

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ
НАН УКРАЇНИ

ТЕПЛОФІЗИКА ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ

Виходить 4 рази на рік
Заснований в 1979 р.

(назва журналу до 2019 р. – «Промышленная теплотехника»)

Том 41, № 1, 2019

Головний редактор – **Снєжкін Ю.Ф.**

Редакційна колегія:

Долінський А.А. – почесний головний редактор
Авраменко А.О.

Бабак В.П. – заступник головного редактора
Басок Б.І.

Бондаренко Б.І.

Василенко С.М.

Горобець В.Г.

Клименко В.М.

Круковський П.Г.

Кудря С.О.

Мислович М.В.

Письменний Є.М.

Фіалко Н.М.

Халатов А.А.

Шморгун В.В. – відповідальний секретар

Редакційна рада:

Акулич О.В. (Беларусь)

Балтренас П.Б. (Литва)

Ліграні П. (США)

Міховські М. (Болгарія)

Пошкас С. (Литва)

Піоро І.Л. (Канада)

Сайред Н. (Великобританія)

ЗМІСТ

ТЕПЛО- І МАСООБМІННІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ, ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА СУШІННЯ

**Халатов А.А., Коваленко Г.В., Мулярчук М.А.,
Степанюк О.Ю.**

Дослідження впливу випадання вологи на поверхні
циліндра на визначення коефіцієнта тепловіддачі
повітря при застосуванні методу танення льоду.....5

**Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О.,
Альошко С.О., Рокитько К.В.**

Особливості течії і сумішоутворення в мікрофакельних
пальникових пристроях з асиметричним паливорозподі-
ленням.....11

Тирінов А.І.

Температурна стабілізація мікротечій20

**Шаркова Н.А., Жукотський Е.К., Турчина Т.Я.,
Декуша Г.В., Макаренко А.А.**

Дослідження впливу ДІВЕ-обробки плодового тіла
гриба Шіїтаке на фізико-механічні властивості грибної
суспензії27

КОМУНАЛЬНА ТА ПРОМИСЛОВА ЕНЕРГЕТИКА, ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Басок Б.І., Базєєв Є.Т.

Енергетична стратегія в реаліях сучасного світу
(Огляд)34

Демченко В.Г., Трубачев А.С., Гронь С.С.

Оцінка впровадження дискретної системи опалення
населеного пункту експрес-методом 3Е.....43

**Гелетука Г.Г., Крамар В.Г., Олійник Є.М.,
Антоненко В.О.**

Аналіз можливостей збереження і розвитку
централізованого теплопостачання в Україні53

Гелетука Г.Г., Желєзна Т.А., Баштовий А.І.

Проблеми та перспективи розвитку когенерації
в Україні59

Гелету́ха Г.Г., Же́lezна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І.

Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 267

Макаренко А.А.

Дослідження ефективності застосування різних конструкцій проточних кавітаційних змішувачів74

Гелету́ха Г.Г., Же́lezна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І.

Техніко-економічне обґрунтування виробництва і споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні82

ВИКОРИСТАННЯ ТА СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА, ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ, ЕКОЛОГІЯ

Сігал О.І., Бикоріз Є.Й., Пузанов І.В.

Особливості модернізації котла НІИСТУ-588

ВИМОГИ ДО РУКОПИСІВ ЖУРНАЛУ

"ТЕПЛОФІЗИКА ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА"97

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF ENGINEERING
THERMOPHYSICS

THERMOPHYSICS AND THERMAL POWER ENGINEERING

UKRAINIAN SCIENTIFIC JOURNAL

(Founded in 1979, name until 2019 –
«Industrial Heat Engineering»)

Volume 41, № 1, 2019

Editor in Chief – **Yu. Snezhkin**

Editorial Board Members:

A. Avramenko
V. Babak – Associated Editor
B. Basok
B. Bondarenko
A. Dolinsky – Honorable Editor
S. Vasylenko
V. Gorobec
V. Klimenko
P. Krukovsky
S. Kudrya
M. Myslovych
Ye. Pysmenny
N. Fialko
A. Khalatov
V. Shmorgun – Responsible Secretary

Advisory Editorial Board:

A. Akulich (Belarus)
P. Baltrenas (Lithuania)
P. Ligrani (USA)
M. Mitko (Bulgary)
P. Poskas (Lithuania)
I. Pioro (Canada)
N. Syred (United Kingdom)

CONTENTS

HEAT AND MASS EXCHANGE PROCESSES AND POWER UNITS, THEORY AND PRACTICE OF DRYING

**Khalatov A.A., Kovalenko G.V., Mulyarchuk M.A.,
Stepanyuk O.Yu.**

Influence moisture formation on cylinder surface on
the determination of heat transfer coefficient air during
application of the method of melting ice5

**Fialko N.M., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O.,
Alioshko S.A., Rokytko K.V.**

Peculiarities of flow and mixture formation in microjet
burner devices with asymmetric fuel distribution.....11

Tyrinov A.I.

Temperature stabilization of microchannel flow.....20

**Sharkova N.O., Zhukotskyi E.K., Turchyna T.Y.,
Dekusha H.V., Makarenko A.A.**

Research of effect of DPEI-processing of Shiitake fruit
body on physical and mechanical properties of mushroom
suspension.....27

DISTRICT AND INDUSTRIAL HEAT POWER, RENEWABLE ENERGY SYSTEMS, ENERGY EFFICIENCY

Basok B.I., Baseyev Ye.T.

Energy strategy in the realities of the modern world
(Review).....34

Demchenko V.G., Trubachev A.S., Hron S.S.

Estimation introduction of the discrete heating system of
the settlement using the express-method «3E»43

Geletukha G.G., Kramar V.G., Oliynyk Y.M., Antonenko V.O.

Analysis of the possibilities for saving and development of
district heating systems in Ukraine53

Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Bashtovyi A.I.

Problems and prospects for the development of
cogeneration in Ukraine 59

**Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V.,
Bashtovyi A.I.**

Analysis of possibilities for the production and
consumption of agrobiomass briquettes in Ukraine.
Part 267

Makarenko A.A.

Research of the application efficiency of different constructions of flow cavitation mixers74

**Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V.,
Bashtovyi A.I.**

Feasibility study of the production and consumption of agribiomass briquettes in Ukraine82

**THEORY AND PRACTICE MEASUREMENT AND
MONITORING IN HEAT POWER ENGINEERING**

Sigal A.I., Bykoriz E.I., Puzanov I.V.

Features of modernization of the boiler NIISTU-588

**REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPT ARTICLES
OF THE MAGAZINE "THERMOPHYSICS AND
THERMAL POWER ENGINEERING" 97**

УДК 536.24:541.11

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИПАДАННЯ ВОЛОГИ НА ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРА НА ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ ПОВІТРЯ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МЕТОДУ ТАНЕННЯ ЛЬОДУ

Халатов А.А.^{1,2}, академік НАН України, Коваленко Г.В.¹, канд. техн. наук, Мулярчук М.А.², Степанюк О.Ю.²

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03057, Україна

² Київський національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут ім. Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.1>

Уточнено методику визначення середньої тепловіддачі з застосуванням калориметрів з льодом, що тане, і виконано тарувальні експерименти. Тарувальні експерименти виконано при поперечному обтіканні повітрям однорядного пучка круглих циліндрів діаметром 22 мм. Показано, що неврахування утворення роси може привести до значних помилок при визначенні коефіцієнта тепловіддачі, особливо при вологості повітря більше 53%.

Уточнена методика определения средней теплоотдачи с применением калориметров с тающим льдом и выполнены тарировочные эксперименты при поперечном обтекании однорядного пучка круглых цилиндров диаметром 22 мм. Показано, что учет образования росы может привести к значительным ошибкам при определении коэффициента теплоотдачи, особенно при влажности воздуха более 53%.

The methodology to determine the average heat transfer using calorimeter with melting ice has been refined and experimental testing has been performed. The calibration experiments has been performed at the cross flow of one row of smooth round cylinders with external diameter of 22 mm. It is shown, that ignoring of the surface dew formation leads to significant error in the heat transfer coefficient determination, especially when the air humidity is over 53%.

Бібліографія 10, рис. 3.

Ключові слова: калориметр, танення льоду, обтікання циліндра, коефіцієнт теплообміну, похибка визначення.

c – питома теплоємність;

D_i – внутрішній діаметр трубки;

f_i – вологість повітря;

G – масова витрата;

H – висота каналу;

l – робоча довжина циліндру;

p_n – парціальний тиск насиченої пари;

p_{BAR} – повний атмосферний тиск;

Q – тепловий потік;

Q_w – теплота конденсації води повітря;

r – питома теплота фазового переходу води;

F – поверхня теплообміну;

S – товщина шару води, що утворилась за час експерименту;

s_l – поперечний крок розташування циліндрів у пучку;

T – температура;

t_i – температура повітря, що натікає;

w – швидкість потоку у мінімальному перерізі пучка;

x – вологовміст;

α – коефіцієнт тепловіддачі;

$\bar{\alpha}$ – середній коефіцієнт тепловіддачі;

δ – товщина стінки калориметра;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості;

τ – час вимірювання;

ρ – густина.

Критерії:

Nu – число Нуссельта;

Re – число Рейнольдса;

Pr – число Прандтля.

Нижні індекси:

0 – параметри, що відносяться до обтікання гладкої поверхні;

v – вода;

m – метал;

i – внутрішній;

dry – сухе повітря;

f – потік, що натікає;

fn – лід до танення;

w – стінка;

1 – вхід в робочу ділянку;

2 – вихід з робочої ділянки.

Актуальність роботи обумовлена тим, що круглі циліндри при поперечному обтіканні є складовим елементом багатьох технічних пристроїв в енергетиці, теплотехніці і хімічній технології. Для інтенсифікації

зовнішнього теплообміну широко застосовуються різні види ребер [1, 2, 3], використання яких пов'язане з великою металоємністю обладнання. Як показали дослідження, виконані в роботі [4], застосування заглиблень

на теплообмінній поверхні дозволяє істотно поліпшити теплогідравлічні і масогабаритні характеристики тепло-масообмінного обладнання. Ці дослідження підтвердили раніше зроблений висновок про те, що заглиблення на теплообмінній поверхні дозволяють інтенсифікувати теплообмін при зменшених втратах тиску [5]. Простим і ефективним способом інтенсифікації теплообміну є також одно- або двозахідна спіральна канавка на зовнішній поверхні труби.

Експериментальне визначення коефіцієнта тепловіддачі при зовнішньому обтіканні циліндра є складною задачею. При поперечному обтіканні гладких циліндрів розподіл температури (тепловіддачі) по їх поверхні залежить від характеру потоку (ламінарний чи турбулентний), умов відриву примежового шару і утворення вихрових зон [6]. В даний час відомі і використовуються кілька методів експериментального визначення коефіцієнта тепловіддачі, що мають різну ступінь похибки. Кращі результати одержують при використанні методів калориметрії. В ІТТФ НАН України при дослідженні теплообміну при поперечному обтіканні труб зі складною зовнішньою поверхнею використовуються калориметри з льодом, що тане [7]. У цьому методі середній коефіцієнт тепловіддачі визначається за масою води, що утворилася в результаті танення льоду, розташованого всередині циліндричного калориметра. Як показують розрахунки відносна похибка визначення коефіцієнта тепловіддачі при використанні сухого повітря становить 10,5%.

Особливістю методу є постійна температура зовнішньої поверхні циліндра-калориметра, яка близька до 0°C. У цих умовах при високій вологості оточуючого повітря на поверхні циліндра-калориметра можливе випадання крапельної вологи, яка трансформується в тонку плівку. Неврахування випадіння вологи на поверхню циліндра може привести до великих помилок при визначенні коефіцієнта тепловіддачі.

Метою даної роботи є розробка методики визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі методом танення льоду з урахуванням вологи, яка випадає на поверхні циліндра-калориметра. Дослідження виконуються в діапазоні зміни числа Рейнольдса, розрахованого по зовнішньому діаметру труби, від 2000 до 17000.

Експериментальна установка і методика проведення дослідів

Схема експериментальної установки показана на рис. 1. Вона являє собою газодинамічний контур відкритого типу, який працює за рахунок всмоктування зовнішнього повітря вентилятором 1 (рис. 1). Повіт-

ряний потік надходить у вхідний канал контуру, в якому розташовано вимірювач витрати (чашковий анемометр) 5, проходить через хонейкомб 4, який слугує для забезпечення рівномірного поля швидкостей по перерізу каналу, і поступає до робочої ділянки, в якій встановлюється однорядний пучок циліндрів з п'яти трубок з центральною трубкою – калориметром. Перед вентилятором, існує додатковий патрубок з вентилем 3 для підсмоктування повітря із атмосфери з метою регулювання витрати основного потоку (в бік його зменшення). Стінки каналу робочої ділянки виготовлено з оргскла з шорсткістю поверхні не більше $R_z = 1,0$ мкм. Загальна довжина каналу з оргскла 970 мм. Діаметр всіх циліндрів D складає 22 мм, довжина кожної трубки дорівнює 220 мм, а робоча довжина, в межах поперечного перерізу каналу, $l=105$ мм. Відносний поперечний крок розташування циліндрів у пучку складає $l/D = 1,7$.

