



УДК 004.2

**A METHOD FOR FINDING A SOLUTION TO THE BEST STRUCTURE OF  
A COMPLEX POWER PLANT****МЕТОД ПОШУКУ РІШЕННЯ НАЙКРАЩОЇ СТРУКТУРИ СКЛАДНОЇ  
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ****Brunetkin O.I. / Брунеткін О.І.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-6701-8737

**Sokoliuk S.O. / Соколюк С.О.***postgraduate student / аспірант*

ORCID: 0009-0003-0886-1462

**Maksymov M. M. / Максимов М. М.***phd / доктор філософії*

ORCID: 0000-0002-5626-5265

*National University of Odesa Polytechnic, Odessa, Shevchenko Avenue, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, пр-т Шевченка, 1, 65044*

**Анотація.** Запропоновано метод пошуку найкращої структури біотенкової енергетичної установки через визначення цільової функції оптимізації і знаходження структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми. Розроблено метод аналізу, який визначає придатність енергетичних установок різних видів для можливості компенсації збурень в енергетичній системі.

Запропоновано критерій ефективності експлуатації енергетичної установки в енергосистемі. В основу критерію покладені властивості граничності і можливості додавання різних видів енергії, а також враховано системність і збалансованість розглянутих варіантів.

**Ключові слова:** цільова функція оптимізації, критерій, метод аналізу, баланс енергосистеми, відновлювальні джерела енергії.

**Вступ**

У сучасній електроенергетиці спостерігається постійно зростаюча тенденція використання поновлюваних джерел енергії для забезпечення попиту на енергетичну продукцію енергосистем.

Повільно, але впевнено до класу електрогенеруючих установок потрапили енергетичні установки, які неможливо диспетчеризувати. Такі установки використовують поновлювані джерела енергії, до яких перш за все належать геліо- і вітрогенеруючі. Регулювати роботу таких енергоустановок у системі практично неможливо без додаткових акумулюючих установок будь-якого виду. Значний внесок у можливість експлуатації таких енергоустановок визначається державною політикою. У разі, якщо державне управління системно підходить до реалізації концепції поновлюваних джерел енергії на всіх рівнях (політичному, інфраструктурному, соціальному), то така енергосистема може стабільно функціонувати з істотною часткою поновлюваних джерел, що добре видно на прикладі Данії [1, 2]. У разі, якщо державне управління кон'юнктурно підходить до такої концепції і просувається державним менеджментом лише з політичних міркувань, то така енергосистема не в змозі впоратися з власним балансом із



усіма наслідками. Це видно на прикладах США, Німеччини і Австралії [1, 2].

Процеси автоматизації установок, які неможливо диспетчеризувати, не відповідають стандартним прийомам. У разі експлуатації спільно з акумулюючою установкою виникає нерозв'язна пріоритетність вирішення завдання про те, що потрібно регулювати: акумулятор, що заряджається, чи підтримувати баланс споживання енергосистеми. Завдання ускладнюється, бо керуюча система не отримує зворотного зв'язку про зміну поточної швидкості вітру і миттєвої інтенсивності сонячної інсоляції для формування керуючого впливу.

### **Аналіз літературних джерел**

Далі потрібно розглянути деякі наукові роботи прикладного характеру з пошуку найкращих рішень для узагальнення можливих підходів. В [3] розглянуто задачу оптимізації пошуку параметрів системи динамічного захисту апарата в космічному просторі. У проведених дослідженнях важливо було знайти прийнятне рішення між показниками теплової ефективності і стартової вартості такої системи. В [4] розглянуті результати, які одержані під час вирішення задачі визначення оптимальних показників ефективності діючих теплових електростанцій. Одержані результати показали різні рішення, оскільки були засновані на використанні тільки енергетичних або ексергетичних, або ексергоекономічних, або економічних показників. Показано переваги та недоліки їхнього застосування для оптимізації параметрів на вугільних теплових електростанціях. Одержане рішення показало перевагу використання газоподібного палива в парогазових і когенераційних енергетичних установках порівняно з вугільними тепловими електростанціями. В [5] представлені результати вирішення завдання оптимального розподілу часток вироблення електричної енергії в енергосистемі між атомними електричними станціями, поновлюваними джерелами енергії і традиційними тепловими енергетичними установками. В [6] показана можливість проводити аналіз енерготехнологічних об'єктів у тісному зв'язку з енергетичною системою за критерієм оптимізації, що враховує властивості показників теплової ефективності та економічної доцільності. Контрольна поверхня аналізу при цьому містить систему, в якій експлуатується розглянута установка.

В [7] подано підхід до оптимізації теплообмінного обладнання на основі мінімізації вартості життєвого циклу в вартісному виразі. Цей метод дозволяє спільно оптимізувати як разові витрати в обладнанні, так і експлуатаційні витрати на очищення від сольових відкладень. Такий підхід пошуку ефективності через методи оптимізації характерний для установок великого розміру, або великої кількості малих одиниць.

У роботі [8] розглядається метод аналізу ефективності та оптимізація параметрів процесу горіння біомаси в енергетичній та когенераційній установках. Представлений підхід використовується для аналізу і оптимізації стратегій керування структурою енергетичного обладнання.

