



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільська обласна державна  
адміністрація



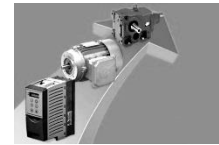
Тернопільський національний педагогічний  
університет імені Володимира Гнатюка

Національний науковий центр «Інститут  
механізації та електрифікації сільського  
господарства»



Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Національний університет біоресурсів і  
природокористування України



Науково-виробниче об'єднання  
«Енергоощадні технології»



ТзОВ «Універсальні технологічні системи»

# ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

Матеріали міжнародної науково-технічної онлайн  
конференції

м. Тернопіль, 8 червня 2021 року

місце проведення – Тернопільський національний педагогічний  
університет імені Володимира Гнатюка

Тернопіль, 2021

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

### **Голова організаційного комітету конференції:**

**Федорейко В. С.** – д.т.н., професор, академік АЕНУ, ТНПУ, голова громадської ради, член колегії ТОДА (Тернопіль, Україна).

### **Співголови організаційного комітету конференції:**

**Важинський В. М.** – к.ю.н, заступник голови ТОДА (Тернопіль, Україна)

**Буяк Б. Б.** – д.філос.н., професор, ректор ТНПУ (Тернопіль, Україна);

**Адамчук В. В.** – д.т.н., професор, академік НААНУ, директор інституту ІМЕСГ (Київ, Україна);

**Бешта О. С.** – д.т.н., професор, член-кореспондент НАНУ, проректор з наукової роботи НТУ «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна);

**Каплун В. В.** – д.т.н., професор, директор навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження, НУБіП України (Київ, Україна);

**Шерстюк Р. П.** – д.е.н., проректор економіки і розвитку наук, ТНТУ ім. І. Пулюя (Тернопіль, Україна);

**Щур І. З.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри ЕКС, НУ «Львівська політехніка» (Львів, Україна).

### **Члени організаційного комітету:**

**Nikolaus Neuberger (Ніколаус Нойбергер)** – професор факультету мобільності та техніки Еслінгенського університету прикладних наук (Есслінген, Німеччина);

**Edgar Caseres Cabana (Едгар Касерес Кабана)** – доцент, директор науково-дослідного інституту відновлюваних джерел енергії та енергоефективності, університет св. Августина (Арекіпа, Перу);

**Adam Smoliński (Адам Смолінскі)** – професор, Вчений секретар Головного інституту гірництва (Катовіце, Польща);

**Piotr Olczak (Пьотр Ольчак)** – доцент, керівник наукових проєктів з утилізації відходів, енергетичної ефективності та відновлювальних

джерел енергії, Інститут Мінеральної сировини та енергетики,  
Польська академія наук (Краків, Польща);

*Sigitas Mičiulis (Sigitas Michulis)*, CEO «Времена» (Таураге, Литва).

*Дичковський Р. О.* – д.т.н., професор, начальник НДЧ НТУ «Дніпровська  
політехніка» (Дніпро, Україна);

*Горбатюк Р. М.* – д.пед.н., к.т.н., професор ТНПУ (Тернопіль, Україна);

*Іскерський І. С.* – к.т.н., директор НВО «Енергоощадні технології»  
(Тернопіль, Україна);

*Воронін В. М.* – заступник голови громадської ради при Тернопільській  
ОДА (Тернопіль);

*Загородній Р. І.* – к.т.н., заступник директора ТзОВ «УТС» (Тернопіль);

*Рутило М. І.* – к.т.н., доцент ТНПУ (Тернопіль);

*Бурега Н. В.* – к.т.н., викладач ТНПУ (Тернопіль);

*Луцик І. Б.* – к.т.н., доцент ТНПУ (Тернопіль);

*Замора Я. П.* – к.т.н., доцент ТНПУ (Тернопіль).

**Важливо!** Матеріали доповідей подані в авторській редакції.  
Відповідальність за якість та зміст тез доповідей несе автор.

### **ПОШТОВА АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ**

Кафедра машинознавства та транспорту, Тернопільський національний педагогічний  
університет імені Володимира Гнатюка

46018 м. Тернопіль, вул. В. Винниченка, 8, корп. 2, каб. 208.

E-mail: [conferenceKMT@gmail.com](mailto:conferenceKMT@gmail.com)

## ЗМІСТ

### Зміст

ЗВІТ ПРО РОБОТУ КОНФЕРЕНЦІЇ .....	6
ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ОНЛАЙН ЗАСІДАНЬ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ 8 червня 2021 року .....	11
МАТЕРІАЛИ ДОПОВІДЕЙ СЕКЦІЙНИХ ЗАСІДАНЬ КОНФЕРЕНЦІЇ ...	15
СЕКЦІЯ 1. Диверсифікація джерел енергії: технологічні, екологічні та економічні аспекти проблеми.....	15
<i>ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ НЕСЕРТИФІКОВАНОГО         ПАЛИВА МІСЦЕВОГО ПОХОДЖЕННЯ .....</i>	<i>15</i>
<i>Федорейко В. С., д.т.н., професор .....</i>	<i>15</i>
<i>ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ МОДУЛІВ ГЕНЕРАТОРІВ         УТИЛІЗАТОРІВ.....</i>	<i>18</i>
<i>Калишук О. С.....</i>	<i>18</i>
<i>ПОБУДОВА ІНТЕРВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ         ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ «ТОПОЛЬКИ»         .....</i>	<i>21</i>
<i>Франко Ю. П., к.т.н., доцент; Гевко І. В., д.п.н., професор; Рак В. І., к.п.н., доцент. .</i>	<i>21</i>
СЕКЦІЯ 2. Логістика постачання та оптимізація місцевих енергетичних систем із врахуванням потенціалу альтернативних видів палива .....	24
<i>ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ОСВІТІ – ЗАПОРУКА УСПІШНОГО РОЗВИТКУ         УКРАЇНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА.....</i>	<i>24</i>
<i>Горбатюк Р. М., к.т.н., д.п.н., професор; Бочар І. Й., к.т.н., доцент.....</i>	<i>24</i>
<i>ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В СИСТЕМАХ ГЕНЕРАЦІЇ         ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ.....</i>	<i>27</i>
<i>Іскерський І. С., к.т.н.....</i>	<i>27</i>
<i>ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТРАТ ЕНЕРГІЇ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ЮЇОМАСИ.....</i>	<i>30</i>
<i>Замора Я.П., к.т.н., доцент.....</i>	<i>30</i>

<i>ВИКОРИСТАННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСІ РЕМІСІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ІЗ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....</i>	<i>33</i>
<i>Пальчик А.О., к.т.н., викладач.....</i>	<i>33</i>
<i>ГЕНЕРАЦІЯ НОВОЇ БІОМАСИ ШЛЯХОМ УТИЛІЗАЦІЇ ВИКИДІВ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ.....</i>	<i>36</i>
<i>Бурега Н.В., к.т.н., викладач, Сіткар С.В., к.п.н., викладач.....</i>	<i>36</i>

**СЕКЦІЯ 3. Автоматизовані системи керування теплогенераторами на базі альтернативних видів палива ..... 39**

<i>ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОНЕЧІТКИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОМ, ЩО ПРАЦЮЄ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА.....</i>	<i>39</i>
<i>Луцик І. Б., к.т.н., доцент, Струганець Б. В., к.п.н., доцент.....</i>	<i>39</i>
<i>АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ДОЗАТОРІВ КОМПОНЕНТІВ ГОРІННЯ НЕСЕРТИФІКОВАНОГО БІОПАЛИВА.....</i>	<i>42</i>
<i>Рутило М.І., к.т.н., доцент,.....</i>	<i>42</i>
<i>МОДЕЛЮВАННЯ КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ УСТАВОК ДИСТАНЦІЙНИХ ЗАХИСТІВ З ДИСТАНЦІЙНИМ ПУСКОМ І ЗАЛЕЖНОЮ ВИТРИМКОЮ ЧАСУ В ЛІНІЯХ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.....</i>	<i>47</i>
<i>Омельчук А. О.1, к.т.н., доцент; Макаревич С. С. 1, к.т.н., доцент; Петренко А. В. 1, к.т.н., доцент; Ярош Я. Д.2, д.т.н., професор.....</i>	<i>47</i>
<i>АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИМИ УСТАНОВКАМИ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ.....</i>	<i>49</i>
<i>Загородній Р. І. к.т.н., .....</i>	<i>49</i>

## ЗВІТ ПРО РОБОТУ КОНФЕРЕНЦІЇ

8 червня 2021 року на базі Тернопільського національного педагогічного університету відбулась міжнародна науково-технічна онлайн конференція «Диверсифікація джерел енергії на базі використання альтернативних видів палива».

Напрямки роботи конференції були розділені на три секції:

Секція 1. – Диверсифікація джерел енергії: технологічні, екологічні та економічні аспекти проблеми.

Секція 2. – Логістика постачання та оптимізація місцевих енергетичних систем із врахуванням потенціалу альтернативних видів палива.

Секція 3. – Автоматизовані системи керування теплогенераторами на базі альтернативних видів палива.



До організаційного комітету увійшли провідні науковці та фахівці в галузі енергозбереження з України, Литви, Німеччини та Польщі.

До учасників конференції звернувся ректор ТНПУ, професор Богдан Буяк, який відзначив актуальність тематики конференції і побажав усім плідної роботи в обговоренні проблем розвитку альтернативної енергетики в Україні.



*Привітання учасникам ректора ТНПУ проф. Б.Буяка*

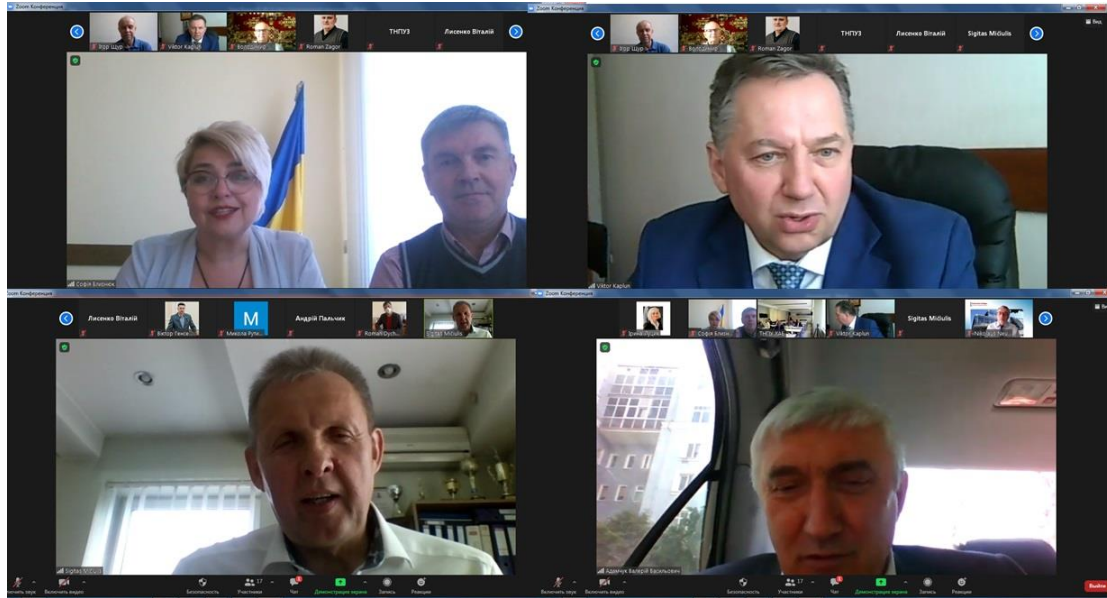
Необхідність інтенсифікації розвитку галузі енергозбереження підкреслив також у своєму виступі депутат Верховної Ради України, д.юр.н. Іван Калаур. У свою чергу, важливість вирішення саме проблем диверсифікації джерел енергії у нашому регіоні відзначила заступник директора департаменту - начальник управління житлово-комунального господарства та енергозбереження Тернопільської облдержадміністрації Софія Близнюк.

