УДК 681.51 DOI 10.31548/energiya2019.04.070

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТАНОГЕНЕЗУ ГНОЮ СВИНЕЙ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩА SIMULINK MATLAB

В. О. Мірошник, кандидат технічних наук, доцент

Т. І. Лендєл, кандидат технічних наук, доцент

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

Т. С. Давиденко, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: taraslendel@gmail.com

Анотація. *Розглянуто процес метаногенезу гною свиней у біогазових установках. Визначено, що для інтенсифікації процесів зброджування використовується кавітаційна обробка субстрату, підігрівання і перемішування енергетичних культур з оптимальною інтенсивністю завантаження субстрату. Враховуючи вимоги технологів, створено математичну модель метаногенезу гною свиней в біогазових установках. Математичну модель реалізовано та перевірено на імітаційній моделі, використавши середовища SIMULINK MATLAB, де математична модель метаногенезу реалізована на основі моделі росту популяції бактерій Моно з урахуванням процесу відмирання, що задається рівнянням Колпікова. Провівши дослідження на цій імітаційній моделі, визначено, що за перші 30 діб роботи безперервно діючого апарату біогазової установки при збільшенні відносної швидкості надходження субстрату гною свиней від 0,08 до 0,2 інтегральне значення виходу газу має найбільше значення 174.6 м^3 при* відносній швидкості *надходження субстрату 0,08. Для цього технологічного процесу в програмному середовищі LabVIEW розроблено віртуальний прилад для перевірки функціонування. У створеному середовищі виконано візуалізацію всіх технологічних факторів та передбачено сигналізацію контролюючих параметрів. Розроблений програмний проект можна перевірити у виробничих умовах.*

Ключові слова: ***імітаційна модель, біогазова установка, дослідження, система керування, метаногенез, газ***

Актуальність. Аналіз існуючих біогазових технологій показав, що в Німеччині уже нині під вирощування енергетичних культур (ЕК) (переважно кукурудзи) для виробництва біогазу використовується більше 1 млн. га земель Основна маса посліду і гною переробляється на газ також в біогазових установках (БГУ).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для інтенсифікації процесів зброджування використовується кавітаційна обробка субстрату, підігрівання і перемішування енергетичних культур з оптимальною інтенсивністю завантаження субстрату. Інший напрям збільшення виходу біогазу полягає у оптимальному дозуванні спеціальних домішок для різних видів сировини. Сумісне зброджування гнойових відходів з рослинною сировиною призводить до збільшення виходу метану, що обумовлено сумісною взаємодією різних видів субстратів [1, 2]. До переваг сумісного зброджування можна віднести:

- підтримання необхідної величини pH, що забезпечує нормальне протікання метаногенезу, за рахунок збільшення буферної ємності та можливості накопичення більшої кількості летких жирних кислот.
- зниження концентрації аміаку, яка буває при зброджуванні чистого гною за рахунок збільшення співвідношення вуглецю і азоту;
- збільшення виходу метану в наслідок оптимізації цього співвідношення за рахунок добавок рослинної сировини;
- збільшення виходу метану з одиниці об’єму біореактора.

Мета дослідження – розробити імітаційну модель процесу метаногенезу в біогазових установках.

Матеріали та методи дослідження. Математична модель метаногенезу реалізована на основі моделі росту популяції бактерій Моно з урахуванням процесу відмирання, що задається рівнянням Колпікова. Швидкість утворення біогазу задається прямо пропорційною концентрації бактерій.

Вважається, що концентрація бактерій за рахунок перемішування в апараті БГУ однорідна, а концентрація бактерій в субстраті, що надходить, майже нульова [1, 2].

Результати досліджень та їх обговорення. Модель працює для періодично діючого апарату при відносній швидкості надходження субстрату $p = 0$ і безперервно діючого апарату при $p > 0$.