В роботі [9] показано, що застосування математичного моделювання і пінч-аналізу уможливорює використання інсоляції в поєднанні з сонячною тепловою системою і тепловим насосом у традиційній енергетичній структурі консервної



фабрики. Для визначення ефективності цієї технологічної схеми були проаналізовані різні технологічні збурення, засновані на реальних випадках виробничого процесу. Одержуваний енергетичний потенціал такої комбінації в промисловому процесі показав свою ефективність.

Виконані попередні дослідження довели можливість розробки методу визначення цільової функції, яка враховує ефективність експлуатації різних структурних комбінацій енергетичної установки, що працює в системі з метою створення структури технічних засобів, які мають властивість регулювання. Тому в заключній частині дисертаційного дослідження необхідно розробити метод аналізу, що визначає придатність енергетичних установок різних видів, залежно від їхніх динамічних характеристик, для можливості компенсації збурень в енергетичній системі. І, як наслідок, розробити метод визначення цільової функції оптимізації та знаходження найкращих структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми.

Тому, виходячи з викладених завдань, метою роботи є вдосконалення методів і моделей автоматизованого управління енергетичною установкою, що використовує відновлювальні джерела енергії для підтримки балансу енергетичної системи за рахунок пошуку найкращої структури її складових частин, і переміщення такої установки в клас регульованих із підвищенням її енергетичної ефективності.

### **Основний текст**

Метою статті є розробкою моделі і методу визначення цільової функції оптимізації по знаходженню найкращих структурних комбінацій енергетичної установки для підтримки балансу енергетичної системи для підвищення її ефективності.

Досягнення мети здійснюється:

– розробкою моделі автоматизованої системи керування і методу проведення керованого піролізу для утилізації зброженого залишку змінного складу, який отримують у біогазовій технології, що дасть змогу виробляти додатково синтез-газ із максимальною теплотворною здатністю;

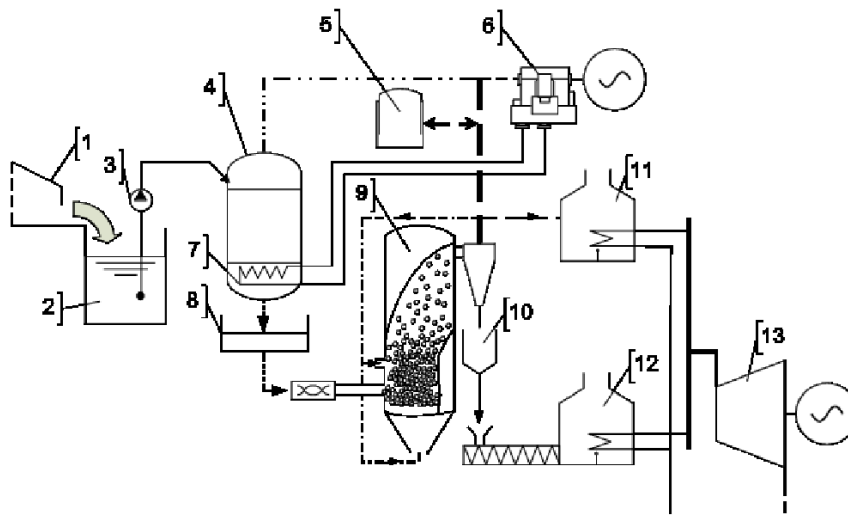
– розробкою методу визначення цільової функції оптимізації і знаходженням найкращих структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми.

### **Склад структури енергетичної установки.**

Розглянемо об'єкт управління, яким є біотенкова енергетична установка, показана на рис 1. Рослинний субстрат зі сховища (1) надходить на вузол підготовки (2), далі насосом (3) підготовлену сировину завантажують у метантенк (4). Біогаз, що утворюється в процесі бродіння, надходить в газгольдер (5) і далі на дизель-генераторну установку (ДГУ) (6). Для нагріву сировини в метантенку до температури бродіння і підтримки теплового режиму використовують контур охолодження (ДГУ) (7), через який протікає гаряча вода.



Зброжений залишок надходить у сховище (8). У розглянутій схемі реалізовано два контури управління. У першому контурі регулюється витрата газу з метантенка в газгольдер з коригуванням витрати зброженого залишку та визначається витрата субстрату, що завантажується до метантенку. Другий контур регулювання підтримує задану температуру в метантенку за рахунок тепла, що відводиться від ДГУ витратою охолоджувальної рідини. В такому стані установка працює у стаціонарному режимі цілодобово, що є наслідком великої інерційності каналу управління «сировина – газ» [10, 11].



**Рисунок 1 – Технологічна схема біотенкової енергетичної установки**

Для підвищення енергетичної ефективності і надбання маневрених властивостей пропонується доповнити біогазову установку піролізною. Піролізна установка може працювати циклічно або змінювати свою продуктивність щодо газу залежно від прийнятої стратегії. Піролізний реактор (9) отримує висушений зброжений залишок зі сховища (8).

Вироблений продукт-газ на виході з реактора надходить у загальну систему, де він розділяється на два потоки: споживацький і рециркуляційний. Останній подається на рециркуляційний вхід реактора і слугує для сушіння та нагріву вихідної сировини. Через повітряний колектор подається необхідна для піролізу кількість повітря. Одержуваний вуглистый залишок і смоли відправляються на склад (10).