У процесі розкриття нагальних питань енергозбереження виступили д.т.н., професор, академік НААН України Валерій Адамчук (Київ); д.т.н., професор, директор навчально-наукового інституту енергетики, автоматизації і енергозбереження НУБіП України Віктор Каплун (Київ) та керівник компанії «Времена» Сігітас Мічюліс (Таураге, Литва).



Міжнародна науково-технічна конференція  
*Диверсифікація джерел енергії на базі використання альтернативних видів палива*

Робота конференції здійснювалась у змішаному режимі, що дозволило поєднати переваги он-лайн формату із безпосереднім спілкуванням з організаторами конференції у залі засідань.



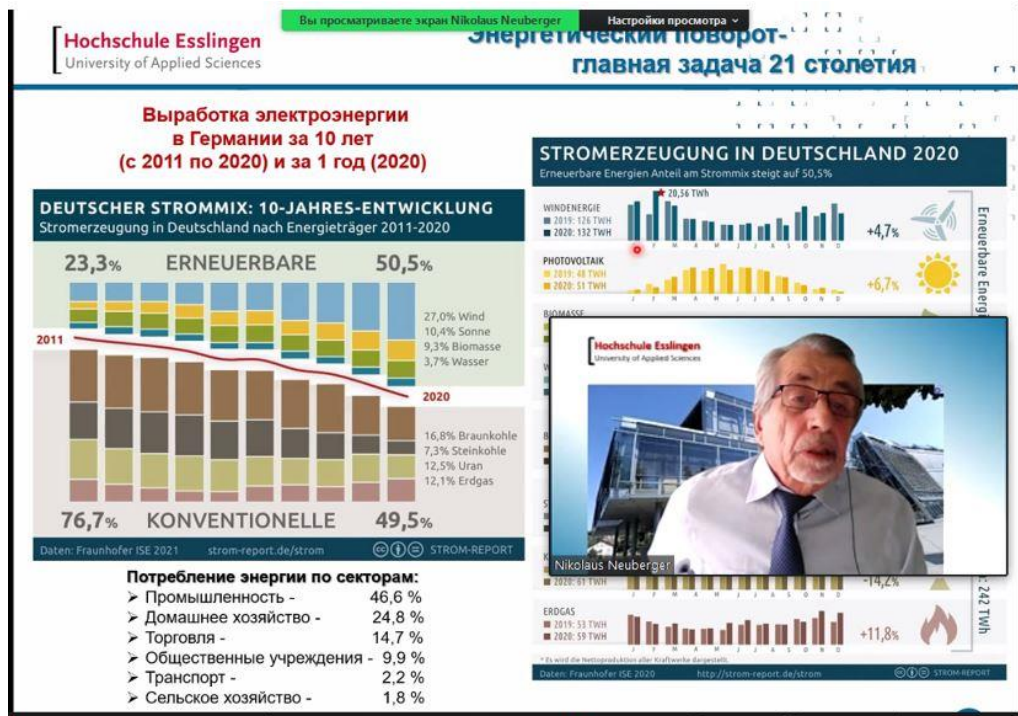
*Привітання та доповіді учасників конференції*

В процесі обміну досвідом у роботі 3-х секцій науковці розкривали власні напрацювання щодо логістики використання альтернативних видів палива, сучасних технологій функціонування теплогенераторів, що забезпечують енергоефективні режими роботи з дотриманням екологічних вимог.

Слід відзначити доповідь професора Есслінгенського університету прикладних наук Ніколауса Нойбергера (Есслінген, Німеччина), який ґрунтовно проаналізував енергетичний сектор Німеччини та перспективні шляхи вирішення проблеми енергозбереження.

Цікавою також була доповідь професора, вченого секретаря Головного інституту гірництва (Катовіце, Польща) Адама Смолінські щодо диверсифікації джерел енергії за рахунок використання енергії біомаси та водню.



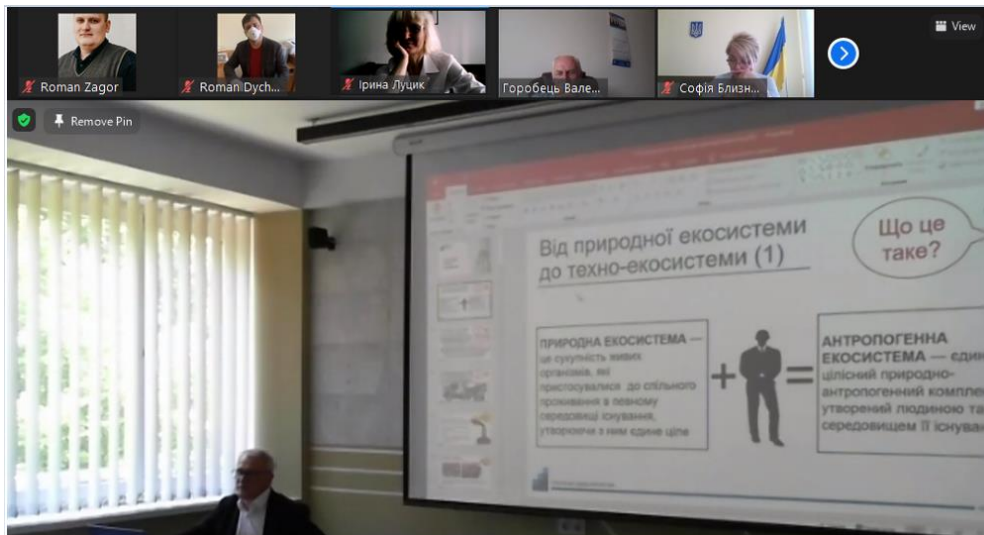


Виступ проф. Nikolaus NEUBERGER

Розкриттю проблем та перспектив розвитку галузі енергозбереження в Україні, власними науковими здобутками у вказаному напрямку також поділилися науковці: Олександр Бешта – д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, проректор з наукової роботи НТУ «Дніпровська політехніка» (Дніпро); Валерій Горобець – д.т.н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики НУБіП України (Київ); Роман Дичковський – д.т.н., професор, начальник НДЧ НТУ «Дніпровська політехніка» (Дніпро); Віталій Лисенко – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматики та робототехнічних систем імені академіка І. І. Мартиненка НУБіП України (Київ); Віктор Щур – д.т.н., професор, завідувач кафедри ЕКС, НУ «Львівська політехніка» (Львів), Олег Каліщук – головний конструктор теплотехнічних модулів ТзОВ «УТС» (Тернопіль).

Активну участь у роботі конференції прийняли викладачі та випускники інженерно-педагогічного факультету, на базі якого функціонує лабораторія «Енергетичного менеджменту», яку очолює професор, д.т.н. Валерій Федорейко.

Міжнародна науково-технічна конференція  
Диверсифікація джерел енергії на базі використання альтернативних видів палива



*Виступ проф. О.Беши*

В обговоренні, зокрема, взяли участь професор, д.пед.н., к.т.н. Роман Горбатюк, к.т.н. Назар Бурега, к.т.н. Роман Загородній, к.т.н. Іван Іскерський, к.т.н. Ірина Луцик, к.т.н. Андрій Пальчик, к.т.н. Микола Рутило.



*Учасники конференції*

Науковці обмінялися своїми досягненнями та практичними розробками, які націлені на використання місцевих відновлювальних джерел енергії, застосування теплогенераторів власної конструкції та розробку інтелектуальних систем керування, що забезпечить підвищення енергоефективності режимів роботи спеціалізованого обладнання.

## ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ОНЛАЙН ЗАСІДАНЬ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ 8 червня 2021 року

Час	Назва заходу
9.45 – 10.00	<b>Реєстрація учасників</b>
10.00 – 10.05	<b>Офіційне відкриття науково-технічної онлайн конференції</b> <b>Вступне слово:</b> д. т. н., професор, академік АЕН України, професор ТНПУ ім. В. Гнатюка, (Тернопіль, Україна) <b>ФЕДОРЕЙКО Валерій Степанович</b>
10.05 – 10.15	<b>Вітальне слово:</b> голова Тернопільської ОДА, (Тернопіль, Україна) <b>ТРУШ Володимир Любомирович</b>
10.15 – 10.25	<b>Вітальне слово:</b> д. юрид. н., професор, депутат Верховної Ради України, (Київ, Україна) <b>КАЛАУР Іван Романович</b>
10.25 – 10.35	<b>Вітальне слово:</b> д. філос. н., професор, ректор ТНПУ ім. В. Гнатюка <b>БУЯК Богдан Богданович</b> (Тернопіль, Україна)
10.35 – 10.45	<b>Вітальне слово:</b> д.т.н., професор, академік НААН України, директор ННЦ «ІМЕСГ» (Київ, Україна) <b>АДАМЧУК Валерій Васильович</b>
10.45 – 10.55	<b>Вітальне слово:</b> д. т. н., професор, директор навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження, НУБіП України (Київ, Україна) <b>КАПЛУН Віктор Володимирович</b>
10.55 – 11.05	<b>Вітальне слово:</b> Керівник компанії «Времена» (енергоефективні технології) (Таураге, Литва) <b>Sigitas MICIULIS (Sigitas MICHULIS)</b>

**Секційні засідання:**

**СЕКЦІЯ 1. ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ:  
ТЕХНОЛОГІЧНІ, ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ  
ПРОБЛЕМИ**

Модератор секції:  
**ФЕДОРЕЙКО Валерій Степанович**

**«Диверсифікація джерел теплової енергії на базі  
несертифікованого палива місцевого походження»**

**ФЕДОРЕЙКО Валерій Степанович**  
д. т. н., професор, академік АЕНУ, ТНПУ (Тернопіль, Україна)

**«Еволюція техно-екосистем»**

**БЕШТА Олександр Степанович**  
д. т. н., професор, член-кореспондент НАН України, проректор з  
наукової роботи НТУ «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна)

**«Енергетичний поворот - головне завдання 21 століття»**

**NEUBERGER Nikolaus (Ніколаус Нойбергер)**  
професор факультету мобільності та техніки Есслінгенського  
університету прикладних наук (Есслінген, Німеччина)

