

WIND REGIME CHARACTERISTICS ESTIMATION OF SOUTH OF UKRAINE FOR THE WIND ENERGY NEEDS

M. Kuznietsov, O. Lysenko

Abstract. *The current state of energy shows that there is great need to search for alternative ways of energy supply in Ukraine. Analysis and evaluation of the characteristics of the wind regime is one of the most important stages in the identification of promising areas for wind energy development. However, substantial and in-depth analysis of regional features hasn't been conducted, primarily due to lack of data needed to conduct such studies. In the article the characteristics of the wind flow south of Ukraine for a two-year array of 10-minute measuring wind speed and direction according to WPP Botiivskoi, Priazovskiy, Zaporizhzhya region was evaluated. In particular, the average monthly wind speed and its standard deviation was calculated, and to evaluate the performance of the wind turbine the potential power of a typical wind power unit was identified. The comparative evaluation of the calculations of the distribution of Weibull and actual values of the wind speed at the different heights was estimated. The dependence of the wind speed from altimetry and possible fluctuations in wind speed and direction was analyzed. The evaluation of the correlation between wind speed and direction was shown.*

Keyword:. *the wind regime, the average wind speed, wind turbine power output*

УДК 621.311.26.031

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ПІД ЧАС ГЕНЕРЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ІЗ БІОГАЗУ

Н. В. БУРЕГА, молодший науковий співробітник
**Тернопільський національний педагогічний
університет ім. В. Гнатюка**
E-mail: buregan@ukr.net

Анотація. *Розглянута перспектива використання органічної біосировини, що дозволить зміцнити власну енергосистему та вирішити назріваючу екологічну катастрофу через низький рівень використання технологій утилізації відходів та вловлення сміттєзвального біогазу. Проведено аналіз тенденцій росту ринку біогазових технологій на основі світових лідерів його виробництва. З метою більш детального порівняння обрано п'ять комерційних електротехнологічних комплексів для визначення їх енергетичних та*

© Н. В. Бурега, 2017

економічних показників. Обрано ринкову модель установки БГУ-05, для розробки імітаційної моделі системи утворення біометану із врахуванням режимів роботи, впливу зовнішнього середовища. В якості джерела генерації електричної енергії, на основі літературних даних та комерційних пропозицій модернізовано бібліотечну модель Matlab водневої ТОПЕ для роботи на біометані із врахуванням системи рекуперації теплової енергії, для забезпечення потреб анаеробного процесу ферментації та споживача. Обрана ринкова модель системи очистки біогазу з метою врахування енергетичних потреб електротехнологічного комплексу, розроблена система керування теплоносією між ТОПЕ, реактором та споживачем. В результаті моделювання розраховано мінімально необхідну потужність стеку паливних елементів для забезпечення енергетичних режимів генерації біогазу із врахуванням температури зовнішнього середовища.

Ключові слова: біогазова установка, твердооксидний паливний елемент, імітаційна модель, система, біогаз, хімічне паливо, електротехнологічний комплекс

Актуальність. Однією із вимог до вступу України в Європейський союз є енергетична, котра передбачає збільшення частки використання поновлювальних джерел у власній енергосистемі. Володіючи значним біосировинним потенціалом та низьким рівнем розвитку утилізації органічних відходів промисловості, аграрного сектору, продукції АПК та діяльності людини, можна стверджувати про можливість розвитку технології добування біогазу на нашій території. Слід зазначити, що значний науковий потенціал спрямований на дослідження в галузі покращення виходу біометану, складу субстратів, конструкцій реакторів та режимів роботи завантажування та перемішування. Малоефективною ділянкою електротехнологічного комплексу є генерації електричної енергії із використання ДВЗ, що спонукає до пошуку нових технологій отримання електричної енергії. Одним із перспективних напрямів є використання електрохімічних технологій на базі твердооксидних паливних елементів із ККД до 60%.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз світового досвіду демонструє зростання потужності біогазових установок (БГУ) в країнах із спорідненими до України кліматичними особливостями та органічною сировиною (рис. 1) [1], що є індикатором економічної доцільності даної технології.