Для піролізної установки параметрами регулювання є: витрата продукт-газу; температура піролізу (продукт-газу); склад продукт-газу. Керуючими впливами є: витрата вихідної сировини; витрата повітря; витрата рециркуляції продукт-газу. Зовнішніми збуреннями на об'єкт є: задана витрата продукт-газу; склад вихідної сировини.

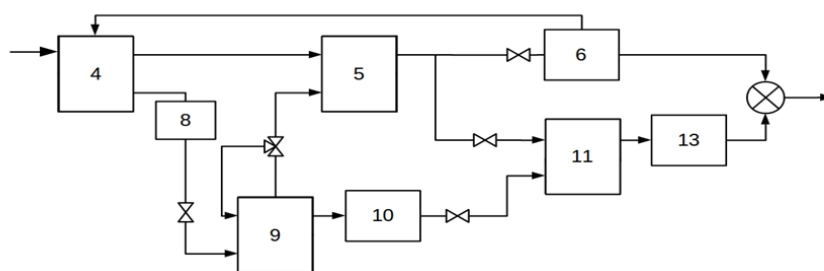
Наявність «мокрого» газгольдера створює буферну ємність для згладжування витрати газу за різких змін його споживання. Крім того, зміна рівня в газгольдері може слугувати ще одним регульованим параметром, який показує дисбаланс між кількістю продукт-газу, який споживається і генерується.

Система управління побудована так: у ній є три регулятори. Необхідна витрата продукт-газу визначається за відхиленням рівня води в газгольдері і підтримується за рахунок зміни витрати рециркуляції продукт-газу. Однак без



підтримки необхідної маси речовини в реакторі генерація продукт-газу припиниться, тому піролізний реактор треба оснастити регулятором витрати продукт-газу, що змінює витрату вихідної сировини (збродженого залишку). Температура піролізу підтримується зміною витрати повітря. Для компенсації збурення складом сировини регулятор температури отримує коригувальний сигнал за складом продукт-газу [11].

Крім того, для створення запасу потужності, підвищення енергетичної ефективності і поліпшення маневрених властивостей установки пропонується додатково оснастити її двигунами установки. До складу паротурбінної установки входять паровий котел (11) і парова турбіна (13). Паровий котел (11) може працювати на вуглистих залишках і смольних рідких фракціях. Наявність запасів вуглистого залишку дозволяє використовувати його як основне паливо для роботи паросилової установки в режимі забезпечення зміни потужності. При цьому турбіна працює на частковій потужності. А смоли, як більш калорійне паливо, можна використовувати для покриття пікових навантажень енергоспоживання в разі нестачі потужності від ДГУ. Турбіна (13) при цьому виводиться на максимальну потужність. ДГУ (6) від метатенкового газу працює з великим запасом потужності, який зменшується під час вироблення продукт-газу на установці піролізу (9), тим самим даючи змогу ДГУ (6) частково брати участь в покритті потужності. Структурна схема установки показана на рис. 2. Позначення відповідають рис. 1.

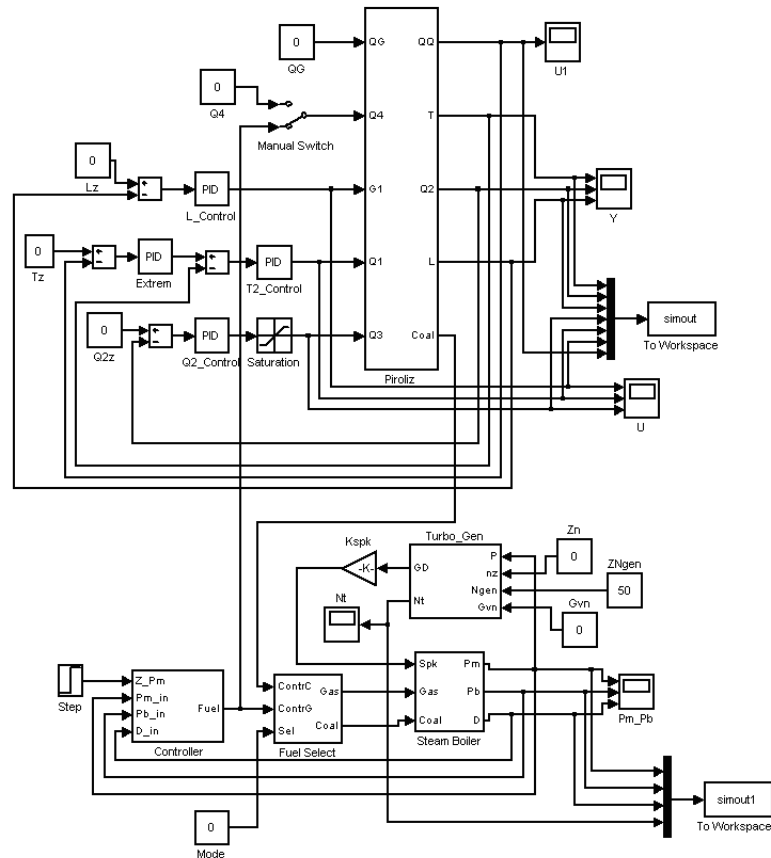


**Рисунок 2 – Структурна схема енергетичної установки**

Для дослідження роботи енергетичної установки була складена імітаційна модель. Загалом вона складається з моделей біореактора [10], дизель-генератора, піролізної установки, газового та вугільного котлів і турбогенератора. Математичні моделі більшості елементів відомі. Структурну схему моделі установки піролізу показано на рис. 2.