Математична модель представлена системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{dX}{dt} = \left(\dfrac{\mu_1 \cdot L}{a+L} - \dfrac{\mu_2 \cdot b}{b+L} - p \right) X, \\ \dfrac{dL}{dt} = pL_0 - p \cdot L - \dfrac{\beta \cdot \mu_1 \cdot L}{a+L} X, \\ \dfrac{dV}{dt} = \gamma \cdot X(t) \end{cases} \tag{1}$$

з такими початковими умовами: $X(0) = X_0$, $L(0) = L_0$, $V(0) = V_0 = 0$,

де X – концентрація бактерій, кг/м^3; L – концентрація живильних речовин субстрату, яка засвоюється бактеріями, кг/м^3; V – вихід біогазу, м^3;$\mu 1$ і $\mu 2$ – максимально можливі відносні швидкості відповідно приросту і відмирання бактерій, дб$^{-1}$; β – безрозмірний коефіцієнт засвоєння субстрату; p – відносна швидкість надходження субстрату, дб$^{-1}$; γ – коефіцієнт швидкості перетворення живильних речовин субстрату в біогаз, м^3/(дб. кг/м^3)·; a і b – емпіричні коефіцієнти, м^3/кг; Для зручності можна позначити зміну об'єму газу на виході як швидкість виходу біогазу:

$$w = \frac{dV}{dt} = \gamma \cdot X \quad . \tag{2}$$

Відносна швидкість надходження субстрату може бути порахована формулою:

$$p = \frac{1}{Q} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad , \tag{3}$$

де: Q – об'єм субстрату в метантенку (можливо, що рівний об'єму метантенку), м^3; dQ/dt – абсолютна швидкість надходження субстрату, м^3/дб.

Значення коефіцієнтів моделі для мезофільного середовища при періодичному режимі роботи апарату для свинячого гною показані в табл. 1.

По рівняннях математичної моделі (1 – 3) створюємо динамічну імітаційну модель в середовищі Simulink MATLAB, дивись рис..1. При створенні імітаційної моделі замість третього диференціального рівняння системи рівнянь (1) використаємо рівняння для знаходження виходу газу w (2).

1. Значення коефіцієнтів моделі

№ п/п	Коефіцієнт	Надходження сировини із свиноферми
1	$\mu 1$	0.484
2	$\mu 2$	0.100
3	a	30.187
4	b	21.253
5	β	7.844
6	γ	0.751

Для моделювання вибираємо такі дані. Час моделювання t беремо 30 діб, від 0 до 30.

Початкові значення для концентрації живильних речовин субстрату беремо: L_0 = 90 кг/м^3, а X_0 = 1.1 кг/м^3, V_0 = 0. Інші дані беремо для посліду пташника.

Для періодично діючого апарату беремо значення p = 0,0. Для безперервно діючого апарату вибираємо значення відносної швидкості надходження субстрату p – 0,08; 0,14 і 0,2.

Проведемо дослідження процесу утворення метану з гною свиней протягом 30 діб роботи апарату БГУ при різних значеннях відносної швидкості надходження субстрату p.

Виведемо графіки зміни концентрації живильних речовин субстрату L (кг/м^3) і швидкість виходу біогазу (м^3/дб).

За даними графіків виходу біогазу w (рис. 2 – 5) з інтервалом 2 доби побудуємо таблиці виходу біогазу при 4-х значеннях p. При підрахунку інтегрального значення для кожної доби користуємося формулою:

$$W = \sum_{i=0}^{N/2-1} 2 \cdot w_i \ , \tag{4}$$

де N – кількість діб роботи БГУ, по варіанту, w_i – вихід біогазу по даних графіка.

