

УДК 628.336

DOI: 10.22213/2410-9304-2022-1-96-105

## Анализ конструкций метантенков для обработки осадка с очистных сооружений

*М. В. Таскаев*, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Л. А. Гарифьянова*, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*М. В. Свалова*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*В работе представлен анализ конструкций метантенков, рассматривались преимущества и недостатки биогазовых установок. Приведены экспериментальные данные технологического процесса анаэробного сбраживания в биогазовой установке, показана зависимость температуры от времени сбраживания сырого осадка. Приведена методология исследований технологических процессов, происходящих в метантенках, на экспериментальной биогазовой установке АН-БР-3. Описан принцип работы метантенков. Выявлен наиболее эффективный термофильный режим сбраживания. По результатам проведенных экспериментальных исследований установлена зависимость температуры от времени в процессе сбраживания в биогазовой установке. Представлены принципиальные схемы конструкций метантенка с куполообразным перекрытием, с плавающим перекрытием, открытые.*

*Приведены условия работы метантенков, в зависимости от которых выбирается наиболее эффективная технологическая схема сбраживания. Представлена технология метанового сбраживания. В работе приведен анализ способов перемешивания сбраживаемой массы. Представлены этапы экспериментальных исследований технологического процесса анаэробного сбраживания в зависимости от температурного режима. Представлены две основные технологические схемы сбраживания: одноступенчатая и двухступенчатая. Показана перспективность применения метантенков для обработки осадка сточных вод с очистных сооружений.*

**Ключевые слова:** метантенки, технология метанового сбраживания, осадок сточных вод, эффективность, мезофильный режим, термофильный режим.

### Введение

Цель данной публикации – проверка эффективности и надежности работы метантенков при различных температурных режимах. В ходе очистки городских сточных вод (механической и биологической) на станциях очистных сооружений накапливаются осадки сточных вод, в состав которых входят различные органические вещества. Процентное отношение количества осадка, выделяющегося при очистке сточных вод, на сегодняшний день составляет от 2 до 10 % от расхода вод, прибывающих на станцию. По наибольшему удельному весу среди всех осадков отмечают избыточный активный ил и сырой осадок, по результатам исследований объем избыточного активного ила превышает объем влажного осадка в 1,5–2 раза [1].

На сегодняшний день в Российской Федерации актуальным вариантом обработки осадков является обезвоживание и складирование их на иловых картах и в илонакопителях. Данные методы с позиции экологии и технологии не являются правильными по причине длительного и безвозвратного отчуждения больших по площади территорий, а также из-за значительных рисков загрязнения природных вод. Исходя из этого обработка и утилизация осадков с очистных сооружений является актуальной и серьезной для большинства городов проблемой [2].

Постоянно растущие цены на ископаемое органическое топливо делают весьма актуальными задачи изыскания альтернативных, постоянно возобновляемых источников энергии.

Использование отходов городского хозяйства как альтернативных и возобновляемых источников тепловой и электрической энергии давно является одним из важнейших направлений в энергетической стратегии многих стран мира. Особое внимание уделяется развитию технологий получения биогаза, получающегося при утилизации осадков сточных вод.

Германия является мировым лидером в разработке и применении биогазовых технологий. Основными элементами биогазовой установки, применяемой в г. Гамбург, являются: метантенк, винтовая мешалка, газоотводящий трубопровод, теплообменник и система подающих и циркуляционных трубопроводов.

В метантенках, имеющих форму сферического яйца, обеспечивается максимальный объем при минимальной поверхности, что позволяет сократить материалоемкость при строительстве и теплотери при эксплуатации метантенков. Резервуар метантенков выполнен из монолитного железобетона с предварительно напряженной арматурой. В метантенках яйцевидной формы обеспечиваются минимальные затраты железобетона и минимальные теплотери (рис. 1, 2).



Рис. 1. Строительство метантенков яйцевидной формы (Германия)

Fig. 1. Construction of egg-shaped methane tanks (Germany)



Рис. 2. Метантенки яйцевидной формы в городе Боттроп (Германия)

Fig. 2. Egg-shaped methane tanks in the city of Bottrop (Germany)

### Методология исследований

#### технологических процессов в метантенках

Метантенк – это главный элемент локальных очистных сооружений, в который поступает из отстойников или септиков концентрированный осадок, в дальнейшем формируясь в незагнившую форму без доступа к кислороду.