З погляду управління виробленням біогазу біореактор має доволі велику інерційність, і для оперативного управління потужністю енергетичної установки не використовується. Після розгляду зовнішніх збурювальних впливів регульованих і керуючих параметрів було синтезовано систему управління [11]. Схема автоматизованої системи регулювання приведена на рис. 3.

Для дослідження роботи АСР як зовнішніх впливів було вибрано зміну завдання потужності установки. У разі роботи котла на газі  $ZN_{gen} = 50\%$ ; якщо котел працює на вуглистому залишку,  $ZN_{gen1} = 30\%$ . Кількість вуглистого залишку розраховується як різниця мольних витрат вихідної сировини та синтез газу ( $coal=G1-Q2$ ). Графіки перехідних процесів показані на рис. 4–7.



**Рисунок 3 – Модель піролізної установки з котлом, навантаженим турбогенератором**

Отже, попередньо проведене імітаційне моделювання кожної окремо взятої одиниці енергетичного обладнання дозволило отримати його перехідні характеристики. Це дасть змогу визначати часи перехідних процесів за формування різних структур енергетичних установок [11].

**Метод пошуку найкращої структури.**

Розглянемо метод пошуку найкращої структури біотенкової енергетичної установки для уможливлення первинного регулювання енергосистеми. По-перше, повинна бути відома потреба в електричній енергії  $N(\tau)$  у заданому часовому діапазоні  $\tau \in [0; \tau_{розр}]$ . По-друге, мають бути відомі типи енергетичних установок, які можна включити в розглянуту структуру. Мінімальна і максимальна їхня потужність –  $N_j^{min}$  і  $N_j^{max}$ , а режим роботи: стаціонарний  $N_j(\tau) = const$ , динамічний (з можливими зупинками і швидкими пусками)  $N_j(\tau) = var$ .

Для розглянутих умов біореактор працює в стаціонарному режимі  $Q_{бм} = const$ . Піролізна установка для генерації продукт-газу працює в динамічному режимі  $G_{n2}(\tau) = var$ , але без зупинок. ПТУ працює в динамічному режимі  $N_{ПТУ}(\tau_i)$ , але з можливістю створення резерву, що обертається на віртуальній установці  $N_{Віреу}(\tau_i)$ . І так для кожного виду установки задається вектор вихідних даних, який містить: максимальну потужність ( $N_j^{max}$ ) і відповідну до неї ККД  $\eta_j(N_j(\tau_i))$ , мінімальну потужність  $N_j^{min}$ , динамічну

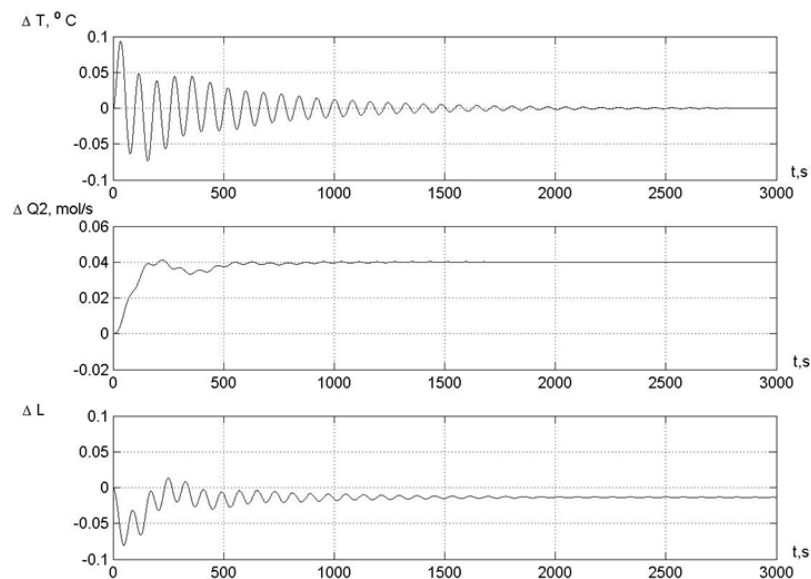


характеристику перехідного процесу каналом паливо–електроенергія  $N_j \in [N_j^{\min}; N_j^{\max}]$ , що виробляється, вихідну характеристику системного ККД  $\eta_{efj}$ , який розраховується за виразом (1):

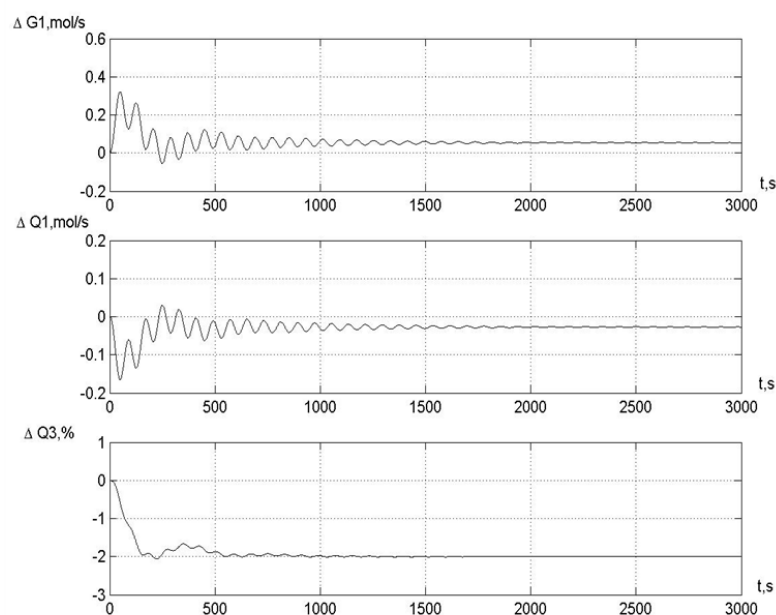
$$\bar{l} = (N_j^{\max}, \eta_j(N_j), N_j^{\min}, N_j; \eta_{efj}). \quad (1)$$

