



УДК 631.333.92:631.22.018

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-14

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ І ПАРАМЕТРІВ МЕТАНТЕНКУ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Скляр О. Г., к. т. н.,

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Скляр Р. В., к. т. н.

ORCID: 0000-0002-1547-5100

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

Постановка проблеми. В даний час питання охорони природи і раціонального використання ресурсів набувають величезного державного значення при виробництві будь-якого виду продукції [1-3]. У промисловому птахівництві, як невід'ємної частини агропромислового комплексу досягнутий такий рубіж, коли подальший прогрес виробництва яєць і дієтичного м'яса вимагає переходу від екстенсивного на інтенсивний шлях розвитку. Цю перебудову пов'язано з розробкою і повсюдним впровадженням нових технологічних прийомів, способів і процесів, які гарантують задоволення потреб країни в дієтичних продуктах харчування. При цьому повинні забезпечуватися не тільки мінімальна собівартість продукції, але і її виробництво в умовах ефективного використання місцевих вторинних ресурсів, з недопущенням негативного впливу на екологію навколишнього середовища.

Однак, при поширенні використання на птахофабриках кліткових батарей для утримання птиці стали виникати серйозні проблеми з видаленням і переробкою посліду, очищенням і знезараженням стічних вод, що надходять з систем напування і після миття технологічного обладнання в процесі проведення санітарно-профілактичних робіт виробничих приміщень для утримання птиці. Рідка маса гною постійно накопичується у птахофабрик на необладнаних майданчиках, в ярах, складках рельєфу, будучи потенційним джерелом виникнення екологічного неблагополуччя не тільки на підприємствах, але й поблизу населених пунктів і сусідніх прилеглих територіях. Але, з іншого боку, пташиний послід є цінним органічним добривом, отже актуальним є проведення досліджень, спрямованих на вирішення даного комплексу проблем [3,4].

Аналіз останніх досліджень. Істотні результати в області біогазових технологій отримали такі вчені як: А. А. Ковальов, Ст. Баадер, Тобто Доні, М. Бренндерфер, С. В. Калюжний, П. І. Гриднєв,



В. Р. Некрасов, А. Р. Пузанков, Н. G. Konstandl, П.П. Кучерук та ін. [3].

Відзначаючи наукову значимість і практичну цінність цих робіт, необхідно зазначити, що застосовувані технології та технічні засоби для анаеробного бродіння все ще недостатньо ефективні. Незважаючи на певні досягнення в області анаеробної переробки посліду для виробництва біогазу і добрив, далеко не всі питання успішно вирішені. Значні труднощі пов'язані з вибором технології анаеробного бродіння, режимами роботи і обґрунтуванням параметрів технологічного обладнання. Відсутні науково-обґрунтовані методи побудови технологічних ліній для виробництва біогазу і добрив.

Аналіз літературних джерел [3-7] показує, що біогазові установки розроблялися, як правило, без обліку їх використання в технологічних лініях утилізації посліду, а одержання біогазу і добрив розглядалася без взаємозв'язку з параметрами установок і температурою навколишнього середовища. При цьому параметри установок і технологічних процесів призначаються за допомогою експертних оцінок – на основі досвіду практиків у цій галузі. Але, оскільки досвід експлуатації таких установок вкрай незначний, а вирішення технологічних завдань без критичного осмислення переходять в установки нових поколінь, тому виникли протиріччя між теорією процесу анаеробного бродіння посліду з отриманням біогазу й добрив та методами побудови і розрахунку технічних засобів для його здійснення.

Формулювання мети статті. Обґрунтувати режими і параметри метантенку біогазової установки для підвищення ефективності переробки пташиного посліду.

