

**ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА LabVIEW У МОДЕЛЮВАННІ
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ****С. А. Сергієнко, В. В. Никифоров, Т. О. Бедрій, О. В. Новохатько, С. В. Дігтяр**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: lady.mouse123@gmail.com**Т. Ф. Козловська**Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету
вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна. E-mail: kozlovskaya5819@gmail.com

Проведено дослідження ферментативних реакцій біометаногенезу, вивчення технологічних умов виробництва біогазу із синьо-зелених водоростей та контроль за дотриманням необхідних режимів. Здійснено моделювання біометаногенезу з відображенням на віртуальному лабораторному стенді у середовищі LabVIEW з відповідною розробленою системою автоматизації та управління. Основою комплексу є математична модель Конто метаногенезу відходів сільськогосподарських ферм великої рогатої худоби, для якої визначені унікальні коефіцієнти щодо ферментації біомаси синьо-зелених водоростей. Використані дослідження включають аналітичні та експериментальні методики з використанням сучасного контрольно-вимірювального обладнання. Розроблено проект біогазового комплексу з трьома технологічними лініями для ферментації суміші субстратів – відходів міських очисних споруд, агрогенних решток, біомаси синьо-зелених водоростей у період активного цвітіння водосховищ дніпровського каскаду. Оцінено параметри та об'єми одержаного біогазу. Розглянуто та встановлено підхід до вирішення низки основних екологічних проблем, а саме утилізації відходів, очищення води, попередження забруднення атмосферного повітря.

Ключові слова: метаногенез, ціанобактерії, гідробіонти, віртуальний комплекс, математична модель метаногенезу.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ LabVIEW В МОДЕЛИРОВАНИИ
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ****С. А. Сергиенко, В. В. Никифоров, Т. О. Бедрий, О. В. Новохатько, С. В. Дегтяр**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: lady.mouse123@gmail.com**Т. Ф. Козловская**Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета
ул. Победы, 17/6, г. Кременчуг, 39605, Украина. E-mail: kozlovskaya5819@gmail.com

Проведены исследования ферментативных реакций биометаногенеза, изучены технологические условия производства биогаза из сине-зеленых водорослей и контроль по поддержанию необходимых режимов. Осуществлено моделирование биометаногенеза путем отображения на виртуальном лабораторном стенде в графической среде LabVIEW с разработкой соответствующей системы автоматизации и управления. Основой комплекса является математическая модель Конто метаногенеза отходов сельскохозяйственных ферм крупного рогатого скота, для которой определены уникальные коэффициенты ферментации биомассы сине-зеленых водорослей. Проведенные исследования включают аналитические и экспериментальные методики с использованием современного контрольно-измерительного оборудования. Разработан проект биогазового комплекса с тремя технологическими линиями для ферментации смеси субстратов – отходов городских очистных сооружений, агрогенных остатков, биомассы сине-зеленых водорослей в период активного цветения водохранилищ днепровского каскада. Оценены параметры и объемы образующегося биогаза. Рассмотрен и установлен подход к решению ряда основных экологических проблем, а именно утилизации отходов, очистки воды, предупреждения загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: метаногенез, цианобактерии, гидробионты, виртуальный комплекс, математическая модель метаногенеза.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Прогнозоване вичерпання основних видобувних енергоносіїв у найближчі 40–50 років, отримання енергії з відновлювальних ресурсів є однією з найбільш обговорюваних тем в Європі та в усьому світі. Розвиток біогазових технологій має комбінований позитивний ефект, що включає енергетичний, екологічний та соціальний аспекти, сприяє відродженню родючих земель [1]. Це пов'язано з тим, що останніми 50–60 років відбувалось безконтрольне вичерпання різноманітних природних ресурсів. Відсутність раціонального підходу до енерговикористання та енергопостачання призвела до необхідності пошуку альтер-

нативних джерел енергії.

Утворення, накопичення, зберігання відходів агропромислового комплексу (АПК), складування твердих і рідких побутових відходів комунального сектора призвели до збільшення рівнів забруднення компонентів навколишнього природного середовища, зростання ступенів відповідних ризиків для здоров'я людини. Це пов'язано з утворенням метану в результаті біологічного розкладання відходів, який належить до парникових газів [2, 3]. Одночасно з надходженням до атмосферного повітря метану, небезпеку для навколишнього середовища становлять викиди супутніх шкідливих речовин (амоніак,

гідрогенсульфур, нітроген- і сульфуроксиди та ін.), які викликають забруднення значних територій навколо місць накопичення відходів. Слід також відзначити проблеми, пов'язані з поширенням неприємних запахів і займанням метану на звалищах і полігонах твердих побутових відходів з утворенням діоксинів, бензпіренів і інших канцерогенних речовин.

На сьогоднішній день найбільш доцільним способом переробки органічних відходів залишаються біогазові технології, в яких реалізується контрольований процес анаеробного зброджування [4–6]. У результаті їх використання з'являється можливість, окрім біогазу, отримувати цілий спектр дорогих і важливих продуктів без нанесення шкоди екологічному стану середовища: тепло від охолодження генератора або від спалювання біогазу; електрика (з 1 м³ біогазу можна виробити 2 кВт електроенергії); утилізація органічних відходів; вирішення екологічних проблем – дозволяє запобігти викидам метану в атмосферу, знизити застосування хімічних добрив, скоротити навантаження на ґрунтові води [1].

Наявні ресурси біомаси на планеті свідчать про глобальні можливості виробництва біогазу, але незначна частина потенційної енергії в даний час використовується і тому фактичне виробництво біогазу може бути значно збільшено. У 2012 році в Європі в експлуатації знаходилося 5900 установок потужністю 2300 МВт, причому до кінця 2018 року їх кількість зросте до 12400 установок (5800 МВт). В Європі потенційні поставки первинної енергії з біогазом становлять близько 1 ТВт_{рік} (3600 ТДж) в розрахунку на один млн чоловік [1, 2].

Реалізація біогазового потенціалу можлива з використанням трьох основних груп сировини: відходів і побічної продукції АПК і харчової переробної промисловості; відходів комунального господарства міст – органічної фракції твердих побутових відходів, стічних вод та їх осадів; надлишкової біомаси синьо-зелених водоростей (СЗВ).