Для обчислення ефективності кожної структури  $\eta_{efj}$  необхідно окрім потреби в електричній енергії  $N(\tau)$  знати замикаючі витрати енергії, які визначені в [11,12].

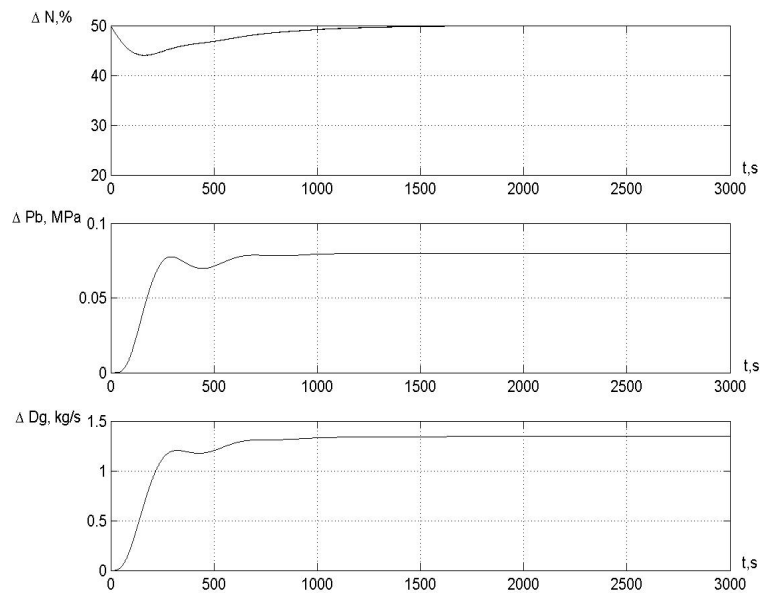
Розглянемо можливі структури біотенкової енергетичної установки для яких необхідно скласти вектор вихідних даних.



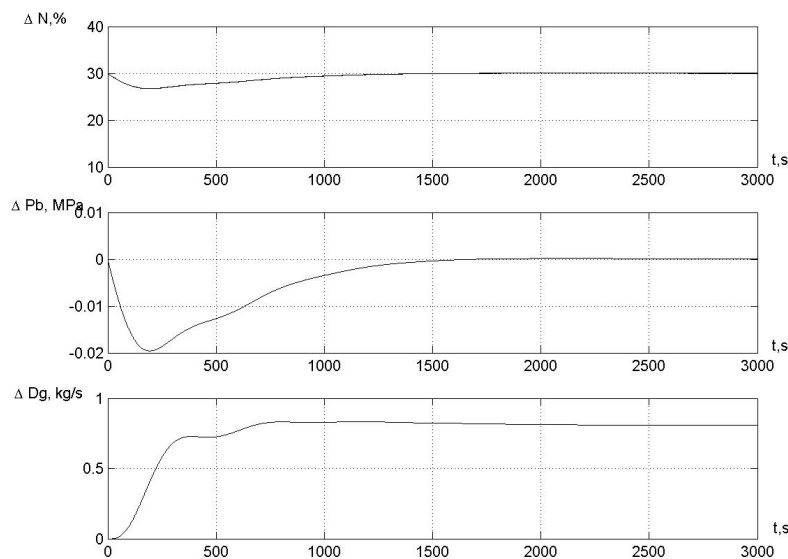
**Рисунок 4 – Відхилення параметрів регулювання піролізної установки**



**Рисунок 5 – Відхилення впливів регулювання піролізної установки**



**Рисунок 6 – Відхилення величин регулювання паросилової установки за умови роботи на газі: N – потужність, P – тиск пари, D – витрата пари**



**Рисунок 7 – Відхилення величин регулювання паросилової установки за умови роботи на вуглистому залишку: N – потужність, P – тиск пари, D – витрата пари**

**Структура I.** В установці працює тільки біореактор у стаціонарному режимі, зброджений залишок надходить у сховище, а отриманий біометан направляється в газгольдер, газовий дизель постійно виробляє електричну енергію, охолодження дизеля витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату. Вектор вихідних даних для структури I має вигляд:

$$\bar{l}_I = (N_{дгв}^{\max}, \eta_{дгв}(N_{дгв}), N_{дгв}^{\min}, N_{дгв}; \eta_{efI}) \quad (2)$$