Основна частина. В процесі переробки на біогазовій установці вихідна сировина (пташиний послід) поділяється на три складові: газоподібна фаза – біогаз, що містить 60...70% метану, окису вуглецю 2...5% та інші гази; рідка фаза – стоки, які отримані після розподілу зброженого посліду, і є знезараженою рідиною з вмістом сухої речовини 2...5% (наявність у стічних водах азоту, окислу фосфору і калію дозволяє використовувати їх в якості рідких органічних добрив) [6-8]. В біогазових установках безперервної дії для стабільного протікання бродіння необхідно рівномірно подавати послід в метантенк, тобто порціями не тільки однакового об'єму, але також з однаковим вмістом сухих органічних речовин. Навантаження по сухій органічній речовині в залежності від виду і початкової вологості посліду становить 8...20 кг на 1 м³ метантенка на добу і для кожного конкретного субстрату повинна бути строго дозованим [4].

Інтенсивність бродіння можна підвищити механічним розщепленням і руйнуванням структури твердих органічних

компонентів або механічної деструкцією [9], що приводить до збільшення активної поверхні, яка обробляється метанотвірними мікроорганізмами, руйнування клітин і вивільнення здатної до бродіння внутрішньоклітинної рідини, що містить легкокорозивні органічні речовини (рис. 1).

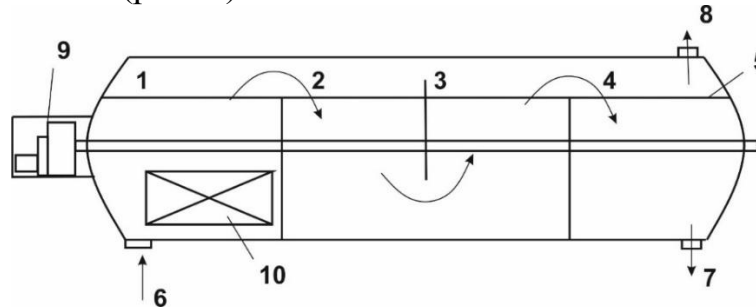


Рис. 1. Технологічна схема анаеробної переробки посліду в метантенку: 1 - секція 1; 2 - секція 2; 3 - секція 3; 4 - секція 4; 5 - рівень перероблюваного посліду; 6 - вихідний послід; 7 - добрива; 8 - біогаз; 9- механізм змішувача; 10 - водяний радіатор (теплообмінник).

Введемо цільову функцію, що враховує дохід від утилізації посліду протягом року (перший доданок) і вартість енергії, отриманої в результаті спалювання біогазу (другий доданок)

$$F(x) = \frac{T}{x} Mc + R\beta \frac{T}{x} M \cdot 100h. \quad (1)$$

де T – кількість діб у році, діб;

x – тривалість знаходження посліду в метантенку (добу);

M – місткість метантенку (ц);

c – вартість утилізації 1 ц посліду, грн./ц;

$R = 0,16 - 0,11/x$ – вихід біогазу ($\text{м}^3/\text{кг}$) в залежності від тривалості знаходження посліду в метантенку;

β - енергія згоряння 1м^3 біогазу, $\text{Дж}/\text{м}^3$;

h - вартість 1Дж одержуваного тепла, грн./Дж;

Після перетворень отримаємо наступний вираз для цільової функції

$$F(x) = \frac{MT}{x} (c + 100h\beta(0,16 - \frac{0,11}{x})). \quad (2)$$

Продиференціюємо $F(x)$ і прирівнюємо похідну до нуля

$$F' = MT \left[\left(-\frac{1}{x^2}\right)(c + 100h\beta(0,16 - \frac{0,11}{x})) + \frac{1}{x} 100h\beta(-0,11)\left(-\frac{1}{x^2}\right) \right] = 0. \quad (3)$$

Звідси,

$$c + 16h\beta = \frac{22h\beta}{x_{opt}}. \quad (4)$$

$$x_{opt} = \frac{22h\beta}{c + 16h\beta}. \quad (5)$$

Оптимальна тривалість переробки посліду x_{opt} не залежить від місткості метантенка (M).

Мінімізація витрат на корпус метантенка. Технічних варіантів реалізації метаногенезу біомаси досить багато, починаючи з конструктивно простих, непрофесійно виготовлених місцевими силами установок і закінчуючи технологічно доскональними установками довготривалого безперервного дії з використанням автоматизованих систем [9-12].