В експериментах вимірювались швидкість повітря перед хонейкомбом (анемометр У7), температура повітря на вході зразковим ртутним термометром з ціною поділки 0,1°C; відносна вологість повітря на вході, температура мокрого та сухого термометра; температура внутрішньої поверхні циліндра-калориметра (середній циліндр); швидкість повітря, температура та відносна вологість повітря на виході з робочої ділянки (DigitalAnemometerModel; ST 8021), повний тиск за калориметром (рухома трубка Піто з координатником, підключена до похилого водяного дифманометра). Температура внутрішньої стінки циліндра та льоду в центрі циліндра вимірювались хромель-копелевими термопарами з діаметром дротів 0,5 мм. Всі термопари проходили індивідуальне тарування в термостаті УТ-15 з використанням зразкового ртутного термометра с ціною поділки 0,1°C, холодні спаї термопар поміщались в нуль-термостат (посудина Дьюара з льодом, що тане).

Середній по поверхні труби коефіцієнт тепловіддачі визначався методом танення льоду. Вимірювання проводились на центральному циліндрі (заштрихований на рис.1). Кінці циліндрів були ретельно теплоізовані, і розміщувались в непроточних повітряних камерах. До експерименту досліджуваний циліндр заповнювався дистильованою водою і поміщався в морозильну камеру для утворення льоду. Після включення вентилятора і системи вимірювань витримувався певний проміжок часу для виходу установки на постійний режим, коли показання всіх термопар на протязі 10 хвилин відрізнялись на величину не більше $\pm 0,5\%$. Потім на місце одного з циліндрів встановлювався циліндр-калориметр і певний час витримувався в потоці повітря.

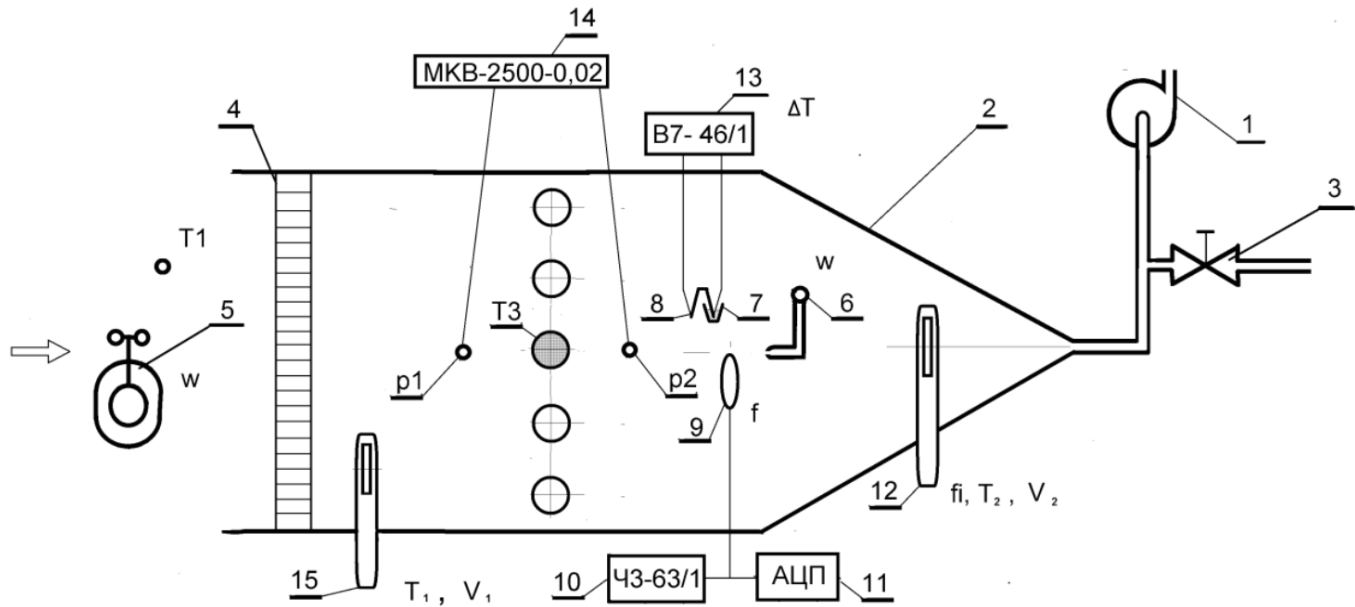


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

- 1 – вентилятор; 2 – конічна частина робочої ділянки; 3 – регулюючий клапан; 4 – хонейкомб;
 5 – вхідний анемометр; 6 – трубка Піто; 7 – волога термopара; 8 – суха термopара;
 9 – в'єзокерамічний сенсор; 10 – частотомір; 11 – аналого-цифровий перетворювач;
 12 – вимірювач відносної вологості, температури, швидкості на виході з робочої ділянки;
 13 – цифровий вольтметр; 14 – мікроанометр; 15 – вимірювач відносної вологості,
 температури, швидкості на вході; T1 – ртутний термометр; T3 – льодовий калориметр.

Після певного проміжку часу циліндр-калориметр виймався для вимірювання кількості води, що утворилась. Об'єми льоду, що розтанув і що залишився, визначались за допомогою мірної ємності з ціною поділки 0,1 мл. Кількість води, яка сконденсувалась із повітря на зовнішній поверхні циліндра-калориметра, визначалась зважуванням промоклого паперу. Для перевірки масового балансу вимірювалась також кількість льоду, що залишився в циліндрі.

Методика визначення середнього коефіцієнта теплопередачі

Основні особливості методики обробки експериментальних даних розглянуті в [7]. Кількість теплоти, яка підводиться до бокової поверхні циліндра-калориметра для утворення певного об'єму води, визначається за допомогою рівняння теплового балансу:

$$Q = rV\rho_v + c_m(t_f - t_{fn})F_s\delta\rho_m + c_l(t_f - t_{fn})V\rho_l. \quad (1)$$

Доданки у правій частині рівняння визначають, відповідно, теплоту, витрачену на плавлення льоду, підведену до стінки калориметра, і витрачену на нагрів льоду до температури плавлення.

Середня товщина шару води, що утворилась за час експерименту, складає величину:

$$S = \frac{D_i}{2} \cdot \sqrt{\frac{D_i^2}{4} - \frac{V}{\pi \cdot L}}, \quad (2)$$

де V – об'єм води, що утворився, L – довжина калориметра. Вираз для середнього по поверхні теплового потоку через стінку калориметра з урахуванням конденсації вологи повітря має вигляд:

$$\frac{Q}{\tau} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{\alpha}} + \frac{S}{2 \cdot \lambda} + \frac{\delta}{\lambda_M}} \cdot F \cdot (t_i - t_f). \quad (3)$$

Середній коефіцієнт теплопередачі від повітря до льоду у калориметрі визначається з наступного виразу, що отримано з (3):

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{\frac{F \cdot (t_i - t_f) \cdot \tau}{Q} - \frac{S}{2 \cdot \lambda} - \frac{\delta}{\lambda_M}}. \quad (4)$$

Середній коефіцієнт теплопередачі від повітря до льоду у калориметрі з урахуванням ефекту конденсації

[8] на зовнішній поверхні визначається з наступного виразу:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{\frac{F \cdot (t_i - t_f) \cdot \tau}{Q - Q_w} - \frac{S}{2 \cdot \lambda} - \frac{\delta}{\lambda_M}}, \quad (5)$$

де

$$Q_w = 1,01(T_1 - T_2) + 2493(x_1 - x_2) + 1,97(x_1 T_1 - x_2 T_2), \quad (6)$$

$$x_i = 0,622 \frac{f_i \cdot p_{ni}}{p_{BAR} \cdot f_i \cdot p_{ni}}. \quad (7)$$

Результати тарувальних експериментів

На рис. 2 наведено результати тарувальних експериментів в формі відносної розбіжності між середньою тепловіддачею в випадках сухого і вологого повітря, що обтікає циліндр-калориметр. Розрахунки виконані з використання формул (5) - (7). Кількість вологи на поверхні циліндра визначалося зважуванням промокливого паперу і контролювалось за методикою роботи [8]. Отримані результати показують, що при використанні методу танення льоду вологість повітря істотно впливає на результати визначення середнього

коефіцієнту тепловіддачі. При вологості повітря менше 53% відносна похибка визначення числа Нуссельта становить близько 15%, але потім вона швидко зростає до 40% при вологості повітря 80%.

На рис. 3 наведено результати тарувальних експериментів по визначенню середнього коефіцієнту тепловіддачі (числа Нуссельта) методом танення льоду при обтіканні гладкого циліндра. Середнє число Нуссельта визначалося за рівнянням: $\overline{Nu}_f = \frac{\bar{\alpha}_f \cdot D}{\lambda_f}$. Експерименти проведені в широкому діапазоні вологості повітря, причому максимальне значення становило понад 80%. Отримані дані порівнювалися з класичною залежністю [10].

$$\overline{Nu}_f = 0,25 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,38} (Pr_f / Pr_w)^{0,25} \quad (8)$$

Як впливає з рис. 3, врахування вологості повітря, що обтікає холодний циліндр-калориметр, дозволяє скорегувати експериментальні результати, особливо при великих числах Рейнольдса понад 7000, де вологість повітря була високою.

Висновки

1. Уточнено методику визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі методом танення льоду при поперечному обтіканні круглого циліндра.

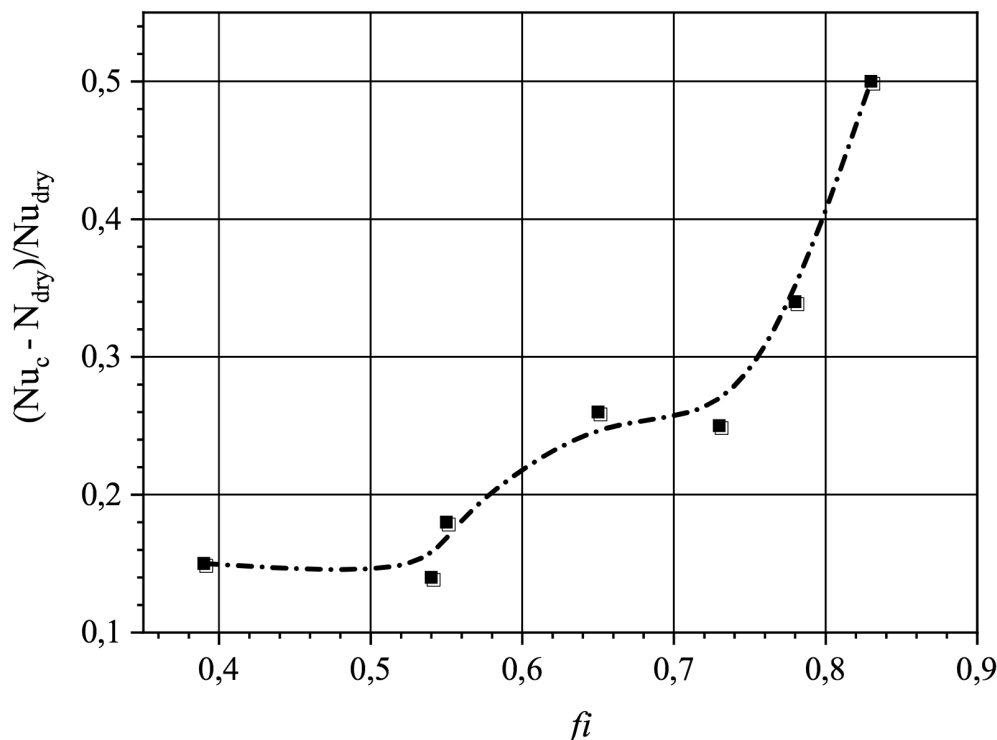


Рис. 2. Відносна похибка визначення числа Нуссельта при поперечному обтіканні циліндра-калориметра сухим і вологим повітрям.