У зв'язку із зазначеним вище актуальним є виробництво біогазу з поновлюваних джерел і вирішення екологічних проблем, пов'язаних з утилізацією та переробкою відходів міських очисних споруд, підприємств харчової промисловості, аграрно-промислового комплексу та надлишкової біомаси СЗВ на основі технологій біоенергетики.

Метою роботи є розробка проекту біогазової станції на комплексному субстраті із системою автоматизації та управління біотехнологічними процесами у середовищі LabVIEW.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Задля досягнення поставленої у роботі мети на кафедрі біотехнологій та біоінженерії Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського у лабораторії екологічної біотехнології та біоенергетики було одержано біогаз шляхом розкладання органічних речовин (біомаси) під впливом метаногенних мікроорганізмів, які в значній кількості містяться в біомасі СЗВ. Ця група бактерій характеризується незвичайним шляхом отримання енергії, унікальними кінцевими продуктами метаболізму

(катаболізму): CH₄ і CO₂. Процес розкладання проводили в біореакторах (метантенк, ферментатор, дайджестер) в анаеробних умовах при 30–36 °С (мезофільний режим) або 55–60 °С (термофільний режим) (рис. 1).

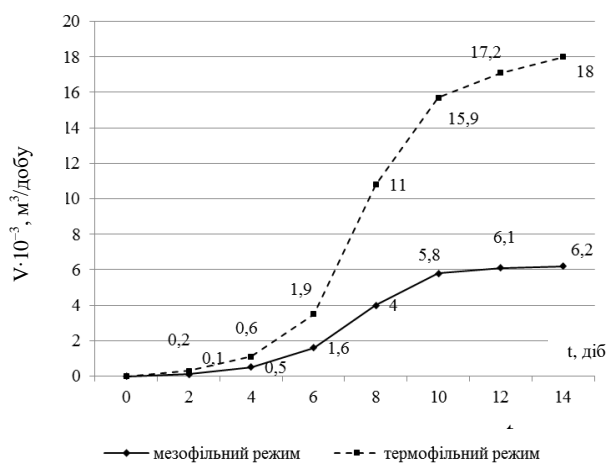


Рисунок 1 – Вихід біогазу в мезофільному і термофільному режимах

Шляхом розрахунків матеріального балансу біотехнологічних процесів для різних видів сировини для одержання біогазу було визначено, що найбільшу кількість можна одержати в мезофільному режимі з відходів міських очисних споруд, потім – із СЗВ і стічних вод молокозаводів. Агрогенна фітомаса та листовий опад потребують термофільного режиму для переробки на біогаз і дають біля 5 % від загальної кількості одержаного біогазу (табл. 1).

Таблиця 1 – Вихід метану з різних видів сировини з розрахунку на рік [3]

Субстрат для ферментації	Об'єм субстрату, тис. т	Вихід CH ₄ , млн м ³
Відходи міських очисних споруд	55,2	0,95
Синьо-зелені водорості	12,5	0,37
Стічні води молокозаводу	12,7	0,29
Агрогенна фітомаса	5,0	0,25
Листовий опад	2,4	0,15
Всього:	87,8	2,01

З урахуванням викладеного вище було розроблено проект біогазової станції (рис. 2) із застосуванням комплексного субстрату, зазначеного табл. 1.

Субстрат накопичується в ємності збору та гомогенізація рідкої органічної речовини 1, гною та фекальних стоків 2 та ємність збору біомаси ціанобактерій 3. Максимальна величина наповнення визначається регуляторами рівня 8 та регуляторами відхилення 9. Насосом 14 завантажується необхідна кількість сировини що регулюється датчиком наповнення 11 у ферментер 4.

Режим роботи установки безперервний з автоматичним регулюванням температури 30–37 °С (мезо-

фільний режим), що визначаються датчиками температур 16 за рахунок системи підігріву ферментера 15. Для запобігання появи осаду та утворення кірки встановлені мішалки грабельного типу 18. Встанов-

лений запобіжник перевищення тиску 12 в разі аварійних ситуацій. Утворений газ збирається в реакторі над субстратом і за допомогою насоса 14 відводиться у газгольдер 6 для зберігання.