Можливість поєднання різноманітних органічних відходів із різними субстратами дозволяє генерувати біогаз залежно від сировинної бази конкретного регіону. Перевагою БГУ є гнучкість до використання сировини та генерація енергоносія в ламінарному режимі, що дозволяє зменшити витрати на систему акумуляції. Річна частка використання біогазу у США становить 500 млн. м³, Великій Британії – 200 млн. м³, Данії – 45 млн. м³, Китаї – 1,3 млрд м³, що забезпечується близько 5 млн. біогазових установок [2].



Рис. 1. Динаміка зростання кількості БГУ у Німеччині станом на 2013 р. із сумарною згенерованою електричною потужність 3,53ГВт на 7772 об'єктах

Мета дослідження – аналіз режимів роботи електротехнічного комплексу на базі створеної імітаційної моделі біогазової установки та твердооксидного паливного елемента для підвищення ККД генерації електричної енергії.

Матеріали і методи дослідження. Теоретичні дослідження базувалися на основних законах електротехніки, термодинаміки, збереження енергії та теоріях теплопередачі, електрохімічного перетворення енергії та теорії імовірності. Дослідження супроводжувалися розробленою марематичною моделлю із застосуванням імітаційного моделювання в програмному середовищі Matlab.

У ході виконання роботи використано методики досліджень вітчизняних і зарубіжних фахівців, матеріали науково-технічних конференцій щодо використання технологій безвідходного виробництва біогазу, таких як: Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, М. М. Жовнір, Д. В. Дероган, І. Б. Матвєєва, в котрих в значній мірі висвітлено сучасний стан біоенергетики ЄС та біопотенціал в Україні.

Результати дослідження та їх обговорення. На сучасному етапі використання БГУ має широку практику і великий світовий досвід, що налічує біоустановки різних конструкцій та потужностей, проте, домінуючою часткою (68%) є одноступінчаста система БГУ проточного типу з повним перемішуванням субстрату, системою акумулювання біогазу (синтетичні балони), підтримкою температури та рН середовища із рециркуляцією біомаси.

Біогаз, в основному, використовується для тепло- та електропостачання об'єктів господарювання, які знаходяться неподалік БГУ або для генерації електроенергії у загальну мережу. Для забезпечення технологічних процесів генерації біогазу в БГУ електричною та тепловою енергією у комплексі з ними використовуються електрогенератори із двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) та системами рекуперації теплової енергії димових викидів.

Існуюча система генерації електричної енергії яка широко використовується в комплексі із БГУ може бути суттєво модернізована шляхом використання твердооксидних паливних елементів (ТОПЕ), котрі в один технологічний етап перетворюють хімічне паливо (H_2 , CH_4) на електричний струм. Такий підхід дозволить підвищити ККД технологічного етапу генерації електроенергії до $\eta = 60\text{--}70\%$, що суттєво вище, ніж у ДВЗ та парових турбін ($\eta = 20\%$ та 45% відповідно) [3].

Робочий режим ТОПЕ проходить за температур 700 – 1000 °С, що дає змогу рекуперувати частину теплової енергії для підтримки біологічних процесів анаеробної ферментації та потреб комплексу. За таким принципом побудована система BlueGEN, енергетичний баланс котрої вказаний на рисунку 2 із загальним ККД 85% [4].



Рис. 2. Енергетичний баланс ринкової установки BlueGEN на базі ТОПЕ потужністю 1,5 кВт

Оскільки БГУ можуть бути побудовані як з одним, так і з багатьма ступенями анаеробного процесу та з різними інженерними підходами до перемішування, відбору та завантаження субстратів, тому виникає необхідність детального аналізу даної технології. На основі огляду ринкових пропозицій БГУ Німеччини було розглянуто п'ять основних технологічних рішень та вибрано на підставі цього такі критерії: споживання енергії для власного забезпечення (рис. 3 а), коефіцієнт вмісту CH_4 із одиниці об'єму протягом доби (рис. 3 б), рівень капіталовкладень (рис. 3 в) та вартість одного m^3 ферментера до добового об'єму виходу біометану (рис. 3 г). В результаті аналізу було обрано одноступінчасту установку БГУ-05 з об'ємом реактор $a903 m^3$ із використанням блокової ТЕЦ потужністю 180 кВт на базі газорідинного двигуна із добовою генерацією електричної – 3679 кВт·год та теплової – 3781 кВт·год енергії. Добовий вихід біогазу – $2,23 m^3$ з одного $1 m^3$ сировини із вмістом метану 54% або $1,18 m^3 - CH_4$ [5].