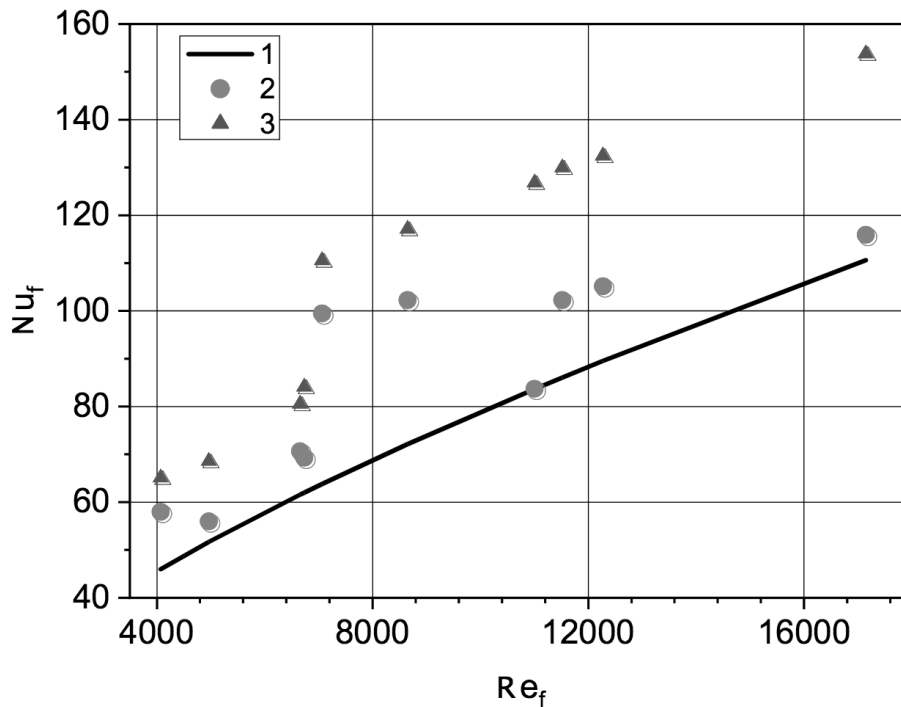


Рис. 3. Залежність числа Нусельта від числа Рейнольдса для гладкого циліндра при поперечному обтіканні сухим і вологим повітрям: 1 – експериментальні дані для сухого повітря [10]; 2 – експериментальні дані авторів з урахуванням вологості повітря; 3 – експериментальні дані для волого повітря.

2. Показано, що неврахування вологості повітря, що обтікає циліндр-калориметр, може привести до великої похибки при визначенні середнього коефіцієнта тепловіддачі, особливо при вологості повітря більше 53%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жукаускас А. А., Мартыненко О. Г. Успехи теплопередачи, Вильнюс: Мокслас, 1979.
2. Письменный Е. Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечнооресбренных труб. Киев. Альтерпрес. 2004.
3. Юдин В. Ф. Теплообмен поперечно оребренных труб. Ленинград: «Машиностроение», 1982.
4. Коваленко Г. В. Обтекание цилиндров потоком газа при турбулизации пограничного слоя. Научное обозрение. 2014 г. № 8. С. 548 – 553.
5. Коваленко Г. В., Мейрис А. Ж. Сравнение различных способов интенсификации теплообмена на цилиндрических поверхностях. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013 г. 3/12 (63), С. 58 – 60.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Москва: Наука, 1969.
7. Коваленко Г. В., Халатов А. А. Применение ледяных калориметров для исследования теплоотдачи поверхностей, формированных углублениями. Промышленная теплотехника. 2008. № 2. С. 5–12.
8. Таубман Е. И., Гориев В. А., Мельцер В. Л., Пастушенко Б. Л., Савинкин В. И. Контактные теплообменники – М., Химия, 1987. 256 с.
9. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений учеб. пособие для студ. высш. учеб. зав.Л.: Наука, Ленинградское отд. 1967. 88 с.
10. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.

INFLUENCE MOISTURE FORMATION ON CYLINDER SURFACE ON THE DETERMINATION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENT AIR DURING APPLICATION OF THE METHOD OF MELTING ICE

**Khalatov A. A.^{1,2}, Kovalenko G.V.¹, Mulyarchuk M.A.²,
Stepanyuk O. Yu.²**

¹ *Institute of Engineering Thermophysics of the National
Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv,
03680, Ukraine*

² *Kyiv National Technical University of Ukraine "Kyiv
Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky", 37,
Peremohy Avenue, Kyiv, 03056, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.1>

Circular cylinders with cross-flow are a component of many technical devices in power engineering, heat engineering and chemical technology.

For the intensification of external heat exchange, various types of ribs are widely used, the use of which is associated with a large metal capacity of the equipment. Application of holes on the heat exchange surface can significantly improve the thermohydraulic and mass-grossing characteristics of heat and mass equipment. A simple and effective way of intensifying heat transfer is the spiral groove on the outer surface of the pipe.

The purpose of this work is to develop a method for determining the average coefficient of heat transfer by the method of melting ice, taking into account the moisture that falls on the surface of the cylinder-calorimeter. The research was carried out in the range of the Reynolds number change, calculated from the outside diameter of the pipe, from 2000 to 17000.

In this paper, the method of determining the average coefficient of heat transfer by the method of melting of ice at the cross-flow of a round cylinder is specified. It is shown that ignoring the air humidity flowing through the cylinder-calorimeter can lead to a large error in determining the average coefficient of heat transfer, especially when air humidity is more than 53%.

Key words: melting ice calorimeter, error in determining the coefficient of heat transfer, transverse flow around the cylinders.

References 10, figures 3.

1. Zhukauskas A. A., Martynenko O. G. The successes of heat transfer, Vilnius: Mokslas, 1979 (Rus.)

2. Pysmennyi E. N. Heat transfer and aerodynamics of packages of cross-sectioned pipes. Kiev: AlterPress 2004 (Rus.)

3. Yudin V.F. Heat transfer of transverse finned tubes. Leningrad: Mechanical Engineering, 1982 (Rus.)

4. Kovalenko G.V. Circulation of cylinders with gas flow during turbulization of the boundary layer. Scientific review. 2014 number 8. S. 548 - 553.

5. Kovalenko G. V., Meiris A. Zh. Comparison of different methods of intensification of heat exchange on cylindrical surfaces. East European Magazine of Advanced Technology. 2013 3/12 (63), pp. 58 – 60 (Rus.)

6. Schlichting G. Theory of the boundary layer. Moscow: Science, 1969 (Rus.)

7. Kovalenko G.V., Khalatov A. A. Application of ice calorimeters for investigation of heat transfer of surfaces formed by recesses. Industrial heat engineering. 2008. № 2. P. 5–12 (Rus.)

8. Taubman E.I., Goryev V. A., Melzer V. L., Pastushenko B. L., Savinkin V. I. Contact Heat Exchangers M., Chemistry, 1987. 256 p. (Rus.)

9. Zaidel A. N. Elemental estimations of errors of study measurements. Manual for a student. higher studying Head L.: Nauka, Leningrad Branch. 1967. 88 p.

10. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. S. Heat transfer. M.: Energoizdat, 1981. 416 p.

Отримано 20.12.2018

Received 20.12.2018

УДК 536.24:533

ОСОБЛИВОСТІ ТЕЧІЇ І СУМІШОУТВОРЕННЯ В МІКРОФАКЕЛЬНИХ ПАЛЬНИКОВИХ ПРИСТРОЯХ З АСИМЕТРИЧНИМ ПАЛИВОРОЗПОДІЛЕННЯМ

Фіалко Н.М., член-кореспондент НАН України, **Шеренковський Ю.В.**, канд. техн. наук, **Меранова Н.О.**, канд. техн. наук, **Альошко С.О.**, канд. техн. наук, **Рокитько К.В.**

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.2>

Представлено результати CFD аналізу структури течії і закономірностей змішування паливного газу і окиснювача в пальниках з асиметричною паливоподачею, орієнтованих на застосування за умов підвищених значень коефіцієнта надлишку повітря. Виявлено ефекти впливу величини даного коефіцієнта на характеристики течії і сумішоутворення.

Представлены результаты CFD анализа структуры течения и закономерностей смешивания топливного газа и окислителя в горелках с асимметричной топливоподачей, ориентированных на применение в условиях повышенных значений коэффициента избытка воздуха. Выявлены эффекты влияния величины данного коэффициента на характеристики течения и смесеобразования.

The results of CFD analysis of the flow structure and the patterns of mixing fuel gas and oxidizing agent in with asymmetric fuel supply burners, oriented for application in conditions of elevated values of the excess air ratio are presented. Influence of the value of this coefficient on the characteristics of flow and mixture formation are revealed.

Бібл. 13, рис. 5. табл. 1.

Ключові слова: мікрофакельні пальникові пристрої, коефіцієнт надлишку повітря, структура течії, сумішоутворення, CFD моделювання.

C_{CH_4} – масова концентрація метану;
 C_K – масова концентрація K -го компонента;
 D_K, R_K – коефіцієнт дифузії і швидкість утворення K -го компонента;
 k – кінетична енергія турбулентних пульсацій;
 N – число компонентів суміші;
 $L_{зт}$ – довжина зони зворотних токів;
 P – статичний тиск;
 Sc_K – число Шмідта K -го компонента, $Sc_K = \frac{\nu}{D_K}$;
 Sc_T – турбулентне число Шмідта;
 S_{ij} – компоненти тензора швидкостей деформацій;
 U_j – компоненти вектору швидкості в напрямку x_j ;
 U'_x – середньоквадратичне значення пульсацій поздовжньої компоненти;

x_j – декартова координата, $j = 1, 2, 3$;
 x^*, y^* – поздовжня і поперечна координата, що відраховується відповідно від торця стабілізатора полум'я та закрilка;
 x_u^*, y_u^* – координати центру основного вихору в закормовій зоні стабілізатора полум'я;
 α – коефіцієнт надлишку повітря;
 δ_{ij} – символ Кронекера;
 μ, μ_t – молекулярна і турбулентна динамічна в'язкість;
 ν_t – турбулентна кінематична в'язкість;
 ρ – густина середовища;
 ρ_K – парціальна масова густина K -го компонента,
 $\rho_K = \rho \cdot C_K$;
 τ_{ij} – компоненти тензора напруги.

Вступ

Закономірності течії та сумішоутворення палива та окиснювача в мікрофакельних пальникових пристроях визначають значною мірою основні характеристики їх ефективності [1 - 10]. Це зумовлює актуальність досліджень структури течії та особливостей змішування паливного газу та повітря в пальниках даного типу.

Одним із важливих напрямів застосування мікрофакельних пальників є їх експлуатація в ситуаціях, що відповідають відносно високим значенням коефіцієнта надлишку повітря (промислові печі, сушарки тощо). За цих умов доцільно використовувати такі модифікації мікрофакельних пальників, в яких подача паливного газу здійснюється лише з однієї з бічних поверхонь

стабілізаторів полум'я і крім того на торцях стабілізаторів встановлюються плоскі закрilки [11 - 13]. Останні мають сприяти утворенню стійких зон зворотних токів у закормових областях стабілізаторів полум'я, а також формуванню потоку повітря, покликаного знижувати температуру в центральній частині зони активного горіння. Вказане зниження температури пов'язано із забезпеченням високої екологічної ефективності даного пальникового пристрою.

Мета роботи і постановка завдань досліджень

Метароботи полягає у встановленні закономірностей ізотермічної течії і сумішоутворення паливного газу та окиснювача в мікрофакельних пальникових пристроях з асиметричним паливорозподілом. Значна увага в роботі

приділяється аналізу особливостей впливу величини коефіцієнта надлишку повітря на структуру потоку та особливості змішування палива та окиснювача.

Схему модуля досліджуваного пальникового пристрою ілюструє рис. 1. Даний модуль складається з двох стабілізаторів полум'я, розміщених в каналі на певній відстані один від одного. Струменева подача палива в кожному із стабілізаторів здійснюється через систему круглих отворів на одній з його бічних поверхонь. Стабілізатори полум'я обладнані плоскими закрилками, функції яких описано вище.

Як метод дослідження процесів ізотермічної течії і сумішоутворення палива і окиснювача застосовувався метод комп'ютерного моделювання.

Математична постановка задачі, що розглядається, може бути представлена в такому вигляді:

$$\frac{\partial(\rho U_j U_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial(\tau_{ij})}{\partial x_j}, \quad i=1,2,3, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho U_j)}{\partial x_j} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho_K U_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v}{Sc_K} + \frac{v_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial \rho_K}{\partial x_j}, \quad (3)$$

$$K = 1, 2, \dots, N-1,$$

$$\text{де } \tau_{ij} = 2(\mu + \mu_T) S_{ij} - \frac{2}{3} \left[(\mu + \mu_T) \frac{\partial U_n}{\partial x_n} + \rho \cdot k \right] \delta_{ij},$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right).$$

В наведених рівняннях підсумування відбувається за індексом, що повторюється.

Числова реалізація розв'язку задачі, що розглядається, здійснювалась з використанням програмного пакету FLUENT. При цьому застосовувався метод DES (Detached Eddy Simulation – метод моделювання відокремлених вихорів).