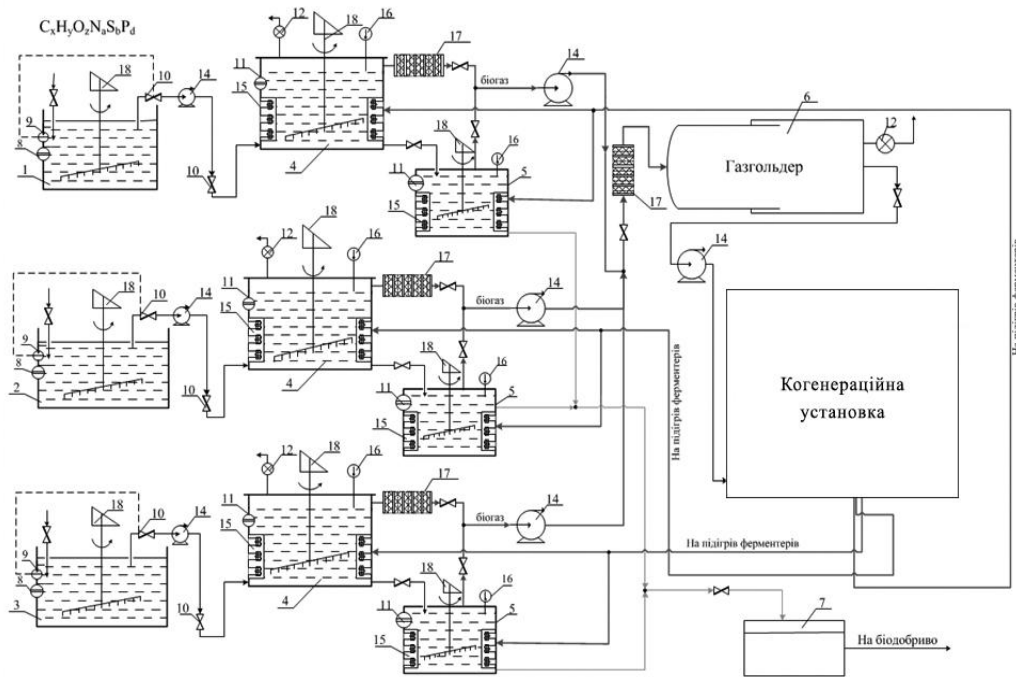


Рисунок 2 – Технологічна схема біогазової станції на комплексному субстраті: 1 – ємність збору та гомогенізації рідкої органічної сировини; 2 – ємність збору та гомогенізації гною та фекальних стоків; 3 – ємність збору та гомогенізації ціанобактерій; 4 – ферментер; 5 – ферментер доброджування; 6 – газгольдер; 7 – збірник дигестату; 8 – регулятор рівня; 9 – регулятор відхилення; 10 – клапан регулювання подачі сировини; 11 – датчик наповнення ферментеру; 12 – запобіжник перевищення тиску; 13 – ферментер доброджування; 14 – насоси; 15 – підігрів ферментерів; 16 – датчики температури; 17 – фільтри; 18 – мішалки; 19 – когенераційний блок

Біогаз, що утворюється проходить подвійну очистку у фільтрі 17, що складається з суміші ферум оксиду та дерев'яної стружки. Зброджена сировина з ферментеру 4 відливається у ферментер доброджування 5, що ідентичний ферментеру 4, але процес проходить у термофільному режимі (50–60 °С). Відпрацьований субстрат надходить до збірника дигестату 7, звідки направляється на переробку на біодобриво.

З газгольдеру 6 насосом 14 біогаз потрапляє до когенераційного блоку 19. Утворена електроенергія по теплопроводу потрапляє на підігрів ферментерів 4 та ферментерів доброджування 5. Вихід біогазу залежить від кількості завантаженого субстрату, температурних параметрів і часу ферментації (табл. 1).

Основними технологічними параметрами, спрямована зміна яких може істотно підвищити ефективність процесу збродження, є температура; час перебування біомаси в метантенку (тривалість збродження); навантаження за органічною (сухою беззольною) речовиною; концентрація завантаженого осаду; режим завантаження; перемішування вмісту метантенка [7]. Істотний вплив на показники збродження надає також такий відносно стабільний параметр, як межа розпаду щодо газу, який залежить від хімічного складу осаду. Конкретні значення межі розпаду корелюють з кількістю біорозк-

ладених органічних речовин в осаді, так як саме вони повністю перетворюються на біогаз.

Оптимальними температурами для анаеробного метанового збродження вважаються в психрофільній зоні 15–17 °С, у мезофільній 33–37 °С і в термофільною 53–55 °С (рис. 1). Однак є дані, що температурні оптимуми під час збродження різних органічних субстратів зсуваються на кілька градусів у бік зменшення або збільшення.

Слід зазначити, що одним з ключових чинників будь-якого мікробіологічного процесу є час перебування мікроорганізмів у середовищі (час утримання). Для забезпечення ефективного розкладання складних органічних речовин до CH_4 і CO_2 необхідно, щоб мікроорганізми перебували в достатній кількості, а час їх перебування в середовищі було достатнім для забезпечення метаболізму субстрату і при цьому не відбувалося вимивання бактерій [8].

Час перебування по суті є відношенням об'єму осаду в реакторі до обсягу завантаженого (вивантаженого) осаду за добу. Для звичайних метантенків, що працюють за принципом реакторів-змішувачів з однорідною концентрацією мулової суміші, що дорівнює концентрації суміші в вивантаженому осаді, час перебування відповідає гідравлічному часу перебування, тобто часу перебування в реакторі всієї

мулової суміші. Зниження вологості за завантаження в метантенк осаду при одному і тому ж часі перебування забезпечує збільшення навантаження і, навпаки, при одному і тому ж навантаженні збільшується тривалість зброджування. Під час зброджування осаду однієї і тієї ж вологості збільшення навантаження призводить до відповідного зниження тривалості зброджування. Під час видалення з опадів вологи і відповідному підвищенні їх концентрації відбувається збільшення їх зольності внаслідок видалення з надосадовою рідиною або фугатом частини органічних речовин. Із збільшенням зольності осаду знижується практична межа розпаду, а при збільшенні зольності до 76,7 % зброджування практично припиняється [9].

Характер взаємозалежності параметрів d і τ , де навантаження d характеризує масу органічної речовини субстрату, який завантажується за одну добу в метантенк об'ємом 1 м^3 , а тривалість зброджування τ – гідравлічний час перебування осаду в метантенку, за добу, може бути описаний виразом:

$$S = d \cdot \tau, \quad (1)$$

де S – концентрація сухої беззольної (органічної) речовини в осаді, що завантажується в метантенк, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Від параметрів S , d і τ залежать основні технологічні показники процесу – розпад органічної речовини і вихід біогазу. Зміна кількості води в субстратах може також безпосередньо впливати на показники анаеробного зброджування. За надмірно низької (менше 91 %) і за підвищеної (понад 97 %) вологості в традиційному процесі зброджування рідких опадів відбуваються порушення, що призводять до зниження виходу біогазу.

Згідно із сучасними уявленнями математичний опис будь-якого мікробіологічного процесу, у тому числі анаеробного зброджування, і його розрахунок має базуватися на адекватній кінетичній моделі.

Під час досліджень використані такі методи.

1) Метод визначення елементного складу біомаси. Вимірювання масової частки (%) основних хімічних елементів у сухій біомасі проводиться за допомогою рентгенофлюоресцентного аналізатора (РФА) EXPERT 3L [10]. У ньому реалізована методика енергодисперсійного елементного аналізу. Вона полягає в ініціації характеристичного випромінювання атомів проби фотонів гальмівного спектра малої потужності рентгенівської трубки з подальшою його реєстрацією напівпровідниковим PIN-детектором. Основні параметри РФА EXPERT 3L [10]:

- діапазон вимірювань хімічних елементів (діапазон контролю) – від магнію (^{12}Mg) до урану (^{92}U);
- діапазон виміру масових часток (концентрацій) елементів – від 0,01 до 99,90 %;
- час виходу установки на робочий режим – не більше 5 хв.;
- температура навколишнього повітря – від +15 до +45 °C;
- відносна вологість – не більше 80 % у всьому діапазоні температур;
- потужність еквівалентної дози рентгенівсь-

кого випромінювання на поверхні приладу не перевищує 74 нЗв/ч.

