
УДК 620.9:005.93:502.174

А. Ю. Сазонов

к. т. н.

Житомирський національний агроекологічний університет

Ю. Л. Новосилецький

Житомирський агротехнічний коледж

ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ БІОГАЗОВИХ ТА КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

У статті увага приділяється енергетичному розрахунку біогазової установки, створенню екологічно чистих технологій переробки органічних відходів. Визначено параметри контролю та проведення дослідження структури біогазової установки, які є основою виробництва біологічного газу. Проаналізовано основні параметри контролю

© А. Ю. Сазонов, Ю. Л. Новосилецький

процесу виробництва біогазу, дана оцінка роботи біогазової установки у декількох режимах при роботі системи автоматизованого контролю температури у реакторі. Наведено блок-схему алгоритму роботи системи регулювання кількості виробленого тепла та електроенергії, що використовує декілька видів регулювання: регулювання частоти обертів агрегату, регулювання складу газоповітряної суміші, регулювання напруги в енергосистемі. Наведено структурну схему можливих газопоршневих когенераційних установок та блок-схему системи підключення споживачів при використанні заданого співвідношення споживання палива і повітря у цій суміші з оцінкою економічних витрат паливних ресурсів. На основі зіставлення, порівняння, узагальнення наукової інформації про біогазові та когенераційні установки, уточнено сутність технологій, переваги біогазового виробництва над іншими альтернативними джерелами енергії. Авторами конкретизовано технології установки, методи впровадження.

Ключові слова: альтернативна енергетика, автоматизація керування, електростанція, біогазова установка, когенерація, когенераційна установка, газопоршневі установки.

Постановка проблеми

Зменшення споживання невідновлювальних джерел тепло-електроенергії, збереження екології і економія витрат енергетичних ресурсів є надзвичайно важливими питаннями сьогодення. Розвиток альтернативної енергетики на прикладі біогазових та когенераційних установок наразі має ряд особливостей, що полягають в інтенсивному підвищенні технологічних вимог до керування біогазовими та когенераційними установками.

Нині виникло безліч аргументів для впровадження когенераційних технологій. Перевагами когенераційних установок (КГУ) є: відносно низька вартість виробництва електричної і теплової енергії; наближеність до споживачів, відсутність необхідності у дорогих ЛЕП і підстанціях, екологічна безпека, мобільність, легкість монтажу тощо [1]. Основою функціонування КГУ є біогаз, що виробляється із органічних відходів (їжі, тваринництва) за допомогою бактерій. Біогаз має склад, подібний до природного газу – до 98% метану, а також сірководень, вуглекислий газ, воду [2]. Застосування біогазових установок дозволяє вирішити одночасно проблеми екологічного, енергетичного та агрохімічного характеру паралельно із генерацією електричної енергії, що є надзвичайно актуальним. Вказане досягається за рахунок застосування автономних енергоджерел із комбінованим виробництвом електричної та теплової енергії (когенерація), таким чином забезпечується певний енергетичний резерв у централізованій системі електропостачання [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Над проблемами виробництва і споживання біогазу працює низка зарубіжних та вітчизняних вчених [1–9], серед яких D. Deublein, A. Steinhäuser,

N. Board, D. House, Г. М. Калетник, В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, Г. Г. Гелетуша, Ю. В. Кернасюк, М. Кобець та інші. Більшість із наведених авторів роблять акцент або на технічних сторонах процесу отримання біогазу, або на зарубіжному досвіді. Тому необхідним є обґрунтування технологічних аспектів біогазового виробництва в Україні як напряму розвитку вітчизняної альтернативної енергетики.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою даної статті є аналіз різних типів біогазових установок для визначення номінальної потужності установок і їх автоматизації шляхом виявлення особливостей функціонування когенераційних установок та особливостей регулювання їх технологічних параметрів.

Результати досліджень

Приблизний склад біогазу – 60% метану (CH₄) і 40% вуглекислого газу (CO₂). Синонімами для біогазу є такі слова, як каналізаційний газ, шахтний і болотяний газ, газ-метан. Він утворюється шляхом метаболізму вуглецю мікроорганізмами (бактеріями) із органічних субстратів у безкисневих умовах.

Як відомо, ферментація гною відбувається в анаеробних (безкисневих) умовах при температурі 330 °С. Загальна тривалість ферментації, що забезпечує знезараження гною, не менше 15 діб. Вихід біогазу складає 0,24 м³/кг. Для анаеробної ферментації можна використовувати як звичайний, так і рідкий гній, який після попередньої очистки подають до біореактора [3].