При проектировании метантенка используют железобетон. Внешне метантенк представляет собой цилиндрический или прямоугольный резервуар, заглубленный в землю полностью или частично. Днище имеет уклон к центру, а кровля выполняется жесткой (куполообразной) или плавающей, что предотвращает подъем давления во внутреннем объеме. По зонам метантенк делят на зону уплотнения и сбраживания [3]. Принципиальная схема метантенка представлена на рис. 3.

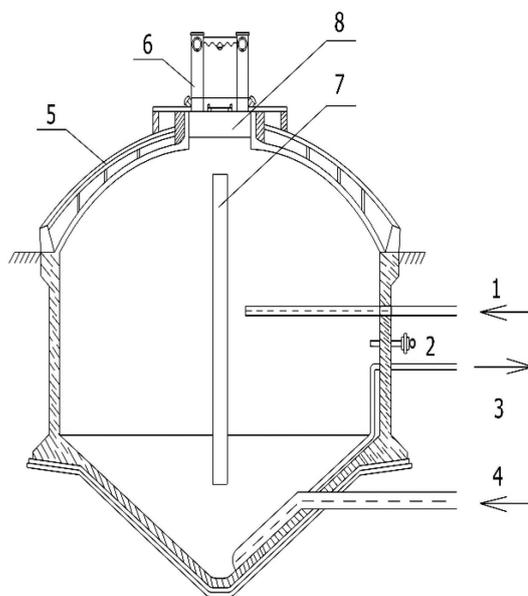


Рис. 3. Общая схема метантенка: 1 – подача осадка; 2 – паровой инжектор; 3 – выпуск сброженного осадка; 4 – опорожнение метантенка; 5 – теплоизоляция; 6 – система сброса и отвода газа; 7 – циркуляционная труба; 8 – уровень осадка [4]

Fig. 3. The general scheme of the methane tank: 1 - sediment supply; 2 - steam injector; 3 - release of fermented sediment; 4 - emptying of the methane tank; 5 - thermal insulation; 6 - gas discharge and discharge system; 7 - circulation pipe; 8 - sediment level [4].

Для выбора формы, размеров и конструкции метантенков решающую роль играют факторы:

- массовый расход осадка при заполнении;
- заданный выход газа или степень сбраживания осадка, как функция от концентрации сухих веществ, загрузки рабочего пространства, времени цикла сбраживания и интенсивности перемешивания;
- применяемая система производства;
- уровень механизации.

Эти факторы определяются условиями производства и целями технологического процесса сбраживания в метантенках.

Преимущества и недостатки представленных конструкций метантенков представлены в табл. 1.

Таблица 1. Преимущества и недостатки различных конструкций метантенков

Table 1. Advantages and disadvantages of various designs of metan tanks

Конструкция метантенка	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Яйцеобразный резервуар (рис. 1, 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Затраты энергии на перемешивание минимальны;</li> <li>– статическая прочность;</li> <li>– обеспечивается хорошее перемешивание загружаемых осадков;</li> <li>– разрушения плавающей корки;</li> <li>– можно изготавливать реакторы из полиэфирной смолы, армированной стекловолокном (стеклопластика)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Изготавливается из бетона, вследствие чего высокая стоимость реактора</li> </ul>
Цилиндрический резервуар с конусной верхней или нижней частью	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Небольшое пространство для накопления газа;</li> <li>– концентрация плавающей корки в ограниченном объеме;</li> <li>– обеспечение хорошего отвода шлама</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Менее благоприятные условия для перемешивания осадков</li> </ul>
Цилиндрический резервуар	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Относительно простая технология изготовления (обширный опыт строительства емкостей)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Худшие условия для перемешивания субстрата;</li> <li>– требует более высоких затрат на удаление осадка и разрушение плавающей корки; – увеличение расхода энергии на перемешивание</li> </ul>
Горизонтальный резервуар	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Наклонное расположение продольной оси резервуара облегчает стекание шлама по направлению к выгрузному отверстию;</li> <li>– удобна для размещения простейшего перемешивающего механизма</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Разрушение плавающей корки и осадка связано с большими экономическими затратами</li> </ul>
Метантенк в виде вырытой в грунте траншеи	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Позволяет обрабатывать большие количества субстрата</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Изготавливается из бетона, вследствие чего высокая стоимость реактора</li> </ul>

### Принцип работы метантенков

Для обеспечения бесперебойного функционирования метантенков в процессе сбраживания поддерживают постоянными следующие параметры режима: рН = 7,0 – 7,5, содержание жирных летучих кислот 3–8 мг·экв/л, содержание щелочей 70–76 мг·экв/л, содержание аммонийных солей азота 600–800 мг/л [5].