2) Метод визначення хімічного складу біогазу – метод газової хроматографії. Дослідження кількісних показників динаміки бродіння здійснювались шляхом вимірювання кількості утворення біогазу за одиницю часу [11, 12].

3) Методи очищення отриманого клар-газу. Первинна загальна очистка біогазу від водяної пари відбувається при охолодженні до рівня температури навколишнього середовища в газгольдері й трубопроводах. Розташування трубопроводу має сприяти стіканню конденсату в ферментер або сепаратор для конденсату. Шляхом охолодження біогазу за допомогою холодильного агрегату можна виводити воду та шкідливі гази.

Для використання метану, що міститься в біогазі, необхідно переробити біогаз у багатостадійному процесі для видалення небажаних речовин. Звичайні етапи процесу, які здійснюються роздільно, включають зневоднення, десульфурацію і видалення карбон двооксиду та амоніаку.

Можна приймати такі заходи з очищення від Сульфору:

1) хіміко-фізичні методи – додавання в бродильний субстрат солей Феруму; адсорбування ферумвмісними субстратами (сухий фільтр); фільтрація активованим вугіллям;

2) біологічний метод;

3) комбінований метод.

Карбон двооксид, так само, як і невеликі кількості гідроген сульфур, видаляється фізичними чи хімічними засобами, наприклад, очищенням напором води, мембранними процесами, процесом Sel-exol (під високим тиском), адсорбцією з коливаннями тиску або аміновим очищенням. Деякі з цих способів також видаляють воду або амоніак [13–15]. Більшість з вищевказаних способів є енергомісними й призводять до втрат метану.

Очищення біогазу від вологи полягає в його охолодженні. Це досягається при пропусканні біогазу по підземній трубі для конденсації вологи за більш низьких температур. Коли газ знову підігрівается, вміст вологи в ньому суттєво зменшується. Таке висушування біогазу особливо корисне для лічильників сухого газу, оскільки вони згодом обов'язково заповнюються вологою.

Найбільш простим і економічним способом очищення біогазу від гідроген сульфур є суха очистка в спеціальному фільтрі. Як абсорбер застосовується металева «губка», що складається із суміші ферум оксиду та деревної стружки. За допомогою $0,035 \text{ м}^3$ металевої губки з біогазу можна вилучити 3,7 кг сірки. Для регенерації губки її необхідно потримати деякий час на повітрі. Оксид цинку також є ефективним абсорбентом гідроген сульфур, причому ця речовина має додаткові переваги: абсорбує також органічні сполуки Сульфур (карбоніл, меркаптан тощо).

У літературі наводиться безліч моделей, що описують різні біотехнологічні процеси, в тому числі і метаногенеза. Так, швидкість приросту концентрацій мікроорганізмів, залежно від концентрації суб-

страгу, може бути описана моделями Моно, Мозера, Конто і ін. [16, 17]. При цьому передбачається, що інтенсивність перемішування дозволяє знехтувати просторовою неоднорідністю концентрацій. Також передбачається, що концентрація відповідних бактерій у субстраті, що подається мала, тому її значенням можна знехтувати. Швидкість утворення біогазу задавалася прямо пропорційною концентрації бактерій. Особливістю заданої математичної моделі є унікальні коефіцієнти для метаногенезу СЗВ: $L=16 \text{ кг/м}^3$; $X = V$; $V = 1 \cdot 10^{-3}/\text{добу}$, що отримані експериментальним шляхом у лабораторії екологічної біотехнології та біоенергетики Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= \left(\frac{\mu_1}{a+L} - \frac{\mu_2}{b+L} - p \right) X \\ \frac{dL}{dt} &= pL_0 - pL - \frac{\beta\mu_1 L}{a+L} X \\ \frac{dV}{dt} &= \gamma X(t) \end{aligned} \quad (2)$$

з початковими умовами $X(0) = X_0$, $L(0) = L_0$, $V(0) = V_0 = 0$, де X – концентрація бактерій, кг/м^3 ; L – концентрація поживних речовин субстрату, засвоєваних бактеріями, кг/м^3 ; V – вихід біогазу, м^3 ; μ_1 і μ_2 – максимально можливі відносні швидкості відповідно приросту і відмирання бактерій, доб^{-1} ; β – безрозмірний коефіцієнт засвоєння субстрату; p – відносна швидкість надходження субстрату, доб^{-1} ; γ – коефіцієнт швидкості перетворення поживних речовин субстрату в біогаз, $\text{м}^3/(\text{добу} \cdot \text{кг/м}^3)$; a і b – емпіричні коефіцієнти, $\text{м}^3/\text{кг}$ [16–18].

Графічне відображення розв’язання системи рівнянь математичної моделі під час застосуванні біомаси синьо-зелених водоростей як джерела біогазу наведено на рис. 3.

Аналіз кривих свідчить, що максимального виходу біогазу можна досягти за ферментаційний період – 25 діб.

Отже, на підставі моделювання створені умови для відслідковування процесу біотрансформації за основними технологічними параметрами утворення біогазу:

- температура;
- час перебування біомаси в метантенку (тривалість зброджування);
- навантаження за органічною (суха беззолна) речовиною;
- концентрація завантаженого осаду;
- режим завантаження;
- перемішування вмісту метантенка.

Істотного впливу на показники зброджування надає також такий відносно стабільний параметр, як межа розпаду щодо газу, який залежить від хімічного складу осаду. Конкретні значення межі розпаду корелюють з кількістю біорозкладених органічних речовин в осаді, так як саме вони повністю перетворюються на біогаз.

У ході складання матеріального балансу процесу біометаногенезу розраховані та визначені основні

параметри метантенків для реалізації роботи біогазової станції (рис. 4, табл. 2).

