые два часа перемешивается в течение 5 минут.

Образующийся при брожении сточной воды газ по резиновой трубке (поз.5) поступает в сосуд (поз.6) с запирающей жидкостью.

Во время запуска метантенк загружают сброженным осадком сточных вод очистных сооружений, объем которого составляют 2% от рабочего объема. Концентрация активного ила в метантенке составляет 15-20 г/л. Адаптация микроорганизмов активного ила к данному субстрату продолжается до начала выделения биогаза, после чего в метантенк с заданной скоростью подается сточная вода.

Полунепрерывный (отъемно-долиной) процесс метанового брожения проводится в мезофильных ( $30 - 35^\circ\text{C}$ ) и термофильных ( $50-55^\circ\text{C}$ ) условиях. Для поддержания необходимой температуры брожения ферментер помещен в термостат (поз.2).

## 7. Материальный баланс

Глубина сброживания (степень использования субстрата) определяется по формуле:

$$E = \frac{S_0 - S_t}{S_0} \quad (1)$$

где:  $S_0$  - исходная концентрация компонента субстрата, г/л;

$S_t$  - концентрация компонента субстрата в момент отбора пробы, г/л.

Причем максимальная глубина сброживания в каждом конкретном случае зависит от соотношения белков, жиров и углеводов в субстрате.

Максимальна производительность может быть определена из условия:

$$\frac{E}{\tau} \rightarrow \max \quad (2)$$

где:  $E$  - глубина сбразивания (по ХПК, БПК<sub>5</sub>, углеводу и т.д.), зависит от скорости разбавления  $D$  ( $D = \frac{1}{\tau}$ ).

Скорость изъятия загрязнений ( $N$ ) корректируется со скоростью разбавления соотношением:

$$N = D \cdot S, \text{ или } N = \frac{S_0 - S_\tau}{\tau} (S_0 - S_\tau) D \quad (3)$$

где:  $\tau$  - время переживания жидкости в метантенке;

$S_0$  - исходная концентрация субстрата;

$S_\tau$  - концентрация субстрата в момент отбора.

Выход биогаза или снятие единицы загрязнений определяется по формуле:

$$PV^{\text{газ}} = \frac{F}{V(S_0 - S_\tau)D} \quad (4)$$

где:  $F$  - выход газа, л/сутки;

$V$  - рабочий объем метантенка, л;

$D$  - скорость разбавления, ч.

На практике для сравнительного анализа режимов работы анаэробных реакторов часто используют отдельную скорость газообразования -  $PP^{\text{газ}}$ :

$$PP^{\text{газ}} = \frac{F \cdot \rho}{V(S_0 - S_\tau)D}$$

где:  $\rho$  - плотность биогаза, (1,15 г/л);

$D$  - скорость разбавления, ч<sup>-1</sup>.

При уменьшении скорости разбавления увеличивается время пребывания и уменьшается производительность по газу.

В таблице 7.1 приведены основные показатели глубины сбраживания субстрата по ХПК, БПК при различных загрузках и температурных режимах.

Приведенные расчеты и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что глубина сбраживания субстрата и выход биогаза зависят от скорости разбавления и температурных условий. Так в мезофильных условиях глубина сбраживания по ХПК составляет 81 - 83%, по БПК<sub>5</sub> – 76%, в термофильных условиях глубина сбраживания увеличивается до 87 – 88% по ХПК и до 86% по БПК.

Таблица 7.1

Показатели процесса сбраживания субстрата в метантенках

Показатели	Мезофильный режим						Термофильный режим					
	10% загрузки		20% загрузки		40% загрузки		10% загрузки		20% загрузки		40% загрузки	
	по ХПК	по БПК	по ХПК	по БПК	по ХПК	по БПК	по ХПК	по БПК	по ХПК	по БПК	по ХПК	по БПК
Глубина сбраживания, E	0,83	0,76	0,81	0,76	0,83	0,76	0,87	0,78	0,87	0,86	0,88	0,82
Скорость изъятия загрязнений, г/л. час	0,21	0,009	0,055	0,027	0,1	0,053	0,22	0,01	0,059	0,03	0,11	0,055
Удельная скорость газовыделения, $RR^{газ}$ , г/г	1,2	2,36	0,55	1	0,49	0,94	2,02	4,83	0,8	1,56	0,46	0,46
Выход биомассы с единицы загрязнения, $P^{газ}$ , л/г	1,04	2,71	0,48	0,96	0,43	0,82	1,76	4,2	0,7	1,36	0,4	0,39