**«Нові конструкції кожухотрубних теплообмінних апаратів для  
генераторів теплової енергії»**

**ГОРОБЕЦЬ Валерій Григорович**  
д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики НУБіП  
України (Київ, Україна)

**«Термохімічні перетворення при утилізації вуглецевмісної  
сировини»**

**ДИЧКОВСЬКИЙ Роман Омелянович**  
д.т.н., професор, начальник НДЧ НТУ «Дніпровська політехніка»  
(Дніпро, Україна)

**«Обґрунтування параметрів теплотехнічних модулів  
генераторів- утилізаторів»**

**КАЛІЩУК Олег Степанович**  
Головний конструктор теплотехнічних модулів ТзОВ «УТС»  
(Тернопіль, Україна)

**СЕКЦІЯ 2. ЛОГІСТИКА ПОСТАЧАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ  
МІСЦЕВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ВРАХУВАННЯМ  
ПОТЕНЦІАЛУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА**

Модератор секції:  
**ІСКЕРСЬКИЙ Іван Станіславович**

**«Економічне обґрунтування використання біопалива у контексті  
реалізації цілей сталого розвитку»**

**ШЕРСТЮК Роман Петрович**  
д. екон. н., проректор з економіки та розвитку, ТНТУ ім. І. Пулюя

**«Енергозбереження в освіті – запорука успішного розвитку  
українського суспільства»**

**ГОРБАТЮК Роман Михайлович**  
д.пед.н., к.т.н., професор ТНПУ (Тернопіль, Україна)

**«Badania zgazowania wspolzgazowania biomasy / bioodpadow  
/ osadow sciekowych»**

**«Дослідження з газифікації: газифікації біомаси, відходів, мулу і  
стічних вод»**

**SMOLIŃSKI Adam (Адам Смолінскі)**  
професор, Вчений секретар Головного інституту гірництва (Катовіце,  
Польща)

**«Економічні аспекти використання біопалива в системах  
генерації теплової енергії»**

**ІСКЕРСЬКИЙ Іван Станіславович**  
к.т.н., директор НВО «Енергоощадні технології» (Тернопіль, Україна)

**«Використання мікробіологічних систем в процесі ремісії  
вуглекислого газу із атмосферного повітря»**

**ПАЛЬЧИК Андрій Олександрович**  
к.т.н., доцент ТНПУ ім. В. Гнатюка (Тернопіль, Україна)

**«Генерація нової біомаси шляхом утилізації викидів  
біотеплогенераторів»**

**БУРЕГА Назар Васильович**  
к.т.н., викладач ТНПУ ім. В. Гнатюка (Тернопіль, Україна)



### **СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАМИ НА БАЗІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА**

Модератор секції:

**РУТИЛО Микола Іванович**

**«Комп'ютерно-інтегровані системи управління біотехнічними об'єктами»**

**ЛИСЕНКО Віталій Пилипович**

д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматики та робототехнічних систем імені академіка І. І. Мартиненка НУБіП України (Київ, Україна)

**«Особливості застосування частотно-регульованого асинхронного електроприводу в генераторах-утилізаторах»**

**ЩУР Ігор Зенонович**

д.т.н., професор, завідувач кафедри ЕКС, НУ «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

**«Адаптивна система керування регульованим електроприводом дозаторів компонентів горіння несертифікованого біопалива»**

**РУТИЛО Микола Іванович**

к.т.н., доцент ТНПУ ім. В. Гнатюка (Тернопіль, Україна)

**«Застосування нейронечітких технологій в системі керування теплогенератором, що працює на альтернативних видах палива»**

**ЛУЦИК Ірина Богданівна**

к.т.н., доцент ТНПУ ім. В. Гнатюка (Тернопіль, Україна)

**«Моделювання критеріїв вибору уставок керування в лініях з джерелами розподіленої генерації»**

**ПЕТРЕНКО Андрій Володимирович**

к.т.н., доцент НУБіП України (Київ, Україна)

**«Автоматизована система керування когенераційною установкою для військових підрозділів»**

**ЗАГОРОДНІЙ Роман Іванович**

к.т.н., заступник директора ТзОВ «УТС» (Тернопіль, Україна)

# **МАТЕРІАЛИ ДОПОВІДЕЙ СЕКЦІЙНИХ ЗАСІДАНЬ КОНФЕРЕНЦІЇ**

## **СЕКЦІЯ 1. Диверсифікація джерел енергії: технологічні, екологічні та економічні аспекти проблеми**

УДК 62.6

### **ДИВЕРСИФІКАЦІЯ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ НЕСЕРТИФІКОВАНОГО ПАЛИВА МІСЦЕВОГО ПОХОДЖЕННЯ**

***Федорейко В. С., д.т.н., професор***

*Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка.*

*Тернопіль, Україна*

Враховуючи надзвичайну актуальність економії енергоресурсів в умовах військової агресії проти України, представники наукових установ, у тому числі і Громадська рада при Тернопільській облдержадміністрації активно долучилися до вирішення загальнонаціональних проблем у сфері економії традиційних енергоресурсів, збереження довкілля та запровадження в реальне виробництво енергоефективних технологій. Вказані зусилля дозволять зекономити значну кількість природного газу, кошти державного і місцевих бюджетів, вирішити питання утилізації твердих побутових відходів, забезпечити Збройні Сили України автономними генераторами теплової та електричної енергії, створити тисячі



додаткових місць. І нарешті, ліквідувати комплекс неповноцінності в українців, які за 30 років незалежності привикли до вульгарної енергозатратності економіки, причиною якої є ігнорування диверсифікації джерел енергії, в першу чергу, на базі біологічних та твердих відходів, частка яких на сьогодні складає близько 1 %.

Важливість запровадження інноваційних напрацювань в області енергетичної незалежності держави підтримано Президентом України під час його виступу Всеукраїнському форумі "Україна 30" 22 лютого 2021 року де керівником держави наголошено на пріоритетних напрямках щодо розвитку відновлюваної енергетики та підвищення енергоефективності підприємств промислового та аграрного комплексів України.

Реальні приклади наших європейських партнерів демонструють реальну можливість для енергетики значно зменшити залежність від архаїчних вуглеводневих джерел. В системах первинної генерації теплової енергії, використовуючи біомасу з однорічним циклом відновлення та різноманітні відходи більшість європейських країн досягли достойних 20–30 % в енергобалансах своїх країн, що на сьогоднішній день є недосяжною метою для України. Тому ми сьогодні пропонуємо споживачам теплової енергії, а це елеватори, тепличні господарства, різноманітні енергозатратні виробництва, абсолютно доступний науково-технічний продукт, який за відносно короткий час дозволить диверсифікувати традиційні джерела теплової енергії на базі несертифікованого палива місцевого походження.

Для практичного вирішення задекларованих проблем в галузі диверсифікації енергії під егідою Тернопільської облдержадміністрації 12 жовтня 2016 року за участі Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, Національного технічного університету "Дніпровська політехніка", Національного університету біоресурсів і природокористування України і Національного наукового центру "ІМЕСГ" створено Науково-дослідний консорціум "Інноваційні

технології в енергетиці" (далі Консорціум), яким розроблено та апробовано ексклюзивні інноваційні проекти генерації, когенерації та конвертації енергії, які одночасно дозволяють в значній мірі вирішити енергетичні, економічні та екологічні проблеми України:

1. Вихрові генератори-утилізатори, потужністю від 1 до 4 МВт для сушки зерна обігріву виробничих, житлових приміщень, теплиць тощо.

2. Біопальники, потужністю від 1 до 10 МВт для теплопостачання систем централізованого опалення та виробничих приміщень.

3. Теплогенератори з термоелектричним модулем генерації електричної енергії від 30 кВт для військових підрозділів та об'єктів господарювання при відсутності централізованого електропостачання.

4. Піролізні генератори-утилізатори побутових і медичних відходів, у тому числі, важколіквідних, потужністю від 0,1 до 1 МВт з функцією генерації теплової енергії з різноманітних відходів.

Вказані розробки апробовані на підприємствах Київської, Тернопільської та Чернігівської областей і готові до серійного виробництва в тому числі для військових підрозділів. Термін окупності зазначених проектів становить від 1 до 2 років.

Основною задачею задекларованих проектів є вилучення традиційних видів палива, в першу чергу природного газу з енергозатратних технологій. В більшості випадків реалізується подвійна функція – генерація дешевої, екологічно чистої енергії та утилізація різноманітних твердих відходів біологічного та промислового походження. Біологічні відходи (полова, солома, елеваторні залишки) мають однорічний цикл відновлення, так що ми працюємо в правовому полі Євросоюзу і не використовуємо дерев'яний сегмент палива при роботі генераторів-утилізаторів середньої і великої потужності.

Фактологічні дослідження свідчать, що при широкомасштабній реалізації вказаних проектів з енергобалансу України можна витіснити до 5

млрд. м<sup>3</sup> природного газу. Це неодмінно позитивно вплине на його ринкову ціну і зменшить енергозалежність держави від імпорту вуглеводневих енергоносіїв. Додаткові технологічні процеси, пов'язані із заготівлею, підготовкою та подачею біопалива в генератор, створюють додаткові робочі місця при мінімальному техногенному навантаженні на довкілля.

І нарешті, при впровадженні наших розробок, на 100 % українського походження, держава отримує цивілізований інструментарій в області утилізації та переробки твердих побутових відходів, що є ще однією надзадачею для нашої країни. В цілому ми отримуємо потужний економічний, енергетичний та екологічний ефект, на який багато років чекає Україна від своїх дослідників.

УДК 662.6.9

## **ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ МОДУЛІВ ГЕНЕРАТОРІВ УТИЛІЗАТОРІВ**

*Калищук О. С.*

*Головний конструктор ТзОВ «УТС», м. Тернопіль, Україна*

Зростання цін на викопні енергоносії, що використовуються для опалювання виробничих і житлових приміщень, спричиняє значне фінансове навантаження на економіку держави. Крім цього, використання викопних (вуглеводневих) енергоресурсів (для генерації теплової енергії) завдає шкоди екології через значну кількість викидів вуглекислоти в атмосферу.

Одним із можливих шляхів вирішення зазначеної проблеми є перехід на альтернативні, відновлювальні джерела генерації теплової енергії. Зважаючи на потенціал АПК України, використання відходів його виробництва (соломи, стрижні початків, стебла, листя, лушпиння

соняшника, тощо) для генерації теплової енергії може значно знизити залежність нашої держави від імпортованої енергосировини. Одним із перспективних способів отримання теплової енергії з відходів АПК є використання твердопаливних котлів.

Нами створено біотеплоенергетичний комплекс, націлений на заміщення природного газу твердим несертифікованим біопаливом місцевого походження, який адаптований до найбільш розповсюджених у світі зернових сушок. Виготовлені нами твердопаливні теплогенератори призначені на значне зменшення затрат на енергоносії, а також на витіснення дорогого палива на значно дешевше місцевого походження (дерево, стружка, тирса, елеваторні відходи, брикети, пелети тощо). Додаткові технологічні процеси, пов'язані із заготівлею, підготовкою та подачею біопалива в біотеплогенератор створюють додаткові робочі місця, при нульовому техногенному навантаженні на довкілля.