Вихід газу складає приблизно від 0,2 до 0,4 м³ на 1 кг сухого матеріалу біомаси при нормальних умовах, а також при витраті 5 кг сухої біомаси на 1 м³ води. На рис.1 приведені основні типи БГУ, які економічно доцільно впровадити в експлуатацію [4].

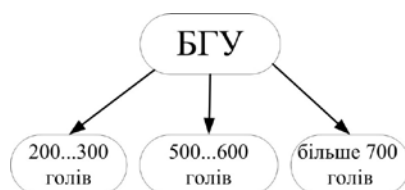


Рис. 1. Типи БГУ для господарств із вирощування ВРХ

Передумовою керування біогазовими установками є обґрунтування їх технологічних параметрів, що виконуються шляхом наведених технічних розрахунків установок відповідно до групи за кількістю голів тварин.

Вихід гною в перерахунку на суху речовину за добу визначають за формулою

$$m_{\text{гн}} = n \cdot m_0, \quad (1)$$

де m_0 – вихід сухого гною на одну тварину за добу [5];

n – кількість худоби, гол.

Тоді вихід гною для трьох груп ВРХ (див. рис. 1) буде складати

$$m_{\text{гнВРХI}} = 250 \cdot 2 = 500 \text{ кг}; \quad m_{\text{гнВРХII}} = 550 \cdot 2 = 1100 \text{ кг};$$

$$m_{\text{гнВРХIII}} = 700 \cdot 2 = 1400 \text{ кг};$$

Об'єм рідкої гнійної маси

$$V_{\text{гн}} = \frac{m_{\text{гн}}}{\rho_{\text{гн}}} \quad (2)$$

де $\rho_{\text{гн}}$ – щільність сухого гною, розподіленого в гнійній масі, кг/м^3 , $\rho_{\text{гн}} = 50 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{\text{гнВРХI}} = \frac{500}{50} = 10 \text{ м}^3, \quad V_{\text{гнВРХII}} = \frac{1100}{50} = 22 \text{ м}^3, \quad V_{\text{гнВРХIII}} = \frac{1400}{50} = 28 \text{ м}^3$$

Розрахунковий об'єм біогазогенератора при безперервній технології виробництва біогазу дорівнює

$$V^I_z = t_z \cdot V_z \quad (3)$$

де t_z – час перебування чергової порції гнійної маси в біореакторі складає від 12 до 30 діб [5].

$$V^I_{\text{зВРХI}} = 15 \cdot 10 = 150 \text{ м}^3; \quad V^I_{\text{зВРХII}} = 15 \cdot 22 = 330 \text{ м}^3;$$

$$V^I_{\text{зВРХIII}} = 15 \cdot 28 = 420 \text{ м}^3;$$

Відповідно до реальних умов господарства прийнято безперервну технологію виробництва біогазу. Добову продуктивність БГУ визначають

$$V_{\text{БГУ}} = C^1 \cdot m_{\text{гн}}, \quad (4)$$

де C^1 – вихід біогазу з 1 кг сухої маси. Для ВРХ $C^1 = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$ [4];

$m_{\text{гн}}$ – кількість сухого гною в реакторі, кг.

$$V_{\text{БГУВРХI}} = 0,2 \cdot 500 = 100 \text{ м}^3; \quad V_{\text{БГУВРХII}} = 0,2 \cdot 1100 = 220 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{БГУВРХIII}} = 0,2 \cdot 1400 = 280 \text{ м}^3$$

Розрахункова теплота згорання біогазу визначається за виразом

$$E = H_m \cdot f_m \cdot V_{\text{БГУ}}, \quad (5)$$

де H_m – питома теплота згорання метану, 28 МДж/м^3 [5];

f_m – частка метану в біогазі, для ВРХ $f_m = 0,6$ [5].

$$E_{\text{ВРХI}} = 28 \cdot 0,6 \cdot 100 = 1680 \text{ МДж};$$

$$E_{\text{ВРХII}} = 28 \cdot 0,6 \cdot 220 = 3696 \text{ МДж};$$

$$E_{ВРХІІІ} 28 \cdot 0,6 \cdot 280 = 4704 \text{ МДж};$$

При цьому, необхідна кількість теплоти для підігрівання біомаси у холодну пору року (15°C) до оптимальної температури (33°C) визначається

$$Q = \frac{m_{гн} C_2 \cdot (t_0 - t_1)}{\eta}, \quad (6)$$

де $m_{гн}$ – вага гнійної маси в реакторі, кг;
 η – ККД БГУ, $\eta = 0,82$ [5].

