

УДК 625

Н. Ю. ЛизуновПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ТЕПЛОПТЕРИ И ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ МЕТАНТЕНКА МОБИЛЬНОГО
БИОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА**

Описан горизонтальный мобильный метантенк для переработки отходов и получения биогаза. Брожение в нем происходит поэтапно в две стадии, каждая из которых протекает в отдельной секции устройства. По результатам анализа теплопотерь метантенка введен алгоритм их определения, рассчитана эффективность 4-х типов теплоизоляции и обоснована целесообразность ее применения в летний и зимний периоды. В результате исследования на основе анализа стоимости за 1 м² и итоговых данных о теплопотерях была подобрана оптимальная теплоизоляция метантенка.

биогазовая установка, метантенк, выработка биогаза, теплоизоляция, тепловые потери, теплопроводность, теплопередача.

Введение

Метантенк представляет собой резервуар для биологической переработки путем анаэробного (без доступа воздуха) сбраживания бытовых, сельскохозяйственных и других пригодных для переработки сырья и получения биогаза отходов.

Применение биотехнологий для производства электрической и тепловой энергии актуально во всем мире, однако для развивающихся стран, таких как Бразилия, Индия, Казахстан, – это хорошее решение проблемы утилизации отходов с получением большого количества положительных эффектов.

**1 Переработка биоотходов
в метантенке**

Распад органических веществ в метантенках протекает в две фазы. В первой фазе из углеводов, жиров и белков образуются жирные кислоты, водород и аминокислоты. Во второй – происходит разрушение кислот с образованием преимущественно метана и углекислого газа. В качестве сырья для переработки в метантенк подаются измельченные отходы. Для улучшения процесса выхода сбраживаемую массу подогревают и пере-

мешивают. Различают мезофильное (при температуре 30...35 °С) и термофильное (при температуре 50...55 °С) сбраживание. При термофильном сбраживании процесс распада проходит быстрее. Биогаз – смесь газов, выделяющихся при сбраживании, состоит преимущественно из метана (до 70%) и углекислого газа (до 30%).

Для поддержания однородности броющей массы в метантенках предусмотрена система перемешивания. Гидравлическое перемешивание (насосами, гидроэлеваторами) применяют для небольших объемов, если объем более 2000 м³, используют пропеллерные мешалки.

Схема исследуемого горизонтального метантенка представлена на рис. 1 [1].

Так как одним из основных условий выработки биогаза является поддержание определенной температуры процесса брожения, большое внимание нужно уделить вопросу теплопотерь через ограждающие конструкции метантенка.

В климатических условиях Казахстана стационарные биогазовые установки, так же как и мобильные, нуждаются в дополнительной теплоизоляции. В комплексе на железнодорожном ходу актуальность ее применения обуславливается не только возможностью использования станции при отрица-

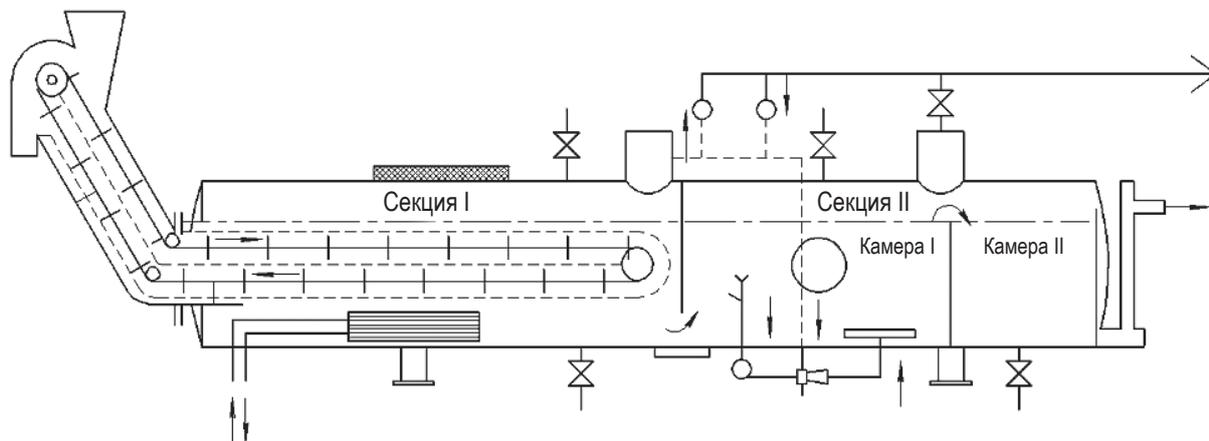


Рис. 1. Горизонтальный метантенк

тельных температурах, но также особенностью ее эксплуатации, а именно омытием метантенка встречными потоками воздуха, которые увеличивают интенсивность теплообмена между поверхностью и окружающей средой.