В процессе метанового брожения сточных вод животноводческого комплекса образуется до 5 объемов газа на один объем сброживаемой массы. В составе газа в среднем содержится 64% метана. Концентрация веществ в результате метанового брожения снижается с 2-4 до 0,5-1,0% по сухим веществам. Следовательно на каждые 15 – 30 кг сброженных веществ образуется 3,2 м<sup>3</sup> чистого метана. Поскольку 16г метана (1г · моль) занимает 22,4 л, в 3,2 м<sup>3</sup> его будет около 5 кг.

Таким образом, от 17 до 33% органических веществ, удаляемых из сточных вод животноводческого комплекса в процессе метанового брожения, может быть утилизировано в качестве горючего газа.

#### **8. Переработка и обезвреживание отходов производства**

Вода, прошедшая очистку в метантенках, направляется в дальнейшем на доочистку в аэротенки.

В зависимости от массы избыточного активного ила, его можно возвращать в ферментер для биоконверсии в горючие газы или, в связи с высоким содержанием витаминов группы В и большим количеством аминокислот, перерабатывать в белково-витаминные концентраты для животноводства.

Кроме того, обезвреженный активный ил может быть использован в качестве удобрений в сельском хозяйстве.

Химический состав ила представлен в таблице 5.1.

Получаемый в процессе метанового сбраживания сточных вод животноводческого комплекса биогаз содержит значительное количество метана (таблица 5.2.), что создает предпосылки в использовании его для энергетических нужд очистных сооружений.

#### **9. Контроль производства и управление технологическим процессом**

Контроль качества очищаемой воды осуществляется ежедневно по указателям, приведенным в таблице 1. Химические анализы выполняются

стандартными методами (Лурье Ю.Ю. унифицированные методы анализа вод. – М.: Химия, 1971).

Управление процессом осуществляется регулированием скорости разбавления субстрата, а также поддержанием необходимого температурного режима сбраживания.

#### **10. Техника безопасности, пожарная безопасность и производительная санитария**

При очистке сточных вод животноводческого комплекса на лабораторной установке путем метанового сбраживания образуется взрыво- и пожароопасное вещество – биогаз, состоящий более, чем на 60% из метана. Поэтому необходимо предусмотреть хорошую вентиляцию помещения.

Для нормальной эксплуатации метантенков требуется поддержание постоянной оптимальной нагрузки с соблюдением таких необходимых условий протекания процесса, как стабильность подачи стоков и температуры. Кроме того, требуется интенсивное перемешивание среды для обеспечения максимального контакта бактериальной массы с субстратом, постоянство температуры по объему метантенка, нормального удаления газов.

#### **11. Охрана окружающей среды**

Разрабатываемая схема лабораторного регламента на анаэробную очистку стоков животноводческого комплекса направлена на предотвращение загрязнения окружающей среды. Биогаз, который выделяется в процессе жизнедеятельности микроорганизмов активного ила, практически весь должен использоваться на энергетические нужды очистных сооружений.

#### **12. Перечень производственных инструкций**

После утверждения лабораторного и опытно-промышленного регламентов будут представлены следующие инструкции:

- Правила техники безопасности при эксплуатации опытно-промышленной установки по очистке сточных вод;
- Инструкция по эксплуатации опытно-промышленной установке.

### **13. Техничко-экономические нормативы**

Основные технико-экономические нормативы можно определить после проведения испытаний и эксплуатации опытно-промышленной установки по очистке сточных вод животноводческого комплекса в реальных условиях в течении определенного времени.

### **14. Информационные материалы**

Разработчиком лабораторного регламента по метановой ферментизации стоков животноводческого комплекса является кафедра биотехнологии микробного синтеза. Разработка начата в январе 1988 года. Технология отработана в лабораторных условиях.

Регламент составлен в соответствии с ОСТ 64-002-86.

Начальник НИС КТИПП

И.И.Степах

Зав. Кафедрой биотехнологии

микробного синтеза, д.т.н., про.

Г.А.Никитин

Руководитель темы, к.т.н., доц.

А.А.Воронцов

Ст. н. сотрудник, к.т.н.

Л.А.Иванова

Мл.н. сотрудник

Н.В.Левитина