

УДК 631.862:577.151

МЕТАНОВОЕ СБРАЖИВАНИЕ НАВОЗА ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ

И. Д. ШАРОВАРО

(Кафедра электрификации с.-х. производства)

Изучали эффективность микробиологической переработки жидкого навоза в анаэробных условиях при температуре 32, 42 и 52°.

Разложение в процессе метанового сбраживания органического вещества навоза при температуре 42 и 52° происходило за 7 сут, при температуре 32° за то же время разложилось всего 8,5 %, т. е. в 3,5 раза меньше. Процесс метанового сбраживания в непрерывном и периодическом режимах при температуре 42, 52 и 32° был стабильным, о чем свидетельствуют такие показатели, как ЛЖК, щелочность, рН и др. При температуре 42° биогаза выделялось в 1,9 и 1,7 раза больше, чем соответственно при температуре 52 и 32°.

Индустриализация животноводства приводит к накоплению эпидемически опасного жидкого навоза. В связи с этим особенно остро ставится вопрос о его подготовке к дальнейшему использованию. При выборе методов переработки жидкого навоза должны учитываться возрастающие требования к получению высококачественных органических удобрений, охране окружающей среды и экономии топливно-энергетических ресурсов.

Наиболее перспективным в связи с этим являются технологии, основанные на микробиологической переработке навоза в анаэробных условиях. К ним относится метановое сбраживание навоза, при котором используются биологические процессы в бескислородных условиях для стабилизации органических веществ путем превращения в метан и неорганические конечные продукты, включая двуокись углерода и аммиак

[73]

На процесс метанового сбраживания влияют температура, объем органического вещества и его состав, время выдержки, питательная среда и другие факторы.

Метаболическая активность и репродуктивная способность микроорганизмов изменяются в зависимости от температуры. Следовательно, температура влияет на объем газа, который можно получить из определенного количества органического вещества в течение заданного времени, а также на технологическое время процесса метанового сбраживания, необходимое для высвобождения при соответствующей температуре того или иного количества биогаза [1].

Образование биогаза может происходить при широком диапазоне температур: от близкой к замерзанию в торфе тундры до температуры выше 90° в горячих источниках [8].

Для метанового сбраживания характерно 3 температурных режима: психрофильный — 0—20°, мезофильный — 20—40° и термофильный — 40—60°.

При психрофильном интервале температур технологическое оборудование для производства биогаза практически не применяется, так как период ферментации длительный, подогрев материала не требуется, необходим большой объем бродильных камер.

В многочисленных работах исследуется 2 температурных режима: мезофильный — 30—40° и термофильный — 50—60°. Приняты оптимальные температурные уровни для мезофильного — 32—35° и термофильного — процесса — 52—55°, которым соответствуют максимальные значения метаболической активности микроорганизмов, где один набор бактерий активен в мезофильном оптимуме, другой — в термофильном [1].

Наблюдениями Хиллса и Шредера установлено, что процесс метанового сбраживания при температуре 41° еще заметен, а при температуре 42,5° газовыделение снижается в 6 раз, концентрация жирных кислот (ЛЖК) возрастает в 1,6 раза.

Выбор процесса следует производить на основании технико-экономических расчетов с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований.

Известно, что рубец жвачных животных можно рассматривать как своеобразную живую бродильную камеру, созданную самой природой. Микроорганизмы рубца, в том числе и метанообразующие бактерии, обладают высокой ферментативной активностью, максимальные условия для их жизнедеятельности наблюдаются при температуре 38—42° [2, 3]. За сутки в рубце, объем которого составляет 100—300 л, может образовываться до 1000 л газа, в основном углекислого (50—60 %) и метана (30—50 %), при рН содержимого 6,5—7,4 [4].

При переваривании клетчатки в составе газов рубца увеличивается количество метана, тогда как при переваривании сахаров преобладает углекислый газ. Метан образуется преимущественно при восстановлении углекислого газа водородом, донорами которого могут служить сахара, пировиноградная, фумаровая кислоты и другие вещества.