2 Расчет теплотерь мобильного метантенка в зимний и летний периоды

Примем, что метантенк – это цельнометаллическая конструкция (рис. 2), выполненная из котельной стали толщиной $\delta_{ст} = 28$ мм. В качестве утеплителя применены четыре вида теплоизоляции, покрытые стеклотканью толщиной $\delta_{ств} = 5$ мм. Параметры материалов приведены в табл. 1.

Расчетные габаритные размеры:

$$D = 2,444 \text{ м}$$

$$D_{в} = 2,5 \text{ м}$$

$$D_{из} = 2,7 \text{ м}$$

$$D_{об} = D_{ств} = 2,71 \text{ м}$$

В расчете учитывали теплоотдачу от боковых поверхностей и цилиндрической части мобильного метантенка, движущегося в составе комплекса со скоростью 70 км/ч к воздуху, и температуры воздуха для:

– зимнего периода: $t_{воз} = -40^\circ\text{C}$;

– летнего периода: $t_{воз} = +30^\circ\text{C}$.

Теплообмен рассмотрен для случаев отсутствия тепловой изоляции и ее наличия. Теплофизические характеристики воздуха для выбранной температуры приняты по работе [2].

По значению числа Рейнольдса определяем характер течения:

$$Re_{ц} = \frac{w_{воз} \cdot l_{ц}}{\nu_{воз}},$$

где $\nu_{воз}$ – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; $w_{воз}$ – скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$; $l_{ц}$ – длина метантенка.

ТАБЛИЦА 1. Параметры теплоизоляции [5] – [7]

Изоляция	Коэффициент теплопроводности, λ Вт/м·град	Толщина, мм
PAROC UNS 37	0,037	100
ТЕХНОНИКОЛЬ 100	0,039	100
ISOVER ВентФасад Оптима	0,034	100
URSA GLASSWOOL M-15	0,04	100

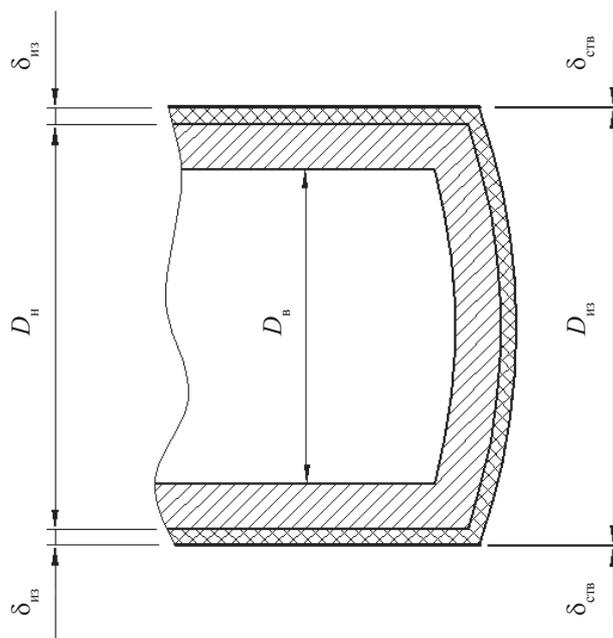


Рис. 2. Элемент метантенка с теплоизоляцией

Для определение условий протекания процессов омывания поверхности определяем число Нусельта [3]:

$$Nu_{ц} = 0,037 \cdot Re^{0,8}.$$

Значение коэффициента теплоотдачи цилиндрической части к воздуху $\alpha_{ц}$ [3]:

$$\alpha_{ц} = 7,34 \cdot \nu^{0,656}.$$

Коэффициент теплопередачи через цилиндрическую часть мобильного метантенка имеет вид:

$$K_{ц} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ц}^{ком}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{\delta_{ств}}{\lambda_{ств}} + \frac{1}{\alpha_{ц}}},$$

где $\alpha_{ц}^{ком}$ – коэффициент теплоотдачи внутри метантенка, Вт/(м²·град); ($\alpha_{ц}^{ком} = 1,3$ Вт/(м²·град) [4]).