$$m_{гн} = V_{гн} \cdot \rho_{гн}, \quad (7)$$

де $V_{гн}$ – об'єм гнійної маси, м^3 ;

$\rho_{гн}$ – густина гнійної маси (приймають $\rho_{гн} = 1000 \text{ кг/м}^3$) [4].

$$Q_{ВРХІ} = \frac{10 \cdot 10^4 \cdot 4,19 \cdot (35 - 15) \cdot 10^{-3}}{0,82} = 91,97 \text{ МДж};$$

$$Q_{ВРХІІ} = \frac{22 \cdot 10^4 \cdot 4,19 \cdot (35 - 15) \cdot 10^{-3}}{0,82} = 122,15 \text{ МДж};$$

$$Q_{ВРХІІІ} = \frac{28 \cdot 10^4 \cdot 4,19 \cdot (35 - 15) \cdot 10^{-3}}{0,82} = 257,5 \text{ МДж};$$

Споживана електрична енергія для розігрівання реактора протягом 4 годин становить у першому варіанті 25,5 кВт·год., у другому – 33,9 кВт·год. та третьому – 71,5 кВт·год.

Розрахункова потужність електричних нагрівачів на протязі чотирьох годин роботи становить

$$P = \frac{Q}{t}; \quad (8)$$

$$P_I = \frac{25,5}{4} = 5,6 \text{ кВт}; P_{II} = \frac{33,9}{4} = 8,5 \text{ кВт}; P_{III} = \frac{71,5}{4} = 17,9 \text{ кВт};$$

Відповідно до проведених розрахунків, доцільним є модуль з двома БГУ. Даний модуль складається з реактора об'ємом 300 м^3 з механізованим перемішуванням, автоматичною підтримкою заданої температури та електростанції на біогазі [5].

Як свідчить проведений аналіз технологічного процесу, система автоматики, якою оснащена лінія з отримання біогазу, має ряд недоліків [1, 5]. З метою усунення недоліків було запропоновано удосконалення системи автоматизації БГУ. На рис. 2 представлено блок-схему алгоритму роботи системи автоматизованого контролю температури у реакторі.