Дана технологія дозволяє замінювати газові пальники на твердопаливні теплогенератори, що дасть можливість для одного комплексу біотеплогенератора енергозамістити близько 600 000 м<sup>3</sup> природного газу при зниженні собівартості процесу сушіння в 2–3 рази.

Виділяють наступні методи спалювання палива.

#### 1. Спалювання палива методом піролізу.

В основу роботи твердопаливного газогенераторного котла покладено принцип піролізного згоряння (або сухої перегонки) палива, принцип роботи якого полягає в тому, що під дією високої температури та в умовах дефіциту кисню паливо розпадається на летючу частину – піролізний газ і твердий залишок – кокс (паливне вугілля). Змішування кисню повітря з виділеним піролізним газом при високій температурі спричинює процес горіння останнього, який використовується для отримання теплової енергії. Зазначимо, що піролізний газ в процесі згоряння взаємодіє з активним вуглецем, унаслідок чого димові гази на виході з котла практично не містять

шкідливих домішок. Такий котел викидає в атмосферу в три рази менше вуглекислого газу, порівняно зі звичайним дров'яним і вугільними котлами. Під час піролізу виділяється мінімальна кількість золи, сажі та нагару, тому котел рідше, ніж звичайний, має потребу в чищенні. Котли з піролізного спалювання деревини (газогенераторні котли) мають високий ККД (до 85 %) і дозволяють автоматично регулювати потужність.

## 2. Вихровий метод спалювання палива.

У топках циклонного типу спалюються, в основному, летючі види палива: соняшникове лушпиння, лушпиння від насіння гречки, рису, вівса та ін. Низькотемпературний топковий процес у вихровій топці підтримується за двоступеневої схемою, за рахунок недостатнього для повного спалювання лузги подачі дуття в зону утримання частинок і потім допалюванням продуктів неповного згорання в екранованому обсязі топки котла. Подібна аеродинамічна організація процесу спалювання ліквідує винесення дрібнодисперсних паливних частинок.

Проведення подальших досліджень горіння твердих біопалив зумовлене необхідністю більш широкого використання сільськогосподарської біомаси, зокрема солом'яних пелет в котельнях міст та сільських поселень. Підвищений вміст та легкоплавкість золи при спалюванні несертифікованого палива призводить до агломерації часток у шарі палива, порушення горіння зі зменшенням теплопродуктивності, зростання емісії оксиду вуглецю, різкого зниження коефіцієнта корисної дії твердопаливного теплогенератора.

### **Література:**

1. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

УДК 51-74

## **ПОБУДОВА ІНТЕРВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ «ТОПОЛЬКИ»**

**Франко Ю. П., к.т.н., доцент; Гевко І. В., д.п.н., професор;  
Рак В. І., к.п.н., доцент.**

*Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка.  
м. Тернопіль, Україна.*

Виробництво електроенергії є одним із головних напрямів стратегічного розвитку держави та її енергетичної безпеки. Важливим фактором у цьому напрямі є використання нетрадиційних джерел енергоресурсів, до яких відносяться гідроресурси. Україна має достатньо велику кількість малих річок, енергію яких з успіхом та без шкоди довікллю можна було б використовувати для додаткового вироблення електроенергії. Прогнозування потужностей генерування електроенергії малими гідроелектростанціями (МГЕС) України є необхідною умовою для забезпечення її енергетичної незалежності. Для побудови моделей прогнозування генерування електроенергії МГЕС доцільно використати інтервальний аналіз даних на основі системного аналізу. Для дослідження вибрано МГЕС «Топольки». Для того, щоб збільшити потужність МГЕС потрібно дослідити характеристики генерування електроенергії, вивчити можливості щодо забезпечення заданого графіку генерування потужності. Для цього потрібно побудувати інтервальну модель прогнозування коридору генерованої електроенергії МГЕС залежно від факторів впливу.

Дослідження зовнішніх факторів впливу показало [1, 4], що зовнішнім середовищем для МГЕС є система постачання гідроресурсів, яка характеризується двома некорельованими між собою факторами напором води, тобто різницею рівнів верхнього і нижнього б'єфів, та рівнем води на

гідропості у верху по течії р. Стрипа та реактивною потужністю, оскільки МГЕС «Топольки» [1,4] функціонує в єдиній енергосистемі.

Позначимо потужність генерованої електроенергії за  $y$ , а набір факторів, що впливають на цю характеристику  $x = (x_1, x_2, x_3)^T$ , де  $x_1$  – реактивна потужність;  $x_2$  – напір (різниця відміток верхнього і нижнього б'єфів);  $x_3$  – рівень води на гідропості у верху по течії р. Стрипа.

Задачу знаходження прогнозованої генерованої електроенергії МГЕС залежно від значень набору факторів  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)^T$  впливу  $\vec{x}_i$  можемо формалізувати у вигляді:

$$|y(\vec{x}_i) - y_0(\vec{x}_i)| \leq \xi_i, \quad (1)$$

для умови забезпечення відхилення між прогнозованою чи реальною  $y(\vec{x}_i)$  та бажаною потужністю  $y_0(\vec{x}_i)$ , не більшого від  $\xi_i$  для усіх заданих значень наборів факторів  $\vec{x}_i$ . Для забезпечення неавтономного функціонування МГЕС «Топольки» в енергосистемі достатньо щоб відхилення  $\xi_i$  генерованої електроенергії від заданого графіку не перевищували 10%, тобто  $\xi_i = 10\%$  для усіх значень наборів факторів впливу.

Для параметричної ідентифікації моделі для прогнозування виробленої електроенергії, спочатку необхідно розв'язувати задачу її структурної ідентифікації [2].

Для синтезу оптимальної структури вибрано метод послідовного включення, описаний у праці [3]. За критерії оптимальності обрали мінімум кількості членів поліноміальної структури та мінімум об'єму описаного навколо області параметрів моделі прямокутного паралелепіпеда  $\Pi^+$  (критерій точності), при трьох факторах [2].

Отже, для побудови інтервальної моделі прогнозування потужності МГЕС залежно від факторів впливу була отримана базова структура [2]:



$$y(\vec{x}) = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_1 x_3 + b_3 \cdot \sin(x_3) + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \quad (2)$$

та гарантовані прогнозовані коридори для згенерованої електроенергії МГЕС):

$$[\hat{y}^-(\vec{x}); \hat{y}^+(\vec{x})] = [\min_{b \in \Omega^*} (b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_1 x_3 + b_3 \cdot \sin(x_3) + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2^2); b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_1 x_3 + b_3 \cdot \sin(x_3) + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \max_{b \in \Omega^*}]; \quad (3)$$

На основі синтезованої структури отримано інтервальну модель для прогнозування потужності малої гідроелектростанції. Застосування отриманої моделі дозволить дослідити потенційні можливості та умови збільшення потужності генерованої електроенергії на МГЕС «Топольки».

#### Література

1. Дивак М.П., Франко Ю.П. Оцінка можливостей МГЕС «Топольки» методами аналізу інтервальних даних. Збірник наукових праць ДонНТУ серії «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка». Вип. 10(153), 2009 С. 274-278.
2. Дивак М.П., Франко Ю.П., Шпінталь М.Я. Оцінювання допускових значень параметрів багатоелементної статичної системи на основі аналізу її інтервальних характеристик // Вісник НУ «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. 2005. № 534. С. 10-14.
3. Дивак М.П., Стахів П.Г. Ідентифікація моделей об'єктів в умовах інтервальної невизначеності на основі методів аналізу інтервальних даних. // Праці міжн. Конф. з управління «АВТОМАТИКА-2000». Львів: Державний НДІ інформаційної інфраструктури. Т.2, 2000. С. 90-97.
4. Франко Ю.П., Дивак М.П., Манжула В.І. Інтервальная модель для прогнозирования мощности малой гидроэлектростанции «Топольки» // Научно-производственный журнал «Энергетика та електрифікація» №12 (304), 2008 р., С. 10-15.

**СЕКЦІЯ 2. Логістика постачання та оптимізація місцевих  
енергетичних систем із врахуванням потенціалу  
альтернативних видів палива**

УДК 51-7

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ОСВІТІ – ЗАПОРУКА УСПІШНОГО  
РОЗВИТКУ УКРАЇНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА**

*Горбатюк Р. М., к.т.н., д.п.н., професор; Бочар І. Й., к.т.н., доцент  
Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка.*

*м. Тернопіль, Україна*

На сучасному етапі розвитку суспільства проблема підвищення енергоефективності є однією з найбільш актуальних завдань забезпечення інноваційного розвитку економіки України. Це, в першу чергу, зумовлено високим рівнем енергоємності виробництва у всіх секторах економіки, необхідністю підвищення конкурентоспроможності продукції українських підприємств на світовому ринку тощо. Варто зазначити, що зниження енергоємності ВВП є необхідною умовою забезпечення сталого економічного зростання країни, збереження невідновних копалин природних ресурсів, поліпшення екологічної ситуації і підвищення якості життя населення.

У даний час енергозберігаючі технології є одним із ключових напрямів розвитку енергетичної політики держави. Оскільки економіка країни характеризується високою енергоємністю, необхідними заходами щодо забезпечення економії енергії є: подолання технологічної відсталості промисловості, оснащення підприємств новим енергозберігаючим обладнанням, модернізація сфери комунального господарства,

впровадження енергозберігаючих технологій, залучення інвестицій, боротьба з безгосподарністю у використанні енергетичних ресурсів, робота з населенням.

Власне на роботі з населенням, зокрема з молоддю, зосередимо свою увагу, оскільки від раціонального вирішення проблеми енергозбереження залежить розвиток нашої держави.

Необхідність навчання з енергозбереження викликана сучасним економічним станом нашої країни, глибоким проникненням енергетики в усі галузі виробництва і побут, збільшенням забруднення навколишнього середовища. Усе це потребує не лише нового змісту навчання, а і формування іншого світогляду людини, загальнолюдських цінностей та активної життєвої позиції [1, с. 93].

З огляду на зазначене вважаємо, що процес формування енергозберігаючих компетентностей у здобувачів освіти (учнів, студентів, курсантів) вимагає висвітлення і розв'язання багатьох питань, а саме: формування нового змістового наповнення на кожному етапі навчання; використання інноваційних технологій і методик подачі навчального матеріалу на основі відповідних програм, підручників і посібників; підвищення кваліфікації (а подекуди перепідготовка) педагогічних і науково-педагогічних працівників; підготовка здобувачів освіти тощо. Правовим підґрунтям для розвитку освіти з енергозбереження є Закон України «Про енергозбереження», який визначає правові, економічні, соціальні та екологічні основи енергозбереження для всіх підприємств, об'єднань та організацій, розташованих на території України, а також для громадян [2].