Целью наших поисковых исследований было выявление оптимальных, экономически целесообразных температур, при которых происходит процесс метанового сбраживания навоза с закваской рубцовых микроорганизмов.

Методика исследований

Опыт по метановому сбраживанию навоза проводили при температуре 32, 42 и 52° в периодическом и непрерывном режи-

мах в лабораторных метантенках с рабочим объемом 4,5 л. Степень разложения органических веществ навоза принята равной 30 %. Постоянная заданная температура внутри метантенка поддерживалась автоматически с помощью электрического термостата ТС-80М. Оснащенность оборудования соответствовала условиям исследований. Повторность опытов 3-кратная. Пусковая загрузка осуществлялась подготовленным измельченным навозом (смесь навоза крупного рогатого скота и свиней в соотношении 1:1) влажностью 92 %. Измельчение навоза производилось на ножевом измельчителе РМП-1. В качестве закваски использовалась жидкость рубца крупного рогатого скота в количестве 20 и 10 % ранее сброженного навоза от загружаемого объема, которую вносили в виде засевного материала в метантенк. Одновременно с измельченным навозом с целью сокращения времени вывода метантенков на оптимальный режим добавляли 0,5 % метанола, содержащее в метантенке барботировалось CO_2 и H_2 в соотношении 1:4.

При переходе с периодического на непрерывный процесс сбраживания навоза суточную дозу загрузки метантенка увеличивали с 5 % до 7,5; 10; 12,5; 15 и 20 % от объема, т. е. каждое последующее увеличение загрузки производилось только после 30 % распада органического вещества.

Аналитический контроль работы каждого метантенка осуществлялся по следующим показателям: рН, gH_2 среды, влажность, зольность, содержание сухого и органического вещества, ЛЖК, щелочность, объем выделившегося биогаза, концентрация общего и аммиачного азота, фосфора, калия, рН среды, влажность, содержание сухого и органического вещества, зольность, содержание общего и аммиачного азота, фосфора, калия определяли в соответствии с методическими указаниями [5], ЛЖК и щелочность — по методике [6], Eh — на универсальном иономере ЭВ-74.

Объем выделившегося биогаза измеряли при помощи газовых счетчиков ГСБ-400, затем результаты замера приводились к нормальным условиям ($P = 1013$ ГПа; $t = 20^\circ$). Для анализа состава газа использовался хроматограф «Газохром-3101».

Эффективность процесса сбраживания оценивали по общему газовыделению и изменению содержания органического вещества (ОВ).

Результаты исследований

Периодический процесс сбраживания измельченного навоза при температуре 52° идет быстрее, чем при 32° . За 7 сут разложилось 30 % ОВ. При температуре 42° разложение ОВ вначале шло с незначительным отставанием, но на 7-е сутки так же, как при температуре 52° , разложилось 30 %, а далее процесс шел с опережением (рис. 1).

При температуре 32° до 30 % ОВ разложилось на 21-е сутки. Максимальное выделение биогаза при температуре 52° наблюдалось на 3-и сутки, при температуре 42° — на 5-е, причем количество выделяемого газа увеличивалось более плавно. После чего при температуре 52° выделение биогаза резко уменьшилось, а при 42° умень-

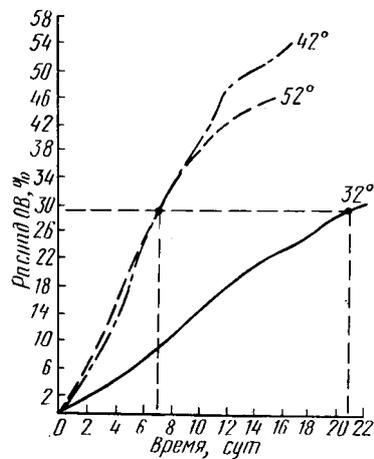


Рис. 1. Динамика распада ОВ (по количеству выделившегося газа).