**Структура II.** В установці працюють біореактор в стаціонарному режимі та установка піролізу в регульованому динамічному діапазоні, зброджений залишок надходить у сховище, а потім піддається піролізу. Отриманий біометан і продукт-газ з установки піролізу направляються в газгольдер. Вуглисті залишок і смоли надходять на склад. Регулюючи роботу установки піролізу, змінюємо вироблення на газовому дизелі електричної енергії  $N_{ДГУ}$  і  $N_{ДГУ}^{nz}$ , охолодження дизеля витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату і осушення збродженого залишку. Вектор вихідних даних для структури II має вигляд:

$$\bar{l}_{II} = (N_{ДГУ}^{\max}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}), N_{ДГУ}^{\min}, N_{ДГУ}, G_{nz}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}^{nz}), N_{ДГУ}^{nz}; \eta_{ef II}). \quad (3)$$

**Структура III.** В установці працюють біореактор в стаціонарному режимі, установка піролізу і паротурбінна установка в регульованих динамічних діапазонах, зброджений залишок надходить у сховище, а потім піддається піролізу. Отриманий біометан і продукт-газ з установки піролізу направляються в газгольдер. Вуглисті залишок і смоли надходять на склад, а потім – на ПТУ. Регулюючи роботу установок піролізу і паротурбінних установок, змінюємо вироблення на газовому дизелі електричної енергії  $N_{ДГУ}$  та  $N_{ДГУ}^{ПГ}$  і додатково змінюємо вироблення електричної енергії на ПТУ  $N_{ПТУ}$ . Охолодження дизель-генератора і ПТУ витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату і осушення збродженого залишку. Вектор вихідних даних для структури III має вигляд:

$$\bar{l}_{III} = (N_{ДГУ}^{\max}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}), N_{ДГУ}^{\min}, N_{ДГУ}, G_{nz}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}^{nz}), N_{ДГУ}^{nz}, N_{ПТУ}^{\max}, \eta_{ПТУ}(N_{ПТУ}), N_{ПТУ}^{\min}, N_{ПТУ}; \eta_{ef III}) \quad (4)$$

**Структура IV.** В установці працюють біореактор в стаціонарному режимі, установка піролізу та паротурбінна установка в регульованих динамічних діапазонах. На ПТУ передбачається не максимальне навантаження а резервується частина потужності на обертовий резерв. З біореактора зброджений залишок надходить у сховище, а потім піддається піролізу. Отриманий біометан і продукт-газ з установки піролізу направляються в газгольдер. Вуглисті залишок і смоли надходять на склад, а потім – на ПТУ. Регулюючи роботу установок піролізу і паротурбінних установок, змінюємо вироблення на газовому дизелі електричної енергії  $N_{ДГУ}$  та  $N_{ДГУ}^{ПГ}$  і додатково змінюємо вироблення електричної енергії на ПТУ  $N_{ПТУ}$ , при цьому ПТУ не навантажується до максимального значення, а має запас потужності під резерв, що обертається  $N_{ВірЕУ}$ . Охолодження дизель-генератора і ПТУ витрачається на підготовку і підігрів вихідного субстрату і осушення збродженого залишку. Вектор вихідних даних для структури IV має вигляд:

$$\bar{l}_{IV} = (N_{ДГУ}^{\max}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}), N_{ДГУ}^{\min}, N_{ДГУ}, G_{nz}, \eta_{ДГУ}(N_{ДГУ}^{nz}), N_{ДГУ}^{nz}, N_{ПТУ}^{\max}, \eta_{ПТУ}(N_{ПТУ}), N_{ПТУ}^{\min}, N_{ПТУ}, N_{ВірЕУ}^{\max}, \eta_{ВірЕУ}(N_{ВірЕУ}), N_{ВірЕУ}^{\min}, N_{ВірЕУ}; \eta_{ef IV}).$$

Розрахунок кожної структури окремо здійснюється за алгоритмом розрахунку показника ефективності [12].



$$\eta_{\text{еф}} = \frac{\int_0^{\tau_{\text{розр}}} N(\tau) d\tau}{\int_0^{\tau_{\text{розр}}} \left( \frac{N_{\text{пту}}(\tau)}{\eta_{\text{пту}}(N_{\text{пту}}(\tau))} + \frac{N_{\text{дгу}}(\tau)}{\eta_{\text{дгу}}(N_{\text{дгу}}(\tau))} + \frac{N_{\text{вирЕУ}}(\tau)}{\eta_{\text{вирЕУ}}(N_{\text{вирЕУ}}(\tau))} + \varepsilon N(\tau) \cdot \phi \right) d\tau}$$

де  $\phi$  – замикаючі витрати енергії, що визначаються з [12].

Алгоритм пошуку знаходиться у часовому циклі за  $\tau \in [0; \tau_{\text{розр}}]$  [12].

*Крок 1.* Визначаємо вихідні значення всіх технологічних параметрів енергетичних установок для забезпечення вихідних умов.

*Крок 2.* Поточне значення системної потреби без нанесення збурення розраховується згідно з пунктом А вихідних умов. Нанесення збурення на систему в момент часу  $\tau_i$  враховується зміною правила обчислення системної потреби, а саме: на інтервалі часу дії збурення поточне значення системної потреби приймається за  $\int_0^{\tau_i} N(\tau) d\tau + N(\tau_{\text{розр}} - \tau_i)_{\text{max}}$ .