Результати комп'ютерного моделювання, що наводяться нижче, відповідають таким вихідним даним: $S = 0,012$ м; $S/d = 3,33$; $B_{cm} = 0,015$ м; $B_1 = 0,02$ м; $B_K = 0,1$ м; $L_0 = 0,1$ м; $L_{cm} = 0,2$ м; $L_3 = 0,045$ м; $L_K = 0,7$ м; $L_1 = 0,02$ м; $U_{vx}^n = 10,0$ м/с; коефіцієнт надлишку повітря варіювався в межах 1,5...4,0 шляхом зміни витрати паливного газу.

Результати досліджень та їх аналіз

Характерні результати виконаних досліджень наведено на рис. 2 – 5 та в табл.1. Як свідчать одержані дані, величина коефіцієнта надлишку повітря α суттєво впливає як на характеристики течії, так і на особливості сумішоутворення в пальниках, що розглядаються. Збільшення α в досліджуваних межах призводить до

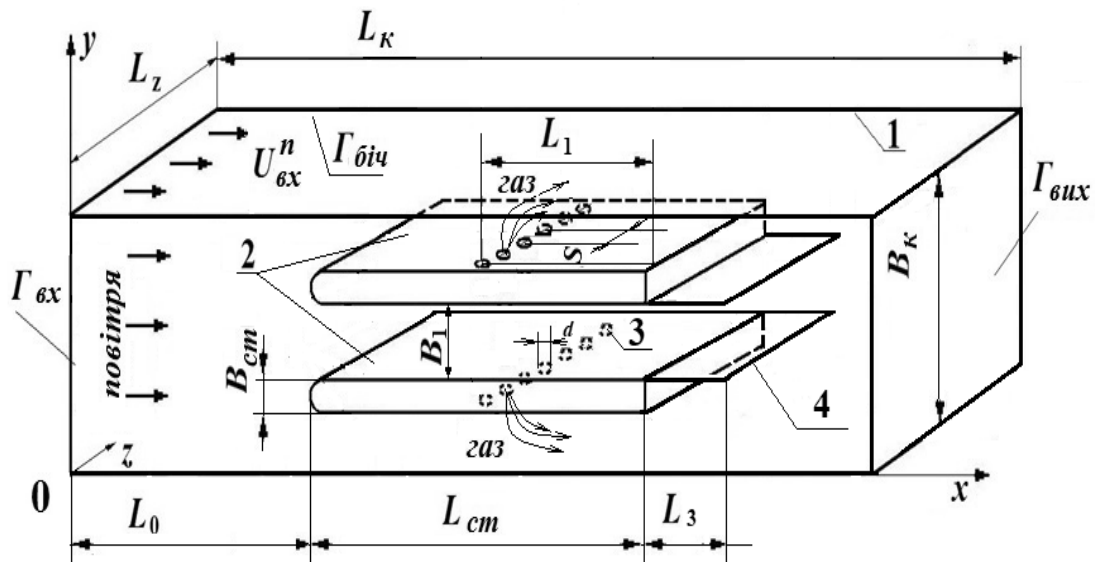


Рис. 1. Схема мікрофакельного пальникового пристрою стабілізаторного типу з одnobічною подачею палива: 1 – плоский канал; 2 – стабілізатор полум'я; 3 – газоподавальні отвори; 4 – закрилки.

значного зниження далекобійності струменів палива. Згідно з даними, наведеними в табл. 1, при $\alpha = 1,5$ далекобійність струменів становить 0,0103 м, а при $\alpha = 4,0$ зменшується до 0,0038 м. Зі зростанням величини коефіцієнта надлишку повітря помітно збільшується довжина $L_{зт}$ зони зворотних токів у закормовій області стабілізаторів полум'я. Вона дорівнює 0,0523 м і 0,0705 м

відповідно для $\alpha = 1,5$ і 4,0. При цьому вказана довжина перевищує довжину закрилка в усьому досліджуваному діапазоні зміни α . Дане перевищення є тим значнішим, чим більша величина α .

Зіставлення картини течії на рис. 2 показує, що вихрова структура в закормовій області стабілізаторів полум'я якісно схожа при різних значеннях α . А саме,

Таблиця 1. Далекобійність струменів H , довжина зони зворотних токів $L_{зт}$, середнє значення концентрації метану $\bar{C}_{CH_4}$, та координати центра основного вихору x_u^* , y_u^* в даній зоні при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α .

Характеристики течії та сумішоутворення	Коефіцієнт надлишку повітря α			
	1,5	2,0	3,0	4,0
H , м	0,0103	0,0089	0,0063	0,0038
$L_{зт}$, м	0,0523	0,058	0,0637	0,0705
x_u^* , м	0,0315	0,0423	0,05	0,0541
y_u^* , м	0,0195	0,0192	0,0205	0,0206
$\bar{C}_{CH_4}$, кг/кг	0,081	0,0535	0,0465	0,0499

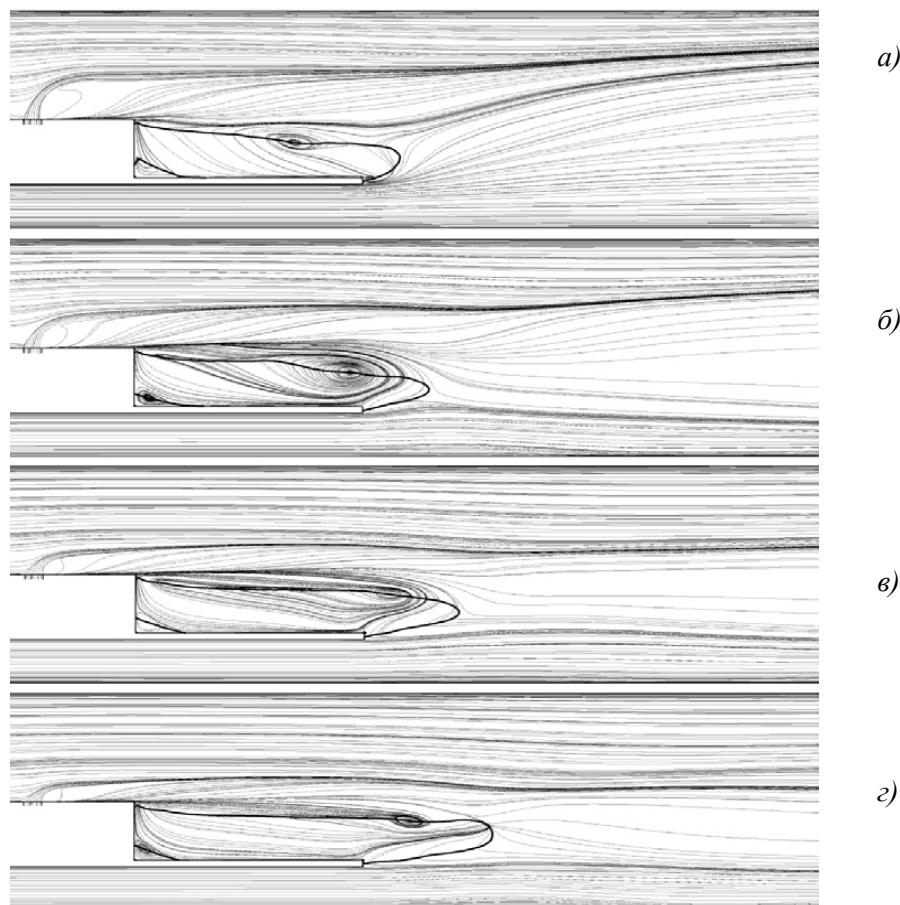


Рис. 2. Картина ліній току в поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α : а) $\alpha=1,5$; б) $\alpha=2,0$; в) $\alpha=3,0$; г) $\alpha=4,0$; жирна лінія в закормовій області стабілізатора позначає границю зони зворотних токів.

в даній області має місце основний вихор значних розмірів і невеликий вторинний вихор у кутовій зоні за стабілізатором. Однак величина α помітно впливає на положення центра вказаного основного вихору та його розміри. Так, зі зростанням коефіцієнту надлишку повітря центр основного вихору зміщується вниз за потоком, віддаляючись від торця стабілізатора полум'я. При $\alpha = 1,5$ вказаний центр розташовується на відстані 0,0315 м від торцевої поверхні стабілізатора, а при $\alpha = 4,0$ – на відстані 0,0541 м. Звертає на себе увагу також той факт, що при $\alpha = 3,0$ і $4,0$ центр основного вихору розміщується за закрилком нижче по течії.

Результати комп'ютерного моделювання свідчать також про те, що величина коефіцієнта надлишку повітря α суттєво впливає на турбулентні характеристики течії в умовах, що розглядаються. Зокрема, від величини α залежить така характеристика турбулентного потоку, як середнє квадратичне значення пульсацій U'_x поздовжньої компоненти швидкості. На рис. 3 для прикладу наведено поля U'_x при $\alpha = 1,5$ і $4,0$. Як видно, при $\alpha = 1,5$ найбільші пульсації швидкості U'_x спостерігаються в зоні паливного струменя. Щодо зони зворотних токів

за стабілізатором полум'я, то поблизу його торцевої поверхні пульсації U'_x незначні. Їх рівень зростає з віддаленням від цієї поверхні і досягає максимальних значень в області поблизу границі зони зворотних токів при $x \approx L_3$.

Зі зростанням коефіцієнта надлишку повітря картина просторового розподілу пульсацій U'_x значно змінюється (див. рис. 3). По-перше, рівень пульсацій швидкості U'_x в зоні паливного струменя суттєво зменшується і стає нижчим від їх максимального значення за стабілізатором полум'я. Вказане, очевидно, зумовлене зниженням витрат палива при підвищенні величини α . По-друге, збільшення α призводить до зростання розмірів області в зоні зворотних токів, що прилягає до торця стабілізатора полум'я, в якій мають місце гранично низькі значення пульсацій швидкості U'_x . Крім того зі зростанням α область підвищених рівнів пульсацій за зоною зворотних токів розповсюджується нижче по потоку.

Рис. 4 ілюструє поля масової концентрації метану C_{CH_4} при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α . На рисунку зони I та II відповідають

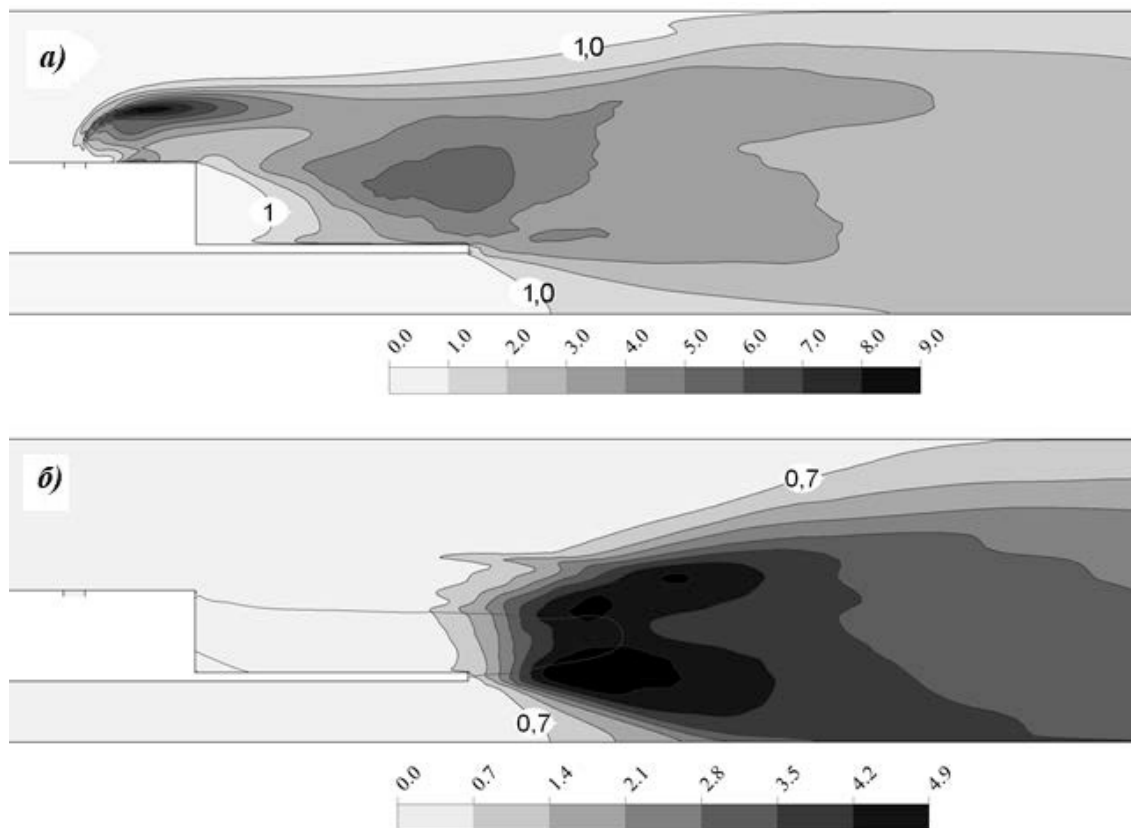


Рис. 3. Поля середньоквадратичних пульсацій швидкості U'_x в поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α : а) $\alpha=1,5$; б) $\alpha=4,0$. На рис. (а) ізолінії проведено з кроком 1,0 м/с, починаючи з $U'_x = 1,0$ м/с; на рис. (б) – з кроком 0,7 м/с, починаючи з $U'_x = 0,7$ м/с.