Для достижения необходимого результата подачу и выгрузку осадка в сооружение в течение суток необходимо выполнять равномерно (характерно для прямоточной схемы эксплуатации). Помимо этого, для поддержания необходимой постоянной температуры возможно применять обогрев острым паром. Таким образом, у метантенков выделяют следующие режимы:

- периодический;
- непрерывный;
- полунепрерывный.

Имеются две технологические схемы сбраживания (работы биореакторов):

- 1) одноступенчатая;

- 2) двухступенчатая (на первой ступени устанавливается метантенк, работающий в мезофильном режиме, а на второй ступени осуществляется обезвоживание и уплотнение осадка).

Достоинствами такой схемы являются: отсутствие расслоения осадка и отделения иловой воды [6].

При расчете метантенков главными технологическими параметрами являются: продолжительность сбраживания, температура во внутреннем пространстве, концентрация перерабатываемого осадка, производительность по сухому органическому веществу и режим загрузки. Наиболее применим мезофильный режим (при температуре 32–35 °С) и термофильный (при температуре 52–55 °С). Первый режим является менее энергоемким, второй требует меньшего объема метантенка [7].

### Технология метанового сбраживания

Метановое сбраживание является процессом разложения органических соединений до простых веществ с выделением газа в результате жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов

мов. Смесь метана и углекислого газа, который выделяется при разложении жиров, белков и углеводов, называют биогазом [8].

Сбраживание принято делить на следующие стадии:

- ферментативный гидролиз;
- кислотообразование;
- ацетогенная;
- метаногенная.

Также возможно три режима работы метантенков:

- психрофильный ( $t > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- мезофильный ( $t = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- термофильный ( $t = 53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Температура работы метантенков выбирается в зависимости от технико-экономических условий, санитарно-гигиенических, природоохранных условий с учетом снабжения полного цикла сбраживания, а также от химического состава осадка и его объема [9].

Технология метанового сбраживания представлена на рис. 4.

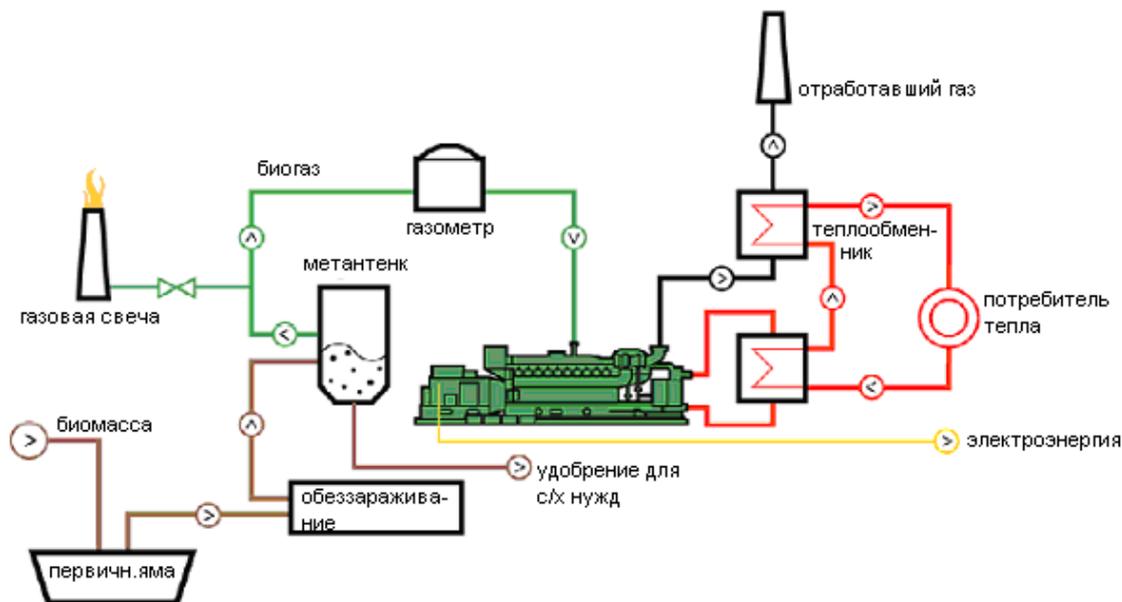


Рис. 4. Технология метанового сбраживания

Fig. 4. Methane fermentation technology

### Способы перемешивания сбраживаемой массы

Для достижения однородности сбраживаемой массы во всем объеме метантенка используют процесс перемешивания. В ходе загрузки в верхнюю часть холодный осадок сразу же устремляется вниз, в то же время выделяющийся газ в виде пузырьков поднимается вверх. Этот циклический процесс создает перемешивание в вертикальном направлении. В горизонтальной плоскости возможно перемешивание только при наличии в метантенках инжектора [11].