*Крок 3.* Порівнюємо мінімальне значення потужності установки  $N_{\text{дгу}}^{\text{min}}$  з поточним значенням системної потреби  $N(\tau_i)$ . Якщо значення системної потреби більше або менше, то змінюємо структуру технічних засобів, вмикаючи або вимикаючи відповідну піролізну установку згідно з пунктом В вихідних умов.

*Крок 4.* Порівнюємо суму поточних значень потужностей двох установок  $N_{\text{дгу}}(\tau_i) + N_{\text{пту}}(\tau_i)$  із поточним значенням системної потреби  $N(\tau_i)$ . Якщо значення рівні, то керуючі впливи не наносяться. У випадку, якщо значення суми більше або менше, керуючі впливи зменшуються або збільшуються відповідно згідно з пунктом В вихідних умов.

*Крок 5.* Порівнюємо суму максимальних значень потужностей двох установок  $N_{\text{дгу}}^{\text{max}} + N_{\text{пту}}^{\text{max}}$  із поточним значенням системної потреби  $N(\tau_i)$ . Якщо значення суми менше або більше, то змінюємо структуру технічних засобів, вмикаючи або вимикаючи відповідну віртуальну установку згідно з пунктом В вихідних умов.

*Крок 6.* Визначаємо розбалансування  $\varepsilon N(\tau_i)$  між генеруючими установками та системною потребою згідно з пунктом Е вихідних умов (п. 4).

*Крок 7.* Проводимо розрахунок ефективності згідно з пунктом К вихідних умов.

Вибір найкращої структури відповідає максимальному значенню коефіцієнта ефективності  $\eta_{\text{еф}} \max\{\eta_{\text{еф I}}; \eta_{\text{еф II}}; \eta_{\text{еф III}}; \eta_{\text{еф IV}}\}_{\text{еф max}}$ .

### **Результати пошуку найкращої структури енергетичної установки.**

На рис. 8 показано залежності зміни показника енергетичної ефективності  $\eta_{\text{еф}}$  для різних видів графіків системної потреби, залежно від часу. У наведених залежностях можна виділити дві групи змін  $\eta_{\text{еф}}$ : перші, стрибкоподібні, ілюструють зміну структури енергетичної установки в якийсь момент часу  $\tau$  і призводять до локального підвищення  $\eta_{\text{еф}}$ ; другі, монотонні, пояснюються не зміною структурою, а зміною регульованого параметру. Основний висновок, який можна зробити: розглянутий метод дозволяє управляти не лише структурою енергетичних установок, які є складовими біотенкової, але й керувати технологічними параметрами. Крім того, аналіз змін  $\eta_{\text{еф}}$  від  $\tau$  для

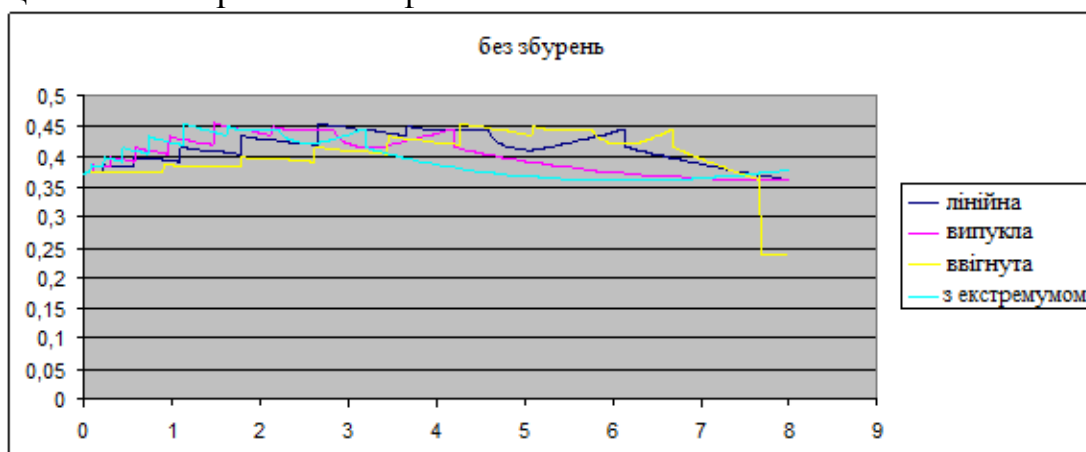


різних видів зміни системної потреби показав, що в кривих спостерігається трансформована подібність знайдених рішень з управління структурою. Зсув трансформованої подібності до початку або до кінця відліку пов'язаний із поточною максимальною потребою системи. Варто зазначити, що зменшення показників  $\eta_{\text{ef}}$  до початку або до кінця відліку  $\tau$  пов'язане з малою або великою системною потребою цієї моделі. На початку відліку в біоенергетичній установці генерує електроенергію тільки одна з установок структури, але зі зменшеним власним ККД через те, що максимальна потужність цієї установки перевищує системну потребу, в кінці всі установки працюють на максимальній потужності. Проте, усе одно виявляється нестача потужності. Вона компенсується замикаючими енергетичними витратами. Ця сама нестача потужності характерна у разі нанесення збурення.

Для вивчення виявленої обставини зі структурою IV для лінійної системної потреби були проведені обчислювальні експерименти, пов'язані з нанесенням стрибкоподібних збурень потужністю. Збурення наносилися двома різними значеннями 10 МВт (з істотно великим значенням ніж системна потреб 7 МВт (зі значенням, рівним максимальному значенню системної потреби) на часовому інтервалі  $[\tau_{36}; 28800]$  (с) за значень  $\tau_{36} \in \{18; 5400; 12600; 19800; 27000\}$  [11].

