



# Chorvachilik ob'ektlari issiqlik ta'minoti va shamollatish tizimini ta'minlash uchun biogaz qurilmasining strukturaviy, texnologik va energiya parametrlari

Nilufar R. Avezova<sup>1</sup>, Abdurauf Y. Usmanov<sup>1, a)</sup>, Murodbek A. Kuralov<sup>1, b)</sup>

<sup>1</sup> DSc, O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Fizika-texnika instituti, Toshkent, 100084, O'zbekiston; [avezovanr@gmail.com](mailto:avezovanr@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

<sup>1, a)</sup> Doktorant, O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Fizika-texnika instituti, Toshkent, 100084, O'zbekiston; [usmonov\\_abdurauyf@mail.ru](mailto:usmonov_abdurauyf@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0001-6085-6298>

<sup>1, b)</sup> Kichik ilmiy xodim, O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Fizika-texnika instituti, Toshkent, 100084, O'zbekiston; [makuralov@gmail.com](mailto:makuralov@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-3677-2673>

**Dolzarbligi:** bugungi kunda energiya sarfini optimallashtirish va ekologik toza energiya manbalaridan foydalanish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu tadqiqot natijalari biogaz qurilmalarining energiya samaradorligini oshirish, tabiiy yoqilg'ilarni tejash, chiqindilarni qayta ishlash orqali atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytirish va avtonom energiya ta'minoti imkoniyatini ko'rsatadi.

**Maqsad:** 6000 m<sup>3</sup> hajmi va 300 bosh yirik shoxli chorva sig'imi uchun mo'ljallangan sigirxonaning issiqlik ta'minoti va shamollatish tizimini ta'minlash uchun mo'ljallangan biogaz qurilmasining konstruktiv-texnologik parametrlari va metantenk o'lchamlarini hisoblab chiqish.

**Usullari:** oylik biogaz ishlab chiqarish ko'rsatkichlarini tahlil qilish orqali, yillik va birlik ishlab chiqarish ko'rsatkichlari hamda qurilmaning energiya samaradorligi kabi asosiy parametrlar aniqlandi.

**Natijalar:** ushbu qurilmadan foydalanish yiliga 4,14 tonna shartli yoqilg'ini tejash imkonini berishini ko'rsatmoqda. O'tkazilgan energetik tahlil qurilmaning o'z ehtiyojlari uchun sarflaydigan energiyasi ishlab chiqarilgan umumiy biogazining 34% ni tashkil etishini va bu uning avtonom issiqlik mikroiklimini ta'minlashdagi samaradorligini tasdiqlaydi.

**Kalit so'zlar:** biogaz qurilmasi, mikroiklim, energiya xususiyatlari, issiqlik ta'minoti.

## Конструктивно-технологические и энергетические параметры биогазовой установки для обеспечения системы теплоснабжения и вентиляции на примере объекта коровника

Нилуфар Р. Аvezова<sup>1</sup>, Абдурауф Ю. Усманов<sup>1, a)</sup>, Муродбек А. Куралов<sup>1, b)</sup>

<sup>1</sup> DSc, Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, 100084, Узбекистан; [avezovanr@uzsci.net](mailto:avezovanr@uzsci.net) <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

<sup>1, a)</sup> Докторант, Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, 100084, Узбекистан; [usmonov\\_abdurauyf@mail.ru](mailto:usmonov_abdurauyf@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0001-6085-6298>

<sup>1, b)</sup> м.н.с., Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистана, Ташкент, 100084, Узбекистан; [makuralov@gmail.com](mailto:makuralov@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-3677-2673>

**Актуальность:** в настоящее время оптимизация энергопотребления и использование экологически чистых источников энергии имеют важное значение. Результаты данного исследования показывают возможности повышения энергоэффективности биогазовых установок, экономии природного топлива, переработки отходов для снижения негативного воздействия на окружающую среду и обеспечения автономного энергоснабжения.

**Цель:** расчет конструктивно-технологических параметров и размеров метантенка биогазовой установки, предназначенной для обеспечения системы отопления и вентиляции коровника объемом 6000 м<sup>3</sup> и вместимостью 300 голов крупного рогатого скота.

**Методы:** путем анализа показателей ежемесячного производства биогаза определены основные параметры, такие как годовые и удельные производственные показатели, а также энергоэффективность установки.

**Результаты:** использование данной установки позволяет экономить 4,14 тонны условного топлива в год. Проведенный энергетический анализ подтверждает, что энергопотребление установки для собственных нужд составляет 34% от общего объема произведенного биогаза, что доказывает ее эффективность в обеспечении автономного теплового микроклимата.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, микроклимат, энергетические характеристики, теплоснабжение.