Однако для достижения полного перемешивания в процессе сбраживания дополнительно пускают в ход:

– циркуляционные насосы, поддерживающие рециркуляцию сбраживаемой массы с дна в верхнюю зону метантенка (главное условие

применения – отсутствие мертвых зон, которое соблюдается в запроектированных метантенках с конусным дном);

– пропеллерные мешалки, размещенные в трубе под уровнем осадка в центре метантенка;

– перемешивание с помощью газа происходит за счет забора газа из подкуполола метантенка или из газгольдера, а после подачи его через трубы в метантенк. Эффективность перемешивания достигается путем увеличения глубины подачи газа при одинаковом расходе [12].

Способы перемешивания сбраживаемой массы в метантенках и оборудование, используемое для этого, представлены на рис. 5.

Экспериментальные исследования технологических процессов в метантенках производились на биогазовой установке АН-БР-3.

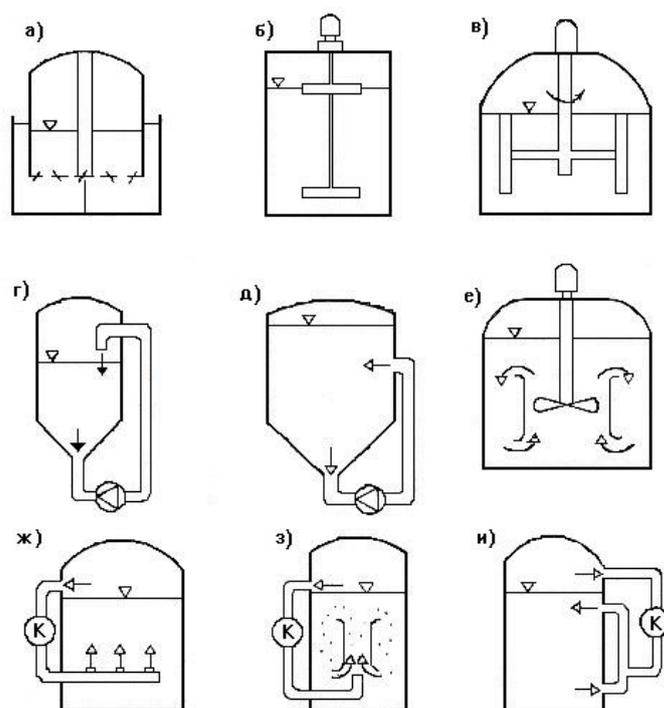


Рис. 5. Способы перемешивания сброживаемой массы в метантенках: а – при передвижении газгольдера; б, в – механической мешалкой; г – с помощью насоса (выгрузка над коркой); д – насосом (выгрузка под коркой); е – механической мешалкой и струями жидкости; жс – биогазом; з – биогазом и циркулирующей жидкостью; и – биогазом и жидкостью [13]

Fig. 5. Methods of mixing stray mass in methane tanks: a – when moving the gas tank; b, v – mechanical agitator; g – by a pump (unloading above the crust); d – by a pump (unloading under the crust); e – a mechanical stirrer and liquid stools, zh – biogas; z – biogas and liquid circulation; i – biogas and liquid

### Технологический процесс анаэробного сброживания в метантенках

Технологический процесс представляет следующие этапы:

- исходная биомасса (осадки сточных вод) транспортируется в загрузочный трубопровод;
- биомасса поступает в камеру биореактора, где происходит процесс сброживания и образуется биогаз;
- сброживание происходит при мезофильном режиме, при температуре 30–35 °С, используется дополнительный обогрев теплообменниками при термофильном режиме для достижения температуры 50–55 °С [14];
- заливка системы теплоносителя осуществляется через расширительный бачок;
- привод устройства для перемешивания сброживаемой массы и для лопастной мешалки осуществляется с помощью двух отдельных электродвигателей М1 АВЕ-071-4С;
- основным принципом перемешивающих устройств (лопастных мешалок) является то, что из-за зигзагообразных движений биомассы вверх и вниз происходит интенсификации процесса сброживания;

- получающийся в результате сброживания биогаз направляется в газгольдер, затем газовая смесь подается на очистку в установку для комплексной подготовки газа JUP;

- разница в высоте загрузочного люка и люка выгрузки позволяет создать гидростатический подпор для выдавливания готовой продукции [15].