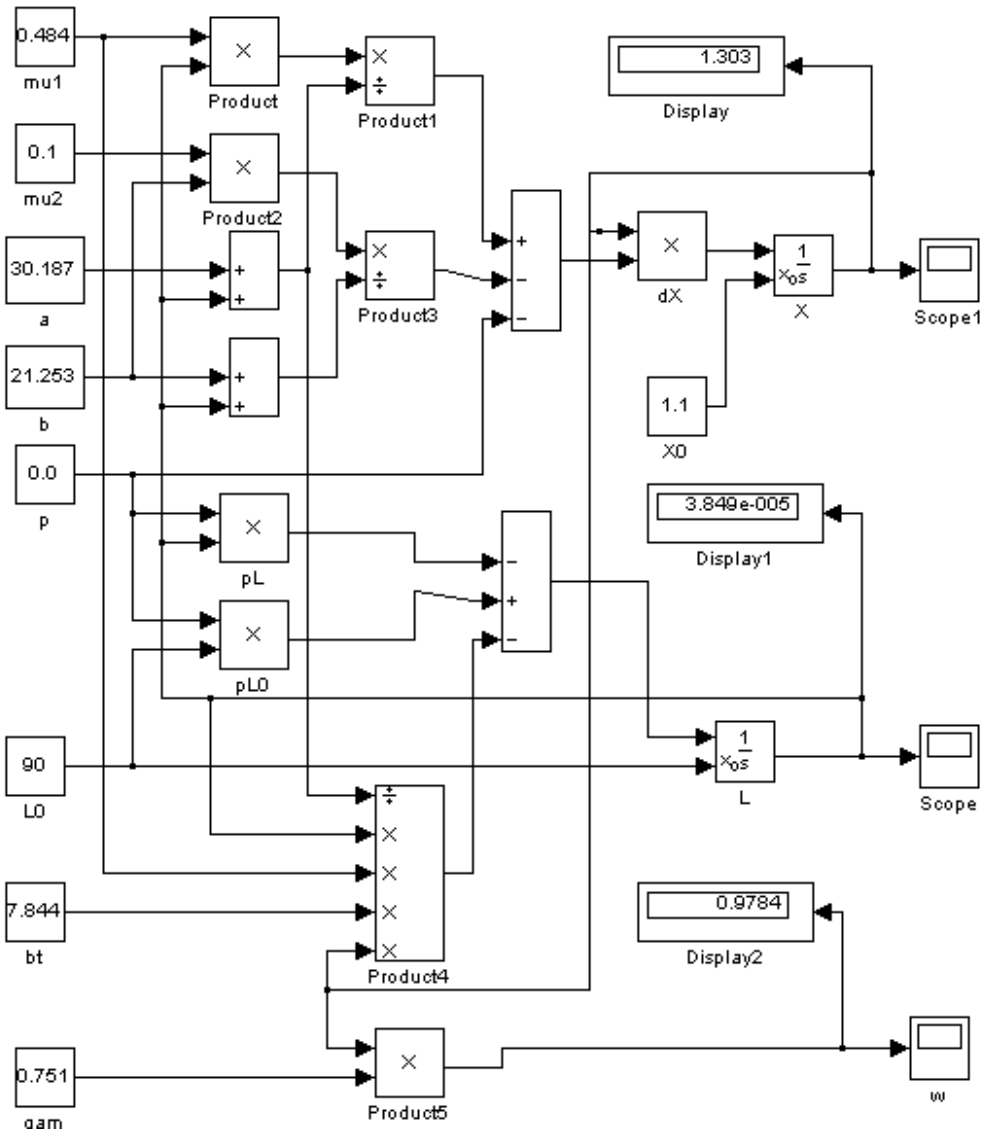

Рис. 1. Імітаційна модель метаногенеза на Simulink MATLAB

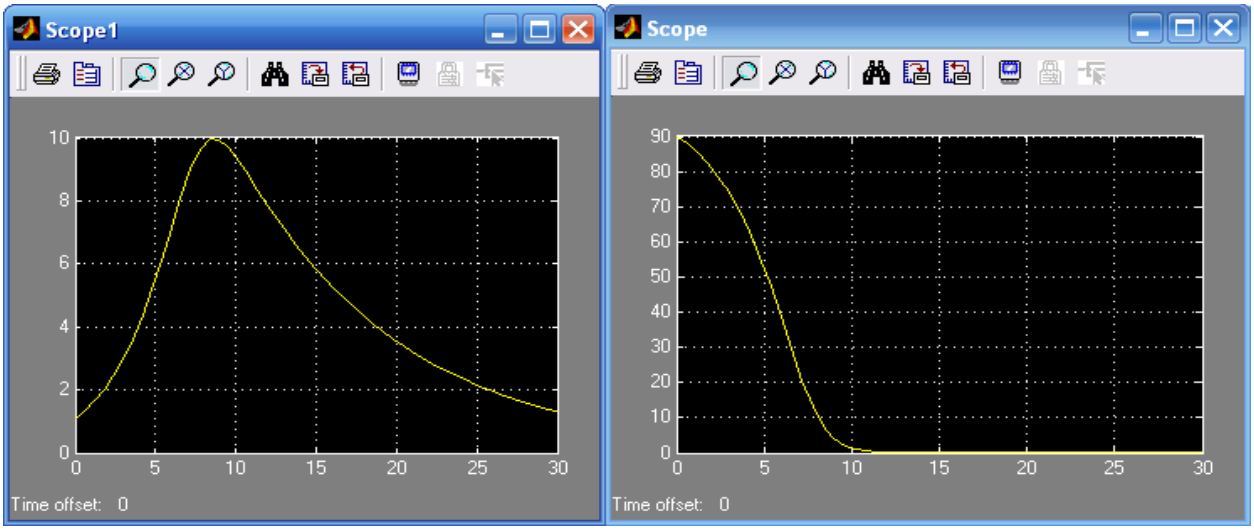

Рис. 2. Значення *w* і *L* для періодично діючого апарату при *p* = 0

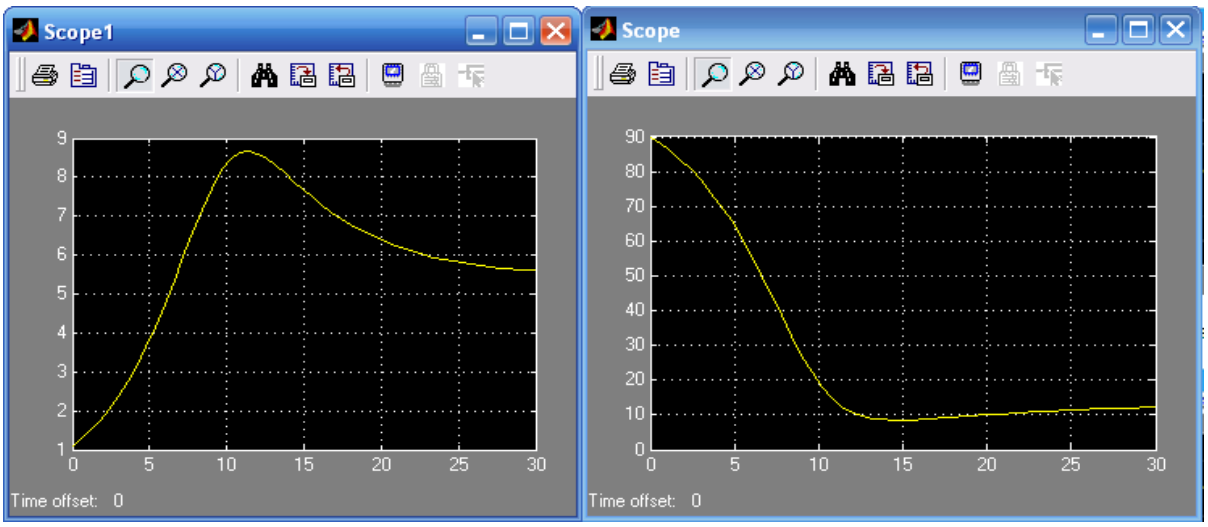

Рис. 3. Значення *w* і *L* для безперервно діючого апарату при *p* = 0,08

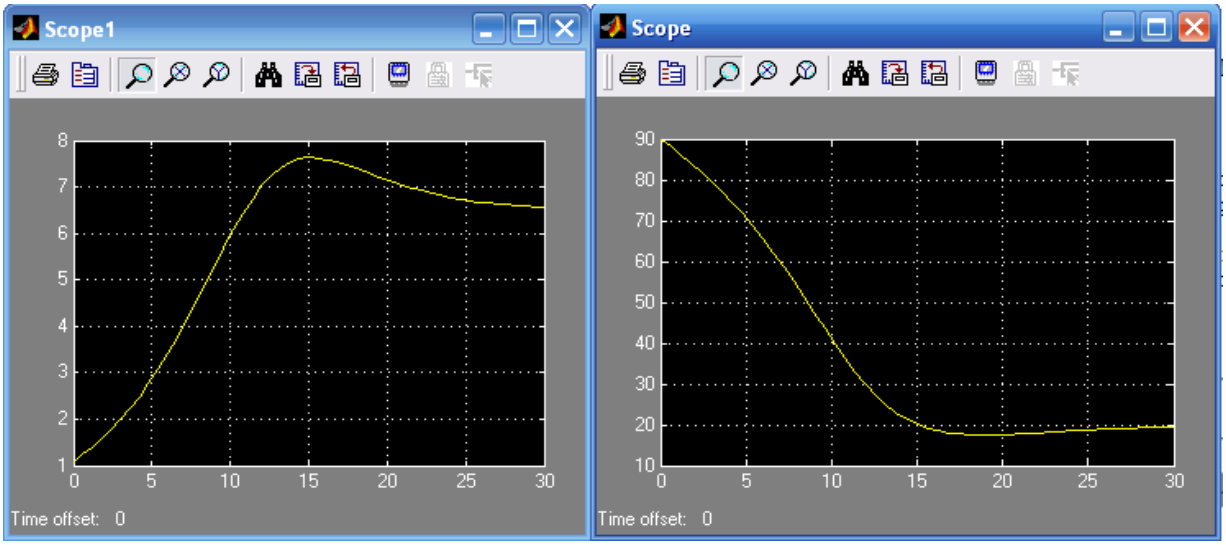

Рис. 4. Значення *w* і *L* для безперервно діючого апарату при *p* = 0,14

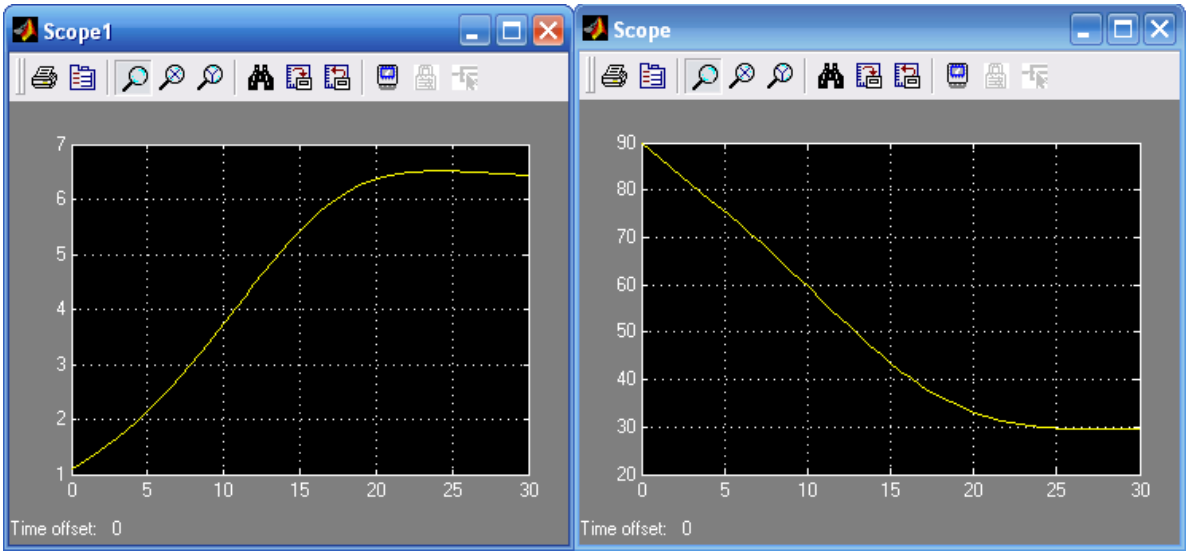

Рис. 5. Значення *w* і *L* для безперервно діючого апарату при p = 0,2