**For citation:** N.R. Avezova, A.Y. Usmanov, M.A. Kuralov. Structural, technological and energy parameters of a biogas installations for providing a heat supply and ventilation system on the example of a cowshed object. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 124-131.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14580480>

Received: 20.10.2024

Revised: 13.11.2024

Accepted: 15.12.2024

Published: 27.12.2024

**Copyright:** © Nilufar R. Avezova, Abdurauf Y. Usmanov, Murodbek A. Kuralov, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



# Structural, technological and energy parameters of a biogas installations for providing a heat supply and ventilation system on the example of a cowshed object

Nilufar R. Avezova<sup>1</sup>, Abdurauf Y. Usmanov<sup>1, a)</sup>, Murodbek A. Kuralov<sup>1, b)</sup>

<sup>1</sup> DSc, Physical-Technical Institute of the Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, 100084, Uzbekistan; [avezovanr@uzsci.net](mailto:avezovanr@uzsci.net) <https://orcid.org/0000-0002-4298-1041>

<sup>1, a)</sup> PhD student, Physical-Technical Institute of the Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, 100084, Uzbekistan; [usmonov\\_abdurauf@mail.ru](mailto:usmonov_abdurauf@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0001-6085-6298>

<sup>1, b)</sup> Junior researcher, Physical-Technical Institute of the Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, 100084, Uzbekistan; [makuralov@gmail.com](mailto:makuralov@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-3677-2673>

**Relevance:** optimizing energy consumption and utilizing environmentally friendly energy sources are crucial today. The results of this study demonstrate the potential for improving the energy efficiency of biogas plants, saving natural fuel, recycling waste to reduce environmental impact, and ensuring autonomous energy supply.

**Aim:** to calculate the design and technological parameters, as well as the methane tank sizes, of a biogas plant designed to provide heating and ventilation for a cowshed with a volume of 6000 m<sup>3</sup> and capacity for 300 heads of cattle.

**Methods:** through analysis of monthly biogas production indicators, key parameters such as annual and specific production rates, and the energy efficiency of the plant were determined.

**Results:** the use of this plant allows for saving 4.14 tons of equivalent fuel per year. The conducted energy analysis confirms that the plant's energy consumption for its own needs is 34% of the total biogas produced, demonstrating its effectiveness in providing autonomous thermal microclimate.

**Key words:** biogas plant, microclimate, energy characteristics, heating supply.

## 1. Введение (Introduction)

Анаэробное сбраживание, которое является приемлемым возобновляемым методом производства энергии, представляет собой процесс, посредством которого биомасса (также называемая здесь субстратом или сырьем) превращается в биогаз под действием разлагающего действия метаногенных микроорганизмов [1]. Биогаз состоит в основном из метана и двуокиси углерода и может являться заменой традиционному газообразному метану, используемому в основном для приготовления пищи в домашних условиях. Обычно в состав биогаза входит 60-65% метана, поддерживающего процесс горения. С улучшением утилизации биогаза в настоящее время он является одним из наиболее часто используемых способов преобразования отходов/остатков в энергию [2].

Производство биогаза из сельскохозяйственной биомассы и отходов может быть относительно доступным средством преодоления проблем нехватки энергии, снижения высокой стоимости энергии, обеспечения более эффективных способов управления отходами и обеспечения устойчивого развития во всем мире [3,4]. При относительной нехватке ресурсов ископаемого топлива необходимо увеличить производство возобновляемой энергии, особенно биогаза, который является устойчивой заменой природного газа. При этом необходимо отметить, что системы на основе биогазовых установок обеспечивают не только эффективное производство биогаза, но и способствуют экологически чистой переработке органических отходов, что делает ее важным элементом в сфере возобновляемых источников энергии.

В предыдущей работе [5] представлены результаты расчетных исследований основных теплотехнических параметров систем вентиляции и теплоснабжения животноводческого помещения рассматриваемого коровника, с целью оптимального планирования объектов животноводства и обеспечения необходимого микроклимата в них. Определены среднегодовое количество необходимой тепловой энергии для создания микроклимата в рассматриваемом коровнике, которое составляет 325193,4 кВт\*час и количество топлива (природный газ), необходимое для создания микроклимата в здании, которое составляет 61212,6 м<sup>3</sup>, при этом в качестве установки для нагрева воздуха предложена установка на основе биогаза, где  $\eta_{\text{воз.наг}}=0,8-0,9$  КПД биогазового воздухоподогревателя;  $q_{\text{гр}}$  - теплота сгорания биогаза, т.е. теплоотдача  $q_{\text{гр}}=20-25$  МДж/м<sup>3</sup> [5].