Основним принципом державної політики з енергозбереження, на нашу думку, є підвищення освітнього рівня усіх категорій населення. Розвитку освіти у сфері енергозбереження Законом України «Про енергозбереження» приділено особливу увагу. Зокрема, стаття 7 орієнтує на

виховання в населення ощадливого ставлення до використання паливно-енергетичних ресурсів, чого можна досягнути шляхом навчання і широкої популяризації та пропаганди економічних, екологічних і соціальних переваг енергозбереження.

Нині є всі підстави для того, щоб заклади освіти передбачили у навчальних планах освітні компоненти («Основи енергозбереження», «Основи енергоефективності», «Енергозберігаючі технології», «Енергетичний менеджмент» та ін.), вивчення яких забезпечить формування у здобувачів освіти енергозберігаючих компетентностей, змістове наповнення зазначених навчальних дисциплін повинно базуватися на наукових поняттях, законах, теоріях фундаментальних наук фізики, хімії, біології, математики (поняття енергії, її види та способи отримання, закон збереження та перетворення енергії); містити реальні факти і дані про стан енергетичної галузі в розвинених країнах Європи і світу; сприяти загальнокультурному розвитку людини щодо енергоспоживання та раціонального природокористування; розкривати природоохоронну функцію енергозбереження; формувати у здобувачів освіти енергозберігаючі компетентності, які спонукатимуть їх до вирішення енергетичних проблем; сприяти розвитку вмінь прогнозувати майбутнє на підставі аналізу існуючих тенденцій.

Оволодіння освітніми компонентами з енергозбереження дасть можливість здобувачам освіти на різних рівнях навчання сформувати відповідні компетентності щодо економії енергоресурсів, їх ефективного використання у побуті. Крім того, в них формуються знання, вміння й особистісні можливості в процесі професійної діяльності, що ґрунтуються на використанні енергозберігаючих технологій. Включення в освітній процес навчальних дисциплін «Основи енергозбереження», «Основи енергоефективності», «Енергозберігаючі технології», «Енергетичний менеджмент» сприятиме розв'язанню проблем енергозбереження у сфері

виробництва, побуті, передачі та споживання електричної і теплової енергії; перспективам використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії; впливу енергозбереження на довкілля та ін.

Зважаючи на зазначене, стратегічними напрямками енергозбереження в Україні є освітня діяльність у закладах освіти; підготовка (перепідготовка, підвищення кваліфікації) педагогічних і науково-педагогічних працівників з основ енергозбереження для формування у майбутніх фахівців компетентностей у сфері енергозбереження та енергозберігаючих технологій.

### **Література**

1. Стратегія енергозбереження в Україні : Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах : Механізми реалізації політики енергозбереження. Київ : Академперіодика, 2006. Т. 2. 600 с.

2. Закон України «Про енергозбереження». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>.

УДК 62.52: 004.89

## **ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА В СИСТЕМАХ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

*Іскерський І. С., к.т.н*

*директор НВО «Енергоощадні технології», Тернопіль, Україна*

Диверсифікація джерел енергії в Україні є надактуальною проблемою її економічного зростання. Досвід наших європейських партнерів свідчить, що при реалізації задекларованих в урядових планах показників ми можемо отримати цивілізований енергобаланс і назавжди забути проблеми з російським природним газом.

Дослідження показують, що наша країна за 2–3 роки може збільшити частку енергії з біовідходів в енергобалансі з принизливого 1 % до 15–20 %, які прописані в перспективних державних програмах. І це реально. Адже Україна володіє великими запасами біомаси з однорічним циклом відновлення.

На даний час ми в десятки разів відстаємо в системах генерації первинної теплової енергії з твердих біологічних відходів і на наш погляд настав час змінити ситуацію.

Біомаса є ваговою складовою відновлювальних джерел енергії і має великий потенціал, доступний для енергетичного використання – більше 27 млн. тон у.п./рік. Використавши вказаний об'єм в системах генерації теплової енергії в найближчій перспективі можна задовільнити близько 15 % потреби держави в первинній енергії.

Наразі на енергетичні потреби в Україні використовується близько 10 % потенціалу біомаси. Головним чином це деревинна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (86 % всього річного обсягу) та лушпиння соняшника (8 %). Найменш активно застосовуються рослинні відходи з однорічним циклом відновлення (1 %), що протирічить політиці Європейського Союзу та зобов'язань України, як члена Енергетичного співробітництва.

За даними Інституту регіонального розвитку частка біомаси в сегменті відновлювальних джерел, наприклад на Тернопільщині, складає 70 %. Задіявши вказаний потенціал, можна впевнено витіснити вуглеводневе паливо з енергоємних технологій (сушка зерна, теплиці, обігрів виробничих приміщень). Результати наших виробничих досліджень свідчать, що заміна традиційного вуглеводневого палива на несертифіковане відновлювальне місцевого походження дозволяє зменшити затрати на генерацію теплової енергії в 3–5 раз. І це практично при нульовому навантаженні на довкілля.

В ході експлуатації систем генерації було доказано, що найефективнішим інструментарієм в системах генерації теплової енергії є вихрові генератори-утилізатори, що працюють на елеваторних відходах, полові, подрібненій соломі та іншому несертифікованому паливі місцевого походження. Встановлено, що вартість теплової енергії напряму корелює з логістикою доставки палива в місце генерації, регіону походження та його наявності на ринку в сезон використання.

Реалізація проекту забезпечує перехід на перспективну енергозберігаючу технологію, що повністю відповідає світовим тенденціям – замкнутий біоресурсний цикл: відходи стають джерелом генерації теплової енергії. Також супутньо розвиваються технології утилізації та когенерації енергії.

Сушіння зернових культур є найенергоємнішим сезонним технологічним процесом в агропромисловому комплексі. На це витрачається близько 2 млрд. м<sup>3</sup> природного газу, пічне паливо, дизельне паливо, використання яких призводить до різкого збільшення ціни продукції, яка є однією із основних статей валютних надходжень в бюджет держави. Тому ми пропонуємо для елеваторників цілий спектр генераторів-утилізаторів потужністю від 0,5 до 4 МВт теплової енергії. Вони пройшли апробацію на елеваторах у фермерських господарствах в різних регіонах України.

Широке впровадження наших розробок в межах держави дасть змогу вирішити цілу низку невирішених для нашої економіки задач:

- в значній мірі відмовитися від традиційного вуглеводневого палива, що призведе до його здешевлення в побуті і комунальній сфері;
- зменшити навантаження на довкілля;
- створити додатково тисячі робочих місць;
- підвищити конкурентноспроможність продукції українських підприємств;



– поліпшити інвестиційну привабливість України.

УДК 674.81

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТРАТ ЕНЕРГІЇ ПРИ ПОДРІБНЕННІ БІОМАСИ**

*Замора Я.П., к.т.н., доцент*

Тернопільський національний педагогічний університет  
імені Володимира Гнатюка

Широке застосування технологій заміщення традиційних енергоносіїв біопаливом у комунальному та промисловому секторах призвело до пошуку нових джерел біомаси, здатних задовольнити зростаючий попит. Для енергетичних цілей використовують кору деревини, відходи, що утворюються при її обробці та переробці та сільськогосподарські відходи. Низька ефективність енергетичного застосування непідготовлених біопалив призводить до швидкого вичерпання цього відновлюваного ресурсу. Перспективним напрямом покращення теплотехнічних властивостей біомаси є гранулювання або брикетування. Цим шляхом пішли такі країни, як Австрія, Німеччина, Франція, Італія, Канада та ін. Гранули та брикети використовують як у промислових котельнях, ТЕС, так і в побуті. На сьогодні відзначається зростання випуску обладнання для ліній виробництва твердого біопалива. Традиційно технологія включає стадії подрібнення біомаси, сушіння та гранулювання.

Енергомісткість процесу подрібнення залежить від багатьох факторів: фізико-механічних властивостей (міцність, крихкість, однорідність і вологість перероблюваного матеріалу, розмір і форма частинок), способів подрібнення, стану робочих органів машини [1]. Тому, встановити аналітичним шляхом залежність між витратами енергії на подрібнення,

фізико-механічними властивостями перероблюваного матеріалу та результатами процесу можна лише у загальному вигляді.

С.В. Мельніков [2], запропонував наступну формулу роботи подрібнення:

$$A = A_v + A_s \quad (1)$$

де  $A_v$  – робота, що витрачається на деформацію матеріалу,

$A_s$  - робота, що витрачається на утворення нових поверхонь.

Розширення початкових і утворення нових мікротріщин у межах пружних деформацій аж до початку текучості матеріалу не береться до уваги, а приймається, що вся робота при цьому витрачається тільки на деформацію. Згідно із законом Кірпічова-Кіка [3] ця робота пропорційна деформованому об'єму:

$$A_v = C_v \lg \lambda^3 \quad (2)$$

де  $C_v$  — постійний коефіцієнт, що має розмірність питомої роботи, кДж/кг, пружних деформацій при вибраному методі механічного навантаження, для соломи  $C_v = 0,12$ ,  $\lambda$  – ступінь подрібнення матеріалу.

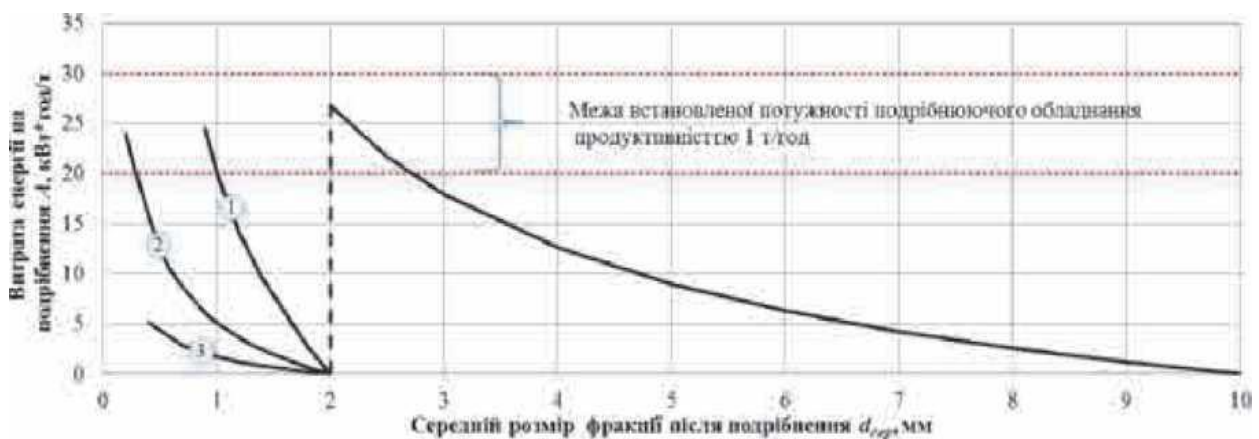


Рис. 1. Залежність енерговитрат в молотковій дробарці від ступеня подрібнення біомаси: 1 - при двостадійному подрібненні, 2 - при двостадійному подрібненні з проміжною стадією сушіння; 3 - при одностадійному подрібненні та доподрібненні 30% біомаси

Прийнявши, що початкові розміри паралелепіпеда частки соломи до подрібнення  $100 \times 15 \times 3$  мм, отримаємо такі значення об'єму подрібнених частинок, ступінь подрібнення та потужність приводу подрібнювача (рис. 1). Запропоновані залежності та обґрунтування представлених технічних рішень проведені з використанням гіпотез подрібнення, які враховують лише базові принципи подрібнення, що є достатнім для розробки стратегічних підходів до стадії подрібнення, але не можуть бути використані для розрахунку та конструювання окремого подрібнюючого обладнання.