2. Інтегральний вихід біогазу при різних значеннях *p*

p	Вихід біогазу на день досліду														
	1	3	5	7	9	1	13	15	7	9	1	3	5	27	9
0	2.6	7.4	18.4	33	52	70	3.4	94.8	104.8	112.4	18.8	24	28.4	132	35
0,08	2.4	6.6	14	24.4	40.4	57.4	74	89.2	103.2	116.2	128.6	140.4	152	163.4	174.6
0,14	2.4	6.2	11.8	18.8	30.2	42.6	57.6	72.8	87.8	102.2	116.2	129.8	141.4	152.8	164
0,2	2.4	5.6	11	18.2	26.2	35.6	46.4	58	70.6	83.4	96.4	109.6	122.8	136.1	149.1

Будуємо графіки інтегрального виходу біогазу при різних значеннях *p* з використанням ППП MathCad.

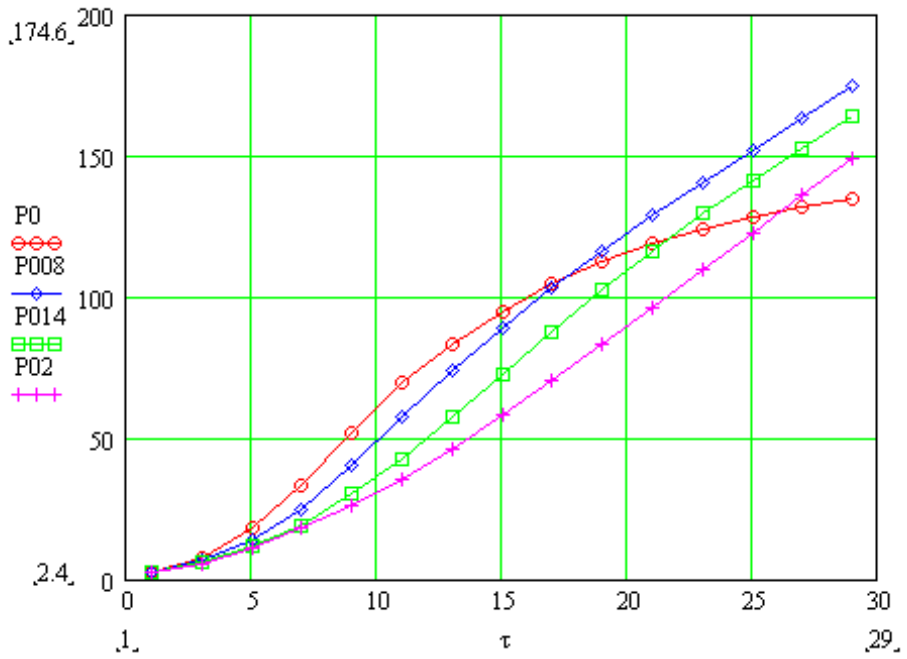

Рис. 6. Інтегральний вихід біогазу при різних значеннях *p*

Для цього об’єкта створено програмне забезпечення в середовищі LabVIEW, що також дозволяє відпрацьовувати створені проекти в діючих установках. Проект системи в LabVIEW дозволяє відпрацьовувати процес з створеним віртуальним приладом. На фронтальній панелі передбачено візуалізацію роботи системи, що наведено на рис. 7.

Рис. 7. Фронтальна панель проекту LabVIEW

Висновки і перспективи (Discussion). На імітаційній моделі визначено, що за перші 30 діб роботи безперервно діючого апарату БГУ при збільшенні відносної швидкості надходження субстрату гною свиней від 0,08 до 0,2 інтегральне значення виходу газу має найбільше значення 174.6 м^3 при p = 0,08. Інтегральна інтенсивність виходу газу за перші 15 діб в періодично-діючому апараті більша ніж у безперервно діючому.

Список літератури

1. Королев С.А. Исследование стационарных решений и оптимизация параметров на математической модели метаногенеза [Текст] / Королев С.А., Майков Д.В., Русяк И.Г. // Вестник Томского государственного университета, Математика и механіка. – 2012. – 3(19). С.15 – 21.