Тепловой поток ($Q_{ц}$, Вт) через цилиндрическую часть мобильного метантенка определяем уравнением:

$$Q_{ц} = K_{ц} \cdot \pi \cdot D_{ц} \cdot l_{ц} \cdot (t_{ком} - t_{воз}),$$

где $t_{ком}$ – температура внутри бака для сбраживания, °С.

Теплообмен боковых поверхностей метантенка с воздухом рассматриваем как поперечное омывание жидкостью плоской стенки.

Тепловой поток через стенку:

$$Q_6 = \frac{K_6 \cdot \pi \cdot D_6^2 (t_{ком} - t_{воз})}{4}.$$

Общий тепловой поток наружных поверхностей метантенка:

$$Q_{общ} = 2 \cdot Q_6 + Q_{ст}.$$

Сводные результаты расчетов представлены в табл. 2 и 3.

Применяя данную методику расчета, можно определить теплопотери мобильного метантенка при определенных условиях, что позволит рассчитать необходимый расход греющего теплоносителя и определить количество биогаза, необходимого для поддержания температурного режима сбраживания биомассы.

На рис. 3 представлена средняя стоимость теплоизоляции. Исходя из расчетов тепло-

ТАБЛИЦА 2. Теплотери метантенка в окружающую среду при применении различной теплоизоляции в зимний период

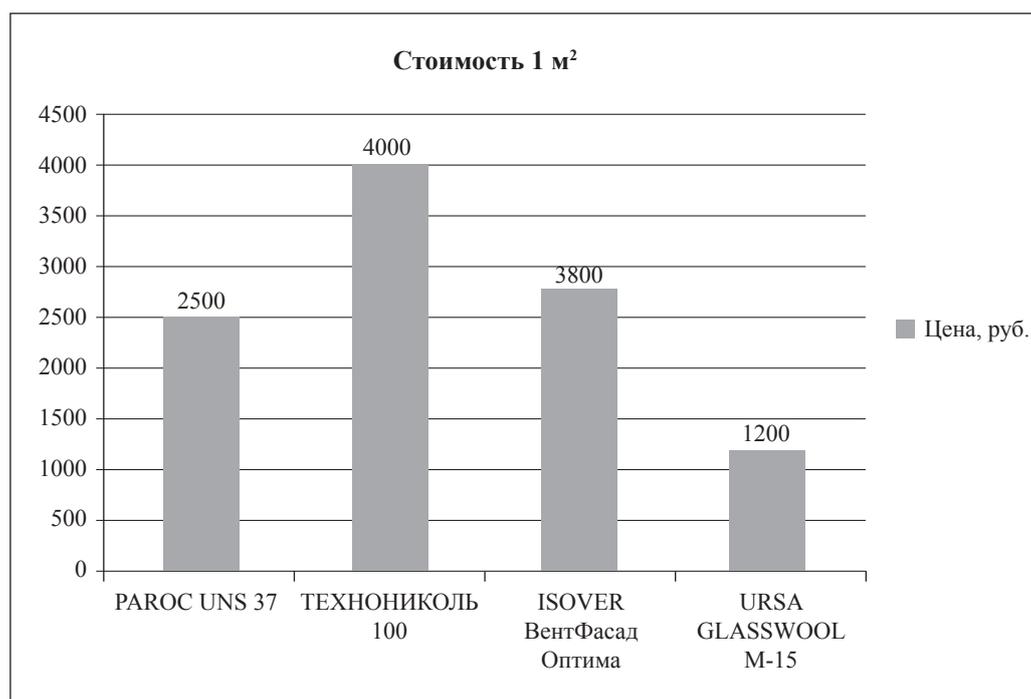
Теплоизоляция		Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)	Тепловой поток, Вт	Суммарный тепловой поток, Вт
без изоляции	цилиндр	52,4	1,27	12691	13875
	суммарная торцевая поверхность	52,4	1,27	1184	
PAROC UNS 37	цилиндр	52,4	0,85	8494	9286
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,85	792	
ТЕХНОНИКОЛЬ 100	цилиндр	52,4	0,86	8594	9396
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,86	802	
ISOVER ВентФасад Оптима	цилиндр	52,4	0,84	8394	9176
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,84	782	
URSA GLASS-WOOL M-15	цилиндр	52,4	0,87	8694	9504
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,87	810	