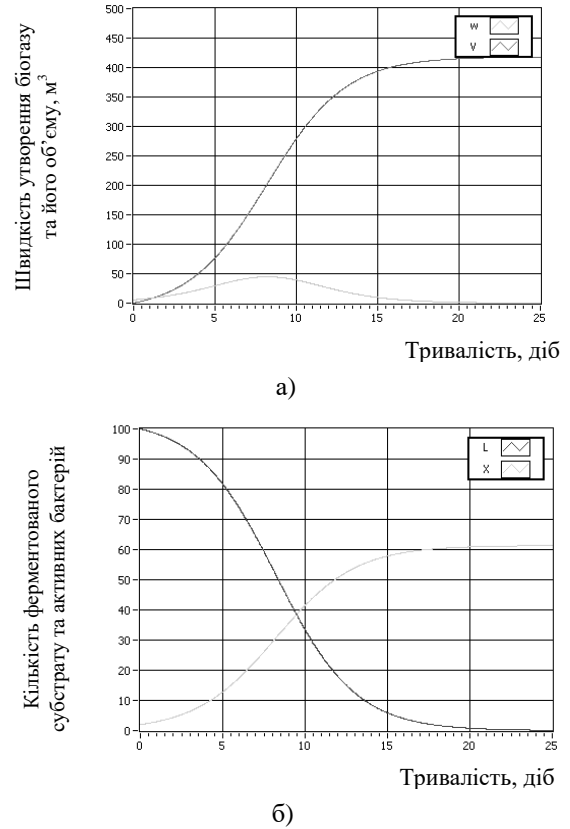


Рисунок 3 – Графіки залежності швидкості утворення біогазу (W) та його об’єму (V) (а); зміни кількості ферментованого субстрату (L) та активних бактерій (X) (б) залежно від тривалості ферментації за температури 20°C

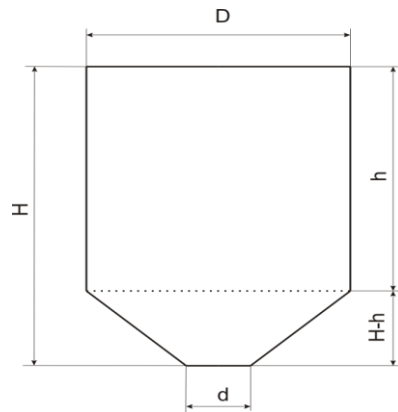


Рисунок 4 – Схема форми реактора

Таблиця 2 – Геометричні розміри камери бродіння реактора

Геометричні показники, м	Метантенк першої та третьої лінії	Метантенк другої лінії
$x = H$	25,64	17,15
D	19,23	12,86
$H - h$	6,41	4,29
h	19,23	12,86

Отримані експериментальні дані дозволили створити систему управління та автоматизації výro-

бництва біогазу на основі математичної моделі у програмі LabVIEW.

Взаємодія користувачів з прикладним програмним забезпеченням, що входить до складу системи здійснюється за допомогою візуального графічного інтерфейсу.

Система має забезпечувати коректну обробку аварійних ситуацій, викликаних помилковими діями користувачів, неправильним форматом або недопустимими значеннями вхідних даних (табл. 3).

Таблиця 3 – Елементи, що використовувалися при створенні віртуального комплексу

Елемент	Функція
1	2
<i>Задаючі впливи</i>	
Zadan_T1	завдання на температуру сировини у ферментері, °C;
Zadan_T2	завдання на температуру сировини у доброджувачі, °C;
Zadan_C	завдання часу циклу, дні;
Zadan_V	завдання об'єму сировини для переробки, м ³ ,
<i>Елементи керування</i>	
regim	перемикач вибору режиму (циклічний або автоматичний);
Pusk	кнопку запуску процесу;
stop	кнопка зупинки процесу;
<i>Індикатори</i>	
Tank_V	об'єм сировини у вхідному баці, м ³ ;
Tank_F	об'єм сировини у ферментері, м ³ ;
Tank_D	об'єм сировини у доброджувачі, м ³ ;
Gaz_F	об'єм газу у ферментері, м ³ ;
Gaz_D	об'єм газу у доброджувачі, м ³ ;
Gaz_G	об'єм газу у газгольдері, м ³ ;
T1	температура сировини у ферментері, °C;
T2	температура сировини у доброджувачі, °C;
Kl_v_vh	клапан запірний KZ1, вход у вхідному баці;
Kl_v_v	клапан запірний KZ2, виход у вхідному баці;
Kl_f_vh	клапан запірний KZ3, вход у ферментері;
Kl_d_vh	клапан запірний KZ5, вход у доброджувачі;
Kl_d_v	клапан запірний KZ7, виход у доброджувачі;
Kl_f_gaz	клапан запірний KZ4, виход газу з ферментера;
Kl_d_gaz	клапан запірний KZ6, виход газу з доброджувача;
Kl_g_gaz	клапан запірний KZ8, виход газу з газгольдера;
DU_v_v	датчик рівня DR1, верхній рівень у вхідному баці;
DU_v_n	датчик рівня DR2, нижній рівень у вхідному баці;
DU_f	датчик рівня DR3, верхній рівень у ферментері;
DU_d	датчик рівня DR3, верхній рівень у доброджувачі;

1	2
Av_F	аварійний клапан АК1 у ферментері;
Av_D	аварійний клапан АК1 у доброджувачі;
Av_G	аварійний клапан АК1 у газгольдері;
m_v	анімація мішалки M1 у вхідному баці;
m_f	анімація мішалки M2 у ферментері;
m_d	анімація мішалки M3 у доброджувачі;
<i>Індикація</i>	
t	поточний час циклу, дні;
end_cikl	кінець циклу;
cikl	циклічний режим;
avto	автоматичний режим;
Pusk_	процес запущено;
<i>Відображення результатів</i>	
WC_F_XL	графіки кількості активних бактерій (X) та поживної речовини (L) у ферментері;
WC_F_wV	графіки загального об'єму газу (V) та швидкості вироблення газу (w) у ферментері;
WC_D_XL	графіки кількості активних бактерій (X) та поживної речовини (L) у доброджувачі;
WC_D_wV	графіки загального об'єму газу (V) та швидкості вироблення газу (w) у доброджувачі;
Table Control	таблиця вихідних даних залежно від параметрів циклу і даних самого циклу
<i>Проміжні змінні</i>	
tt	час протікання автоматичного процесу;
ii	індикатор кількості замірів при циклічному режимі,
c1	додатковий флаг для розділення первинного процесу виключно у ферментері (без доброджувача) і подальшого сумісного процесу
zc	завдання на цикл;
zv	завдання на об'єм у ферментері;
zv2	завдання на об'єм у доброджувачі;

Для визначення порядку виконання програми шляхом організації її елементів у визначену послідовність використана відкрита структура послідовності Flat Sequence Structure. Такий підхід дає наступні переваги:

- усі кадри структури наочні та не приховують ділянки коду;
- дані передаються по тунелям, а не з локальних терміналів.