2. Топаж А.Г. Имитационная модель процесса производства биогаза из многокомпонентного растительного сырья. Анализ и параметрическая оптимизация [Текст] / Топаж А.Г., Вигонт В.А., Хворова Л.А // Химия растительного сырья. – 2018. – 1. С. 171 – 184.

References

1. Korolev, S.A., Majkov, D.V., Rusyak, I.G. (2012). Issledovanie staczionarny`kh reshenij i optimizacziya parametrov na matematicheskoj modeli metanogeneza [Research of stationary solutions and optimization of parameters on a mathematical model of methanogenesis]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Matematika i mekhani`ka. 3, 15 – 21.

2. Topazh, A.G. (2018). Imitaczionnaya model` proczessa proizvodstva biogaza iz mnogokomponentnogo rastitel`nogo sy`r`ya. Analiz i parametricheskaya optimizacziya [A simulation model of the biogas production process from multicomponent plant materials. Analysis and parametric optimization]. Topazh A.G., Vigont V.A., Khvorova L.A // Khimiya rastitel`nogo sy`r`ya. 1, 171 – 184/

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАНОГЕНЕЗА НАВОЗА СВИНЕЙ В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ SIMULINK MATLAB

В. А. Мирошник, Т. И. Лендел, С. А. Шворов, Т.С. Давиденко

Аннотация. *Рассмотрен процесс метаногенеза навоза свиней в биогазовых установках. Определено, что для интенсификации процессов сбраживания используется кавитационная обработка субстрата, подогрев и перемешивание энергетических культур с оптимальной интенсивностью загрузки субстрата. Учитывая требования технологов, создана математическая модель метаногенеза навоза свиней в биогазовых установках. Математическую модель реализовано и проверено на имитационной модели использовав среды SIMULINK MATLAB, где математическая модель метаногенеза реализована на основе модели роста популяции бактерий Моно с учетом процесса отмирания, что задается уравнением Колпиков. Проведя исследования на данной имитационной модели определено, что за первые 30 дней работы непрерывно действующего аппарата биогазовой установки при увеличении относительной скорости поступления субстрата навоза свиней от 0,08 до 0,2 интегральное значение выхода газа имеет наибольшее значение 174.6 м^3 при относительной скорости поступления субстрата 0,08 . Для данного технологического процесса в программной среде LabVIEW разработан виртуальный прибор для проверки функционирования. В созданной среде выполнено визуализацию всех технологических факторов и предусмотрено сигнализацию контролирующих параметров. Разработанный программный проект можно проверить в производственных условиях.*

Keywords: *simulation model, biogas plant, research, control system, methanogenesis, gas.*

SIMULATION OF PIG MANUFACTURE METHANOGENESIS IN A BIOGAS PLANT USING SIMULINK MATLAB

V. Miroshnyk, T. Lendiel, S. Shvorov, T. Davidenko

Abstract. *The process of methanogenesis of pig manure in biogas plants is considered. It is determined that for intensification of fermentation processes cavitation*

treatment of substrate, heating and mixing of energy crops with optimum intensity of substrate loading is used. Taking into account the requirements of technologists, a mathematical model of pig manure methanogenesis in biogas plants was created. The mathematical model was implemented and tested on a simulation model using SIMULINK MATLAB environments, where the mathematical model of methanogenesis was implemented on the basis of the Mono bacterial population growth model, taking into account the extinction process given by the Kolpikov equation. Having conducted a study on this simulation model, it is determined that for the first 30 days of operation of a continuously operating apparatus of a biogas plant, with an increase in the relative flow rate of pig manure substrate from 0.08 to 0.2, the integral value of gas output is the highest 174.6 m^3 at the relative velocity of the substrate 0.08 . For this process, a virtual device for performance testing has been developed in LabVIEW software environment. In the created environment visualization of all technological factors is performed and signaling of control parameters is provided. The developed software project can be tested in production conditions.

Key words: ***simulation model, biogas plant, research, control system, methanogenesis, gas***