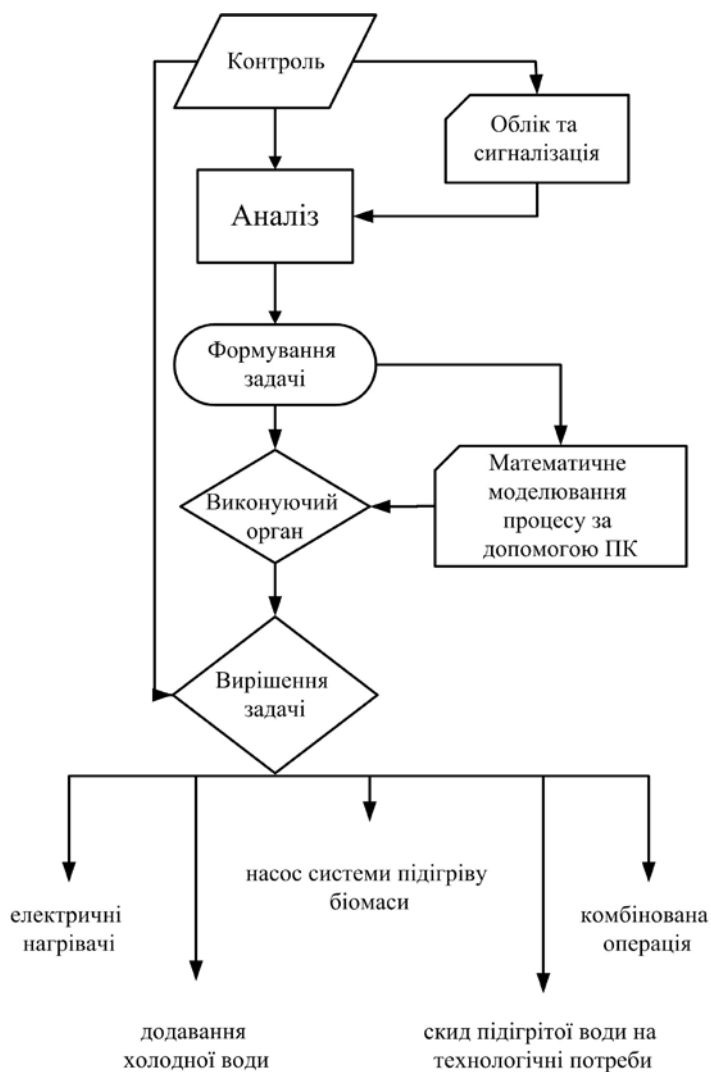


Рис. 2. Блок-схема алгоритму роботи системи при виробництві біогазу

Вона може працювати у декількох режимах: «нагрів», «контроль», «якість». З метою підвищення ефективності роботи установки розроблена функціональна схема автоматизації (рис. 3).

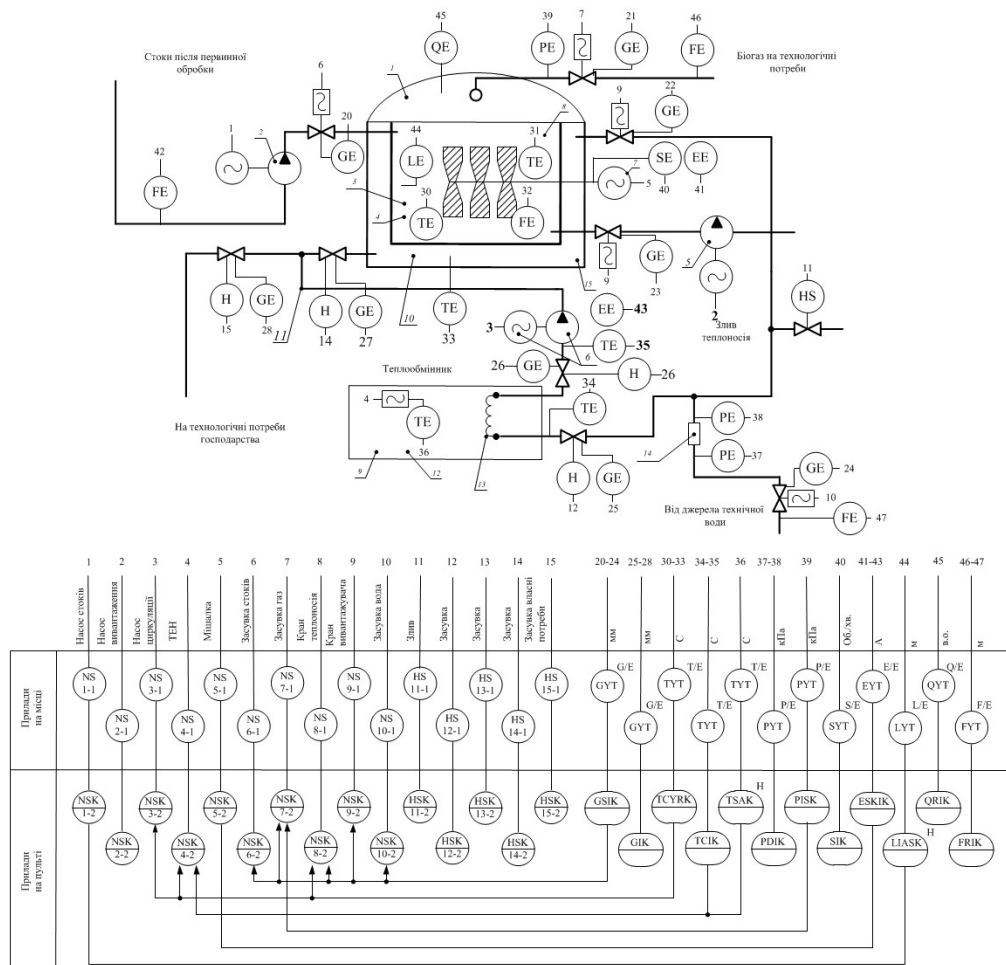


Рис. 3. Схема функціональна автоматизації біогазової установки

На схемі наведено всі приводні електродвигуни лінії: NS1 – приводний двигун завантажувального шнека; NS2 – приводний двигун насоса вивантажувального шнека; NS3 – привідний двигун насоса циркуляції теплоносія; NS4 – нагрівач типу ТЕН; NS5 – двигун приводу мішалки; NS6 – електродвигун засувки крана, NS7 – двигун приводу засувки біогазу, NS8 – двигун приводу засувки циркуляції теплоносія, NS9 – двигун приводу засувки вивантажувального шнека, NS10 – двигун приводу засувки подачі води, NS11 – двигун приводу зливу води, NS12 – двигун приводу засувки, NS13 – двигун приводу засувки, NS14 – двигун приводу засувки, NS15 – двигун приводу засувки власних потреб. У технологічній схемі анаеробного зброджування