У першому кадрі виконується початкова ініціалізація індикаторів, очищення таблиці та графіків, приховування проміжних змінних та задання рівнів речовин у баках.

Вибір режиму реалізований за допомогою циклу за умовою While Loop, завдання початкових умов – структурою варіанту Case Structure. При виборі циклічного режиму роботи виконується перевірка на коректність початкових умов за допомогою

зовнішнього віртуального приладу. У разі їх невідповідності, програма видає відповідне повідомлення. При виборі автоматичного режиму роботи початкові умови задаються автоматично (рис. 5).

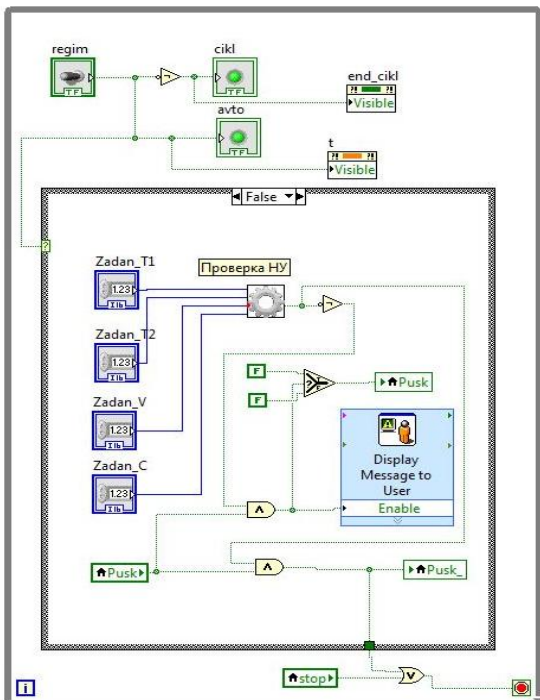


Рисунок 5 – Вибір режиму роботи станду та завдання початкових умов

Взаємодія користувачів з прикладним програмним забезпеченням, що входить до складу системи, повинна здійснюватися за допомогою візуального графічного інтерфейсу. Система повинна забезпечувати коректну обробку аварійних ситуацій, викликаних помилковими діями користувачів, неправильним форматом або недопустимими значеннями вхідних даних.

Для визначення порядку виконання програми шляхом організації її елементів у визначену послідовність використана відкрита структура послідовності Flat Sequence Structure. Такий підхід дає такі переваги, як усі кадри структури наочні та не приховують ділянки коду; дані передаються по тунелям, а не з локальних терміналів.

У першому кадрі виконується початкова ініціалізація індикаторів, очищення таблиці та графіків, приховування проміжних змінних та завдання рівнів речовин у баках. Наступний кадр відповідає за вибір режиму роботи станду та завдання початкових умов.

Робота програми продовжується при натисканні на кнопку «Пуск» або «Стоп» (рис. 6). Натискання на кнопку «Стоп» у будь-який момент роботи програми призводить до її завершення. Для цього реалізовані відповідні логічні умови в усіх циклах і структурах. Вибір режиму реалізований за допомогою циклу за умовою While Loop, завдання початкових умов – структурою варіанту Case Structure (рис. 5).