шение выделения биогаза также шло более плавно (рис. 2). При температуре 32° максимальное выделение биогаза отмечено на 8-е сутки, затем выделение биогаза постепенно уменьшилось.

Основные технологические показатели периодического процесса сбраживания навоза сведены в табл. 1. При температуре 42° , как и при температуре 32° и 52° , этот процесс отличается стабильностью.

Наблюдения за непрерывным процессом метанового сбраживания показали, что при температуре 42° и суточной дозе загрузки 15 % микроорганизмы отличались высокой ферментативной активностью, распад ОВ составил 22,5 г/л загрузки навоза в сутки, удельный выход газа — 2,6 л/л в сутки при рН 7,6—7,75. При температуре 32° с суточной дозой загрузки 10 % и 52° с суточной дозой загрузки 20 % распад ОВ составил 18,6 и 19,1 г/л загрузки навоза в сутки, удельный выход газа—1,33 и 2,9 л/л в сутки соответственно при рН 7,38—7,62 и 7,36—7,78.

Экономическую эффективность метанового сбраживания навоза можно рассчитать по сравнительному расходу тепла на технологические нужды при температуре 32, 42 и 52° применительно к ферме крупного рогатого скота на 200 гол и свиноферме на 1500 гол. с общим суточным выходом навоза 20 т.

1. Температуры сбраживания 32° .

Доза загрузки (D) — 10%; удельный выход биогаза ($V_{y\delta}$) — 1,33 м³/м³ в сутки.

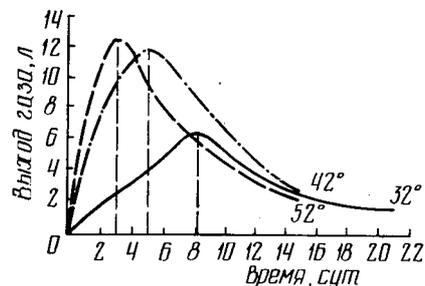


Рис. 2. Выход газа.

Основные технологические показатели процесса сбраживания навоза при различных температурах

Характеристика навоза	До сбраживания	После сбраживания при температуре, °С		
		32	42	52
Сухое вещество, %	7,7	6	5,8	5,9
Органическое вещество, %	5,8	4,1	4,0	4,0
В % к сухому веществу:				
азот общий	2,2	1,7	1,8	1,7
азот аммиачный	0,07	0,11	0,12	0,11
фосфор	1,70	1,69	1,67	1,62
калий	3,10	3,08	3,07	3,06
жиры	2,9	1,3	1,2	1,3
протеин	16,9	10,6	11,3	10,6
pH	7,6	7,7	7,8	7,8
гН ₂	3,9	5,5	5,3	5,3
ЛЖК, мг/л	345	210	240	232
Щелочность, мг/л	454	538	557	562

Объем метантенка

$$\sqrt{V_m} = \frac{G_{сут} \cdot T_1}{\eta} = 210 \text{ м}^3,$$

где G — суточный выход навоза; T_1 — период сбраживания; η — коэффициент использования метантенка 0,95.

$$T_1 = \frac{100}{D} = 10 \text{ сут},$$

где 100 — объем метантенка, %; D — суточная доза загрузки, %.

Суточный выход газа — $\sqrt{V_{сут}}$:

$$\sqrt{V_{сут}} = \sqrt{V_m} \cdot \sqrt{y\bar{d}} = 279,3 \text{ м}^3.$$

Тепловой эквивалент полученного газа — $Q_{сут}$:

$$Q_{сут} = \sqrt{V_{сут}} \cdot Q_n^p = 1\,536\,150 \text{ ккал/сут.}$$

Расход тепла на подогрев свежего навоза — $Q_{св.н.}$:

$$Q_{св.н.} = D_{сут} (t_2 - t_1) = 46\,200 \text{ ккал},$$

где $D_{сут}$ — суточная доза загрузки, кг; t_1 — температура загружаемого навоза; t_2 — температура сбраживания.