Процес бродіння здійснюється в спеціальних герметичних ємностях – метантенках [9]. Метантенк має форму циліндра довжиною L , основи якого конуси заввишки X з круговою основою радіуса R .

Об'єм метантенка дорівнює

$$V = \pi R^2 L + 2\pi R^2 X / 3 = \pi R^2 (L + 2X / 3).$$

$$m = \sqrt{R^2 + X^2}, S_R = \pi R m = \pi R \sqrt{R^2 + X^2}, S_C = 2\pi R L, \quad (6)$$

$$S_r = 2S_R + S_C = 2\pi R (\sqrt{R^2 + X^2} + L),$$

де m - бічна сторона конуса,

S_R - бічна поверхня конуса,

S_C - бічна поверхня циліндра,

S_r - площа поверхні метантенка.

Цільовою функцією є відношення площі поверхні метантенка до його об'єму, графік функції $F(x)$ наведено на рис. 2.

$$F(x) = S_r / V \rightarrow \min. \quad (7)$$

$$F(x) = (2/R)(\sqrt{R^2 + X^2} + L)/(L + 2X/3).$$

Для знаходження мінімуму $F(x)$ знайдемо її похідну і прирівнюємо до нуля:

$$F'(x) = (2/R)[(2X/3 + L)X/\sqrt{R^2 + X^2} - 2(\sqrt{R^2 + X^2} + L)/3]/(2X/3 + L)^2 = 0. \quad (8)$$

Після елементарних перетворень отримуємо квадратне рівняння

$$5L^2 X^2 - 12LR^2 X + 4R^4 = 4L^2 R^2; \quad (9)$$

враховуючи, що висота конуса – позитивна величина, отримуємо його єдине рішення

$$X_{\min} = (6R^2 + 2R\sqrt{4R^2 + 5L^2})/5L. \quad (10)$$

Приклад: при $R=2\text{м}$, $L=8\text{м}$ [10-12]

$$X_{\min} = (24 + 4\sqrt{16 + 320})/40 = 2,4\text{м}. \quad (11)$$

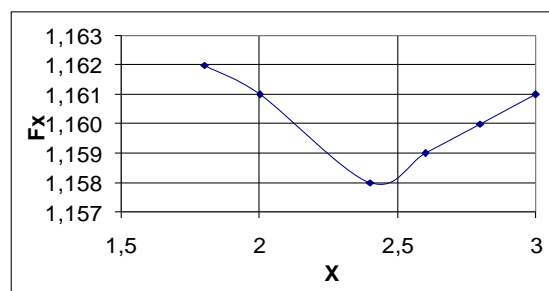


Рис. 2. Залежність цільової функції від висоти конуса.

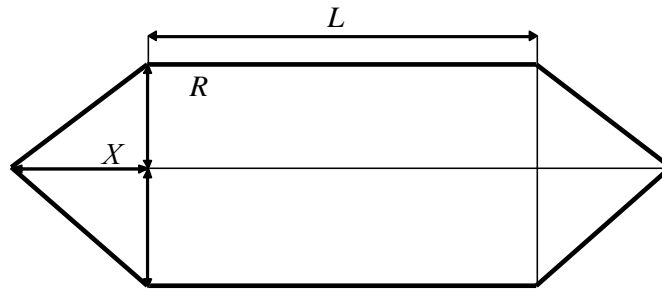


Рис. 3. Схема визначення кута конусності.

Таким чином, витрата металу на стінки метантенку (в розрахунку на один кубічний метр його робочого об'єму) досягає мінімуму при висоті конусу, яка дорівнює 2,4 м.

Вибір кута нахилу вертикальної частини метантенка.

Метантенк являє собою циліндр радіуса r , в основі якого – конус, причому основи циліндра і конуса збігаються, а вершина конуса є нижньою точкою метантенка. Вихідна сировина насосом піднімається на висоту метантенка, на що витрачається енергія, яку необхідно ввести в цільову функцію. Циліндрична частина метантенка від l не залежить і тому її висота прийнята рівною нулю. Будемо вважати, що протягом досить великого періоду часу T (терміну експлуатації метантенка) метантенк завантажується на a днів (як показав розрахунок, a найчастіше для оптимального режиму експлуатації близько до десяти днів), після чого звільняється від рідких і твердих фракцій і завантажується знову.