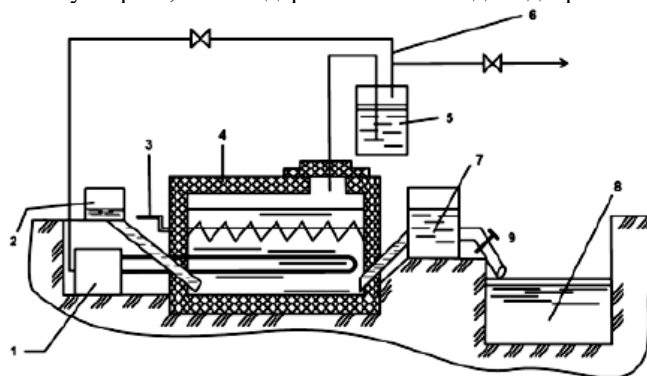
Настоящее сообщение посвящено расчетным исследованиям по выбору и обоснованию конструктивно-технологических параметров биогазового устройства и габаритов метантенка обеспечения системы теплоснабжения и вентиляции коровника объемом 6000 м<sup>3</sup> на 300 голов крупного рогатого скота и определению выходных параметров установок в целом.

## 2. Методы и материалы (Methods and materials)

**Технологическая схема для биогазовой установки.** На современном этапе развития анаэробной (т.е. при отсутствии кислорода) ферментации навоза животноводческих хозяйств можно покрыть 30-35% потребности этих хозяйств в тепловой энергии. Использование встроенных нагревателей в современных биогазовых установках обеспечивается усилением теплоизоляции метантенков и бесперебойной подачей подогретого чистого субстрата. Механическое перемешивание субстрата предусмотрено для ускорения процесса ферментации и удаления биогаза.

Большинство биогазовые установки построено по принципу проточного режима, то есть они быстро выдавливают используемое сырье, при этом новые порции навоза вводятся в установку непрерывно (2-10 раз в сутки), по мере необходимости производится отбор биогаза и отложения осадка [6, 7].

Биогазовая установка состоит в основном из следующих элементов: приемной емкости, камеры сбраживания (метантанк, реактор), нагревательного устройства (теплообменника), устройства для перемешивания субстрата, газгольдера и газового водоподогревателя.



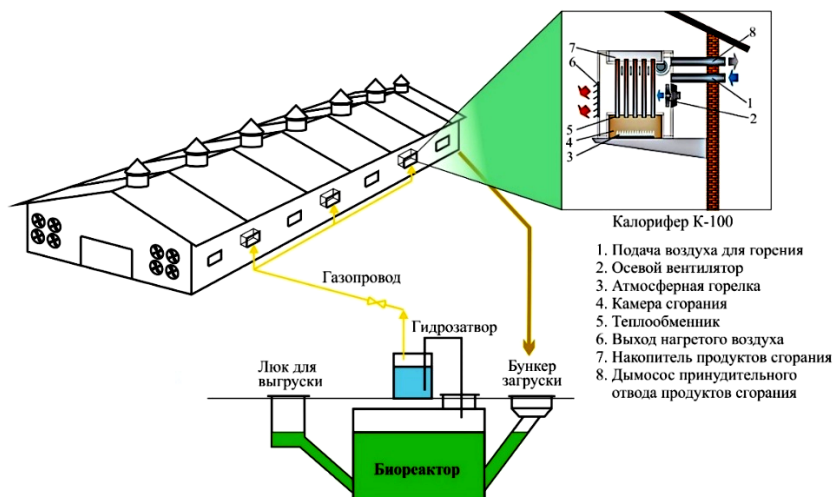
**Рис.1.** Схема биогазовой установки с ручной загрузкой, перемешиванием и подогревом сырья в реакторе: 1 - водогрейный котел; 2 - бункер загрузки; 3 - перемешивающее устройство; 4 - реактор; 5 - водяной затвор; 6 - отвод биогаза; 7 - выгрузочный бункер, 8 - емкость для хранения биоудобрений; 9 - выгрузочная труба (источник: [www.fluid-biogas.com](http://www.fluid-biogas.com))

**Fig.1.** Diagram of a biogas plant with manual loading, mixing, and heating of the feedstock in the reactor: 1 - water heating boiler; 2 - loading hopper; 3 - mixing device; 4 - reactor; 5 - water seal; 6 - biogas outlet; 7 - unloading hopper; 8 - bio-fertilizer storage tank; 9 - discharge pipe (source: [www.fluid-biogas.com](http://www.fluid-biogas.com))