Залучення в технологічний процес двостадійного подрібнення з сушінням дозволяє забезпечити максимальний ступінь подрібнення, а використання на другій стадії подрібнення дробарки меншої продуктивності для подрібнення не більше, ніж 30% сировини до розміру 200 мкм дає змогу при мінімальних енергозатратах стадії подрібнення забезпечити максимальну продуктивність технологічної лінії та високу якість кінцевого продукту. Даний підхід може бути використаний для подальших досліджень стадії подрібнення та вивчення енергоємності процесу дроблення в ширшому діапазоні вихідних даних (порід деревини та інших видів біомаси).

### **Література**

1. Замора Я.П., Бурега Н.В. Аналіз робочих органів технічних засобів подрібнення соломи. Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020. – С. 146 – 148.

2. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. - Л: Колос, 1980. - 168 с.

3. Нанка О. В. Теорії подрібнення і їх енергетична оцінка / О. В. Нанка, І. Г. Бойко // Вісник ХНТУСГ. - 2012. - Вип. 121. - С. 211-217.

УДК 681.5, УДК 621.3

## **ВИКОРИСТАННЯ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСІ РЕМІСІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ІЗ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

*Пальчик А.О., к.т.н., викладач*

*Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка.*

*Тернопіль, Україна*

На сьогоднішній день антропогенний вплив людської життєдіяльності через надмірні викиди парникових газів уже починає призводити до аномальних змін клімату, що несе пряму загрозу існування біосфери нашої планети та людської раси. На зменшення кількості викидів парникових газів, в основному вуглекислого газу, спрямовані такі ініціативи як Кіотський протокол, Паризька угода, конкурси Xprize від Ілона Маска та багато інших урядових, міжнародних та приватних ініціатив. Більшість із цих ініціатив спрямовані на зменшення кількості викидів парникових газів у атмосферу та на їх поглинання і довгострокове зберігання. Тому дослідження спрямовані на розробку систем адсорбції вуглекислоти із атмосфери або технологічних процесів є актуальними науковими завданнями.

Тому метою даного дослідження є розробка та дослідження фізичної моделі фотореакторів для культивування мікроводоростей які в процесі

росту поглинають вуглекислий газ. Конструкція системи фотореактора повинна виконувати функції вимірювання та контролю температури, освітленості, концентрації необхідних солей, кислотності середовища та його газонаповнення  $\text{CO}_2$  а також рівномірним розподілом субстрату культури, його перемішуванням. Використання фотореакторів закритого типу обґрунтовано потребою контролю чистоти фотосинтезуючої монокультури. Проте не вирішеними залишились проблеми масштабування площ культивування мікроводоростей через економічні та технічні особливості їх вирощування.

Нами було досліджено основні типові схеми побудови закритих фотореакторів трубчасту вертикальну плоску (рис 1., а), та закритого типу із штучним освітленням (рис 1., б).



а)

б)

Рис.1. Система фотореактора для вирощування *Chlorella vulgaris*: а) на базі штучного освітлення; б) вертикального плоского типу

Показники приросту культури даних фотореакторів вдалось вивести на прогнозований рівень, та отримати енергетичні показники роботи систем. Об'єктом дослідження була альгологічно чиста культура зеленої водорості *Chlorella vulgaris* Beij. із колекцій Інституту гідробіології НАН

України, яку культивували на середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горхема №11.

В процесі дослідження роботи фізичних моделей фотореакторів було встановлено їхні енергетичні показники а також показники продуктивності росту культури та експлуатаційні особливості.

В процесі проведення експерименту вдалось було також протестовано методику фільтрування субстрату та знезараження реактору перед запуском, що дозволило утримувати монокультуру *Chlorella vulgaris* Веї в прогнозованих межах росту без її зараження іншими бактеріями та грибками протягом 18 місяців.

Отже, розроблені фізичні моделі системи фотореакторів дають змогу дослідити ріст культури *Chlorella vulgaris* Веї у штатному та критичну режимах при використанні різного виду освітлення, перемішування та газонаповнення. Розроблені методики фільтрації та знезараження надають можливість використовувати для харчового субстрату не лише дистильовану воду але і воду отриману із загальної мережі або індивідуальної свердловини. Експериментально отримані результати підтверджують ефективність використання фотореакторів з метою ремісії вуглекислого газу.

### Література

1. Бешта О.С. Автономне енергозабезпечення об'єктів господарювання на основі біотвертооксидних паливних систем / О. С.Бешта, В. С. Федорейко, А. О. Пальчик, Н. В. Бурега // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ : НГУ, 2015. – № 2. – С. 67 – 73.

2. Пальчик А.О. Утилізація діоксиду вуглецю шляхом промислового вирощування мікроводоростей в енергосистемі на базі паливного елементу [Електронний журнал] /А.О. Пальчик, О.М. Фендьо, Н.В. Бурега // Енергетика і автоматика, 2014. – № 4 (22). – Стаття № 9. – 80 с. – Режим доступу до журналу: :Енергетика і автоматика

УДК 621.311.26.031, 663.18

## **ГЕНЕРАЦІЯ НОВОЇ БІОМАСИ ШЛЯХОМ УТИЛІЗАЦІЇ ВИКИДІВ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ**

*Бурега Н.В., к.т.н., викладач, Сіткар С.В., к.п.н., викладач*

*Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка.*

*Тернопіль, Україна*

Сучасний стан техногенного суспільства все більше демонструє необхідність комплексного вирішення назрівших енергетичних та екологічних кризових ситуацій. Гнучкість та децентралізованість енергетичної системи країни, її диверсифікація за рахунок використання технологічно-ефективніших систем генерацій на базі поновлювальних джерел енергії, дадуть змогу будувати економічну стійку та екологічну безпечну державу майбутнього.

Сьогодні демонструє низький рівень використання твердої біомаси в сфері генерації теплової енергії, що відкриває перспективи пошуку ефективних технологій для вирішення цих завдань, адже Україна володіє значним потенціалом і може в значній мірі замінювати імпортований газ із країни агресора власною біосировиною.

Використання піролізних технологій на базі генераторів-утилізаторів демонструють високу енергетичну ефективність, можуть працювати на найрізноманітнішій біосировині із допустимим навантаженням на навколишнє середовище, оскільки даний процес супроводжується в тричі нижчими показниками викидів діоксиду вуглецю із звичайними деревними котлами та запобігає виділенню важких металів в атмосферу [1].

Слід зазначити можливий супутній розвиток технологій утилізації залишків вуглекислоти (при вище вказаних технологіях), котрі побудовані



на базі процесу фотосинтезу із використанням мікродоростей, в результаті чого появиться можливість генерації нової високоенергетичної біомаси (рис. 1.1) [2].

Такий підхід дасть можливість будувати технологічні комплекси із використанням несертифікованого палива місцевого походження для генерації теплової енергії в промислових масштабах, а імплементація системи утилізації вуглекислоти мінімізуватиме негативний вплив на екологію та зможе забезпечувати додаткову високоякісну сировину із широкою сферою її подальшого використання.



Рис. 1. Структурна схема комплексного використання генератора– утилізатора та фотобіореактора для нової біомаси

Поєднання високотехнологічних ефективних рішень генерації теплової енергії із використанням твердої біомаси та новітніх біотехнологічних комплексів на базі мікродоростей дасть змогу забезпечувати закладені основні принципи Паризької конвенції 2015 року та відповідатиме вимогам стартапу Ілона Маска по розробці ефективних технологій уловлення та перетворення вуглецю з метою запобігання розвитку парникового ефекту.

## **Література**

1. Загородній Р. І. Особливості експлуатації твердопаливних теплогенераторів / Р. Загородній. // Науковий вісник НУБіП України.. – 2011. – С. 239–247.
2. 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.
3. Here's how Elon Musk's \$100 million Xprize competition for carbon removal will work [Електронний ресурс] // techcrunch.com. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://techcrunch.com/2021/02/08/heres-how-elon-musks-100-million-xprize-competition-for-carbon-removal-will-work/>.

### **СЕКЦІЯ 3. Автоматизовані системи керування теплогенераторами на базі альтернативних видів палива**

УДК 62.52: 004.89

#### **ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОНЕЧІТКИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОМ, ЩО ПРАЦЮЄ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА**

*Луцик І. Б., к.т.н., доцент, Струганець Б. В., к.п.н., доцент  
Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка.  
Тернопіль, Україна*

Розробка програмного забезпечення для систем керування теплогенераторів, що працюють на альтернативних видах палива потребує комплексного науково-технічного дослідження, яке направлене на вирішення завдань мінімізації затрат енергії, витрат палива та інших ресурсів. Існуючі SCADA-системи пропонують використання стандартного набору алгоритмів на основі використання, наприклад, алгоритмів PID-регулювання чи методів визначення оптимальної швидкодії [3]. Проте такі алгоритми не дозволяють враховувати деякі характерні для енергозберігаючого керування обмеження, зокрема, вплив показників температури і вологості зовнішнього середовища чи біосировини а також враховувати запаси палива. Тому для реалізації адаптивних режимів керування виникає необхідність використання технологій штучного інтелекту, зокрема нейронечітких систем.

Спільне використання апарату штучних нейронних мереж і нечіткої логіки дозволяє проводити ідентифікацію складних нелінійних динамічних

об'єктів і синтезувати для них нелінійні закони управління, що дає можливість вирішувати задачу синтезу системи керування в умовах невизначеності на основі наявних експериментальних даних, отриманих безпосередньо в процесі експериментального дослідження роботи теплогенератора.

Для забезпечення плавного регулювання експлуатаційних параметрів в залежності від заданих величин та умов зовнішнього середовища необхідно передбачити ідентифікацію стану об'єкту, що дозволить адаптувати параметри системи керування з врахуванням вимог стійкості відносно параметричних і силових збурень.

Вирішення даного завдання можливе, зокрема, на основі визначення узгоджених режимів роботи окремих модулів електротехнологічного комплексу теплогенератора за допомогою контролера, який реалізовується на основі використання адаптивних нейронечітких систем виводу (ANFIS), що працюють згідно алгоритмів Сугено та Мамдамі [1]. Це дозволяє реалізувати адаптивне регулювання частоти обертання електроприводів шнека подачі твердого палива і вентилятора, які визначають об'єми дозування компонентів горіння.

Корекція швидкісних режимів електропривода вентилятора здійснюється за допомогою fuzzy-регулятора на основі аналізу відсоткового складу кисню в димових газах згідно показників лямбда-зонду [4].

Налаштування нейронечіткого регулятора здійснюється поетапно на основі загальних принципів системного аналізу та методології створення та використання ANFIS-систем [2].