Теплота на восполнение потерь — 2° за сутки — $Q_{тп}$:

$$Q_{тп} = \sqrt{V_m} \cdot 2^\circ = 420\,000 \text{ ккал.}$$

Общий расход тепла — $Q_{общ}$:

$$Q_{общ} = Q_{св.н.} + Q_{тп} = 882\,000 \text{ ккал.}$$

Товарное тепло — Q_t :

$$Q_t = Q_{сут} - Q_{общ} = 654\,150 \text{ ккал.}$$

2. Температура 42° .

Доза загрузки (D) — 20%; удельный выход биогаза ($\sqrt{y\bar{d}}$) 2,6 м³/м³ в сутки.

Объем метантенка — $\sqrt{V_m}$:

$$\sqrt{V_m} = \frac{C \cdot T}{\eta} = 105 \text{ м}^3, \quad T_1 = \frac{100}{D} = 7 \text{ сут.}$$

Суточный выход газа — $\sqrt{V_{сут}}$:

$$\sqrt{V_{сут}} = \sqrt{V_m} \cdot \sqrt{y\bar{d}} = 382,2 \text{ м}^3.$$

Таблица 2

Сравнительный расход тепла на технологические нужды при различных температурах сбраживания

Показатель	Температура сбраживания навоза» °С		
	32	42	52
Общий объем метантенка, м ³	210	147	105
Доза суточной загрузки, %	10	15	20
Содержание метана, %	60	61	61,6
Удельный выход биогаза, м ³ /м ³ в сутки	1,33	2,6	2,9
Суточный выход биогаза, м ³	279,3	382,2	304,5
Тепловой эквивалент полученного газа, ккал/сут	1 536 150	2 102 100	1 674 750
Расход тепла, ккал/сут:			
на подогрев навоза	462 000	704 000	882 000
на компенсацию потерь	420 000	294 000	210 000
общий	882 000	998 000	1 092 000
Избыток тепла (товарная энергия), ккал/сут	654 150	1 104 100	582 750

Примечание. Головье крупного рогатого скота — 200, свиней — 1 500, суточный выход навоза — 20 м³.

Тепловой эквивалент полученного газа — $Q_{сум}$:

$$Q_{сум} = \sqrt{сум} \cdot Q_n^p = 2\,102\,100 \text{ ккал.}$$

Расход тепла на подогрев свежего навоза — $Q_{св.н}$:

$$Q_{св.н} = D_{сум} (t_2 - t_1) = 704\,000 \text{ ккал.}$$

Теплота на восполнение потерь — 2° за сутки — $Q_{тн}$:

$$Q_{тн} = \sqrt{м} \cdot 2^\circ = 294\,000 \text{ ккал.}$$

Общий расход тепла — $Q_{общ}$:

$$Q_{общ} = Q_{св.н} + Q_{тн} = 998\,000 \text{ ккал.}$$

Товарное тепло — Q_t :

$$Q_t = Q_{сум} - Q_{общ} = 1\,104\,100 \text{ ккал.}$$

3. Температура 52° .

Доза загрузки (D) — 20 %; удельный выход газа $\sqrt{уд}$ 2,9 м³/м³ в сутки.

Объем метантенка — $\sqrt{м}$:

$$\begin{aligned} \sqrt{м} &= \frac{C_{сум} \cdot T_1}{\eta} = 105 \text{ м}^3, T_1 = \\ &= \frac{100}{D} = 5 \text{ сут.} \end{aligned}$$