Для розробки моделі комплексу було враховано встановлені електротехнічні характеристики обладнання та добове завантаження біомаси (17,8 тонн) із зазначеними пропорціями (свинячий гній –73%, кукурудзяний силос –27%). Завантаження сухої біосировини в реактор

здійснюється шнеком-дозатором з електродвигуном потужністю 1,1 кВт порціями (по 800 кг кожних 4 години) 6 раз на добу. Свиначий гній подається два рази на добу по 7,5 тонн (через кожних 12 годин) за допомогою відцентрового насоса Stallkamp потужністю 11 кВт.

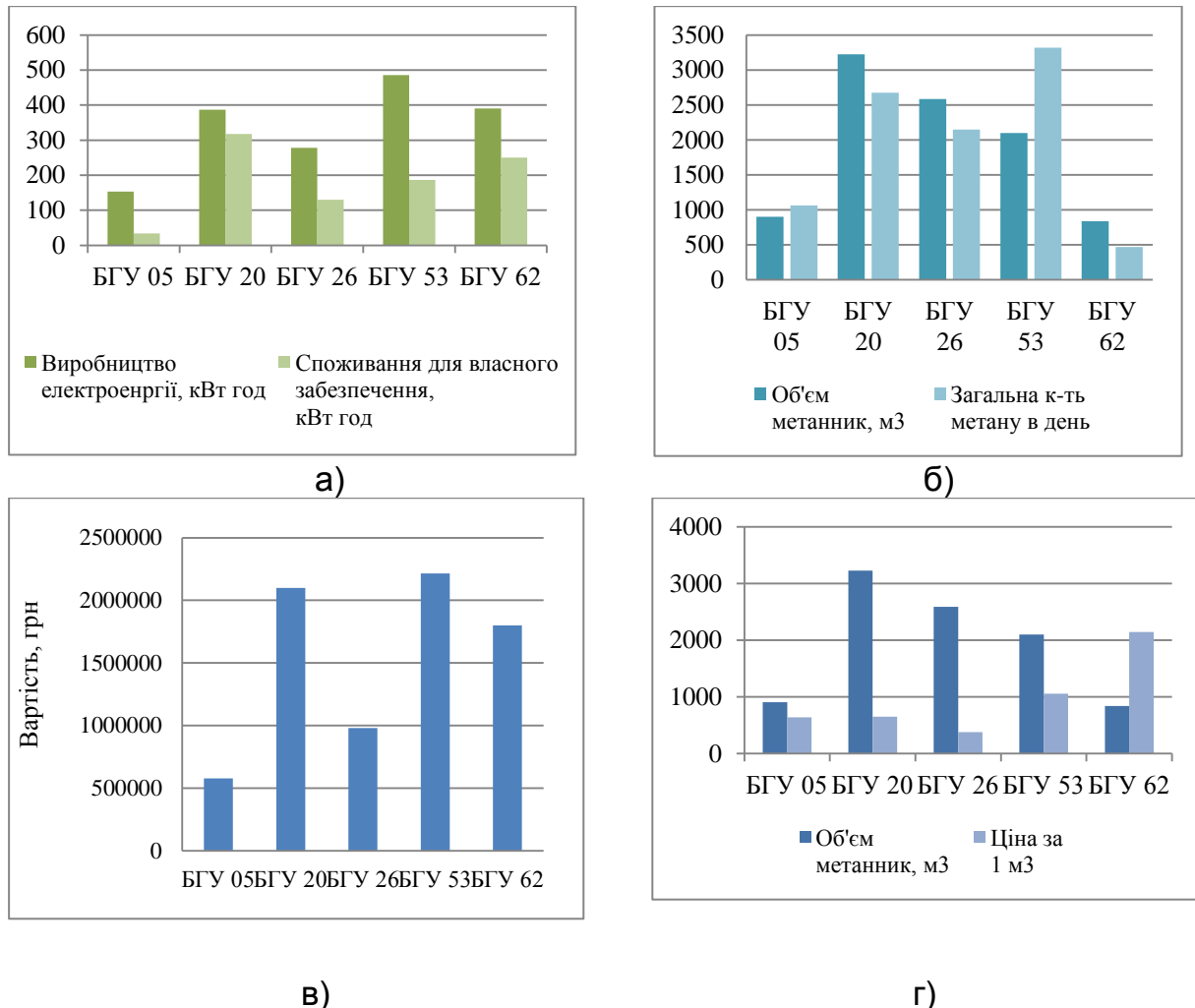


Рис. 2. Порівняльний аналіз БГУ різних технологічних рішень: а) співвідношення виробленої та спожитої електроенергії; б) відношення об'єму метанника і виходу CH_4 за добу; в) вартість БГУ; г) співвідношення вартості 1 м³ метанника до загального об'єму установки

Оскільки за вивантаження чи завантаження сировини розподіл теплоти в об'ємі реактора є недостатньо ефективним для оптимального виходу біогазу, технологія БГУ передбачає використання перемішувального пристрою з подовженими осями, потужністю 10 кВт, котрий вмикається кожних дві години після завантаження силосу шнеком. Для руху біомаси у нижній частині ферментатора використовується перемішувальний пристрій із занурювальним двигуном потужністю 11 кВт, який вмикається 6 раз на добу через годину після завантаження сухої біосировини шнеком [6].

Відповідно до алгоритму функціонування БГУ енергетичні затрати для забезпечення необхідних режимів її роботи можна розділити на електричні та теплові

$$\sum P = P_E + P_T \quad (1)$$

де P_E – електричні затрати БГУ;
 P_T – теплові затрати БГУ.

Баланс електричних витрат матиме наступний вигляд:

$$P_E = P_{Ш} + P_{ЦН} + P_{П1} + P_{П2} + P_B \quad (2)$$

де $P_{Ш}$ – енергетичні витрати шнека;

$P_{ЦН}$ – завантажувального відцентрового насоса;

$P_{П1}, P_{П2}$ – перемішувальних пристроїв;

P_B – вивантажувального відцентрового насоса.

Загальна споживана електроенергія за відповідний період роботи:

$$W_E = \sum_{i=1}^5 P_i \cdot t_i, \quad (3)$$

де $i = 1 \div 5$ – елемент пристрою (відповідно шнек, відцентровий насос, пристрій перемішування);

P_i – потужність пристрою;

t_i – час роботи пристрою.

На основі технічних характеристик обладнання та алгоритму його функціонування, було розроблено імітаційну модель комплексу БГУ програмними засобами Matlab/Simulink (рис. 4а), для визначення середньодобового споживання електроенергії під час генерації біогазу в номінальному режимі.

Процес бродіння проходить в мезофільному режимі за температури в реакторі 39,5 °С. Тепловий баланс біореактора можна представити як загальну споживану теплову енергію:

$$W_T = (Q_1 + Q_2) \cdot t, \quad (4)$$

де Q_1 – середньодобова теплова енергія для нагрівання біомаси до температури бродіння, кВт·год;

Q_2 – середньодобова теплова енергія для компенсації всіх тепловтрат, кВт·год;

t – час виходу системи до вказаної температури бродіння, діб.

$$Q_2 = Q_{KM} + Q_{БМ} + Q_D. \quad (5)$$

Найбільш суттєвими є втрати енергії Q_{KM} через стінки метанника в навколишнє середовище із площею бічної поверхні 360 м² та площею основи 150 м². Верхня частина реактора анаеробного бродіння теплоізолювана мінеральною ватою товщиною 100 мм та додатково прошарком утвореного біогазу, середньою вистою 2000 мм. Корпус виконаний із нержавіючої сталі товщиною 10 мм і теплоізолюваний мінеральною ватою, товщиною 100 мм.