використані такі прилади: LE44 – вимірювальний перетворювач верхнього рівня біомаси у біореакторі, TE30–36 – вимірювальний перетворювач температури біомаси татеплоносія, PE37–39 – вимірювальний перетворювач тиску теплоносія, SE40– вимірювальний перетворювач частоти обертання ротора.

Поняття "когенерація" не нове для вітчизняної енергетики. Але у малій енергетиці ці технології раніше застосовувалися рідко і довгі роки широко використовувалися, в основному, на великих паротурбінних електростанціях.

Теплову енергію, що виробляється когенераційними установками, використовують для виробництва гарячої води, пари, у холодильних установках, а також у технологічних процесах сушки гарячим повітрям. На рис.4 показано структурну схему генерації.

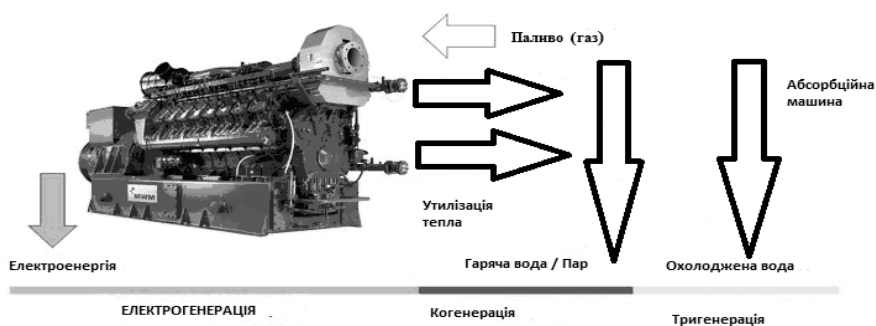


Рис. 4. Структурна схема генерації енергії

Базовим елементом наведеної на рис. 4. схеми є газопоршневий генератор. Це складне технологічне обладнання, що передбачає автоматизацію керування його основними параметрами. Всі газопоршнєві електроагрегати, залежно від області їх застосування, поділяються на агрегати базового (основного), пікового і резервного живлення. До кожної з груп висуваються конкретні вимоги.

Для регулювання кількості тепла та електроенергії, що виробляються, використовують декілька видів регулювання газопоршневим електроагрегатом.

Регулювання частоти обертання, поряд з регулюванням напруги газопоршневих електроагрегатів, є одним з найважливіших завдань, від методів вирішення якого залежить якість електроенергії у сталих і перехідних режимах роботи системи електропостачання споживачів.

Технічні засоби регулювання частоти обертання газопоршневих електроагрегатів наразі представлені регуляторами чотирьох типів:

- відцентрові регулятори прямої і непрямої дії;
- аналогові електронні регулятори;
- цифрові електронні регулятори;

цифрові регулятори, які є органічною частиною комплексних мікропроцесорних систем управління двигуном або генераторним агрегатом у цілому.

Особливістю газопоршневих електроагрегатів є можливість застосування декількох виконавчих пристроїв, керованих одним електронним блоком регулювання частоти обертання, так як багато двигунів мають декілька агрегатів наддуву і, відповідно, декілька дросельних заслінок з індивідуальним приводом.

Крім того, існують схеми наддуву з паралельною роботою кількох турбокомпресорів на загальний впускний колектор. У таких двигунах часто застосовують паралельно включені дросельні заслінки, кожна зі своїм керованим приводом. Це дозволяє застосовувати виконавчі пристрої, які мають невеликі габарити і масу. У цьому випадку при малих навантаженнях агрегата, керують однією заслінкою, а при збільшенні навантаження – двома.