Цільова функція залежить від довжини твірної конуса l і дорівнює

$$F(l) = c\sqrt{l^2 - r^2} gm + Sq - mp, \quad (12)$$

де g – прискорення вільного падіння;

m – маса сировини, що надійшла протягом періоду T ;

S – площа бічної поверхні конуса:

$$S = \pi l r, \quad (13)$$

q – вартість 1 м^2 металу, з якого виготовляється конус;

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 \sqrt{l^2 - r^2}, \quad (14)$$

V – об'єм конуса;

$$m = dV \frac{T}{a}, \quad (15)$$

d – питома вага посліду.

Звідси

$$F(l) = dV \frac{T}{a} (c\sqrt{l^2 - r^2} g - p) + \pi l r q. \quad (16)$$

Знайдемо похідну $F(l)$ і прирівняємо до нуля.

В результаті після перетворень отримаємо алгебраїчне рівняння другого ступеня

$$k^2 + 4cglk + 4l^2c^2g^2 = \frac{l^2p^2}{l^2 - r^2}, \quad (17)$$

де

$$k = \frac{3a\pi q}{dT}. \quad (18)$$

Рівняння вирішується за допомогою стандартних математичних пакетів при заданих значеннях вхідних у нього параметрів. При цьому слід брати ті корені рівняння, які задовольняють умові

$$\frac{\sqrt{l^2 - r^2}}{r} > \operatorname{tg} \alpha, \quad (19)$$

де $\operatorname{tg} \alpha$ – коефіцієнт тертя добрива про бічну поверхню конуса. Для м'якого заліза коефіцієнт тертя дорівнює 0,49, для інструментальної сталі – 0,48, для хромовольфрамкової сталі – 0,47.

Таким чином, на відміну від коефіцієнта тертя, вартості посліду та вартості одного Джоуля енергії, на форму метантенка впливають насамперед витрати, що пов'язані з виробництвом його корпусу.

Висновки. Проведені теоретичні дослідження показали, що оптимальна тривалість переробки посліду не залежить від місткості метантенку; витрата металу на стінки метантенка в розрахунку на один кубічний метр його робочого об'єму досягає мінімуму при висоті конуса, яка дорівнює 2,4 м, а також на форму метантенку впливають насамперед витрати, що пов'язані з виробництвом його корпусу.

Список використаних джерел.

1. Біопаливо. Основні проблеми створення біогазових установок / Б. О. Рубан та ін. *Науковий вісник Національного аграрного університету України*. 2004. Вип. 73. С. 195-201.

2. Boltyansky V., Boltyansky O., Boltyanska N. Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 16, № 2. P. 49-54.

3. Кучерук П. П. Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08. Київ: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2016. 164 с.

4. Скляр Р. В., Скляр О. Г., Мілько Д. О. Особливості процесу метаногенерації пташиного посліду. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-6.

5. Brone I., Allen E., Murphy J. Evaluation of the biomethanepotential from multiple waste streams for a proposed community scale anaerobic



digester. *Environmental Technology*. 2013. Vol. 34, № 13-14. P. 2027-2038. **DOI:** 10.1080/09593330.2013.812669.

6. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Дослідження способів утилізації відходів птахівництва і тваринництва. *Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України*. Ніжин, 2019. Вип. 12. С. 298-304.

7. Golub N., Kozlovets O. Technology of anaerobic-aerobic purification of wastewater from nitrogen compounds after obtaining biogas. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2016. Vol. 10, № 3. P. 35-40.

8. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. 2014. Vol. 16, № 2 (b). P. 183-188.

9. Гюнтер Л. И., Гольдфарб Л. Л. Метантенки. Москва: Стройиздат, 1991. 128 с.