Оскільки під час завантаження біосировини (із температурою 15 °С) та її вивантаження $Q_{БМ}$, відбувається лише 4% руху біомаси від загального об'єму протягом доби, зміною температури можна знехтувати. Аналогічними є втрати теплоти під час перемішування біомаси Q_D , котрі становлять не більше 1,5%.

Система підігріву сметанника виконана у вигляді спірального теплообмінника із нержавіючої сталі, розташованого у нижній частині реактора із площею контакту 98 м².

Відповідно до теплового балансу було побудовано модель підсистеми реактора із врахуванням втрат у зовнішнє середовище в залежності від його температури, термоізоляції корпусу, температури сировини (рис. 4б).

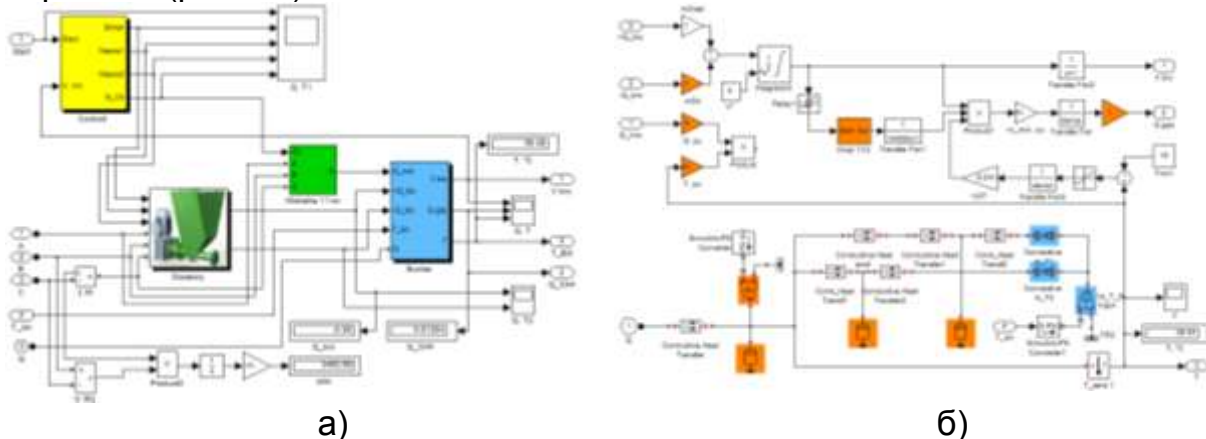


Рис. 4. Імітаційна модель комплексу БГУ–05: а) підсистема керування дозувальними пристроями сировини; б) підсистема теплової моделі із розрахунком теплових втрат в реакторі

Проведений аналіз літературних джерел та комерційних пропозицій таких установок дозволив модернізувати модель ТОПЕ (на основі імітаційної моделі із бібліотеки Matlab/Simulink) за рахунок використання теплообмінника, в результаті чого було встановлено, що система потужністю 120 кВт (два стеки по 60 кВт) дозволяє генерувати в середньому за добу близько 2866 кВт · год електричної та 1121 кВт год теплової енергії, споживаючи при цьому 446,6 м³ біометану. Це дозволяє використати її в якості основного джерела генерування енергії, оскільки володіє у 1,7 раз вищим показником від ДВЗ. В моделі комплексу враховано енергоспоживання ринкової системи очистки Camda KDCL-50-WQ із продуктивністю 50 м³ за годину та споживання електроенергії 50 кВт год [7].

На випадок нештатних ситуацій система володіє запасом електричної енергії, який зберігається у свинцевокислотних акумуляторних батареях, ємністю 400 А·год, напругою 480 В. Мостовий трифазний інвертор із перетворенням постійного струму в змінний з одинарним перетворювачем напруги 480-560 В у трифазну змінну напругу 220/380 В.

Імітаційна модель дозволила відпрацювати перехідні процеси в електротехнічному комплексі, визначити основні енергетичні затрати та генерацію біометану в залежності від зовнішньої температури $\underline{-15, 0, 15, 30}^{\circ}\text{C}$ протягом 120 діб (рис. 5).