На рис.1 приложена упрощенная принципиальная схема биогазовой установки и ее комплектующие для производства биогаза, где водогрейный котел (1) используется для нагрева воды, которая поддерживает нужную температуру в реакторе, обеспечивая оптимальные условия для ферментации. Бункер загрузки (2) предназначен для ручной загрузки органических отходов, которые затем переносятся в реактор. В реакторе (4), оснащенный перемешивающим устройством (3) происходит ферментация, где микроорганизмы разлагают органические материалы, в результате чего образуется биогаз. Водяной затвор (5) предотвращает выход газа в атмосферу и проникновение внешнего воздуха в реактор. Сформированный биогаз через систему отвода биогаза (6) направляется в хранилище или на переработку. Выгрузочный бункер (7) используется для временного хранения отходов после ферментации. Отходы из бункера через выгрузочную трубу (9) удаляются из системы. Параллельно, органические удобрения, полученные в результате процесса, хранятся в специальной емкости (8) [8-10].

На сегодняшний день в мировой практике используются объекты с системой теплоснабжения на основе топлива из биогазовых станций автономного характера. Как нам известно, для создания автономных систем теплоснабжения конкретного объекта на основе какого-либо источника и энергоустановок, необходимо в установленном порядке на основе нормативов рассчитать показатели искомых параметров систем энергоснабжения [11-14]. В связи с этим наибольший интерес для проектировщиков представляет определение рациональных конструктивно-технологических и энергетических параметров биогазовой установки, а также габариты метантенка для нужд теплоснабжения и вентиляции [15-18].

На рис.2 представлен упрощенный вариант системы теплоснабжения.



**Рис.2.** Схема теплоснабжения здания коровника через калорифер К-100, адаптированный для газа, вырабатываемого биогазовым установкам

**Fig. 2.** Diagram of the heating system for a cowshed building using a K-100 calorifier, adapted for gas produced by a biogas plant

Как показано в предыдущей работе [5], годовое потребление тепла для создания микроклимата в коровнике составляет 325193,4 кВт\*час. Если использовать традиционное топливо (природный газ), то потребуется 61212,6 м<sup>3</sup> природного газа. Кроме того, для создания необходимого микроклимата в помещении для животноводства были определены показатели (табл.1):

**Таблица 1.** Основные показатели для создания необходимого микроклимата в помещении  
**Table 1.** Key indicators for creating the required indoor microclimate

№	Необходимые основные показатели	Значение показатели
1	Расход воздуха для снижения концентрации угольной кислоты, (м <sup>3</sup> /ч)	8545,5
2	Расход воздуха, необходимый для удаления водяного пара из здания, (кг/ч)	73,39
3	Тепловые потери через наружные стены здания в холодный период года, (кВт)	97,68
4	Средняя тепловая мощность системы горячей водоснабжения по среднесуточной норме горячей воды, (кВт)	3,6

### 3. Результаты (Results)

**Расчет конструктивно-технологических параметров устройства.** Приводим пример практического расчета конструктивно-технологических параметров биогазового устройства на основе предложенной методики по [11], для коровника с системой обогрева и вентиляции, который вмещает 300 голов крупного рогатого скота и имеет объем 6000 м<sup>3</sup>. Как указано в [5], необходимое ежедневное количество биомассы  $m_{бм}$ , кг/сут, определяем по формуле:

$$m_{бм} = \sum N_{жив.j} m_{сол.j}; \quad (1)$$

где  $N_{жив.j}$  - количество животных вида  $j$ , гол;  $m_{сол.j}$  - количество экскрементов, выделяемых в течение дня у вида  $j$ , кг/гол, при этом масса сухого вещества в биомассе  $m_{св}$  кг/сут, определяется по формуле:

$$m_{св} = m_{бм} \left(1 - \frac{\varphi_{бм}}{100}\right); \quad (2)$$

где  $\varphi_{бм}$  - влажность биомассы, %.

Доля сухого органического вещества  $m_{сов}$  кг/сут, в биомассе определяется по формуле:

$$m_{сов} = m_{св} \rho_{сов}; \quad (3)$$

где  $\rho_{сов}$  - процентное содержание органического вещества в сухом веществе.

Объем метантенка определяется из отношения:

$$V_{MT} = \frac{(0,7 \dots 0,9) m_{сов} \tau_б}{\rho_{бм}}; \quad (4)$$

где  $\tau_б$  - продолжительность процесса ферментации, в сутки;  $\rho_{бм}$  - плотность перевариваемой биомассы, кг/м<sup>3</sup>.