Регулювання складу газоповітряної суміші є одним з ефективних способів впливу на робочий процес газопоршневого двигуна з метою забезпечення заданих ефективних, економічних й екологічних показників електроагрегата. Основним параметром горючої суміші, що створює істотний вплив на ці показники, є співвідношення палива і повітря у цій суміші, зване паливоповітряним відношенням, відношенням «газ–повітря» або «повітря–газ», що відповідає прийнятому в зарубіжній практиці найменуванню «air-fuel ratio» (AFR) [7].

Регулювання напруги в енергосистемі здійснюється регулюванням напруги на виводах генератора шляхом дії на його збудження.

Генератори, що використовуються у когенераційних установках, можуть бути синхронними або асинхронними. Синхронний генератор може працювати в автономному режимі або паралельно з мережею. Асинхронний генератор може працювати тільки паралельно з мережею.

Якщо стався обрив або інші неполадки в мережі, асинхронний генератор припиняє свою роботу. Тому, для забезпечення гнучкості застосування розподілених когенераційних енергосистем, частіше використовуються синхронні генератори [8].

За способом виконання систем збудження генератори умовно можна розділити на два принципово різних виконання: генератори, забезпечені щітковим апаратом для передачі струму від нерухої системи управління до обертаючої обмотки збудження, іменовані надалі «щіткові» (лапки далі опускаються), і генератори, позбавлені такого апарата, іменовані надалі безщіткові. У свою чергу, щіткові генератори підрозділяються на оснащені статичною системою з прямим фазовим компаундуванням і забезпечені збудником постійного струму з непрямим фазовим компаундуванням, як правило, високовольтні генератори, виконання прямого компаундування в яких важко. Щіткові генератори зі статичною системою збудження з корекцією

напруги поділяються на варіанти: з дроселем відбору, керованим трансформатором фазового компаундування і тиристорним відбором. У сучасних системах корекція напруги здійснюється напівпровідниковим коректором напруги.

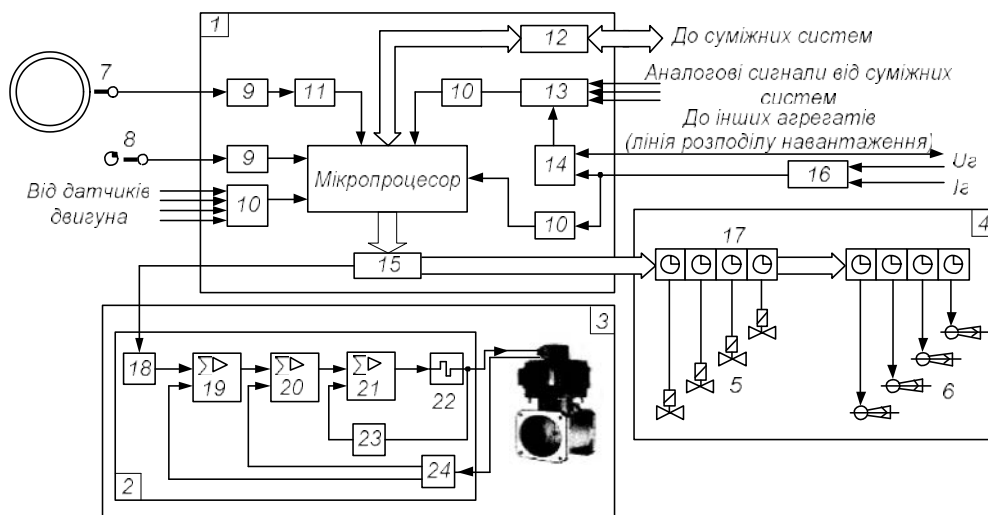


Рис. 5. Схема електронного регулятора частоти обертання

Схема електронного регулятора частоти обертання складається із: мікропроцесорного блоку – 1; модулю управління дросельною заслінкою – 2; приводу дросельної заслінки – 3; модулю розподіленого управління подачею газу – 4; електромагнітного газового клапана – 5; форсунки – 6; датчика частоти обертання – 7; датчика положення розподільчого валу – 8; вхідного перетворювача – 9; АЦП – 10; енкодера – 11; перетворювача інтерфесів – 12; аналогового задатчика частоти обертання – 13; модуля розподілу навантаження – 14; вихідного модуля – 15; датчика активного навантаження – 16; таймера – 17; перетворювача управляючого сигналу – 18; підсилювача контуру зворотного зв'язку за положенням – 19; підсилювача контуру зворотного зв'язку за швидкістю – 20; підсилювача контуру зворотного зв'язку за струмом – 21; широтно-імпульсного модулятора – 22; датчика струму – 23; перетворювача сигналу зворотного зв'язку – 24.