Суточный выход газа — $\sqrt{сум}$:

$$\sqrt{сум} = \sqrt{м} \cdot \sqrt{уд} = 105 \text{ м}^3.$$

Тепловой эквивалент полученного газа — $Q_{сум}$:

$$Q_{сум} = \sqrt{сум} \cdot Q_n^p = 1\,674\,750 \text{ ккал.}$$

Расход тепла на подогрев свежего навоза — $Q_{св.н}$:

$$Q_{св.н} = D_{сум} (t_2 - t_1) = 441\,000 \text{ ккал.}$$

Теплота на восполнение потерь — 2° за сутки — $Q_{тн}$:

$$Q_{тн} = \sqrt{м} \cdot 2^\circ = 210\,000 \text{ ккал.}$$

Общий расход тепла — $Q_{общ}$:

$$Q_{общ} = Q_{св.н} + Q_{тн} = 1\,092\,000 \text{ ккал.}$$

Товарное тепло — Q_t :

$$Q_t = Q_{сум} - Q_{общ} = 582\,750 \text{ ккал.}$$

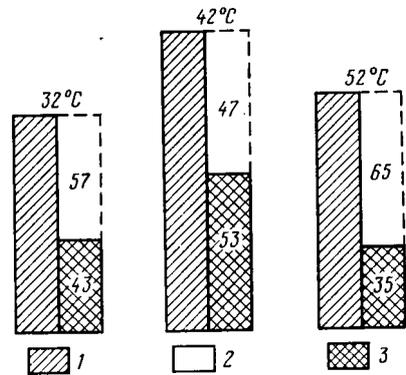


Рис. 3. Тепловой баланс биогазовой установки.

1 — тепловой эквивалент полученного газа (100 %); 2 — расход тепла на собственные нужды установки; 3 — избыток тепла (товарная энергия).

Результаты расчета, приведенные в табл. 2 и на рис. 3, свидетельствуют о том, что лучшим вариантом является метановое сбраживание навоза при температуре 42° .

Заключение

Разложение ОВ в периодическом режиме при температуре 42 и 52° произошло за 7 сут, при температуре 32° за это время ОВ разложилось в 3,5 раза меньше (всего 8,5 %).

Процесс метанового сбраживания в непрерывном и периодическом режимах при температуре 42° , как и при других температурах, отличался устойчивостью, о чем можно судить по значениям ЛЖК, щелочности, рН, гН₂ и выделению биогаза.

Как показало сравнение эффективности разных температурных режимов метанового сбраживания навоза, наибольшее количество товарной энергии в виде биогаза получено при температуре 42° — в 1,9 и 1,2 раза больше, чем соответственно при температуре 52 и 32° .

ЛИТЕРАТУРА

1. Баадер В., Доне Е. Биогаз. Теория и практика. — М.: Колос, 1982. — 2. Базанова Н. У. и др. Физиология сельскохозяйственных животных. — М.: Колос, 1967. — 3. Кондратьева Е. И. и др. Хемолитотрофы и метилотрофы. — М.: Изд-во МГУ, 1983. — 4. Курилов Н. В. и др. Физиология и биохимия пищеварения жвачных. — М.: Колос, 1971. — 5. Методические указания по анализу органических удобрений. — М.: Колос, 1984. — 6. Методика

дика технологического контроля очистных сооружений городской канализации. — М.: Стройиздат, 1977. — 7. М. с. Carty P. L. One hundred YEARS of Anaerobic treatment, anaerobic digestion LCEVIR Biomedicalpress, 1981. 8. Z e n n d e r A. T., I n k v o f s e n d K. Microbiologie of methane bacteric, Anaerobic digestion. LCEVIR Biomedicalpress, 1981.

Статья поступила 6 декабря 1985 г.

SUMMARY

The efficiency of microbiological processing of liquid manure under anaerobic conditions at 32° , 42° , and 52° was studied.

In the process of methane fermentation of organic matter manure at 42° and 52° , decomposition lasted 7 days, while at 32° only 8.5 %, that is, 3.5 times less manure was decomposed during the same time. The process of methane fermentation under constant and cyclic regimes at 42° , 52° , and 32° was stable, which is proved by such indicators as volatile fatty acids, alkalinity, pH, etc. At 42° , 1.9 and 1.7 times more biogas was liberated than at 52° and 32° respectively.