Количество полезного биогаза  $V_{бг.пол}$  м<sup>3</sup>, извлекаемого из устройства при полном разложении сухого органического продукта, определяется по формуле:

$$V_{бг.пол} = m_{сов} * n_{эк}; \quad (5)$$



где  $n_{эж} = 0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$  - биогаз из 1 кг сухого органического вещества.

Объем биогаза  $V_{бг} \text{ м}^3$ , произведенного за выбранную продолжительность процесса ферментации метана определяется по формуле:

$$V_{бг} = V_{бг.пол} * \frac{n_t}{100}; \quad (6)$$

где  $n_t$  - процент выхода биогаза за заданную продолжительность,  $n_t = 50\%$ .

Мы можем определить количество произведенного биогаза за месяц  $V_{бг}^{мес}$  и год  $V_{бг}^{год} \text{ м}^3$ , используя формулу (6):

$$V_{бг}^{мес} = 30 * V_{бг}; \quad (7)$$

$$V_{бг}^{год} = 365 * V_{бг}. \quad (8)$$

**Расчёт габаритов метантенка.** Как правило, в резервуаре для метана, имеющем цилиндрическую форму, отношение их высоты к внутреннему диаметру составляет  $h/d = 0,9...1,3$ ; при условии, что  $h/d = 1,0$ :

$$V_{MT} = \frac{\pi d_{внут}^2}{4} h = \frac{\pi d_{внут}^2}{4} d_{внут}; \quad (9)$$

используя формулу (9) можно определить  $d_{внут} \text{ м}$ , следующим образом:

$$d_{внут} = \sqrt[3]{\frac{4 V_{MT}}{\pi}}. \quad (10)$$

**Определение суммы среднемесячного объема производимого биогаза.** Количество теплоты,  $Q_{теп}$ ,  $\text{МДж}$ , необходимое для подогрева массы сырья, загруженного в устройство, до температуры процесса ферментации определяется по формуле:

$$Q_{теп} = m_{бм} C_{рбм} (t_{бр} - t_{заг}) * 10^{-3}; \quad (11)$$

где  $C_{рбм} = 4,18 \text{ кДж}/(\text{кг} * ^\circ\text{C})$  - средняя удельная теплоемкость биомассы;  $t_{бр}$  - температура процесса брожения,  $37^\circ\text{C}$ ;  $t_{заг}$  - температура загружаемой биомассы,  $^\circ\text{C}$ ; значение  $t_{заг}$  принято равным температуре окружающей среды, если значение  $t_{заг}$  меньше  $5^\circ\text{C}$ , то  $t_{заг} = 5^\circ\text{C}$ .

Среднее количество теплоты  $Q_{теп}^{мес}$ ,  $\text{МДж}/\text{мес}$ , необходимое в течение месяца вычисляется по выражению:

$$Q_{теп}^{мес} = Q_{теп} * \tau_{сут}^{мес}; \quad (12)$$

где  $\tau_{сут}^{мес}$  - количество дней в месяце (30 суток).

Количество теплоты  $Q_{потер}$ ,  $\text{Вт}$ , теряемое в процессе теплоотдачи через стенку метантенка в окружающую среду:

$$Q_{потер} = kF * (t_{бр} - t_{ср.мес}); \quad (13)$$

определяется по формуле, где:  $k$  - коэффициент теплоотдачи через стенки метантенки,  $(\text{Вт}/\text{м}^2 * ^\circ\text{C})$ ;  $F$  - площадь поверхности метантенка,  $\text{м}^2$ ;  $t_{ср.мес}$  - среднемесячная температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Коэффициент теплоотдачи  $k$ ,  $(\text{Вт}/\text{м}^2 * ^\circ\text{C})$  рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (14)$$

где  $1/\alpha_1 = 0,05 \text{ (м}^2 * ^\circ\text{C}/\text{Вт})$  - термическое сопротивление внутренних поверхностей стенок метантенка;  $1/\alpha_2 = 0,05 \text{ (м}^2 * ^\circ\text{C}/\text{Вт})$  - термическое сопротивление наружных поверхностей стенок метантенка;  $\delta_i$  - толщина  $i$ -го внутреннего слоя стенки метантенка ( $\text{м}$ );  $\lambda_i$  - теплопроводность  $i$ -го слоя стенки метантенка,  $(\text{м} * ^\circ\text{C}/\text{Вт})$ ;

Площадь стенок метантенка рассчитывается по формуле:

$$F = S_{бок} + 2 S_{ос} \text{ м}^2; \quad (15)$$

где  $S_{бок}$  - площадь боковой поверхности стен метантенки,  $\text{м}^2$ ;  $S_{ос}$  - площадь основания фундаментов метантенк,  $\text{м}^2$ :

$$S_{ос} = \frac{\pi d_{внут}^2}{4}; \quad (16)$$

$$S_{бок} = \pi d_{внут} * h = \pi d_{внут}^2. \quad (17)$$

Метантенк состоит из бетонного резервуара с толщиной теплоизоляции из шлакобетона 0,1 м и грунтовой сваи толщиной 1 м.