У системі збудження (рис. 3) група статичних випрямлячів перетворює змінний струм збудника GE із частотою 50 Гц у постійний. Збудником є синхронний генератор, розташований на одному валу зі збуджуваним генератором (незалежне збудження). Статична випрямна установка складається з керованих напівпровідникових кремнієвих випрямлячів – тиристорів.

При високих значеннях напруги збудження, зазвичай, застосовують дві групи тиристорів – робочу VS1 і прискорюючу VS2. Обидві групи з'єднують паралельно за трифазною мостовою схемою. За рахунок комутації тиристора однієї групи на тиристор іншої групи зворотна напруга тиристорів робочої групи зменшується. Робоча група тиристорів забезпечує основне збудження генератора у нормальному режимі, прискорююча група – прискорення і гасіння поля в аварійних режимах, тому в нормальному режимі вона працює з невеликими струмами (20–30 % номінального струму ротора); при прискоренні прискорююча група (повністю або частково) відкривається і забезпечує весь струм прискорення, а робоча група тиристорів замикається більш високою напругою прискорюючої групи. Для живлення двох груп тиристорів обмотку кожної фази збудника виконують з двох частин: частини низької напруги, перетин провідників якої розрахований на тривале проходження робочого струму, і частини високої напруги, перетин провідників якої розрахований на короткочасне проходження струму прискорення. До першої підключені тиристири робочої групи VS1, а до другої – прискорюючої групи VS2. Незалежна система збудження зі збудником змінного струму і статичними перетворювачами володіє високою швидкістю, так як вона має високу граничну напругу збудження і, внаслідок без інерційності тиристорів, малі постійні часу. До недоліків цієї системи збудження слід віднести наявність збудника змінного струму, який ускладнює експлуатацію і збільшує вартість всієї системи збудження, а також наявність ковзних контактів (у ній зберігаються контактні кільця і щітки ротора). Найбільш поширеним є виконання безщіткового генератора зі синхронним збудником і підзбудником на постійних магнітах, які, у свою чергу, діляться при виконанні на «діодні» і «тиристорні» (лапки надалі опускаються). У діодному варіанті напруга якірної обмотки синхронного збудника через обертовий доданий перетворювач прикладається до обмотки збудження генератора, а регулювання здійснюється в ланцюзі обмотки збудження; у тиристорному варіанті напруга до обмотки збудження прикладається через тиристорний перетворювач, і регулювання здійснюється шляхом дії на тиристорний перетворювач. Іноді обидва варіанти у цілях резервування реалізуються в одному генераторі. Для управління сучасними газопоршневими електроагрегатами широко застосовуються комплексні мікропроцесорні системи, створювані, як правило, для типового ряду агрегатів одного виготовлювача. У перелік таких пристроїв входять один або кілька блоків збору та обробки сигналів датчиків (тиску, температури, детонації), головний (базовий) керуючий блок, виконуючий регулювання частоти обертання і керування послідовністю операцій пуску і зупинки двигуна, блок регулювання складу паливоповітряної суміші і блок управління запалюванням. Для керування та автоматизації когенераційної установки застосовується найбільш поширений для когенераційних установок контролер InteliSys.

Основна перевага контролера IntelliSys – збільшена кількість цифрових і аналогових входів/виходів, набір функцій для когенераційних установок (PID контури регулювання) і комунікаційні можливості високого рівня - дистанційний контроль і управління за модемною лінією, мобільним телефоном і інтернетом.

Структурна схема газопоршневого електроагрегату подана на рис. 6.