ТАБЛИЦА 3. Теплотери метантенка в окружающую среду при применении различной теплоизоляции в летний период

Теплоизоляция		Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)	Тепловой поток, Вт	Суммарный тепловой поток, Вт
без изоляции	цилиндр	52,4	1,27	3340	3652
	суммарная торцевая поверхность	52,4	1,27	312	
PAROC UNS 37	цилиндр	52,4	0,85	2235	2443
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,85	208	

Окончание табл. 3

Теплоизоляция		Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)	Тепловой поток, Вт	Суммарный тепловой поток, Вт
ТЕХНО-НИКОЛЬ 100	цилиндр	52,4	0,86	2262	2474
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,86	212	
ISOVER ВентФасад Оптима	цилиндр	52,4	0,84	2209	2415
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,84	206	
URSA GLASS-WOOL M-15	цилиндр	52,4	0,87	2288	2502
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,87	214	

Рис. 3. Средняя стоимость 1 м² теплоизоляции толщиной 100 мм [5] – [7]

потерь и стоимости изоляции можно подобрать наиболее рациональный материал для изолирования ограждающих конструкций метантенка.

Заключение

1. Применение тепловой изоляции позволяет снизить тепловые потери в окружаю-

щую среду, следовательно сократить расход греющего теплоносителя.

2. Теплоизоляция позволяет уменьшить количество тепловой энергии, необходимой для поддержания стабильного процесса переработки отходов, следовательно обеспечивает более стабильное сбраживание, при котором образование биогаза происходит быстрее и без остатка его в переработанной массе.

3. В качестве теплоизоляции рекомендуется применять PAROC UNS 37, так как у него наилучшее соотношение цены и изолирующих свойств.

4. Использование теплоизоляции в летний период также считается целесообразным.

Библиографический список

1. **Изобретение** Патент Российской Федерации RU2250878. Метантенк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.shram.kiev.ua/top/patents_gas/gas_3/gas_60.shtml.
2. **Теплотехника** на подвижном составе железных дорог / И. Г. Киселев. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – 278 с.
3. **Теплообменные** процессы при эксплуатации вагонов / Б. Н. Китаев. – Москва : Транспорт, 1984. – 184 с.
4. **Теплообмен** с окружающей средой метантенка для сбраживания биомассы / О. В. Чеботарева, В. А. Сербин, Н. В. Колосова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – № 6. – С. 86.
5. **Прошивной** мат технониколь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://spb.pulscen.ru/products/tekhnonikol_4000kh1200kh100_7570706.
6. **Web сайт** Группа Компаний СТРОИТЕЛЬ [Электронный ресурс] / URSA GLASSWOOL M-15. – Режим доступа: <http://linspb.ru/URSA-GLASSWOOL-M-15-URSA-GEO-M-15.html>.
7. **Web сайт** Группа Компаний СТРОИТЕЛЬ [Электронный ресурс] / Изовер ВентФасад Оптима. – Режим доступа: <http://linspb.ru/Изовер-ВентФасад-Оптима.html>.

УДК 621.316.722.076.12

А. Н. Марикин, В. А. Мирощенко

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АДАПТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрена одна из проблем тягового электроснабжения на переменном токе – наличие реактивной составляющей мощности в сети. Предложен перспективный способ компенсации на основе управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа. Описан принцип работы компенсатора и приведена его электрическая схема, на основе которой создана математическая модель устройства, реализованная в программе MATLAB Simulink.

Результаты моделирования представлены в виде графиков и гистограмм токов и напряжений в контактной сети. По ним сформулированы выводы об эффективности работы устройства в сетях тягового электроснабжения. Предложен вариант улучшения конструкции компенсатора с помощью введения в схему фильтров высших гармоник с целью увеличения энергоэффективности.

компенсация реактивной мощности, тяговая сеть переменного тока, шунтирующий реактор.