Выражаем потери теплоты в окружающую среду в  $Q_{потер}^{мес}$ ,  $\text{МДж}/\text{месяц}$ :

$$Q_{потер}^{мес} = 3,6 * 10^{-3} Q_{потер} * \tau_{час}^{мес}; \quad (18)$$

где  $\tau_{час}^{мес} = 720$  часов - количество часов в месяце.

Общий расход энергии на механическое перемешивание субстрата в метантенке  $Q_{мех.пер}$ ,  $\text{кВт} * \text{час}$ , определим по формуле:

$$Q_{мех.пер} = q_{норм} * V_{MT} * z; \quad (19)$$

где  $q_{норм}$  - удельная нагрузка на мешалку,  $q_{норм} = 50 (\text{Вт} * \text{ч})/\text{м}^3$ ;  $V_{MT}$  - объем метантенка,  $\text{м}^3$ ;  $z$  - продолжительность работы мешалки равна 8 часов в сутки. Далее определяем показатель общий расход энергии, с учетом вышеприведенных  $9,4 \text{ кВт} * \text{час}$ .

Переводим полученные значения в  $\text{МДж}/\text{мес}$ :

$$Q_{мех.пер}^{мес} = 3,6 Q_{мех.пер} \tau_{сут}^{мес}.$$

Общий расход энергии на процесс за месяц  $Q_{общ}$ ,  $\text{МДж}/\text{мес}$ :





$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{теп}}^{\text{мес}} + Q_{\text{потер}}^{\text{мес}} + Q_{\text{мех.пер}}^{\text{мес}} \quad (20)$$

Количество биогаза, израсходованного на процесс в месяц  $V_{\text{бг.з}}^{\text{мес}}$ ,  $\text{м}^3/\text{мес}$ :

$$V_{\text{бг.з}}^{\text{мес}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{q_{\text{бг}}} \quad (21)$$

Товарное количество биогаза  $V_{\text{бг.тов}}^{\text{мес}}$ , ( $\text{м}^3/\text{мес}$ ), произведенного в месяц:

$$V_{\text{бг.тов}}^{\text{мес}} = V_{\text{бг}}^{\text{мес}} - V_{\text{бг.з}}^{\text{мес}} \quad (22)$$

Результаты расчетов сводим в табл. 2.

**Таблица 2.** Количество произведенного биогаза по месяцам

**Table 2.** Amount of biogas produced by month

месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
$t_{\text{зас}}, ^\circ\text{C}$	5	5	5	9,4	16,2	20,2	23	22,1	16,3	9,2	5	5	
$Q_{\text{теп}}^{\text{мес}}, \text{МДж}/\text{мес}$	8,747	7,9	8,747	7,637	6,57	5,605	5,248	5,423	6,339	7,93	8,465	8,747	
$Q_{\text{потер}}^{\text{мес}}, \text{МДж}/\text{мес}$	1200	1084	1200	1048	901,3	769	720	744	870	1088	1161	1200	
$Q_{\text{общ}}, \text{МДж}/\text{мес}$	2259	2040	2259	2071,8	1958	1791	1775,6	1800	1892,4	2146	2186	2259	
$V_{\text{бг.з}}^{\text{мес}}, \text{м}^3/\text{мес}$	100	91	100	92	87	80	79	80	84	95	97	100	
$V_{\text{бг.тов}}^{\text{мес}}, \text{м}^3/\text{мес}$	440	449	440	448	453	460	461	460	456	445	443	440	5395

**Расчет энергоэффективности биогазовой установки.** Потенциальная энергия биогаза  $Q_{\text{выр}}$ ,  $\text{МДж}$ , вырабатываемого за год определяется по формуле:

$$Y_{\text{выр}} = V_{\text{бг.год}} * y_{\text{бг}} \quad (23)$$

Энергетический эффект биогазовой установки  $\mathcal{E}_{\text{б}}$   $\text{МДж}$ , за год равняется:

$$\mathcal{E}_{\text{б}} = V_{\text{бг.тов}}^{\text{год}} * q_{\text{бг}} \quad (24)$$