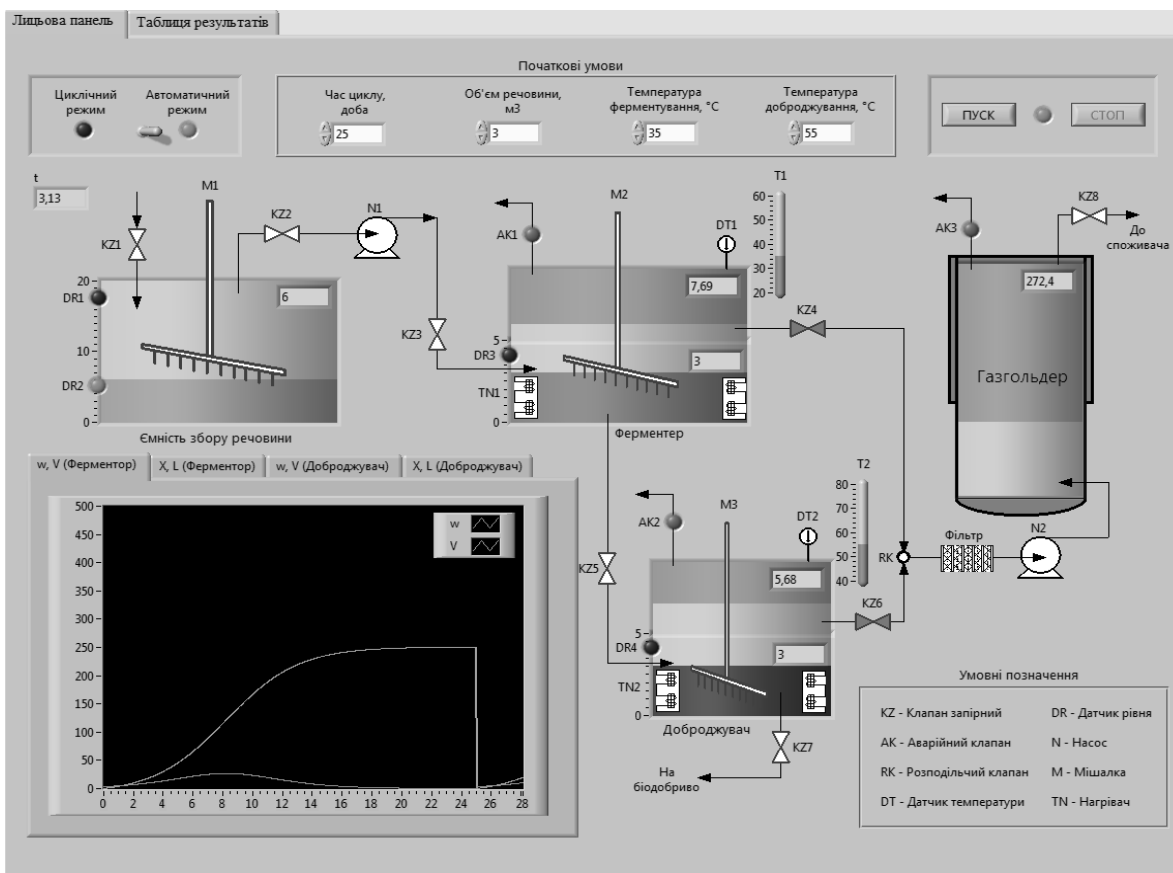


Рисунок 6 – Лицьова панель віртуального станду

На кожному кроці розрахунку програми кількість рідини у вхідній ємності зменшується, а у ферментері – збільшується на $0,2 \text{ м}^3$. При цьому проводиться перевірка на досягнення заданого рівня. Поки умова виконується, подається сигнал на включення індикаторів, що відповідають за стан запірних клапанів. Ефект роботи мішалки виконаний за допомогою елементу запам'ятовування попереднього стану відповідних локальних змінних. Імітація випорожнення або наповнення баків реалізується за допомогою локальних змінних. Якщо в процесі роботи програми вміст вхідної ємності знижується менше допустимого рівня, виконується наповнення вхідної ємності до максимально можливого рівня. При досягненні максимально або мінімально припустимих значень об'ємів речовини вмикається/вимикається відповідна індикація.

Аналогічна процедура виконується для доброджувача. Різниця полягає у температурному режимі, а також у скороченому вдвічі часу циклу. Після закінчення циклу рідину з доброджувача зливають для виробництва твердих органічних добрив (у стандарті не реалізовано).

Реалізація запису статистичних даних циклу у таблицю за допомогою елементу Table Control. Також на цьому етапі активуються поля для вводу початкових умов циклу.

ВИСНОВКИ. Створена трилінійна технологічна схема одержання біогазу на комплексному субстраті, а саме: відходів міських очисних споруд, стічних вод молокозаводу, агрогенної фітомаси, листового опаду, гною, фекальних стоків і забезпечення автоматичного управління виробничими процесами. При цьому основним субстратом запропоновано використання надлишкової біомаси гідробіонтів – СЗВ.

Змодельовано біотехнологічний процес ферментації із застосуванням графічного середовища LabVIEW, що дозволило розробити проект віртуальної біогазової станції з вибором оптимальних умов ферментації, необхідного обладнання, контрольно-вимірювальних приладів.

Визначені унікальні коефіцієнти відповідної математичної моделі та максимальний вихід біогазу, що можна досягти за ферментаційний період у 25 діб. Визначені якісні та кількісні фізичні показники цільового продукту досліджень – біогазу, що складається переважно з CH_4 і CO_2 (сумарно до 98–99 %) і до 2 % домішок, теплотворна здатність якого варіюється за різного субстрату. Визначені лімітуючі чинники зниження виходу біогазу та запропоновані заходи для досягнення постійно високого виробництва газу з невеликими щоденними коливаннями, що є першим знаком стабільності процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року : Розпорядження КМУ України від 01 жовтня 2014 р. № 902–р.

2. Никифоров В. В., Козловська Т. Ф., Малеваний М. С. Генезис створення екологічної небезпеки від евтрофікації поверхневих вод водосховищ Дніпровського каскаду та ефективна стратегія її мінімі-

зації. Сталий розвиток – XXI століття: управління, технології, моделі. Дискусії 2017 : колективна монографія ; за наук. ред. проф. Хлобистова Є. В. Київ, 2017. С. 420–429.

3. Сеитбеков Л. С., Нестеров Е. Б. Получение биогаза из отходов животного и растительного происхождения. Алматы, 2004. 25 с.

4. Куріс Ю. В. Температурні режими метаногенезу та технологічні схеми отримання біогазу. Запоріжжя, 2012. С. 39–47.

5. Садчиков А. В., Кокарев Н. Ф. Оптимизация теплового режима в биогазовых установках. *Фундаментальные исследования*. 2016. № 2–1. С. 90–93.

6. Шацький В. В., Скляр О. Г., Солодка О. О. Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь : ТДАТУ, 2013. Вип. 13, т. 3. С. 3–12.

7. Загірняк М. В., Никифоров В. В., Мальований М. С., Самешова Д., Козловська Т. Ф. і ін. Екологічна біотехнологія переробки синьо-зелених водоростей : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2017. 104 с.

8. Langergraber G., Rieger L., Winkler S., Alex J. A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants. *Wat. Sci. Tech.*, 2004. Vol. 50. P. 131–138.

9. Jørgensen P. J. Biogas – green energy. Process, design, energy supply, environment. *Faculty of Agricultural Sciences*. Aarhus, 2009. 36 p.

10. Mobile Expert 3L Precision Analyzer. URL: <http://inam.kiev.ua/expert-3l/> (дата звернення 28.11.2018).

11. Van Herle J. Biogas as fuel source for SOFC CO-generators. *Journal of Power Sources*. 2004. Vol. 127. P. 300–312.

12. Saheed O. Evaluating the biogas yield and design of a biodigester to generate cooking gas from human faeces. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. 2014. Iss. 25 (July–December). P. 232–241.

13. Müller H. B., Nielsen A. M., Murto M., Christensson K. Manure and Energy Crops for Biogas Production : Status and Barriers. Nordic Council of Ministers, 2008. 51 p.

14. Fantozzi F., Buratti C. Biogas production from different substrates in an experimental continuously stirred tank reactor anaerobic digester. *Bioresource technology*. 2009. P. 5783–5789.

15. Abbasi T., Tauseef S. M., Abbasi S. A. Biogas Energy. *Springer Science & Business Media*. 2011. 169 p.

16. Дворецкий Д. С. и др. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем. Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2005. 80 с.

17. Королев С. А., Майков Д. В., Русяк И. Г. Исследование стационарных решений и оптимизация параметров математической модели метаногенеза. *Вестник Томского государственного университета*. 2012. № 3 (19). С. 15–21.

18. Nikiforov V., Malovanyu M., Kozlovskaya T. et al. The biotechnological ways of blue-green algae complex processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkov, 2016. No. 5/10 (83). P. 11–18.