На першому етапі здійснюється визначення вхідних та вихідних параметрів, їх допустимого діапазону. Після цього створюється продукційна нечітка база правил, що формується на основі експертних даних, отриманих при ручному налаштуванні параметрів регулятора.

Наступним є процес фазифікації вхідних та дефазифікації вихідних параметрів. Враховуючи специфіку вхідних параметрів та визначені правила, здійснюється розробка структури нейро-нечіткої мережі та визначається метод, згідно якого проводиться навчання мережі.

Завершальним етапом налаштування є апробація результатів навчання за допомогою імітаційного моделювання з подальшою перевіркою на експериментальному стенді.

Таким чином, підвищення енергоефективності теплогенератора, що працює на альтернативних видах палива можливе шляхом мінімізації затрат енергії, витрат палива та інших ресурсів на основі визначення адаптивних режимів керування, що базуються на основі нейронечітких технологій. Для узгодження роботи окремих модулів електротехнологічного комплексу теплогенератора доцільним є використання контролера, що забезпечує функціонування шнека-дозатора та вентилятора, режими роботи яких визначаються відповідними fuzzy-регуляторами згідно визначених продукційних правил.

### **Література**

1. Луцик І. Б. Моделювання системи керування біотеплогенератором з використанням адаптивних fuzzy-регуляторів / І. Б. Луцик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2014. - Вип. 154. - С. 46-47.
2. Михайленко В. С. Алгоритм настройки адаптивного нейро-нечеткого ПИ-регулятора / В.С. Михайленко // Праці Одеського політехнічного університету, 2011. Вип.2(36) – С.149–153.
3. Муромцев Д. Ю. Информационные технологии проектирования систем энергосберегающего управления / Д. Ю. Муромцев – Вестник ТГТУ – 2007 – Том 13. – №3 – С. 735–740.
4. Федорейко В. С. Підвищення енерго-ефективності біотеплогенератора шляхом раціонального дозування компонентів горіння / В. С. Федорейко, І. Б. Луцик,

Р. І. Загородній, І. С. Іскерський // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ : НГУ, 2014. – № 4. – С. 27–32.

УДК 681.5, УДК 621.3

**АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕГУЛЬОВАНИМ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ДОЗАТОРІВ КОМПОНЕНТІВ ГОРІННЯ  
НЕСЕРТИФІКОВАНОГО БІОПАЛИВА**

*Рутило М.І., к.т.н., доцент,*

*Тернопільський національний педагогічний університет імені В. Гнатюка.*

*Тернопіль, Україна*

На сьогодні недостатньо розглянуто аспекти використання систем керування регульованим електроприводом дозаторів компонентів горіння у системах теплогенерації, що базуються на використанні несертифікованого твердого біопалива [1, 2]. Адже у вказаних системах використовується паливо з нестабільними параметрами вологості, щільності, теплотворної здатності, що зумовлює використання адаптивних та нейронечітких систем для керування процесом горіння палива [3]. Недостатньо досліджені закордонними та вітчизняними науковцями або зовсім відсутні моделі систем керування у зазначених технологіях на базі штучного інтелекту.

Дослідження передбачає комплексну автоматизацію процесів генерації теплової енергії з несертифікованих видів палива на базі систем штучного інтелекту, регульованих асинхронних електроприводів [4], спеціально адаптованих давачів: температури, вологості, тиску, рівня тощо.

Враховуючи недетермінований характер зміни технологічних параметрів, передбачається створення моделей процесів, розробка

адаптивних алгоритмів керування, програмного забезпечення, які в комплексі дадуть змогу раціоналізувати процес горіння несертифікованого палива у вихровій топці безперервної дії [5], узгодити подачу продуктів згоряння в теплообмінник, визначити діапазон дозування об'ємів повітря для його підігріву до необхідної температури на вході теплогенератора.

Дослідження спрямоване на розробку адаптивної системи керування, яка забезпечить узгодження зазначених вище недетермінованих параметрів технологічного процесу з метою оптимізації енергоефективних режимів теплогенерації в системах вихрового горіння несертифікованого палива.

На рис. 1 представлена структурна схема системи керування технологічними режимами роботи біотеплогенератора. Вона виконана засобами комп'ютерного імітаційного моделювання у середовищі MATLAB (Simulink). Особливістю цієї моделі є адаптивне триконтурне взаємозв'язане пропорційно-інтегрально-диференціальне (ПІД) регулювання дозаторами палива та повітря з урахуванням їх вологості та температури, а також здійснення на підставі цих даних корекції регулювання продуктивності виконавчих пристроїв (дозаторів). Такий підхід дає змогу забезпечити зниження похибки регулювання у динамічних перехідних режимах функціонування обладнання, особливо виражених під час виникнення стохастичних змін вологості несертифікованого палива.

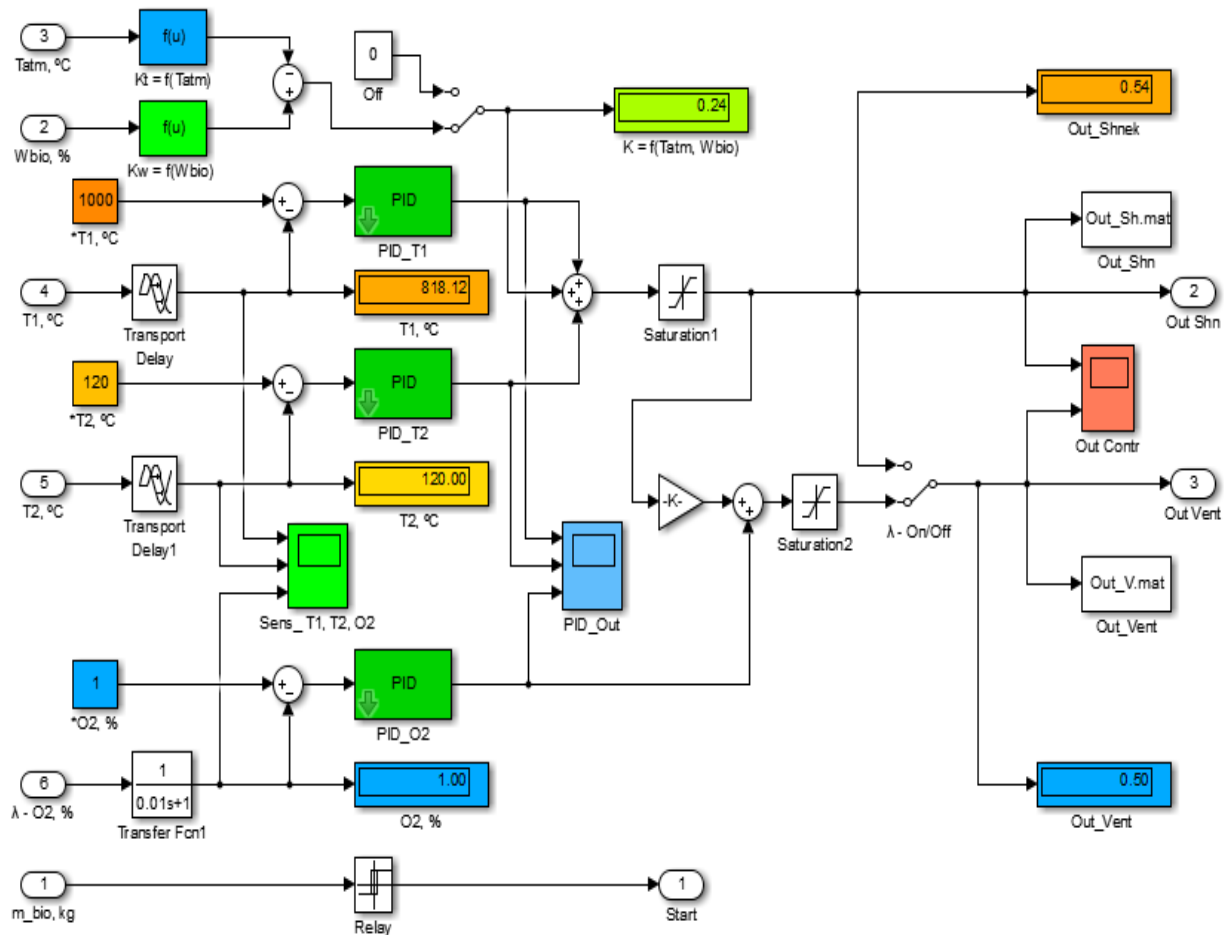


Рис. 1. Адаптивна система керування теплогенератором з триконтурним взаємозв'язаним ПД-регулюванням

Регулятор PID\_T1 забезпечує підтримання заданої температури (1000 °C) в камері згорання (топці) до моменту встановлення на виході теплогенератора заданої температури теплоносія T2 (120 °C), після чого переходить у режим обмеження вихідної величини і таким чином не здійснює впливу на процес регулювання. Температура в топці знижується, а температура теплоносія (T2) підтримується сталою шляхом введення у процес регулювання регулятора PID\_T2. Сигнали із регуляторів PID\_T1 та PID\_T2 надходять на суматор, до якого також поступають сигнали корекції  $K = f(W_{bio}, T_{atm})$  функціонально пов'язані із вологістю біопалива  $W_{bio}$  та температурою зовнішнього повітря  $T_{atm}$ . Відповідні керуючі сигнали,



сформовані таким чином, подаються в канал керування шнеком-дозатором палива Out Shn.

Для забезпечення повноти згоряння палива, зменшення емісії шкідливих викидів і, разом з цим, підвищення енергоефективності функціонування теплогенератора у системі передбачено контроль концентрації кисню ( $O_2$ ) в димових газах шляхом використання лямбда-зонда. Інформація з цього сенсора надходить через порівнювальний елемент на вхід регулятора PID\_O2 і відповідні керуючі сигнали з нього через суматор подаються в канал керування вентилятором-дозатором повітря Out Vent, який регулює кількість вторинного повітря, що подається в топку. Цим досягаються оптимальні умови згоряння палива, зокрема, в режимах неповного навантаження теплогенератора.

Керування продуктивностями дозаторів компонентів паливної суміші здійснюється частотно-регульованими асинхронними електроприводами із функціями оптимізації енергоспоживання.

Система керування режимами роботи біотеплогенератора є технологічною складовою зерносушильного комплексу, яка забезпечує регульовану подачу повітря і біопалива з урахуванням температури навколишнього середовища, виду біопалива, його вологості і щільності шляхом задання (зміни) продуктивності дозувальних пристроїв - шнека і вентилятора в залежності від необхідної температури сушіння.

Отже, розроблена імітаційна модель адаптивної системи керування режимами роботи теплогенератора дає змогу дослідити функціонування системи у штатному та критичну режимах при використанні різного виду подрібненого біопалива, у тому числі несертифікованого.

Результати моделювання підтверджують необхідність застосування адаптивних методів керування, а у деяких випадках і засобів штучного інтелекту для оптимізації енергоефективних процесів теплогенерації в системах вихрового горіння несертифікованого палива.