### Измерительные устройства, приборы и оборудование

В рамках договора НИР №ВиВ-1-12/С экспериментальные исследования и анализы проводятся в лаборатории «Биотехнологий», исследуются процессы анаэробного сброживания осадков сточных вод в экспериментальной биогазовой установке АН-БР-3.

Экспериментальная биогазовая установка включает:

- Электрический щит с органами управления установкой, на котором можно установить температуру в мезофильной и термофильной зоне, индикаторы работы нагревательных приборов, а также таймеры устройств перемешивания биомассы.
- Два электродвигателя для измельчения и перемешивания биомассы.

- Манометры для измерения давления в секциях биогазовой установки.
- Баки с нагревательными приборами и расширительным баком.
- Газгольдер.
- Трубопровод для загрузки биомассы.

Для определения температуры нагрева биомассы применяются электронные термометры, установленные снаружи в различных температурных зонах (Т1, Т2, Т3).

Первый электронный термометр (Т1) (рис. 6) установлен на крышке биогазовой установки и определяет показания температуры в термофильной зоне сбраживания (53–55 °С).



Рис. 6. Газоанализатор СГГ-4М-4

Fig. 6. Gas analyzer SGG-4M-4

Второй и третий электронные термометры (Т2, Т3) располагаются снаружи биогазовой установки, показывают температуру в переходной (43–45 °С) и мезофильной зоне сбраживания (33–35 °С).

Для определения процентного содержания метана в биогазе используется газоанализатор завода «Аналит прибор» марки СГГ-4М-4.

#### **Этапы экспериментальных исследований технологического процесса анаэробного сбраживания**

Этап № 1. Сбраживание избыточного активного ила в мезофильном (33–35 °С) режиме.

Продолжительность: 20 суток.

Порядок действий: загружаем субстрат в биореактор, выдерживаем в течение заданного периода, не забывая записывать технологические параметры: температура, давление, показания счетчика газа.

Этап № 2. Сбраживание смеси избыточного активного ила и сырого осадка в мезофильном режиме.

Продолжительность: 20 суток.

Порядок действий: сливаем субстрат от предыдущего опыта на 9/10 объема. Загружаем субстрат в биореактор, выдерживаем в течение заданного периода, записываем технологические параметры: температура, давление, показания счетчика газа.

Этап № 3. Сбраживание сырого осадка в мезофильном режиме. Продолжительность: 20 суток.

Порядок действий: сливаем субстрат от предыдущего опыта на 9/10 объема. Загружаем субстрат в реактор, выдерживаем в течение заданного периода, записываем технологические параметры: температура, давление, показания счетчика газа.

Этап № 4. Сбраживание избыточного активного ила в термофильных (53–55 °С) условиях.

Продолжительность: 10 суток.

Порядок действий: сливаем субстрат от предыдущего опыта на 9/10 объема. Загружаем субстрат в биореактор, выдерживаем в течение заданного периода, снимаем необходимые параметры.

Этап № 5. Сбраживание смеси избыточного активного ила и сырого осадка в термофильных условиях.

Продолжительность: 10 суток.

Порядок действий: сливаем субстрат от предыдущего опыта на 9/10 объема. Загружаем субстрат в биореактор, выдерживаем в течение заданного периода, снимаем необходимые параметры.

Этап № 6. Сбраживание сырого осадка в термофильных условиях. Продолжительность: 10 суток.

Порядок действий: сливаем субстрат от предыдущего опыта на 9/10 объема. Загружаем субстрат в биореактор, выдерживаем в течение заданного периода, снимаем необходимые параметры.

Результаты экспериментальных исследований представлены в табличной и графической форме для опытов 1, 2 (табл. 2, рис. 7).

Второй опыт подразумевает добавление катализатора «Байкал ЭМ-1» для увеличения скорости брожения осадка (табл. 3, рис. 8).

Таблица 2. Протокол испытаний (опыт 1)

Table 2. Test report (experiment 1)

Номер опыта	t, ч	Показания счетчика газа	
		НКПР %	НКПР, мг/дм <sup>3</sup>
05.07.2021			
1	8:00	21	6
	9:00		
	10:00		
	11:00	29	8
	12:00		
	13:00		
	14:00		
	15:00	47	14
	16:00		
	17:00		
	18:00		
	19:00	45	13