підобластям з підвищеним вмістом повітря і паливного газу відповідно. В зоні I концентрація метану C_{CH_4} є меншою нижньої концентраційної межі запалення, $C_{CH_4} < 0,028$, в зоні II - перевищує верхню концентраційну межу, $C_{CH_4} > 0,089$. Щодо зони III, то тут значення C_{CH_4} відповідають концентраційним межам запалення.

Згідно з даними, наведеними на рис. 4, картини змішування паливного газу і окиснювача для різних значень α є в цілому якісно схожими. А саме, області

розвивання паливних струменів відповідають зонам II з підвищеним вмістом паливного газу. Поблизу стінки каналу та в міжстабілізаторному просторі мають місце підобласті I з підвищеним вмістом повітря. В закормових областях стабілізатора і далі вниз за течією забезпечуються необхідні концентрації горючої суміші.

Поряд з відміченими для різних значень коефіцієнта надлишку повітря α загальними закономірностями сумішоутворення спостерігаються також і певні особли-

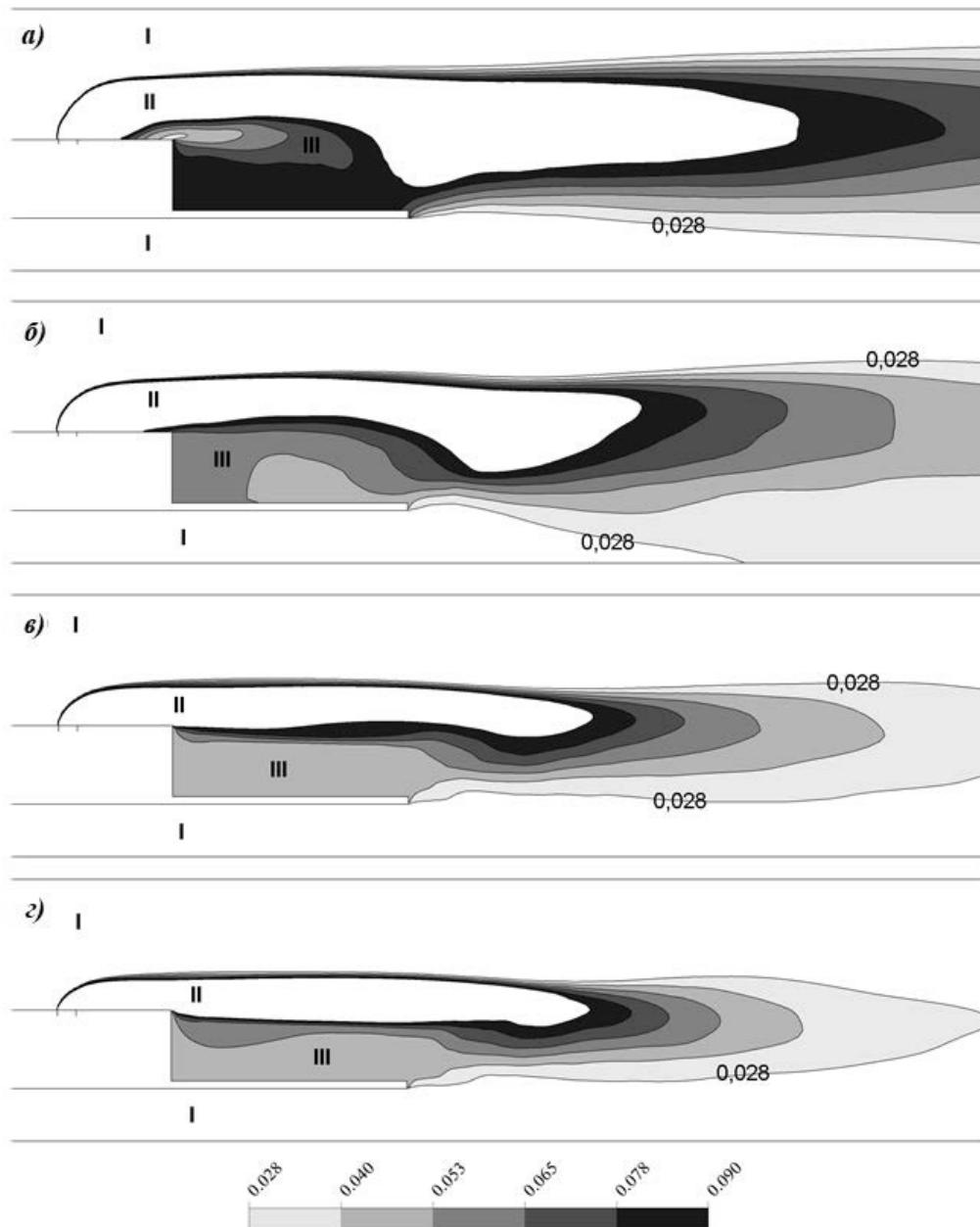


Рис. 4. Поля масової концентрації метану в поздовжньому перерізі стабілізатора полум'я, що проходить через вісь газоподавальних отворів, при різних значеннях коефіцієнта надлишку повітря α : а) $\alpha = 1,5$; б) $\alpha = 2,0$; в) $\alpha = 3,0$; з) $\alpha = 4,0$. Ізолінії проведено з кроком 0,0124, починаючи з 0,028.

вості, характерні для кожного з цих значень. Як видно з рис. 4, при зростанні величини α скорочується протяжність за потоком зон II з підвищеним вмістом паливного газу та збільшуються розміри зон I з підвищеним вмістом повітря.

Щодо середніх значень масової концентрації метану $\bar{C}_{CH_4}$ в зоні зворотних токів, то з підвищенням α від 1,5 до 3,0 ці значення помітно зменшуються. При подальшому збільшенні α спостерігається зворотна картина – вказане середнє значення $\bar{C}_{CH_4}$ зростає (див. табл. 1).

Такий характер поведінки величини $\bar{C}_{CH_4}$ можна пояснити дією двох конкуруючих факторів. А саме, з одного боку збільшення α призводить до зниження далекобійності паливних струменів, а відтак має забезпечувати підвищення концентрації метану в зоні зворотних токів. Однак, з іншого боку, підвищення α пов'язано зі зменшенням витрат паливного газу, що навпаки слугує зниженню концентрації метану в даній зоні. Згідно з одержаними даними, при збільшенні α від 1,5 до 3,0 домінуючою є друга з вказаних тенденцій. Подальше ж підвищення α пов'язане з домінуванням першої з них.

На рис. 5 наведено дані, що ілюструють характер зміни масової концентрації метану в двох поздовжніх перерізах паливкового пристрою для різних значень α при $y = 0,0075$ м (дана координата відповідає середині висоти стабілізатора полум'я). Як видно, у перерізі, що проходить через вісь газоподавальних отворів, концентрація метану з віддаленням від торцевої поверхні стабілізатора полум'я зростає, досягає максимуму і далі

знижується. Щодо вказаного максимуму, то при $\alpha = 1,5$ і $\alpha = 4,0$ його положення приблизно відповідає довжині зони зворотних токів.

Відмінності в значеннях C_{CH_4} в перерізах, що проходять через вісь газоподавальних отворів та посередині між ними, суттєво змінюються в повздовжньому напрямку. Вони виявляються відносно невеликими при $x > 0,1$ м для $\alpha = 1,5$, а для $\alpha = 4,0$ – поблизу торця стабілізатора полум'я при $x < 0,05$ м і на віддаленні від нього при $x > 0,2$ м.

Висновки

1. Із застосуванням FLUENT коду досліджено основні закономірності ізотермічної течії і сумішотворення палива і окиснювача в мікрофакельних пальниках з асиметричним паливорозподілом, призначених для експлуатації в умовах високих значень коефіцієнта надлишку повітря.

2. У відносно широкому діапазоні зміни коефіцієнта надлишку повітря ($1,5 \leq \alpha \leq 4,0$) встановлено закономірності впливу його величини на характеристики течії в пальниках, що розглядаються. Зокрема, показано, що зростання α призводить до збільшення протяжності зони зворотних токів за стабілізатором полум'я, відповідальною за стійкість процесу горіння. Встановлено також, що при цьому спостерігається тенденція до зміщення положення центру основного вихору у даній зоні нижче по потоку за межі закрилки.

3. Одержано дані щодо характеристик сумішотворення палива і окиснювача при варіюванні величини коефіцієнта надлишку повітря в досліджуваних паль-

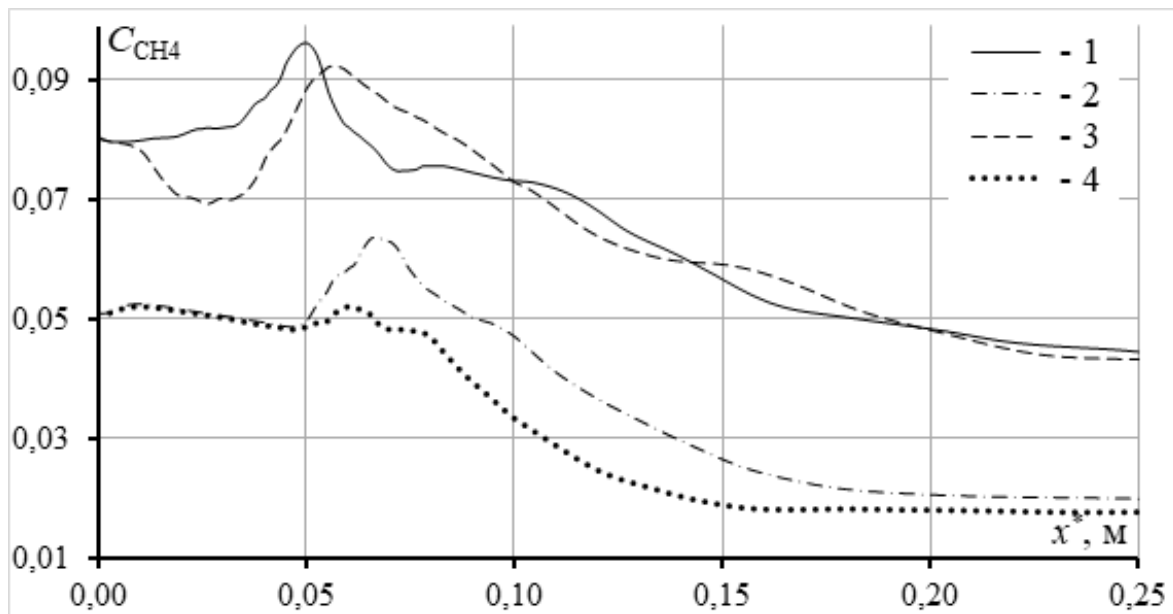


Рис. 5. Зміна масової концентрації метану в поздовжніх перерізах, що проходять через вісь газоподавальних отворів (лінії 1, 2) і посередині між ними (лінії 3, 4), для значень коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 1,5$ (лінії 1, 3) та $\alpha = 4,0$ (лінії 2, 4), $y^* = 0,0075$ м.