Коэффициент товарности биогазовой установки:

$$K_{\text{тов}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{б}}}{Q_{\text{выр}}} * 100\% \quad (25)$$

Годовая экономия условного топлива составит  $V_{\text{ут}}$ ,  $\text{т.у.т.}$ :

$$V_{\text{ут}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{б}}}{29300} \quad (25)$$

**Таблица 3.** Показатели энергоэффективности биогазовой установки для КРС на 300 голов

**Table 3.** Energy efficiency indicators of a biogas plant for cattle for 300 heads

Объем (метантенка), $V_{\text{мт}}, \text{м}^3$	23,5
Производительность биогаза:	
Всего $V_{\text{бг}}^{\text{год}}, \text{м}^3/\text{год}$	6570
Год товарной продуктивности $V_{\text{бг.тов}}^{\text{год}}, \text{м}^3/\text{год}$	5395
Удельный годовой выход товарного биогаза, $\text{м}^3/\text{гол год}$	18
Удельный суточный выход товарного биогаза, $\text{м}^3/\text{гол сут}$	0,05
Экономия традиционного топлива $\text{т.у.т.}$	4,14

#### 4. Обсуждение (Discussion)

Таким образом, результаты расчётов подтверждают, что предложенная биогазовая установка объёмом 23,5  $\text{м}^3$ , разработанная для обогрева и вентиляции коровника на 300 голов и объёмом 6000  $\text{м}^3$ , может обеспечить микроклимат в коровнике в зимний период. Как отмечено выше, в зимний период биогаз используется для обогрева приточного воздуха, поступающего в коровник через калорифер К-100, что показано на схеме (рис. 2), а также для личных технологических нужд. За год установка способна производить до 6570  $\text{м}^3$  биогаза, из которых 5395  $\text{м}^3$  используется как товарный биогаз. Это соответствует удельной годовой производительности 18  $\text{м}^3$  биогаза на голову крупного рогатого скота и удельному суточному выходу 0,05  $\text{м}^3$  на голову.

#### 5. Заключение (Conclusion)

Энергетический анализ показал следующие выводы:

1. Установка позволяет ежегодно экономить до 4,14 тонн условного топлива.
2. Снижается потребность в природном газе на 61212,6  $\text{м}^3$  в год, который необходим для поддержания микроклимата.
3. Установка отличается высокой энергоэффективностью: около 34% произведённого биогаза используется для собственных нужд, в частности, для подогрева биомассы, что обеспечивает стабильный микроклимат в коровнике в зимний период.



4. Процесс анаэробной ферментации в установке позволяет получать значительное количество органических удобрений, что может повысить рентабельность сельскохозяйственного производства на 10-20%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Montgomery, L. F. R. and Bochmann, G. (2014). Pretreatment of Feedstock for Enhance Biogas Production. Iea Energy Technology Network, IEA Bioenergy Task 37.
2. Khanal S. K. (2008). Anaerobic biotechnology for bioenergy production, published by John Wiley & Sons.
3. Stanley H.O., Okerentugba P.O. and Ogbonna C.B. (2014). A comparative assessment of biogas production from co-digestion of cow dung and selected wastes. International journal of advanced biological research. IJABR Vol. 4(4):405-411.
4. Погода в Ташкенте [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.meteotrend.com/forecast/uz/tashkent>.
5. Н.Р. Аvezова, А.Ю. Усманов, М.А. Куралов. Планирование системы теплоснабжения объектов животноводства и обеспечению необходимого микроклимата в них. Проблемы энерго- и ресурсосбережения 2022, №3. -С. 101-109.
6. Климатические и физико-геологические данные для проектирования. КМК 2.01.01-94.
7. Живодноводческие, птицеводческие, звероводческие Здания и сооружения. КМК 2.09.07-96.
8. <https://biogas.su/wp-content/uploads/2020/12/bgu-ruk.jpg>.
9. А.Г. Бугаков, Н.Р. Аvezова, А.М. Мирзабаев. «Биореактор» Патент на полезную модель FAP 2015 0173, 30.11.2015.
10. А.Г. Бугакова, Н.Р. Аvezова, А.М. Мирзабаев, А.У. Вохидова и А.Ю. Усманова. «Солнечно-биогазовая система энергообеспечения биореактора». Патент на полезную модель № FAP 01315, 13.07.2018.
11. В.И. Баланин, Зооигиенический контроль микроклимата в животноводческих и птицеводческих помещениях /- Л.: Агропромиздат, отд., с.144, 1988.
12. Здания и Сооружения для Крупного рогатого скота нормы проектирования, СНиП II-Н.5-65.
13. Отопление, Вентиляция и Кондиционирование воздуха нормы проектирования, СНиП II-Г.7-62.
14. А.А. Захаров. Практикум по применению теплоты в сельском хозяйстве. –Москва: Агропромиздат. 1985.
15. Б.Х. Драганов, С.А. Ковалев, В.А. Лазоренко, А.А. Марченко, А.Г. Цубанов, В.А. Коротиненский. Курсовое проектирование по теплотехнике и применению теплоты в сельском хозяйстве. -Москва: Агропромиздат” 1991.
16. Врагов А.В., Мурзакулов Н.А., Ысламов М.М. Инженерно-экономический расчет биогазовой установки на аридных территориях в кооперативных хозяйствах республики Кыргызстан // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022. 7(100). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14054>.
17. Л.И. Бронфман, Методы и средства формирования регионального микроклимата в животноводческих помещениях: автореф. дис. д-ра техн. наук. / Челябинск, с.41, 1990.
18. К.А. Гаркавий, Исследования тепловлажностного режима животноводческих помещений и разработка энергосберегающих мероприятий для обеспечения микроклимата: дис.к-та техн. наук / - Ростов н/д., -С.131, 2003.