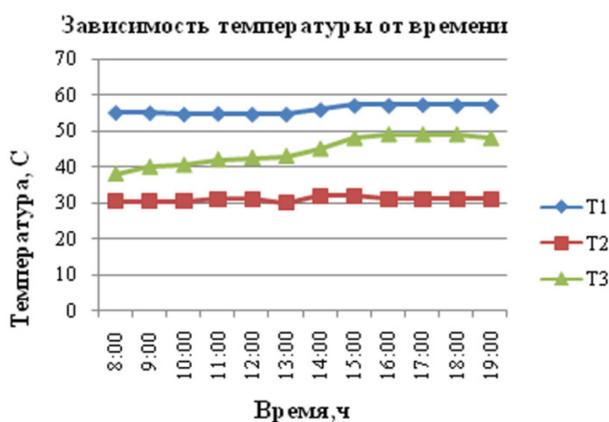


Рис. 7. График результатов испытаний (опыт 1)

Fig. 7. Graph of test results (experiment 1)

Таблица 3. Протокол испытаний (опыт 2)

Table 3. Test report (experiment 3)

Номер опыта	t, ч	Показания счетчика газа	
		НКПР %	НКПР, мг/дм <sup>3</sup>
14.08.2021			
2	8:00	59	17
	9:00		
	10:00		
	11:00	46	13
	12:00		
	13:00		
	14:00		
	15:00	42	12
	16:00		
	17:00		
	18:00		
	19:00	61	17

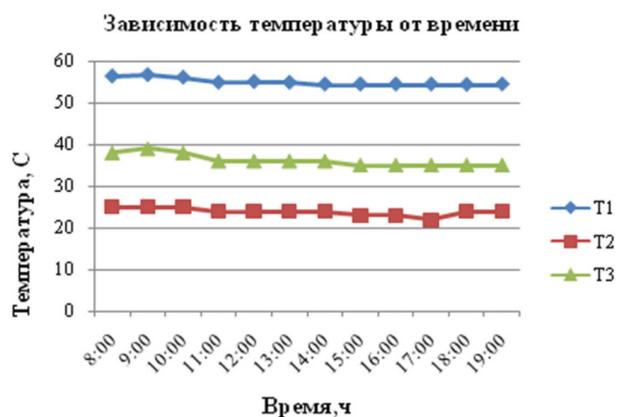


Рис. 8. График результатов испытаний (опыт 2)

Fig. 8. Graph of test results (experiment 2)

### Анализ результатов

Помимо рабочей температуры в биореакторе, термофильный и мезофильный режимы отличаются временем сбраживания (временем оборота реактора). Время оборота реактора – это время от загрузки свежего сырья в реактор до его выгрузки из реактора после переработки. При непрерывном режиме загрузки субстрата время оборота реактора равно времени, за которое через реактор пройдет объем загрузки, равный рабочему объему реактора. По данным экспериментальных исследований при мезофильном режиме время оборота реактора составляет от 20 до 10 суток, а при термофильном режиме – от 10 до 5 суток [16].

Из проведенных экспериментальных исследований процесса анаэробного сбраживания субстрата в биогазовой установке АН-БР-3 можно сказать, что оптимальным является технологический процесс анаэробного сбраживания, включающий в себя:

- загрузку смеси сырого осадка и уплотненного активного ила с добавлением активатора процесса минерального удобрения «Байкал ЭМ1»;

- анаэробное сбраживание проводить при термофильном режиме с периодической выгрузкой-загрузкой субстрата.

Из полученных данных экспериментальных исследований (табл. 4) следует, что влажность и зольность осадка увеличилась.

Таблица 4. Результаты данных анализа экспериментальных исследований

Table 4. Results of data analysis of experimental studies

№ п/п	Показатель	Единицы измерения	Результат исследования	
			До сбраживания	После сбраживания
1	Влажность	%	98,2	99,0
2	Зольность	%	20,8	24,8
3	Массовая доля органического вещества	%	79,2	75,2
4	pH (сол.)	Ед. pH	7,41	7,75
5	Массовая доля азота общего	% на сухой продукт	4,68	4,84
6	Массовая доля фосфора общего	% на сухой продукт	1,49	1,70

Увеличение влажности в процессе анаэробного сбраживания соответствует нормальной работе биогазовой установки. Увеличение процентного содержания зольности говорит о том, что увеличилось количество неорганических веществ. Распад по органическому веществу составил 4 %. Водородный показатель pH увеличился, но остается в пределах нормы жизнедеятельности метанобразующих бактерий.

Максимальный выход метана на втором этапе исследования составил 61 %, НКПР = 17 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 3).

#### Выводы

1. В результате экспериментальных исследований доказана эффективность и надежность работы метантенков при различных температурных режимах, выявлен оптимальный термофильный режим сбраживания в экспериментальной биогазовой установке АН-БР-3.