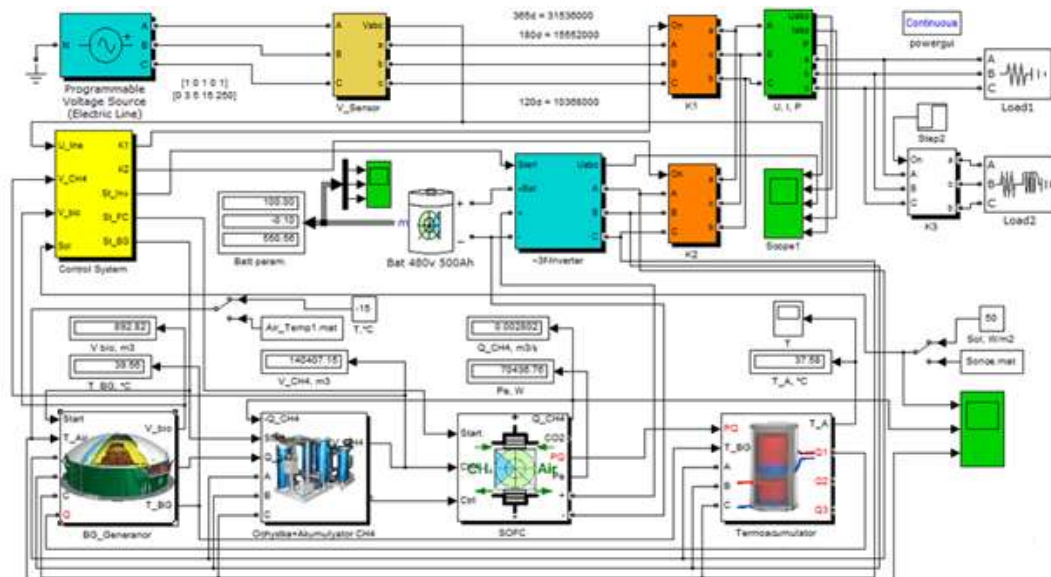


Рис. 5. Структура імітаційної моделі електротехнологічного комплексу генерації енергії із біометану на базі ТОПЕ

Оскільки вихід біогазу відбувається з 11 дня після запуску (рис. 6а), кількість згенерованого хімічного палива є недостатньою для підтримки енергетичних режимів комплексу. Тому, в системі передбачено сховище природного газу, об'ємом 14000 м^3 , котре заповнюється перед запуском із розрахунком забезпечення виходу метанника в номінальний режим роботи (рис. 6б). Зміна потужності ТОПЕ та кількість надходження теплової енергії у реактор анаеробної ферментації наведена на рис. 6в та рис. 6г відповідно.