#### REFERENCES

1. Montgomery, L. F. R. and Bochmann, G. (2014). Pretreatment of Feedstock for Enhance Biogas Production. Iea Energy Technology Network, IEA Bioenergy Task 37.
2. Khanal, S. K. (2008). Anaerobic biotechnology for bioenergy production, published by John Wiley & Sons.
3. Stanley, H.O., Okerentugba, P.O. and Ogbonna, C.B. (2014). A comparative assessment of biogas production from co-digestion of cow dung and selected wastes. International journal of advanced biological research. IJABR Vol. 4(4):405-411.
4. Weather in Tashkent [Electronic resource]. Access mode: <https://ru.meteotrend.com/forecast/uz/tashkent> (In Russ.).
5. N.R. Avezova, A.Yu. Usmanov, M.A. Kuralov. Planning of heating systems for livestock facilities and ensuring the required microclimate in them. Problems of energy and resource saving, 2022, No. 3, pp. 101–109 (In Russ.).



6. Climatic and physico-geological data for design. KMK 2.01.01-94 (In Russ.).
7. Livestock, poultry, and fur-farming buildings and structures. KMK 2.09.07-96 (In Russ.).
8. <https://biogas.su/wp-content/uploads/2020/12/bgu-ruk.jpg>
9. A.G. Bugakov, N.R. Avezova, A.M. Mirzabayev. "Bioreactor." Utility model patent FAP 2015 0173, 30.11.2015 (In Russ.).
10. A.G. Bugakova, N.R. Avezova, A.M. Mirzabaeva, A.U. Vokhidova, and A.Yu. Usmanova. "Solar-biogas energy system for bioreactor energy supply." Utility model patent No. FAP 01315, 13.07.2018 (In Russ.).
11. V.I. Balanin. Zoohygienic control of the microclimate in livestock and poultry premises. / Leningrad: Agropromizdat, publishing department, p. 144, 1988 (In Russ.).
12. Buildings and structures for cattle: design standards. SNiP II-N.5-65 (In Russ.).
13. Heating, ventilation, and air conditioning: design standards. SNiP II-G.7-62 (In Russ.).
14. A.A. Zakharov. Practical manual on heat application in agriculture. Moscow: AGROPROMIZDAT, 1985 (In Russ.).
15. B.Kh. Draganov, S.A. Kovalev, V.A. Lazorenko, A.A. Marchenko, A.G. Tsubanov, V.A. Korotinenksy. Course project on heat engineering and the use of heat in agriculture. Moscow: AGROPROMIZDAT, 1991 (In Russ.).
16. Vragov A.V., Murzakulov N.A., Islyamov M.M. Engineering and economic calculations of biogas installations in arid territories in cooperative farms of the Kyrgyz Republic. // *Universum: Technical sciences: electronic scientific journal*. 2022. 7(100). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14054> (In Russ.).
17. L.I. Bronfman. Methods and tools for forming the regional microclimate in livestock premises: abstract of doctoral dissertation in technical sciences. / Chelyabinsk, p. 41, 1990 (In Russ.).
18. K.A. Garkavy. Research on the heat-moisture regime of livestock premises and development of energy-saving measures to ensure the microclimate: dissertation for candidate of technical sciences. / Rostov-on-Don, p. 131, 2003 (In Russ.).