2. Максимальный выход биогаза на первом этапе исследования составил 47 % НКПР = 14 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 2). В связи с малым процентом распада органических веществ и снижением водородного показателя pH предусмотрен второй этап эксперимента с добавлением активатора процесса сбраживания минерального удобрения «Байкал ЭМ1».

3. С добавлением в биомассу минерального удобрения «Байкал ЭМ1» значительно выросли показатели по выходу биогаза. Максимальный выход биогаза на втором этапе исследования составил 61 %, НКПР = 17 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 3). Органические вещества разложились на 4 %, зольность выросла на 4 %, водородный показатель pH в пределах нормы.

#### Библиографические ссылки

1. Безбородова О. Е. Комплексная утилизация сточных вод предприятий : дис. ... канд. техн. наук. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 124 с.

2. Благоразумова А. М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод : учеб. пособие. М. : Лань, 2020.

3. Борисов Б. Н., Рыбаков В. А. Использование газа метантенков // Приднепровский научный вестник. 2017. № 3. С. 37–41.

4. Васильев Ф. А., Таханов М. П. Создание возмущений в метантенке // Вестник ИргСХА. 2017. № 80. С. 143–148.

5. Григорьев В. С., Ковалев А. А. Система предварительной подготовки субстратов метантенков в аппарате вихревого слоя с рекуперацией теплоты // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. № 2 (39). С. 8–13.

6. Караева Ю. В., Варлавова И. А. Эффективность гидравлического перемешивания в метантенке с перегородками // Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 1 (105). С. 27–32.

7. Колосова Н. В., Монах С. И. Математическая модель тепломассообмена при получении биогаза в метантенке // Современное промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 67–74.

8. Андреев А. В., Панов Д. А., Свалова М. В. К методике исследования процессов анаэробной очистки сточных вод с применением энергосберегающих технологий // Наука и инновации в современных условиях. 2016. № 1. С. 215–219.

9. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод: учеб. пособие. М. : Медиа, 2017.

10. Оковитая К. О. Повышение эффективности работы метантенков // Эффективные технологии в области водоподготовки и очистки в системах водоснабжения и водоотведения. 2021. № 1 С. 54–56.

11. Провоторова А. А. Сравнительный анализ использования азотенков и метантенков при очистке сточных вод // Современная наука и ее ресурсное обеспечение: Инновационная парадигма. Сборник статей по материалам VI международной научно-практической конференции. 2021. С. 97–102.

12. Смирнова А. Р. Пути повышения эффективности работы метантенков // Научный форум: технические и физико-математические науки : сборник статей по материалам XXXI международной научно-практической конференции. М. : МЦНО, 2020. С. 23–30.

13. Ханова Е. Л., Сахарова А. А., Геращенко А. А. Способ интенсификации работы метантенков с разделением фаз брожения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного уни-

верситета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 1 (74). С. 72–79.

14. Исследование анаэробного сбраживания осадка сточных вод, проводимые в рамках экологической образовательной программы «ЭкоТех» / Н. Г. Ильминских, А. Н. Ильминских, В. В. Касаткин, М. В. Свалова // Проблемы региональной экологии и географии. 2019. № 1. С. 18–21.

15. Юхин Д. П. К вопросу повышения эффективности функционирования метантенка биогазовой установки // Наука молодых – инновационному развитию АПК : материалы XII национальной научно-практической конференции молодых ученых. Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2019. С. 168–172.

16. Диденко В. Н., Исаев А. В., Узakov Н. Д. Метод сравнительной оценки тепловых потерь биореакторов на этапе аванпроекта биогазовой установки // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 5 (121). С. 61–65.

### References

1. Bezborodova O.E. Complex utilization of waste water of enterprises. Dissertation. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 124 p. (in Russ.).

2. Razdorazumova A.M. *Obrabotka i obezvozhivanie osadkov gorodskikh stochnykh vod* [Treatment and dewatering of urban sewage sludge: textbook manual.]. Moscow, Lan, 2020 (in Russ.).

3. Borisov B.N., Rybakov V.A. [The use of metan-tenkov gas]. *Pridneprovskii nauchnyi vestnik*. 2017. No. 3. Pp. 37-41 (in Russ.).

4. Vasilyev F.A., Taganov M.P. [Create disturbances in the digester]. *Vestnik IrGSKhA*. 2017. No. 80. Pp. 143-148 (in Russ.).

5. Grigoriev S.V., Kovalev A.A. System of preliminary preparation of substrates in the digester apparatus vortex layer with recuperation // *Electrotechnology and electrical equipment in agriculture*. 2020. №2(39). P. 8-13.