никових пристроях. Показано, зокрема, що залежність середньої концентрації метану в зоні зворотних токів за стабілізатором від величини α має немонотонний характер. Наводиться інтерпретація даного факту, виходячи з дії ряду конкуруючих тенденцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Прокопов В.Г., Полозенко Н.П., Меранова Н.О., Алешко С.А., Іваненко Г.В., Юрчук В.Л., Милко Е.І., Ольховська Н.Н. Моделирование структуры течения в эшелонированных решетках стабилизаторов при варьировании шага их смещения. Восточно-европейский журнал передовых технологий 2015. Т.2. №8(74). С.29-34. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39193>.
2. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Бутовський Л.С., Абдулін М.З., Полозенко Н.П., Клиш А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. 24 (5). С. 136-142. ISBN 5-7763-2435-1.
3. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А., Полозенко Н.П., Тимощенко А.Б., Абдулін М.З., Малецька О.Е., Ночовний А.В. Анализ влияния геометрической формы нишевой полости на аэродинамическое сопротивление канала. Промышленная теплотехника. 2012. № 1. С. 72-76. ISSN 0204-3602.
4. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. М.: Физматлит. 2003. 352 с. ISBN 5-9221-0438-1
5. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Бутовський Л.С., Шеренковський Ю.В., Алешко С.А., Меранова Н.О., Полозенко Н.П. Особенности течения топлива и окислителя при эшелонированном расположении стабилизаторов пламени. Промышленная теплотехника. 2011. №2. С. 59-64. ISSN 0204-3602.
6. Фіалко Н.М., Шеренковський Ю.В., Майсон Н.В., Меранова Н.О., Бутовський Л.С., Абдулін М.З., Полозенко Н.П., Клиш А.В., Стрижеус С.Н., Тимощенко А.Б. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2014. Т.3. №8(69). С. 40-44. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24895>.
7. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Ганжа М.В., Юрчук В.Л., Швецова Л.А. Тепловое состояние стабилизаторных горелок с защитными покрытиями. Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики». Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. 2017. С. 102-105. ISBN 978-966-8449-62-8.
8. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Ганжа М.В., Юрчук В.Л., Швецова Л.А. Температурные режимы стенок стабилизаторов пламени с защитными покрытиями. Промышленная теплотехника. 2017. №7. С. 31. ISSN 0204-3602
9. Фіалко Н.М., Бутовський Л.С., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Полозенко Н.П. Компьютерное моделирование процесса смесеобразования в горелочных устройствах стабилизаторного типа с подачей газа внедрением в сносящий поток воздуха. Промышленная теплотехника. 2011. №1. С.51-56. ISSN 0204-3602.
10. Фіалко Н.М., Бутовський Л.С., Прокопов В.Г., Грановская Е.А. Шеренковський Ю.В., Алешко С.А., Коханенко П.С. Особенности обтекания плоских стабилизаторов ограниченным потоком. Промышленная теплотехника, 2010. №5. С. 28-36. ISSN 0204-3602.
11. Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Алешко С.А., Абдулін М.З., Рокитко К.В., Малецька О.Е., Милко Е.І., Ольховська Н.Н., Реграги А., Евтушенко А.А. Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. Т. 28. № 8. С 117-121. DOI:<https://doi.org/10.15421/40280823>
12. Fialko N.M., Aleshko S.A., Rokytko K.V., Maletskaya O.E., Milko E.I., Kutnyak O.N., Olkhovskaya N.N., Regragui A., Donchak M.I., Evtushenko A.A. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply. Технологические системы. 2018. 3(38). С. 37-43. dx.doi.org/10.29019/084.3
13. Fialko N.M., Meranova N.O., Shrenkovskii Ju.V., Aleshko S.A., Rokytko K.V. Flow structure in a stabilizer burner with one-sided fuel supply. International Multi-disciplinary Conference Science and technology of the presents time: priority development directions of Ukraine and Poland. 19-20 October. 2018. P. 116-120. ISBN 978-9934-571-55-8.

PECULIARITIES OF FLOW AND MIXTURE FORMATION IN MICROJET BURNER DEVICES WITH ASYMMETRIC FUEL DISTRIBUTION

Fialko N.M., Sherenkovskyi Ju.V., Meranova N.O., Alioshko S.A., Rokytko K.V.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.2>

The purpose of the work is to establish the regularities of the isothermal flow and the mixture formation of the fuel gas and oxidant in the microjet burner devices with an asymmetric fuel supply. The main tasks of the work are the analysis of the effects of the influence of the value of excess air factor on the flow structure and the features of the mixing of fuel and oxidant. As a method of research, the CFD modeling method using the FLUENT code was used. According to the results of the studies carried out in the relatively wide limits of the change in the excess air factor ($1.5 \leq \alpha \leq 4.0$), the regularities of the effect of the value of this factor on such flow characteristics in the burners studied as the length of the reverse current zone behind the flame stabilizer, which is responsible for the combustion stability, the location of main vortex in this zone, the values of the mean-square velocity pulsations, and so on. The features of the mixture formation in the variation of the α value in the burner devices under investigation are revealed. The dependence on the mean α of the methane concentration in the reciprocal zone is established and given its interpretation, taking into account a number of competing factors.

Key words: microjet burner devices, excess air factor, flow structure, mixture formation, CFD modeling.

References 13, figures 5, table 1.

1. Fialko, N.M., Sherenkovsky Ju.V., Prokopov V.G., Polozenko N.P., Meranova N.O., Aleshko S.A., Ivanenko G.V., Yurchuk V.L., Milko E.I., Olkhovskaya N.N. Modeling of the flow structure in the echelonized gratings of stabilizers with a different step of their displacement. Eastern European Journal of Advanced Technology. 2015. V.2. № 8 (74). P.29-34. (Rus). ISSN 1729-3774. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39193>.

2. Fialko, N.M., Sherenkovsky Ju.V., Mayson N.V., Meranova N.O., Butovsky L.S., Abdulin M.Z., Polozenko N.P., Klishch A.V., Stryzheus S.N., Timoshchenko A.B. [Intensification of transport processes in a burner device with a

cylindrical flame stabilizer] Scientific Bulletin of UNFU. 2014. 24 (5). P. 136-142. (Rus). ISBN 5-7763-2435-1.

3. Fialko N.M., Prokopov V.G., Aleshko S.A., Polozenko N.P., Timoshchenko A.B., Abdulin M.Z., Maletskaya O.E., Nochovny A.V. [Analysis of the influence geometric shape of the niche cavity on the aerodynamic resistance of the channel]. Industrial Heat Engineering. 2012. № 1. P. 72-76. (Rus). ISSN 0204-3602.

4. Varnatts Yu., Maas U., Dibble R. [Burning. Physical and chemical aspects, modeling, experiments, formation of pollutants]. Moscow: Fizmatlit. 2003. 352 p. (Rus). ISBN 5-9221-0438-1

5. Fialko N.M., Prokopov V.G., Butovsky L.S., Sherenkovsky Ju.V., Aleshko S.A., Meranova N.O., Polozenko N.P. Features of the flow of fuel and oxidizer in the echeloned arrangement of flame stabilizers. Industrial Heat Engineering. 2011. № 2. P. 59-64. (Rus). ISSN 0204-3602.

6. Fialko N.M., Sherenkovsky Ju.V., Mayson N.V., Meranova N.O., Butovskiy L.S., Abdulin M.Z., Polozenko N.P., Klishch A.V., Stryzheus S.N., Timoshchenko A.B. Mathematical modeling of processes of flow and mixture formation in a cylindrical stabilizer burner device. Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2014. V.3. № 8 (69). P. 40-44. (Rus). ISSN 1729-3774. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24895>.

7. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovsky Ju.V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Ganzha M.V., Yurchuk V.L., Shvetsova L.A. Thermal state of stabilizer burners with protective coatings. Collection of Works "Problems of Ecology and Operation of Energy Facilities". Kiev: IPC ALCON. 2017. P. 102-105. (Rus). ISBN 978-966-8449-62-8.

8. Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovsky Ju.V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Hanzha M.V., Yurchuk V.L., Shvetsova L.A. Temperature regimes of the flame stabilizers walls with protective coatings. Industrial Heat Engineering. 2017. №7. P. 31. (Rus). ISSN 0204-3602

9. Fialko N.M., Butovsky L.S., Prokopov V.G., Sherenkovsky Ju.V., Meranova N.O., Alyoshko S.A., Polozenko N.P. Computer simulation of process of mixture formation in burner devices of the stabilizing type with the introduction of gas into the blowing down airflow. Industrial Heat Engineering. 2011. № 1. P.51-56. (Rus). ISSN 0204-3602.

10. Fialko N.M., Butovsky L.S., Prokopov V.G., Granovskaya E.A., Sherenkovsky Ju.V., Aleshko S.A., Kokhanenko P.S. Features of flow around flat stabilizers by a limited flow Industrial Heat Engineering. 2010. №5. P. 28-36. (Rus). ISSN 0204-3602.

11. *Fialko N.M., Prokopov V.G., Alioshko S.A., Abdulin M.Z., Rokitko K.V., Maletska O.E., Milko E.I., Olkhovska N.N., Reragi A., Evtushenko A.A.* Computer simulation of flow in microjet burner devices with asymmetric supply of fuel. Scientific Bulletin of UNFU. 2018. Vol. 28. № 8. С 117-121. (Rus). DOI:<https://doi.org/10.15421/40280823>

12. *Fialko N.M., Aleshko S.A., Rokitko K.V., Maletskaya O.E., Milko E.I., Kutnyak O.N., Olkhovskaya N.N., Reragui A., Donchak M.I., Evtushenko A.A.* Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply. Technological Systems 2018. 3(38). С. 37-43. (Eng). [dx.doi.org/10.29019/084.3](https://doi.org/10.29019/084.3)

13. *Fialko N.M., Meranova N.O., Shrenkovskii Ju.V., Aleshko S.A., Rokytko K.V.* Flow structure in a stabilizer burner with one-sided fuel supply. International Multidisciplinary Conference Science and technology of the presents time: priority development directions of Ukraine and Poland. 19-20 October. 2018. P. 116-120. (Eng). ISBN 978-9934-571-55-8.

Отримано 04.03.2019

Received 04.03.2019

УДК 536.2

ТЕМПЕРАТУРНА СТАБІЛІЗАЦІЯ МІКРОТЕЧІЙ

Тирінов А.І., доктор технічних наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.3>

Проведено чисельне моделювання розгінного потоку в плоскому, круглому та прямокутному мікроканалах методом ґрат Больцмана. Проаналізовано теплообмін на початковій ділянці в плоскому, круглому та прямокутному мікроканалах. Визначено вплив інтенсивності проковзування рідини на температурну стабілізацію потоку в мікроканалі.

Проведено численне моделювання розгонного течения в плоском, круглом и прямоугольном микроканалах методом решеток Больцмана. Проанализирован теплообмен на начальном участке в плоском, круглом и прямоугольном микроканалах. Определено влияние интенсивности проскальзывания жидкости на температурную стабилизацию потока в микроканалах.

A numerical simulation of the start-up flow in a flat, round, and rectangular microchannels by a Lattice Boltzmann Method is performed. The heat transfer in the initial region in the flat, round and rectangular microchannels was analyzed. The influence of the slipping intensity of the fluid on the flow temperature stabilization in the microchannel is determined.

Бібл. 15, рис. 4.

Ключові слова: теплообмін, чисельне моделювання, мікроканал, метод ґрат Больцмана. f – функції розподілу частинок за напрямками ґрат; f_T – функції розподілу температури за напрямками ґрат; h – характерний розмір; L – довжина вільного пробігу; R_g – газова константа; t – час; v – поперечна компонента швидкості; T – температура; u – x -компонент швидкості; x, y – координати; γ – коефіцієнт в'язкого проковзування; ε – внутрішня енергія; λ – коефіцієнт гідравлічного опору; ρ – густина; τ – час гідродинамічної релаксації частинок; τ_T – час температурної релаксації частинок;**Критерії подібності:**

$$\text{Kn} = \frac{L}{h} \text{ – число Кнудсена;}$$

$$\text{Nu} = \frac{\alpha L}{k} \text{ – Число Нуссельта;}$$

$$\text{Pe} = \frac{UL}{a} \text{ – Число Пекле;}$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a} \text{ – число Прандтля;}$$

$$\text{St} = \frac{\text{Nu}}{\text{Pe}} \text{ – Число Стентона.}$$

Вступ

Починаючи з кінця 80-х років минулого століття суттєво розширюється область застосування мікромасштабних систем, у тому числі в медицині, фармакології, біології, теплоенергетиці, приладобудуванні, каталізі, тощо. Сучасним трендом розвитку є зменшення геометричних розмірів і маси чутливих та виконавчих елементів з метою створення теплофізичних мікроприладів з раніше недостижними характеристиками щодо чутливості, швидкодії та стабільності роботи. Необхідність вивчення процесів теплообміну в них зумовлена тим, що при переході до мікро- і нанорозмірів часто має місце зростання щільності теплових потоків і виникає необхідність відведення тепла протягом малих проміжків часу в неоднорідному середовищі: тверде тіло, рідина, газ, вакуум.

У звичайних умовах течії рідин і не занадто розріджених газів досить точно описуються методами механіки суцільного середовища. Однак у мікроканалах для діапазону чисел Кнудсена ($0.001 < \text{Kn} < 0.1$) течії мають свої особливості, наприклад відсутність «прилипання» середовища на стінці. Тобто, для моделювання таких систем можна використовувати рівняння Нав'є-Стокса, але необхідно використовувати граничні умови проковзування на стінках.

Вивченню потоків у мікроканалах на даний час приділяється досить серйозна увага.

Існують декілька моделей, що описують граничні умови проковзування. В [1] наведена модель проковзування, що базується на так-званій моделі ковзання Максвелла (Maxwell-slip model), а в [2] модель адсорбції на границі розділу рідкого середовища з твердою по-

верхню. В [3] для чисельного моделювання течії в мікроканалі використана модель ковзання Ленгмюра (Langmuir slip model).

У [4] представлено дослідження потоку рідини, що керується тиском, яке включає огляд пакетів CFD, загальних принципів динаміки рідини та простої моделі потоку в мікроканалах. Продemonстровано вплив капілярних сил на потік і застосовність теорії пограничного шару до потоку в мікроканалі.