APPLICATION OF LabVIEW GRAPHIC ENVIRONMENT IN MODELING BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES

S. Sergienko, V. Nykyforov, T. Bedriy, O. Novokhatko, S. Digtar

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: lady.mouse123@gmail.com

T. Kozlovs'ka

Kremenchuk Flight College of National Aviation University
vul. Peremogy, 17/6, Kremenchuk, 39605, Ukraine. E-mail: kozlovskaya5819@gmail.com

Purpose. The aim of the research is to develop an authentic biotechnology model for obtaining energy from biomass of blue-green algae and mixing with additional energy resources. Investigation of fermentative reactions of bi-methanogenesis and study of technological conditions of biogas production and control of compliance with the necessary conditions. **Methodology.** Research methods include analytical and experimental studies using modern control and measuring equipment, using the leading techniques in the fields of environmental research and mathematical modeling of the investigated processes. Methods of statistical processing of experimental data were used; systematic scientifically grounded analysis was used for theoretical research. **Findings.** A biogas plant project with three technological lines for fermentation processing of a complex substrate has been developed. The main substrate proposed the use of excess biomass hydrobionts – blue green algae (BGA). A virtual complex for optimizing biogas production control has been developed. Its basis was the unique mathematical model of methanogenesis for the BGA. The unique coefficients and the results of the mathematical modeling of the Lab VIEW environment are determined - the maximum yield of biogas can be reached during the fermentation period – 25 days. **Originality.** The scientific novelty consists in utilizing a biogas plant for the fermentation of a complex substrate, namely: urban wastewater treatment facilities, dairy wastewater, agro-phytomass, leaf precipitate, manure, fecal drainage, BGA, and automatic control of production processes. **Practical value.** The practical value of the results obtained is to develop a project for a virtual biogas plant, which includes: the selection of optimum conditions for fermentation, the selection of necessary equipment, control equipment, technological, energy, design and hydraulic calculations of production, and determination of its profitability and payback period. References 16, tables 3, figures 6.

Key words: methanogenesis, cyanobacteria, hydrobionts, virtual complex, mathematical model of methanogenesis.

REFERENCES

- About the National Action Plan for Renewable Energy for the Period till 2020, The Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 902, October 01, 2014.
- Nykyforov, V. V., Kozlovs'ka, T. F., Malovanyy, M. S. (2017), *Genesis stvorenniya ekologichnoyi nebezpeki vid evtrofikatsiyi poverhnevih vod vodoshovisch Dniprovskogo kaskadu ta effektivna strategiya yiyi minimizatsiyi. Staliy rozvitok – HHI stolitnya: upravilmya, tehnologiyi, modeli. Diskusiyi 2017: kolektivna monografiya; za nauk. red. prof. Hlobistova E.V.* [Genesis of creation of ecological danger from the eutrophication of surface-water of storage pools of the Dneproscascade and effective strategy of their minimization. Steady development – XXI of century: management, technologies, models. Discussions 2017: collective monograph], Kiev, pp. 420–429.
- Seitbekov, L. S., Nesterov, E. B. (2004), *Poluchenie biogaza iz othodov zhivotnogo i rastitel'nogo proishozhdeniya* [Biogas production from animal and vegetable waste], Almaty, Kazakhstan.
- Kuris, Yu. V. (2012), "Temperature regimes of methanogenesis and technological schemes for biogas production", pp. 39–47.
- Sadchikov, A. V., Kokarev, N. F. (2016), "Optimization of the thermal regime in biogas plants", *Basic research*, no. 2–1, pp. 90–93.
- Shatskii, V. V., Sklyar, O. G., Sklyar, R. V., Solodka, O. O. (2013), "Influence of substrate structure on biogas output at methane fermentation", *Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University*, iss. 13, vol. 3, pp. 3–12.
- Zagirnyak, M. V., Nykyforov, V. V., Malovanyy, M. S., Sameshova, D., Kozlovs'ka, T. F. et al. (2017), *Ekologichna biotekhnologiya pererobki sino-zelenih vodorostey: monografiya* [Ecological biotechnology for the processing of blue-green algae: monography], PP Scherbatih O.V., Kremenchuk, Ukraine.
- Langergraber, G., Rieger, L., Winkler, S., Alex, J. (2004), "A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants", *Wat. Sci. Tech.*, 50, pp. 131–138.
- Jürgensen, P. J. (2009), "Biogas – green energy. Process, design, energy supply, environment", *Faculty of Agricultural Sciences*, 36 p.
- Mobile Expert 3L Precision Analyzer. URL: <http://inam.kiev.ua/expert-3l/>
- Van Herle, J. (2004), "Biogas as fuel source for SOFC CO-generators", *Journal of Power Sources*, vol. 127, pp. 300–312.
- Saheed, O. (2014), "Evaluating the biogas yield and design of a biodigester to generate cooking gas from human faeces", *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, iss. 25, July–December, pp. 232–241.
- Miller, H. B., Nielsen, A. M., Murto, M., Christeson, K. (2008), *Manure and Energy Crops for Biogas Production: Status and Barriers*. Nordic Council of Ministers, 51 p.
- Fantozzi, F., Buratti, C. (2009), "Biogas production from different substrates in an experimental continuously stirred tank reactor anaerobic digester", *Bioresource technology*, pp. 5783–5789.
- Abbasi, T., Tauseef, S. M., Abbasi, S. A. (2011), "Biogas Energy", *Springer Science & Business Media*, 169 p.
- Dvoretzky, D. S. (2005), *Kompyuternoe modelirovaniye biotekhnologicheskikh protsessov i sistem* [Computer modeling of biotechnological processes and systems], Tambov State Technical University, Tambov, Russia.
- Korolev, S. A., Maikov, D. V., Rusyak, I. G. (2012), "Research of stationary solutions and optimization of parameters of a mathematical model of methanogenesis", *Tomsk State University Bulletin*, no. 3 (19), pp. 15–21.
- Nikiforov, V., Malovanyy, M., Kozlovs'ka, T., Novokhatko, O., Digtar, S. (2016), "The biotechnological ways of blue-green algae complex processing", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 5/10 (83), pp. 11–18.

Стаття надійшла 19.11.2018.