6. Karayev Y.V., Varlamova I.A. [Efficiency of hydraulic mixing in the digester walls]. *Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2017. No. 1. Pp. 27-32 (in Russ.).

7. Kolosova N.V., Monk S.I. [Mathematical model of heat and mass transfer in the production of biogas in a methane tank]. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. No. 2. Pp. 67-74 (in Russ.).

8. Andreev A.V., Panov D.A. [To the methodology of studying the processes of anaerobic wastewater treatment using energy-saving technologies]. *Nauka i innovatsii v sovremennykh usloviyakh*. 2016. No. 1. Pp. 215-219 (in Russ.).

9. Lurie Yu. Yu. *Analiticheskaya khimiya promyshlennykh stochnykh vod* [Analytical chemistry of industrial wastewater: textbook. the manual]. Moscow, HER Media, 2017 (in Russ.).

10. Okovitaya K.O. [Improving the efficiency of metan-tenkov]. *Effektivnye tekhnologii v oblasti vodopodgotovki i ochistki v sistemakh vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [Proc. Effective technologies in the field of water treatment and purification in water supply and sanitation systems]. 2021. No. 1. Pp. 54-56 (in Russ.).

11. Provotorova A.A. [Comparative analysis of the use of aerotanks and methane tanks in wastewater treatment]. *Sovremennaya nauka i ee resursnoe obespechenie: Innovatsionnaya paradigma. Sbornik statei po materialam VI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proc. Modern science and its resource support: An innovative paradigm. Collection of articles based on the materials of the VI International Scientific and Practical Conference]. 2021. Pp. 97-102 (in Russ.).

12. Smirnova A.R. [Ways to improve the efficiency of metan-tenkov]. *Nauchnyi forum: tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki : sbornik statei po materialam XXXI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proc. Scientific Forum: technical and physical-mathematical sciences. Collection of articles based on the materials of the XXXI International Scientific and Practical Conference]. Moscow, MTsNO, 2020. Pp. 23-30 (in Russ.).

13. Khanova E.L., Sakharova A.A., Gerashchenko A.A. [Method of intensification of the work of methane tanks with separation of fermentation phases] *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2019. No. 1. Pp. 72-79 (in Russ.).

14. Ilminskikh N.G., Ilminskikh A.N., Kasatkin V.V. [Investigation of anaerobic digestion of sewage sludge conducted within the framework of the ecological educational program "Ecotech"]. *Problems of regional ecology and geography*. 2019. No. 1. Pp. 18-21 (in Russ.).

15. Yukhin D.P. [On the issue of improving the efficiency of the functioning of the biogas plant's methane tank]. *Nauka molodykh – innovatsionnomu razvitiyu APK : materialy XII natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh* [Proc. Nauka molodykh - innovative development of the agroindustrial complex. Materials of the XII National Scientific and Practical Conference of young scientists]. Ufa : Bashkirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2019. Pp. 168-172 (in Russ.).

16. Didenko V.N., Isaev A.V., Uzakov N.D. [Method of comparative assessment of heat losses of bioreactors at the stage of an advance project of a biogas plant]. *Energoberezhnie i vodopodgotovka*. 2019. No. 5. Pp. 61-65 (in Russ.).

\* \* \*

**Analysis of the Methane Tanks Structures for the Sludge Treatment from Sewage Treatment Plants**

*M. V. Taskaev*, student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*L. A. Garifyanova*, student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*M. V. Svalova*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The paper presents analysis of digester designs, considers the advantages and disadvantages of biogas plants. Experimental data of technological process of anaerobic digestion in biogas plant are given, relation between temperature and time of raw sludge digestion is shown. The methodology of research of technological processes occurring in digesters at the experimental biogas plant AN-BR-3 is given. The principle of digesters operation is described. The most effective thermophilic mode of digestion is revealed. The relation between temperature and time during digestion in biogas plant has been established based on the results of experimental studies. Principle diagrams of digester designs, with dome-shaped overlapping, with floating overlapping, open-ended are presented.*

*The operating conditions of digesters, depending on which the most effective technological scheme of digestion is being chosen, are given. The technology of methane digestion is presented. The analysis of ways of mixing the digested mass is given in the work. Stages of experimental studies of the technological process of anaerobic digestion depending on the temperature regime are presented. Two basic technological schemes of digestion are presented: one-stage and two-stage. The prospects of application of digesters for treatment of sewage sludge from wastewater treatment plants are shown.*

**Keywords:** methane tanks, methane fermentation technology, sewage sludge, efficiency, mesophilic mode, thermophilic mode.

Получено: 27.12.21