## Література

1. V. Ganapathy Steam Generators and Waste Heat Boilers: For Process and Plant Engineers. – March 29, 2017 by CRC Press. – 539 Pages.
2. Jay Cheng Biomass to Renewable Energy Processes, Second Edition. – October 10, 2017 by CRC Press. – 437 Pages.
3. Федорейко В. С., Рутило М.І., Іскерський І.С. Підвищення енергоефективності електротехнологічного комплексу для виробництва твердого біопалива з використанням нейроконтролера // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ : НГУ, 2013. – №5. – С. 78–85.  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2013\\_5\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_5_15)
4. Бешта О. С. Використання регульованого електропривода в задачах підвищення енергоефективності технологічних процесів / О С. Бешта. // Науковий вісник Нац. гірничого унів. : наук.-техн. ж-л. – Дніпропетровськ : НГУ, 2012. – № 4. – С. 98–107. <http://www.nvngu.in.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/110-2012/zmist-4-2012/elektrotekhnichni-kompleksi-ta-sistemi/209>
5. Федорейко В. С. Підвищення енергоефективності біотеплогенератора шляхом раціонального дозування компонентів горіння / В. С. Федорейко, І. Б. Луцик, І. С. Іскерський, Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2014. – Дніпропетровськ : НГУ. – № 4. – С. 27–32. Режим доступу : <http://nv.nmu.org.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/960-2014/zmist-4-2014/elektrotekhnichni-kompleksi-ta-sistemi/2630>

УДК 621.311.001.57

## **МОДЕЛЮВАННЯ КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ УСТАВОК ДИСТАНЦІЙНИХ ЗАХИСТІВ З ДИСТАНЦІЙНИМ ПУСКОМ І ЗАЛЕЖНОЮ ВИТРИМКОЮ ЧАСУ В ЛІНІЯХ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ**

*Омельчук А. О.1, к.т.н., доцент; Макаревич С. С. 1, к.т.н., доцент;  
Петренко А. В. 1, к.т.н., доцент; Ярош Я. Д.2, д.т.н, професор*

*<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України.*

*м. Київ, Україна*

*<sup>2</sup> Поліський національний університет. м. Житомир, Україна*

Особливості параметрів, режимів роботи і умов експлуатації розгалужених секціонованих ліній з джерелами розподіленої генерації обумовлюють необхідність розробки для цих ліній спеціальних дистанційних захистів з дистанційним пуском і залежною від опору петлі короткого замикання витримкою часу.

Виконаний аналіз параметрів і режимів роботи таких ліній дозволив визначити необхідні характеристики захисту, основними з яких є:

- діапазон регулювання уставок по опору спрацьовування -  $(0,1 \dots 8)$  Ом;
- діапазон регулювання уставок за часом спрацьовування в кінці зони дії –  $1 \dots 6$  с;
- струм точної роботи - 4 А при уставці 0,4 Ом на фазу, а також вимоги до лінійності часових характеристик, межі розкиду основних характеристик захисту тощо.

Ці характеристики можуть бути використані при розробці дистанційного захисту секціонованих ліній 6...20 кВ з джерелами розподіленої генерації та подвійним живленням.

Аналіз роботи дистанційного захисту при різних видах ушкоджень показав, що в розподільних мережах з розосередженими споживачами найбільш доцільно використовувати схеми приєднання дистанційного захисту на лінійні напруги і різниці фазних струмів і застосування окремого захисту від подвійних замикань на землю, а при відсутності останнього - схеми приєднання на лінійні напруги і фазні струми.

Успішність роботи дистанційного захисту повного опору запропоновано оцінювати за величиною максимальної довжини дуги, яка визначається при заданому коефіцієнті чутливості захисту зниженням напруги в місці встановлення останнього при короткому замиканні. Показано, що в розглянутих мережах максимальна довжина дуги, при якій забезпечується спрацьовування захисту при віддалених коротких замиканнях, для розглянутих схем становить величину більше 1 м. Це підтверджує доцільність використання в таких розподільних мережах дистанційних захистів повного опору.

### **Література**

1. Simulation of criteria for selection of remote protection settings with remote starting in lines with distributed sources. Semen Voloshyn, Anatolii Omelchuk, Oleh Tarasiuk, Liudmyla Titova and Yuriy Gumenyuk. Publication: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1030, Issue 1, pp. 012179 (2021). Pub Date: January 2021 DOI: [10.1088/1757-899X/1030/1/012179](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012179) Bibcode: [2021MS&E.1030a2179V](https://arxiv.org/abs/2021MS&E.1030a2179V).
2. Козирський В.В. Інтелектуальні системи захисту та автоматики замкнених електричних мереж з джерелами розподіленої генерації/ В.В. Козирський, В.В. Каплун, О.В. Гай, В.М. Бодунов // Енергетика та електрифікація, 2011, №3.-с.23-25.
3. Омельчук А.О. Вдосконалення захисту розподільних секціонованих ліній з джерелами розподіленої генерації (ДРГ)/ А.О. Омельчук, С.М. Волошин, Ю.В. Кайденко // Енергетика і автоматика – 2020, №4.

УДК 621.31; 621.362; 620.97

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИМИ УСТАНОВКАМИ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ**

*Загородній Р. І. к.т.н.,*

*заступник директора ТзОВ «УТС». м. Тернопіль, Україна*

Перспективним напрямом є впровадження когенераційних технологій. Їх широко використовують у малій енергетиці, що зумовлено такими перевагами: по-перше, тепло використовується безпосередньо у місці отримання, що набагато дешевше, ніж будівництво та експлуатація багатокілометрових теплотрас; по-друге, електроенергія використовується здебільшого у місці отримання без накладних витрат постачальників енергії. Крім того, зменшення теплових викидів в атмосферу сприяє розв'язанню екологічних проблем. Отже, можливість використання теплових відходів у рекупераційному виробничому процесі як джерела отримання електричної енергії для забезпечення автономного живлення теплогенератора є важливим завданням. Реалізувати це завдання можна за допомогою використання термоелектричних перетворювачів енергії.

Для створення енергоефективної системи термоелектричного генерування енергії шляхом використання тепла, що виводиться з димовими газами, нами проведені дослідження щодо визначення реальних енергетичних параметрів за різних режимів навантаження. Адже суттєвим обмеженням переваг термоелектричного перетворення залишається низький коефіцієнт ефективності перетворення теплового потоку на електричну енергію: від 3 до 8 %.

Ефективність використання несертифікованого палива у теплогенераторі визначається двома факторами: повнотою процесу спалювання палива і глибиною охолодження продуктів згорання. Якщо ж

теплогенераторну установку доповнити термоелектро-генераторною панеллю на димовідводах, тоді частина потужності теплових втрат використовується як джерело електричної енергії (рис. 1), решта – неутилізовані втрати:

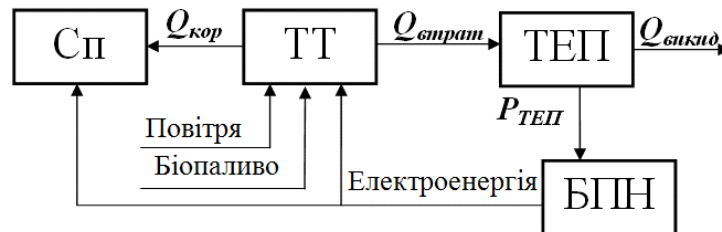


Рис. 1. Структурна схема функціонування когенераційної системи на базі твердопаливного теплогенератора: СП – споживач; ТТ – твердопаливний теплогенератор; ТЕП – термоелектрична панель; БПН – блок перетворення напруги.

Реалізацію схеми когенерації з термоелектричною панеллю наведено на рис. 2.

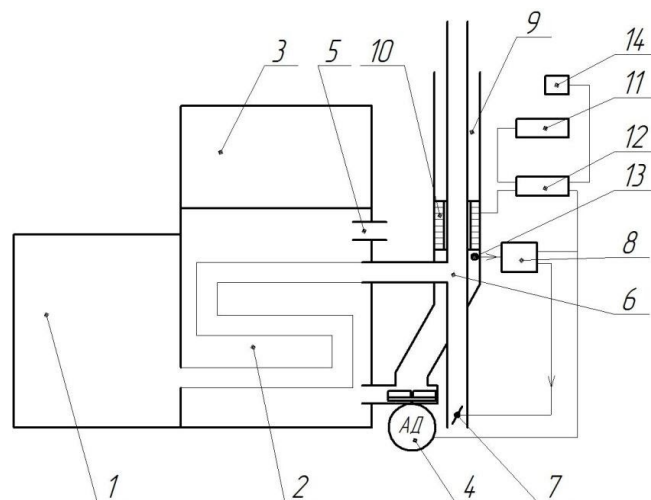


Рис. 2. Схема когенераційної системи на основі твердопаливного біотеплогенератора: 1 – камера горіння; 2 – теплообмінник; 3 – теплогідро-акумулятор; 4 – вентилятор подачі повітря у теплообмінник; 5 – вихід теплоносія; 6 – димовивідна труба; 7 – дросельна заслінка; 8 – автоматична система керування (АСК); 9 – контур охолодження; 10 – електрогенеруючий блок; 11 – акумуляторна батарея; 12 – інвертор; 13 – датчик температури; 14 – вихід на споживача.

Нами розроблено модуль перетворювача напруги із розробленим алгоритмом задання максимальної потужності. Схема перетворення

реалізована стандартним схемним рішенням на базі польового транзистора, за заданим у контролері алгоритмом і виконує функції підвищення або пониження напруги залежно від величини вхідної напруги, яка надходить з ТЕГ модуля.

На виході з ТЕГ модуля отримано напругу у діапазоні 3–45 В, та струм до 8,5 А. На виході з перетворювача напруги (модуля заряджання батареї) зафіксували вихідну напругу на навантаженні 14 В і струм до 15 А.

Створена лабораторна установка з електрогенеруючим блоком ТЕГ, із розробленим алгоритмом задання максимальної потужності, в результаті згенерувала електричну енергію потужністю 198 Вт. Дослідний зразок термоелектричного модуля встановлено на теплогенераторі потужністю 20 кВт, що працює на несертифікованому біопаливі.

Проведені дослідження дають підстави зробити такі висновки:

1. Аналіз існуючих когенераційних систем дає змогу стверджувати про ефективність їх використання на базі біотеплогенераторів. Встановлено, що для живлення засобів телекомунікацій об'єктів господарювання достатньо 150 Вт.

2. Розроблено алгоритм відбору максимальної потужності ТЕГ, що дає змогу забезпечити максимальне значення потужності – 200 Вт та ККД – 7 %, шляхом розрахунку необхідного вихідного струму термомодуля та підтримання мінімально можливої середньої температури на його поверхнях.

### **Література**

1. Загородній Р. І. Дослідження когенераційної установки біотеплогенератора засобами імітаційного моделювання / Р. І. Загородній // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 224. – С. 228–234.

2. Використання термоелектричних модулів у теплогенераторних когенераційних системах / [Федорейко В. С., Загородній Р. І., Луцик І. Б., Рутило М. І.] // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 6. – С. 111–116.