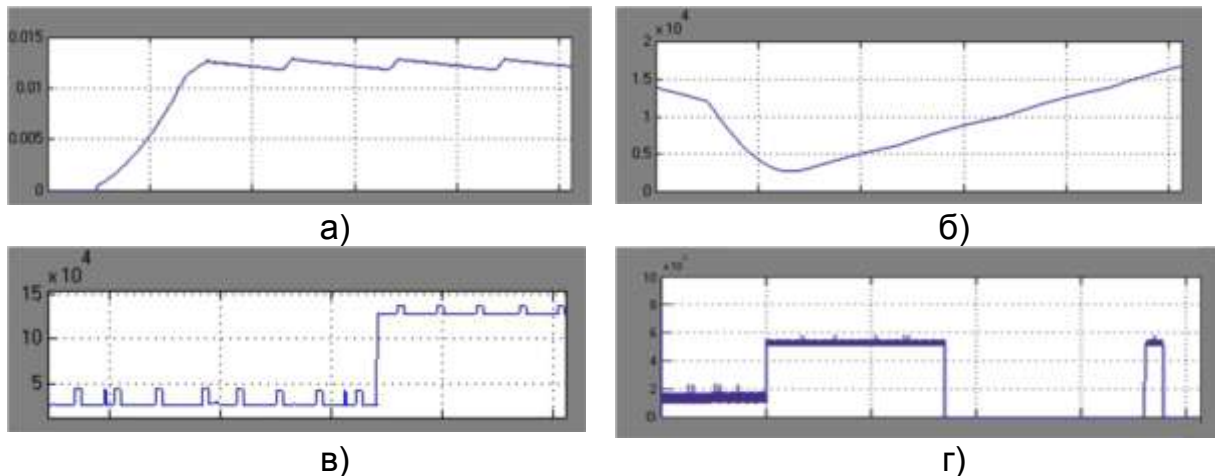


Рис. 6. Графік роботи БГУ протягом 120 днів за температури зовнішнього середовища $15 \text{ }^\circ\text{C}$: а) продуктивність генерації біометану в БГУ, $\text{м}^3/\text{с}$; б) зміна об'єму газу в сховищі системи очистки, м^3 ; в) потужність ТОПЕ; г) надходження теплової енергії у БГУ

Тестування моделі комплексу дозволило визначити основні затрати енергії, спрямовані на розігрів біореактора, встановити час виходу на

номінальний режим роботи за зовнішньої температури – 15, 0, 15, 30 °C протягом 120 діб (табл.1).

1. Результати роботи моделі комплексу протяг 120 діб під впливом зовнішньої температури із використанням ТОПЕ, потужністю 120 кВт

Споживання енергії	Зовнішня температура, °C			
	-15	0	15	30
Електричні витрати, кВт · год	7303	7108	6939	6926
Теплові витрати, кВт · год	48752	41715	34400	27908
Вихід установки на номінальний режим роботи				
Час, діб	38,5	34	31	29,5
Електричні витрати, кВт · год	2343	2013	1792	1702
Теплові витрати, кВт · год	32276	29659	27543	25736
Згенеровано газу, м ³	98402	100833	102376	103437
Споживання системою очистки, кВт · год	138506	141704	143814	144245

Висновки і перспективи. Для дослідження режимів роботи електротехнічного комплексу було проведено аналіз ринкових технологій БГУ, обрано найбільш комерційно привабливі установки генерації хімічної енергії від біомаси. Удосконалено спосіб перетворення хімічної енергії біогазу у електричний струм із ККД 60%, шляхом заміни ДВЗ на електрохімічне джерело на базі ТОПЕ. Розроблена імітаційна модель комплексу на базі ТОПЕ, потужністю 120 кВт із середньодобовою генерацією 2866 кВт·год електричної та 1121 кВт·год теплової енергії; БГУ об'ємом реактора 903 м³ із максимальним добовим показниками генерації біогазу на рівні 2013 м³. Імітаційна модель дозволила розрахувати режими роботи та параметри системи очистки із продуктивністю 45 м³/год для отримання необхідної кількості біометану впродовж доби та початковий об'єм сховища 8000 м³ для автономної роботи комплексу.

Список використаних джерел

1. Концепція виробництва біогазу з біоенергетичних рослин в Україні [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу : <http://eurowine.com.ua/?q=node/21301>.
2. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології. Національний університет «Львівська політехніка» / Ю. І. Сидоров // BIOTECHNOLOGIA ACTA, V. 6, No1, 2013.
3. Independent power supply of menage object based on biosolid oxide fuel / O. S.Beshta, V. S. Fedoreyko, A. O. Palchuk, N. V. Burega. // Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems. – Taylor & Francis Group. London, UK, 2015. – С. 33-39.
4. Solid Power. BlueGen [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу: <http://www.bluegen.de>.
5. Biogas-Messprogrammll 61 BiogasanlagenimVergleich – Hofplatz 1 18276 Gülzow: FachagenturNachwachsendeRohstoffee.V. (FNR), 2009. – 170 с.
6. Erich Stallkamp ESTA GmbH [Електронний ресурс] // Stallkamp – Режим

доступу: <http://www.stallkamp.pl>.

7. Системи біогазової очистки [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <https://russian.alibaba.com/product-detail/biogas-scrubber-biogas-purification-system-biogas-pretreatment-system-1599308897.html>.