Такі установки можуть забезпечувати баланс між виробництвом і споживанням електричної енергії. Цільова функція об'єднує в собі ефективність кожної установки або її складових і загальну системну потребу, або завдання на виробництво. Це уможливило приведення різних варіантів до рівного ефекту. Використання замикаючих витрат енергії дало змогу звести задачу до одного аргументу (часу) і знаходити значення функції за будь-яких зовнішніх збурень.

Отже, вирішені всі задачі наукового дослідження, запропоновано методи, які дають змогу вирішити виявлене науково-технічне протиріччя. Тому мети роботи досягнуто, а саме: вдосконалено методи і моделі комп'ютерно-інтегрованої системи керування біотенковою енергетичною установкою, яка використовує відновлювальні джерела енергії для підтримки балансу енергетичної системи за рахунок пошуку найкращої структури її складових частин. Це уможливило переміщення такої установки в клас регульованих із підвищенням її енергетичної ефективності.



**Рисунок 8 – Залежності зміни показника енергетичної ефективності  $\eta_{\text{ef}}$**



### **Заключення та висновки**

1. Запропоновано критерій ефективності експлуатації енергетичної установки в енергосистемі. В основу критерію покладені властивості граничності і можливості додавання різних видів енергії, а також враховано системність і збалансованість розглянутих варіантів. Критерій був покладений в основу постановки задачі оптимізації вироблення продукції на енергетичній установці.

2. Розроблено метод аналізу, який визначає придатність енергетичних установок різних видів залежно від їхніх динамічних характеристик для можливості компенсації збурень в енергетичній системі. Розроблено метод пошуку найкращої структури біотенкової енергетичної установки через визначення цільової функції оптимізації і знаходження структурних комбінацій енергетичної установки, що використовує відновлювальні джерела енергії, які мають властивість регулювання, залежно від зовнішніх збурень з метою підтримання балансу енергосистеми.

### **Література:**

1. Unstable Green Power Grids. German ARD Television By P Gosselin: веб-сайт. URL: <https://notrickszone.com/2018/01/26/unstable-green-power-grids-german-ard-television-tells-citizens-to-start-getting-used-to-blackouts/#sthash.dpbs>

2. Biogas plants in Denmark. Gas Vitae: веб-сайт. URL: <https://gasvitae.com/wp-content/uploads/2017/11/Business-Prospect-Biogas-Plants-in-Denmark-by-Gas-Vitae-Nov-2017.pdf>

3. Hong-jie Song, Wei Zhang, Ya-qi Li, Zheng-wei Yang, An-bo Ming. Exergy analysis and parameter optimization of heat pipe receiver with integrated latent heat thermal energy storage for space station in charging process. Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 119. p.304-311.

4. Ravinder Kumar. A critical review on energy, exergy, exergoeconomic and economic (4-E) analysis of thermal power plants. Engineering Science and Technology, an International Journal. 2017. Vol. 20. p.283–292.

5. Melikoglua M. The role of renewables and nuclear energy in Turkey's Vision 2023 energy targets: Economic and technical scrutiny. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 62. p.1-12.

6. Верхивкер Г.П. О термодинамическом сопоставлении и анализе схем энерготехнологических установок. Известия вузов. Сер.: Энергетика. 1986. №11. С. 90-93.

7. Caputo A., Pelagagge P., Salini Joint P. Economic optimization of heat exchanger design and maintenance policy. Applied Thermal Engineering. 2011.Vol.31. p.1381-1392.

8. Strzalka R, Erhart T., Eicker U., Strzalka R. Analysis and optimization of a cogeneration system based on biomass combustion. Applied Thermal Engineering. 2013.Vol.50. p.1418-1426.

9. Quijera J., Alriols M., Labidi J. Integration of a solar thermal system in canned fish factory. Applied Thermal Engineering. 2014. Vol.70. p.1062-1072

10. Maksimov M., Davydov V., Krusir G., Maksimova O. Increasing of process



efficiency of biogas plants production processing. Праці Одеського політехнічного університету. 2017. Iss. 3. P. 43–53.

11. Maksymov M.M., Beglov K.V., Maksymova O. B., Maksymov O. M. The method of finding the most natural structure of a biotank power plant. Праці Одеського політехнічного університету. 2020. Iss. 1(60). P. 82–95.

12. Maksymova O., Maksymov M., Silina V., Orischenko A. Development of the method of determining the target function of optimization of power plant. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2017. Volume 9, Issue 2. С. 28–35.

**Abstract.** *A method of finding the best structure of a biotank power plant through the determination of the objective function of optimization and finding structural combinations of a power plant using renewable energy sources that have the property of regulation, depending on external disturbances in order to maintain the balance of the power system, is proposed. An analysis method has been developed that determines the suitability of power plants of various types for the possibility of compensating disturbances in the power system.*

*A criterion for the efficiency of operation of a power plant in the power system is proposed. The criterion is based on the properties of limitability and the possibility of adding different types of energy, as well as the systematicity and balance of the considered options.*

**Key words:** *optimization objective function, criterion, analysis method, energy system balance, renewable energy sources.*