Моделюванню поведінки потоку в мікроканалах з різкими кутовими вигинами присвячена робота [5]. Представлені результати аналізу мікроканалів з різними кутами згину, використовуючи метод кінцевих елементів.

В роботах [6,7] наведено результати вивчення конвективних мікротечій, у [8] – конвективних мікротечій в пористому середовищі, а у [9] – турбулентних мікротечій між плоскими паралельними пластинами.

Аналізу впливу ступеню проковзування середовища на гідродинаміку початкової ділянки течії у мікроканалах різної конфігурації присвячені публікації [10-12]. Визначено залежності параметрів ділянок гідродинамічної стабілізації від числа Кнудсена.

Проведений огляд літературних джерел свідчить про необхідність дослідження впливу ступеню проковзування середовища на температурну стабілізацію потоків у мікроканалах.

В даній роботі за допомогою методу ґрат Больцмана визначається вплив інтенсивності проковзування середовища на температурну стабілізацію потоку в мікроканалах різної конфігурації при стрибкоподібному зростанні швидкості на вході в мікроканал.

Метод ґрат Больцмана

Основна ідея методу ґрат Больцмана, що останнім часом широко використовується для моделювання мікро- та мезомасштабних систем, полягає в тому, що положення часток передбачається дискретним, тобто частка може займати положення тільки у вузлах заданих ґрат. Напрями руху часток також вважаються дискретними. Форма комірок ґрат може бути обрана довільно, але для декартових координат найбільш прийнятними є прямокутні ґрати. Найчастіше при двовимірному моделюванні використовують ґрати D2Q9 на дев'ять каналів руху, а при тривимірному – D3Q15 на п'ятнадцять каналів (рис. 1а та 1б відповідно).

Для течій у мікроканалах граничні умови проковзування на стінках описуються наступним виразом [13]:

$$u = \gamma L \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{\text{wall}}, \quad (1)$$

де y – поперечна координата, u – це поздовжня складова швидкості, а γ є коефіцієнтом в'язкого ковзання.

Метод ґрат Больцмана ґрунтується на дискретизації рівняння Больцмана в наближенні БГК (Bhatnagar-Gross-Krook), дискретну кінцево-різницеvu форму якого можна представити наступним чином [14]

$$f(x_i + \Delta x_i, t + \Delta t) - f(x_i, t) = \frac{f^e - f}{\tau} \\ f_T(x_i + \Delta x_i, t + \Delta t) - f_T(x_i, t) = \frac{f_T^e - f_T}{\tau_T}, \quad (2)$$

де Δx_i , Δt – просторові та часові інтервали, відповідно, τ , τ_T – час гідродинамічної та температурної релаксації,

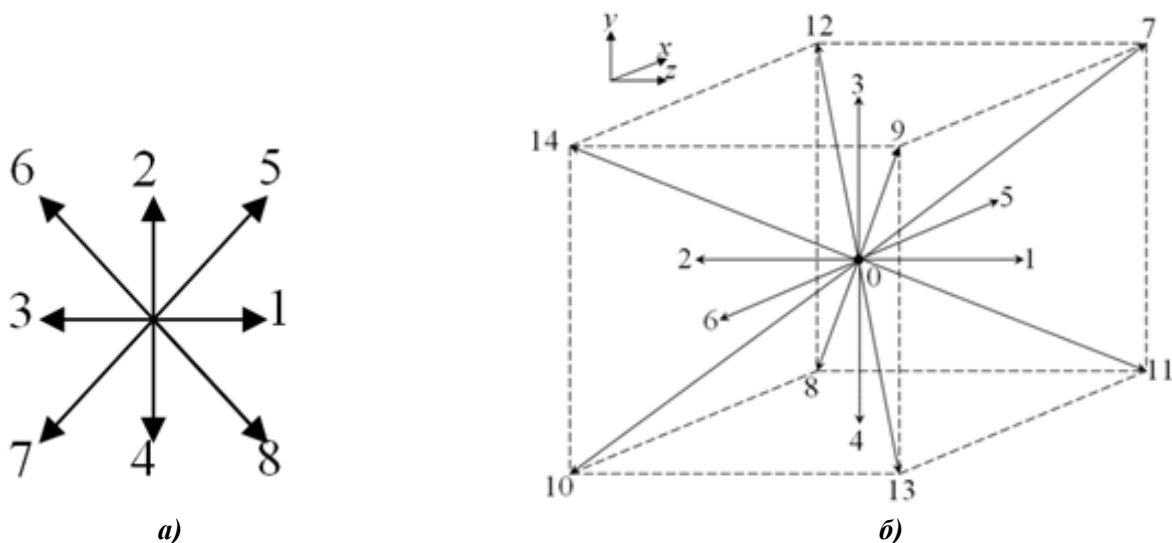


Рис. 1. Ґрати D2Q9 (а) та D3Q15 (б).

f, f_T – функції розподілу частинок та температури, f^e , f_T^e – рівноважні розподіли частинок, що відповідають розподілу Максвелла, $i = 1 \dots d$, а d – розмірність простору.

Для дискретних ґрат з напрямками швидкості j , вирази для обчислення макропараметрів мають наступну форму

$$\begin{aligned} \rho &= \sum_j f_j, \\ \rho u &= \sum_j c_j f_j, \\ \rho \varepsilon &= \sum_j f_{T,j}, \end{aligned} \quad (3)$$

де

$$c = c_j = \sqrt{3R_g T}, \quad (4)$$

– молекулярна швидкість, R_g – газова константа, T – температура,

$$\varepsilon = \frac{3}{2} R_g T \quad (5)$$

є внутрішньою енергією.

Функція рівноважного розподілу частинок має вигляд

$$f_j^e = w_j \rho \left[1 + \frac{3(e_j \cdot u)}{c^2} + \frac{9(e_j \cdot u)^2}{2c^4} - \frac{3u^2}{2c^2} \right], \quad (6)$$

де для двовимірних ґрат D2Q9

$$w_j = \begin{cases} 4/9, & j = 0, \\ 1/9, & j = 1, 2, 3, 4, \\ 1/36, & j = 5, 6, 7, 8 \end{cases} \quad (7)$$

та

$$e_j = \begin{cases} (0, 0), & j = 0, \\ (1, 0)c, (0, 1)c, (-1, 0)c, (0, -1)c, & j = 1, 2, 3, 4, \\ (1, 1)c, (-1, 1)c, (-1, -1)c, (1, -1)c, & j = 5, 6, 7, 8 \end{cases} \quad (8)$$

а для тривимірних ґрат D3Q15

$$w_j = \begin{cases} 2/9, & j = 0, \\ 1/9, & j = 1, 2, \dots, 6, \\ 1/72, & j = 7, 8, \dots, 14. \end{cases} \quad (9)$$

та

$$e_j = \begin{cases} (0, 0, 0), \\ (\pm 1, 0, 0)c, (0, \pm 1, 0)c, (0, 0, \pm 1)c, \\ (\pm 1, \pm 1, \pm 1)c, (\pm 1, \pm 1, \mp 1)c, (\pm 1, \mp 1, \pm 1)c, (\mp 1, \pm 1, \pm 1)c, \end{cases}$$

$$j = 0, \\ j = 1, 2, \dots, 6, \\ j = 7, 8, \dots, 14. \quad (10)$$

Функція рівноважного розподілу для розрахунку температури [15]

$$f_{T,j}^e = \begin{cases} -\frac{\rho R T u^2}{2c^2}, & j = 0 \\ \frac{\rho R T}{6} \left[1 + \frac{e_j \cdot u}{c^2} + \frac{9(e_j \cdot u)^2}{2c^4} - \frac{3u^2}{2c^2} \right], & j = 1 \dots 6 \\ \frac{\rho R T}{48} \left[3 + \frac{7(e_j \cdot u)}{c^2} + \frac{9(e_j \cdot u)^2}{2c^4} - \frac{3u^2}{2c^2} \right], & j = 7 \dots 14 \end{cases} \quad (11)$$

Вирази для часу релаксації частинок та енергії можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} \tau &= Kn N_n + \frac{1}{2} \\ \tau_T &= \frac{Kn}{Pr} N_n + \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (12)$$

де N_n – поперечна кількість комірок ґрат.

Результати моделювання

Плаский та круглий мікроканали

За результатами моделювання розгінної течії у пласкому та круглому мікроканалах [10] побудовані залежності нормованого числа Стентона St/St_∞ (числа Стентона St , нормованого значенням числа Стентона на сталій ділянці St_∞) від часу t для різних значень числа Кнудсена Kn (рис. 2).

Аналіз результатів свідчать, що зростання числа Кнудсена приводить до збільшення часу, необхідного для досягнення сталого профілю температур в пласкому каналі. Це можна пояснити впливом зростаючої швидкості проковзування на стінці каналу, що в свою чергу, зменшує вплив стінок на температуру середови-

ща в каналі. Відповідно, необхідний більший час для досягнення температурної стабілізації. Згідно отриманих результатів для плоского каналу час, необхідний для досягнення температурної стабілізації, більший за час гідродинамічної стабілізації на 14% при $Pr=0,7$. Для круглого мікроканалу характер впливу аналогічний.

Також визначено, що зростання початкового значення числа Стентона (при $\bar{t} = 0$) призводить до швидшої стабілізації теплообмінних процесів в мікроканалі.

Це зумовлено тим, що менший час потрібен для досягнення розподілу температур на ділянці сталого плину.

Розгінна течія в мікроканалі з прямокутним перерізом [11]

Залежності нормалізованого числа Стентона St/St_∞ від часу t для різних значень числа Кнудсена Kn для співвідношення сторін 0,5 та $Pr = 0,7$ наведено на рис. 3.

Наведені графіки свідчать, що зростання числа Кнудсена призводить до збільшення часу, необхідного

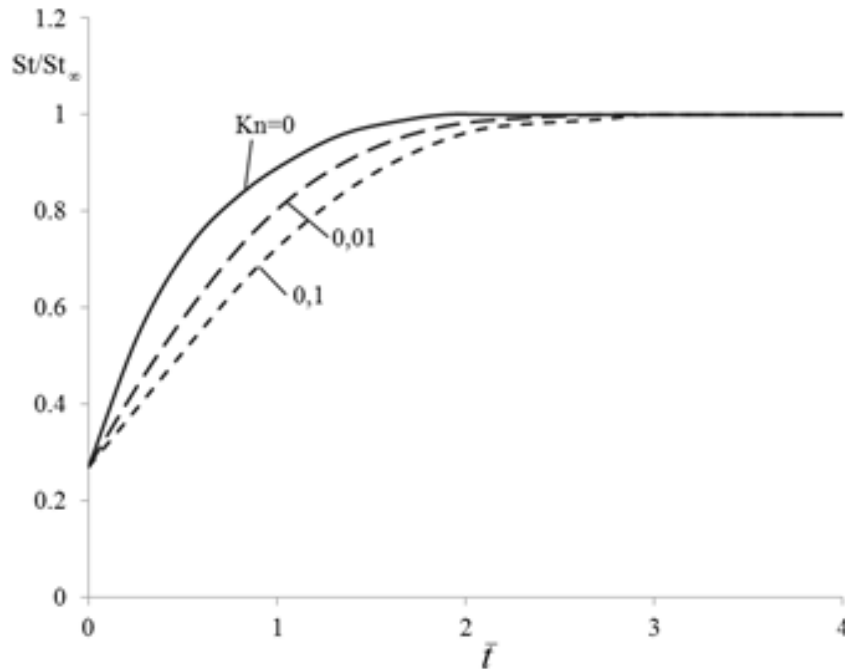


Рис. 2. Залежності відносного числа Стентона St/St_∞ від часу t в плоскому каналі для різних значень числа Кнудсена Kn при $Pr = 0,7$.

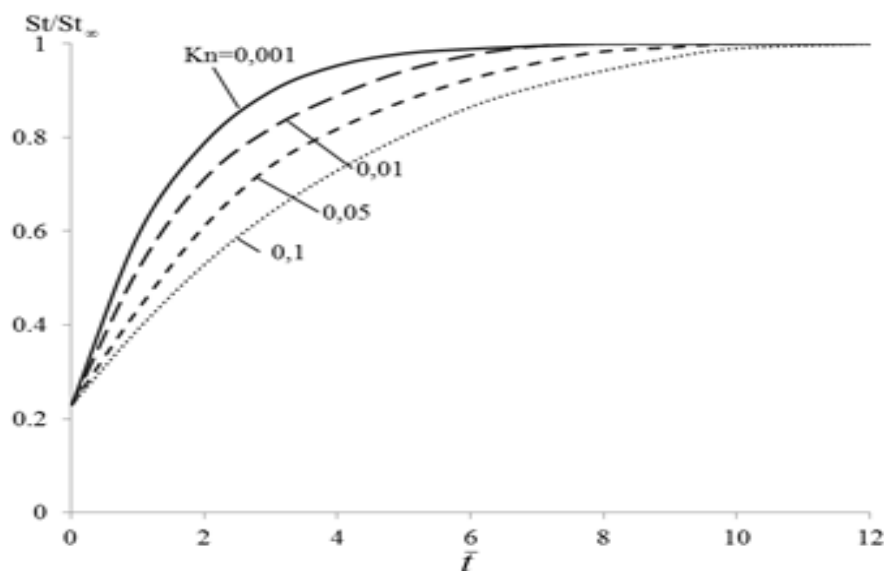


Рис. 3. Залежності нормалізованого числа Стентона, St/St_∞ від t для різних значень числа Кнудсена Kn .