References

1. Kontsepsiya vyrobnytstva biohazu z bioenerhetychnykh roslyn v Ukrayini (2016). [The concept of bioenergy biogas plants in Ukraine].–Available at:<http://eurowine.com.ua/?q=node/21301>.

2. Sydorov, Yu. I. (2013). Suchasni biohazovi tekhnolohiyi Natsional'nyy universytet «L'vivs'ka politekhnika» [Modern biogas technology. National University "Lviv Polytechnic"]. BIOTECHNOLOGIA ACTA, 6 (1).

3. Beshta, O. S., Fedoreyko, V. S., Palchuk, A. O., Burega, N. V. (2015). Independent power supply of menage object based on biosolid oxide fuel. Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems. Taylor & Francis Group. London, UK, 33-39.

4. Solid Power. BlueGen (2013). Available at: <http://www.bluegen.de>.

5. Biogas-Messprogrammll 61 BiogasanlagenimVergleich – Hofplatz 1 18276 (2009). Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.V. (FNR), 170.

6. Erich Stallkamp ESTA GmbH. Stallkamp – Available at: <http://www.stallkamp.pl>.

7. Systemy biohazovoi ochystky (2016).[Biogaspurificationsystems].Available at: <https://russian.alibaba.com/product-detail/biogas-scrubber-biogas-purification-system-biogas-pretreatment-system-1599308897.html>.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С БИОГАЗА

Н. В. Бурега

Аннотация. *Рассмотрена перспектива использования органического биосырья, что позволит укрепить собственную энергосистему и решить назревающую экологическую катастрофу при низком уровне использования технологий утилизации отходов и улавливания мусорного биогаза. Проведен анализ тенденций роста рынка биогазовых технологий на основе мировых лидеров его производства. С целью более детального сравнения выбрано пять коммерческих электротехнологических комплексов для определения их энергетических и экономических показателей. Выбрана рыночная модель установки БГУ-05 для разработки имитационной модели системы образования биогаза с учетом режимов работы, влияния внешней среды. В качестве источника генерации электрической энергии на основе литературных данных и коммерческих предложений модернизировано библиотечную модель Matlab водородной ТОТЕ для работы на биометане с учетом системы рекуперации тепловой энергии для обеспечения потребностей анаэробного процесса ферментации и потребителя. Выбранная рыночная модель системы*

очистки биогаза с целью учета энергетических потребностей электротехнологического комплекса, разработана система управления теплоносителя между ТОТЕ, реактором и потребителем. В результате моделирования рассчитана минимально необходимая мощность стека топливных элементов для обеспечения энергетических режимов генерации биогаза с учетом температуры внешней среды.

Ключевые слова: биогазовая установка, твердооксидный топливный элемент, имитационная модель, система, биогаз, химическое топливо, электротехнологический комплекс

RESEARCH MODES ELECTRO-TECHNOLOGICAL OBJECT IN ENERGY GENERATION FROM BIOGAS

N. Burega

Annotation. *The perspective of the use of organic biomaterials is considered, which will allow to strengthen its own energy system and solve the emerging ecological catastrophe for the low level of utilization of technologies for waste utilization and capture of landfill biogas. The analysis of tendencies of growth of the market of biogas technologies on the basis of world leaders of its manufacture is carried out. For the purpose of a more detailed comparison, five commercial electrotechnological complexes were chosen to determine their energy and economic indicators. The market model of the BGU-05 installation was selected for the development of a simulation model of the biomethane education system, taking into account the operating modes, the influence of the external environment. As a source of electricity generation on the basis of literature data and commercial proposals, the Matlab library model of hydrogen SOFC has been modernized to work on biomethane, taking into account the heat recovery system to meet the needs of the anaerobic fermentation process and the consumer. The selected market model of the biogas treatment system to take into account the energy needs of the electrotechnical complex, a control system for the coolant between the SOFC, the reactor and the consumer was developed. As a result of the simulation, the minimum required power of the stack of fuel cells is calculated to ensure the energy regimes of biogas generation, taking into account the temperature of the external environment.*

Keywords: *biogas plant, a solid oxide fuel cell, a simulation model of the system, biogas, chemical fuel, electro-technological complex*