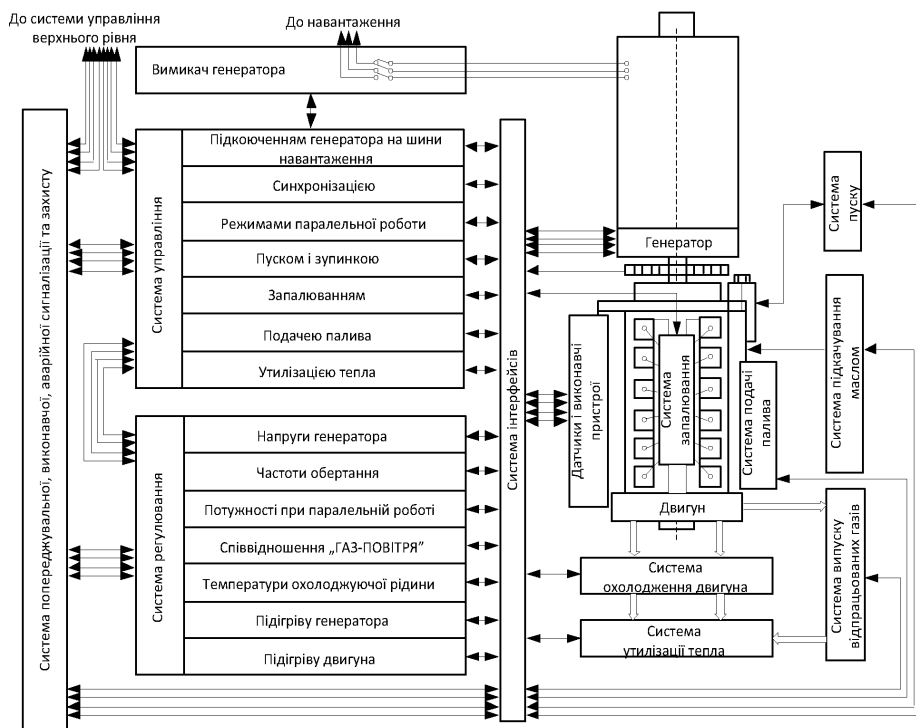


Рис. 6. Структурна схема газопоршневого електроагрегата

На ній показані зв'язки систем (управління, регулювання і т.д.) з електроагрегатом та наведено перелік підсистем, які можуть входити до відповідних систем [9].

Висновки та перспективи подальших досліджень

Визначено, що біогазові установки з об'ємом реакторів до 25 м³ мають негативний енергетичний баланс. Установки з об'ємом біореактора більш ніж 100 м³ з витримкою технології зброджування дають енергетичний ефект, що є підставою для їх використання як альтернативного джерела енергії. Використання автоматизованого контролю параметрів технологічного процесу

отримання біогазу забезпечують підвищення ефективності біогазової установки. Виявлено, що сучасні КГУ є багатофункціональними електро- та теплоенергетичними пристроями. Структуру цих пристроїв із позиції регулювання та управління поділяють на дві частини, які виступають, відповідно, об'єктами управління: механічної і електричної. Управління вказаними системами відбувається автоматичними блоками, що контролюють параметри КГУ в цілому.

Подальші дослідження слід зосередити на автоматизації керування генерацією енергії, оскільки процес є не стаціонарним і містить досить багато невизначеностей. Автоматизація процесу когенерації може бути реалізована на базі нечіткої логіки та/або штучних нейронних мереж.

Література

1. Паньків В. В. Когенерация: как это работает. Обзор рынка / В. В. Паньків // Сети и бизнес. – 2010. – № 4. – С. 96–101.
2. Куценко Ю. М. Аналіз основних чинників анаеробного метанового збродження для отримання біогазу / Ю. М. Куценко, В. М. Коломицев // Праці ТДАТУ. – 2011. – Вип. 11, т. 3. – С. 49–56.
3. Кюрчев В. М. Альтернативне паливо для енергетики АПК : навч. посібник / В. М. Кюрчев, В. А. Дідур. Л. І. Грачова ; за ред. В. А. Дідура. – К. : Аграр. освіта, 2012. – 416 с.
4. Новітні технології біоенергоконверсії : монографія / [Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуха та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с.
5. Щербина О. М. Енергія для всіх : техн. довідник / О. М. Щербина. – Ужгород : Вид-во Валерія Подяки, 2007. – 340 с.
6. Матюнина Ю. В. Использование газопоршневых установок при регулировании нагрузки предприятия / Ю. В. Матюнина, Д. А. Харитонов // Вестник МЭИ. – 2007. – № 2. – С. 111–113.
7. Петров С. П. Автоматизация когенерационных систем теплоснабжения с распределенными пиковыми нагрузками : монографія / С. П. Петров ; под общ. ред. А. И. Суздальцева. – М. : Машиностроение, 2007. – 304 с.
8. Круг А. Е. Параллельная работа синхронного генератора с сетью / А. Е. Круг // Электросила. – 2000. – № 39. – С. 104–111.
9. Strickland C. Cogeneration Potential in Canada / C. Strickland, J. Nyboer. – Ottawa, 2002. – Phase 2. Completed for Natural Resources Canada.