10. Eder B., Schultz H. Biogas Installations. Fundamentals of Planning. Construction Works. Types of Installations. Economic Validity (Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg Zörg Biogas) Transl. from German. A practical guide. 2008. 268 p.

11. Bond T., Templeton M. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*. 2011. Vol. 15, № 4. P. 347–354. **DOI:** 10.1016/j.esd.2011.09.003.

12. Automatical methane potential test system. Operation and maintenance manual. Lund: Bioprocess control Sweden AB, 2016. 95 p.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ І ПАРАМЕТРІВ МЕТАНТЕНКУ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Скляр О. Г., Скляр Р. В.

Анотація

В статті обґрунтовано режими і параметри метантенку біогазової установки для підвищення ефективності переробки пташиного посліду. Доведено, що одна з основних завдань щодо обґрунтування режиму біогазових установок – визначення оптимальної тривалості переробки посліду в метантенку. Отримано формулу для її визначення, яка показує залежність оптимальної тривалості переробки від вартості одержуваного тепла, енергії згоряння біогазу та вартості утилізації посліду. З урахуванням наведених допущень, обґрунтовано мінімальну витрату металу на стінки метантенку при висоті конусу, яка дорівнює 2,4 м. Доказано, що на відміну від коефіцієнта тертя, вартості посліду та вартості одного Джоуля енергії, на форму метантенку впливають насамперед витрати, що пов'язані з виробництвом його корпусу.

Ключові слова: біогазова установка, метантенк, пташиний послід, бродіння, тривалість переробки, біогаз, добриво.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ МЕТАНТЕНКА БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Скляр А. Г., Скляр Р. В.

Аннотация

В статье обоснованы режимы и параметры метантенка биогазовой установки для повышения эффективности переработки птичьего помета. Доказано, что одна из основных задач по обоснованию режима биогазовых установок - определение оптимальной продолжительности переработки помета в метантенке. Получена формула для ее определения, которая показывает зависимость оптимальной продолжительности переработки от стоимости получаемого тепла, энергии сгорания биогаза и стоимости утилизации помета. С учетом приведенных допущений, обоснован минимальный расход металла на стенки метантенка при высоте конуса, равной 2,4 м. Доказано, что в отличие от коэффициента трения, стоимости помета и стоимости одного Джоуля энергии, на форму метантенка влияют прежде всего расходы, связанные с производством его корпуса.

Ключевые слова: биогазовая установка, метантенк, птичий помет, брожение, продолжительность переработки, биогаз, удобрения.

THEORETICAL RESEARCH OF THE MODES AND PARAMETERS OF THE BIOGASE MECHANICAL INSTALLATION

Skliar A, Skliar R.

Summary

The article explains the modes and parameters of the digester of a biogas plant to improve the efficiency of processing poultry manure. The experience of operating such plants is negligible, and the decision of technological problems without critical thinking follow the installation of new generations, so there is a contradiction between the theory of the process of anaerobic fermentation of manure to produce biogas and fertilizers and methods of construction and calculation of technical means for its implementation. The intensity of digestion it is possible to increase the mechanical splitting and destruction of the structure of solid organic components or mechanical destruction, which leads to an increase of the active surface, which is processed metanetwork microorganisms, destroying cells and releasing capable of intracellular digestion liquid containing soluble organic matter. It is proved that one of the main problems of the substantiation of the regime of biogas plants – determination of the optimal duration of processing of dung in the digester: long enough to make manure in anaerobic conditions leads to incomplete manure, excessively long processing reduces the mass of litter disposed of during the year and leads to economic losses. The formula for determining the optimal duration of manure, which shows that it depends on the cost of heat obtained, of the energy of combustion of biogas and the cost of utilization of dung. Given the above assumptions, reasonably minimal amount of metal on the walls of the digester at the height of the cone, which is equal to 2.4 m. it is Proved that in contrast to the coefficient of friction, cost of manure and cost of one Joule of energy, in the form of digester is primarily influenced by the costs associated with the production of his body.

Key words: biogas plant, digester, bird droppings, fermentation, duration of processing, biogas, fertilizer.