для досягнення сталого профілю температур в прямокутному мікроканалі. Це можна пояснити впливом зростаючої швидкості проковзування на стінці каналу, що в свою чергу, зменшує вплив стінок на температуру середовища в каналі. Відповідно, необхідний більший час для досягнення температурної стабілізації. Згідно отриманих результатів для прямокутного каналу зі співвідношенням сторін 0,5 час, необхідний для досягнення температурної стабілізації, більший за час гідродинамічної стабілізації на 17%.

Також визначено, що наближення співвідношення між висотою та шириною мікроканалу до одиниці також призводить до збільшення часу, необхідного для температурної стабілізації в прямокутному каналі за рахунок зменшення впливу стінок на температуру середовища в мікроканалі.

Розгінна течія в криволінійному мікроканалі з прямокутним перерізом [12]

Було досліджено вплив числа Кнудсена та кривизни каналу cur на інтенсивність теплообміну в криволінійному мікроканалі з прямокутним перерізом. Визначено, що число Стентона для сталої ділянки можна описати наступним виразом

$$St_{\infty} = \lambda Pr^{-2/3}, \quad (13)$$

де вплив числа Кнудсена та кривизни враховується через коефіцієнт гідравлічного опору λ .

Також було виявлено, що інтенсивність теплообміну на увігнутій та опуклій стінках ведуть себе по різному – на увігнутій стінці теплообмін сильніший, а на опуклій слабший, ніж на плоскій стінці. Таким чином для сталої ділянки криволінійного мікроканалу справедливо наступне співвідношення

$$\frac{St_{\infty}}{St_0} = \left(1 + 6 \frac{Kn}{Pr}\right)^{-1} \left(1 \pm \frac{1}{12}(cur - 1)\right)^{-1}, \quad (14)$$

де St_0 – число Стентона для течії у прямолінійному каналі без проковзування на стінці. Причому, знак «+» використовується для увігнутої стінки, а «-» – для опуклої.

На рис. 4 наведено нормовані залежності числа Стентона St/St_{∞} від поздовжньої координати, нормованої довжиною ділянки температурної стабілізації $\tilde{x}/l_{tc}$

Рисунок 4 свідчить, що довжина ділянки температурної стабілізації різна для увігнутої та опуклої стінок криволінійного мікроканалу. Для опуклої стінки довжина ділянки термостабілізації виявилась більшою ніж для увігнутої. Пояснюється це тим, що із зростанням кривизни каналу збільшується поверхневе тертя на опуклій стінці із одночасним зменшенням тертям на увігнутій через асиметрію профілю швидкості. На опуклій стінці таким чином відбувається інтенсифікація теплообміну зі стінкою і, відповідно, температурна стабілізація настає пізніше. На увігнутій стінці ді-

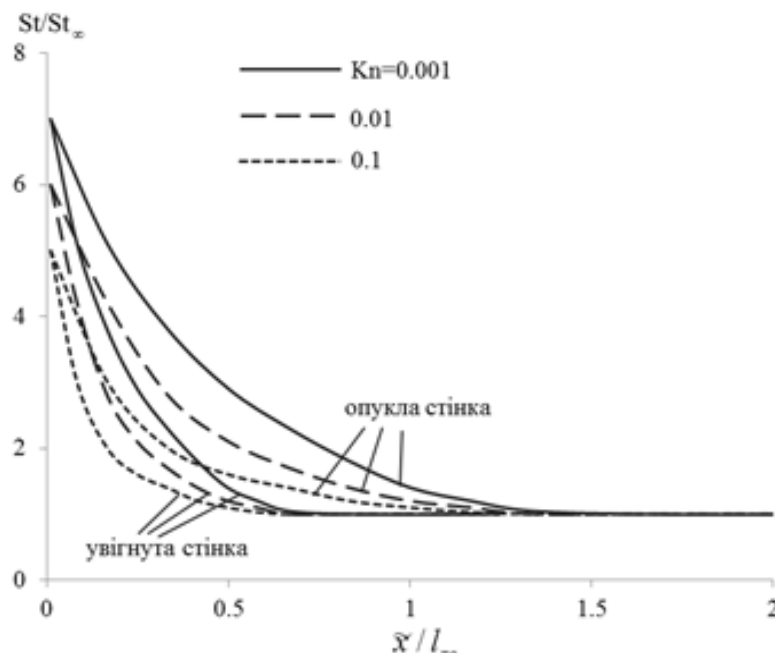


Рис. 4. Залежності нормованого числа Стентона St/St_{∞} від нормованої поздовжньої координати $\tilde{x}/l_{tc}$ для різних значень числа Кнудсена Kn на стінках криволінійного мікроканалу із прямокутним перетином.

лянка термостабілізації коротша за рахунок зменшення впливу стінки.

Висновки

Проведені чисельні дослідження впливу інтенсивності проковзування середовища на теплообмін течій в мікроканалах різної конфігурації показали значний вплив проковзування на температурну стабілізацію мікротечій. За рахунок проковзування вплив стінки на температуру середовища зменшується і, відповідно, температурна стабілізація потоку відбувається повільніше.

Ступінь впливу проковзування залежить від конфігурації мікроканалу. Збільшення співвідношення сторін каналу викликає збільшення часу стабілізації. Наприклад, для прямокутного каналу зі співвідношенням сторін 1:2 час, необхідний для досягнення температурної стабілізації, більший за час гідродинамічної стабілізації на 17%.

Також аналіз показав що зростання значення числа Прандтля призводить до зменшення часу, необхідного для температурної стабілізації в каналі.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Al-Bender F., Lampaert V., Swevers J.* The generalized Maxwell-slip model: a novel model for friction simulation and compensation //IEEE Transactions on automatic control. – 2005. – Т. 50. – №. 11. – С. 1883-1887.
2. *Shu J. J., Teo J. B. M., Chan W. K.* A new model for fluid velocity slip on a solid surface //Soft Matter. – 2016. – Т. 12. – №. 40. – С. 8388-8397.
3. *Chen S., Tian Z.* Simulation of microchannel flow using the lattice Boltzmann method //Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2009. – Т. 388. – №. 23. – С. 4803-4810.
4. *Wang H. et al.* Simple approach for modeling flow in a microchannel //Smart Electronics and MEMS II. – International Society for Optics and Photonics, 2001. – Т. 4236. – С. 99-107.
5. *You J. et al.* Modeling the effect of channel bends on microfluidic flow //IASME Trans. – 2005. – Т. 1. – №. 1. – С. 144-151.
6. *Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V., Dmitrenko N. P., Kravchuk A. V., Shevchuk V. I.* Mixed convection in a vertical flat microchannel // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – 106. – P. 1164 – 1173.
7. *Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V., Dmitrenko N. P., Kravchuk A. V., Shevchuk V. I.* Mixed convection in a vertical circular microchannel // International Journal of Thermal Sciences. – 2017. – 121. – P. 1 – 12.
8. *Avramenko A. A., Kovetska Yu. Yu., Shevchuk I. V., Tyrinov A. I., Shevchuk V. I.* Mixed Convection in Vertical Flat and Circular Porous Microchannels // Transport in Porous Media. - 2018. - Volume 124, Issue 3. – P. 919 – 941.
9. *Avramenko A. A., Shevchuk I. V., Kravchuk A. V.* Turbulent incompressible microflow between rotating parallel plates // European Journal of Mechanics B/Fluids. – 2018. – 71. – P. 35 – 46.
10. *Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V.* An analytical and numerical study on the start-up flow of slightly rarefied gases in a parallel-plate channel and a pipe // Phys. Fluids. - 2015. - 27. - P. 042001-1 - 042001-18.
11. *Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V.* Theoretical investigation of steady isothermal slip flow in a curved microchannel with a rectangular cross-section and constant radii of wall curvature // European Journal of Mechanics B/Fluids. – 2015. – 54. – P. 87– 97.
12. *Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V.* Start-up slip flow in a microchannel with a rectangular cross section // Theor. Comput. Fluid Dyn. – 2015. – 29. – P. 351 – 371.
13. *Agrawal A., Prabhu S. V.* Deduction of slip coefficient in slip and transition regimes from existing cylindrical Couette flow data //Experimental Thermal and Fluid Science. – 2008. – Т. 32. – №. 4. – С. 991-996.
14. *He X., Luo L. S.* Theory of the lattice Boltzmann method: From the Boltzmann equation to the lattice Boltzmann equation //Physical Review E. – 1997. – Т. 56. – №. 6. – С. 6811.
15. *Peng Y., Shu C., Chew Y. T.* A 3D incompressible thermal lattice Boltzmann model and its application to simulate natural convection in a cubic cavity //Journal of Computational Physics. – 2004. – Т. 193. – №. 1. – С. 260-274.

TEMPERATURE STABILIZATION OF MICROCHANNEL FLOW

Tyrinov A.I.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.3>

The purpose of this work is to determine the nature of the effect of the intensity of slipping the medium on the walls of the microchannel on the temperature stabilization of the flow in the microchannel. To achieve this goal, numerical simulation of the start flow in flat, round, and rectangular microchannels was performed using the Boltzmann Speech Method. The heat exchange in the initial region in flat, round and rectangular microchannels is analyzed. The influence of the fluid acceleration intensity on the stabilization of the flow temperature in the microchannel is determined.

Key words: heat transfer, numerical simulation, microchannel, Lattice Boltzmann Method.

References 15, figures 4.

1. Al-Bender F., Lampaert V., Swevers J. The generalized Maxwell-slip model: a novel model for friction simulation and compensation //IEEE Transactions on automatic control. 2005. V. 50. №. 11. P. 1883–1887.
2. Shu J. J., Teo J. B. M., Chan W. K. A new model for fluid velocity slip on a solid surface //Soft Matter. 2016. V. 12. №. 40, P. 8388–8397.
3. Chen S., Tian Z. Simulation of microchannel flow using the lattice Boltzmann method //Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2009. V. 388. №. 23, P. 4803–4810.
4. Wang H. et al. Simple approach for modeling flow in a microchannel //Smart Electronics and MEMS II. – International Society for Optics and Photonics, 2001. V. 4236, P. 99–107.
5. You J. et al. Modeling the effect of channel bends on microfluidic flow //IASME Trans. 2005. V. 1. №. 1, P. 144–151.
6. Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V., Dmitrenko N. P., Kravchuk A. V., Shevchuk V. I. Mixed convection in a vertical flat microchannel // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. 106, P. 1164–1173.
7. Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V., Dmitrenko N. P., Kravchuk A. V., Shevchuk V. I. Mixed convection in a vertical circular microchannel // International Journal of Thermal Sciences. 2017. 121, P. 1–12.
8. Avramenko A. A., Kovetska Yu. Yu., Shevchuk I. V., Tyrinov A. I., Shevchuk V. I. Mixed Convection in Vertical Flat and Circular Porous Microchannels // Transport in Porous Media. - 2018. - Volume 124, Issue 3. P. 919–941.
9. Avramenko A. A., Shevchuk I. V., Kravchuk A. V. Turbulent incompressible microflow between rotating parallel plates // European Journal of Mechanics B/Fluids. 2018. 71. P. 35–46.
10. Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V. An analytical and numerical study on the start-up flow of slightly rarefied gases in a parallel-plate channel and a pipe // Phys. Fluids. 2015. 27, P. 042001-1 - 042001-18.
11. Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V. Theoretical investigation of steady isothermal slip flow in a curved microchannel with a rectangular cross-section and constant radii of wall curvature // European Journal of Mechanics B/Fluids. 2015. 54, P. 87–97.
12. Avramenko A. A., Tyrinov A. I., Shevchuk I. V. Start-up slip flow in a microchannel with a rectangular cross section // Theor. Comput. Fluid Dyn. 2015. 29, P. 351–371.
13. Agrawal A., Prabhu S. V. Deduction of slip coefficient in slip and transition regimes from existing cylindrical Couette flow data //Experimental Thermal and Fluid Science. 2008. V. 32. №. 4, P. 991–996.
14. He X., Luo L. S. Theory of the lattice Boltzmann method: From the Boltzmann equation to the lattice Boltzmann equation //Physical Review E. 1997. V. 56. №. 6, 6811 p.
15. Peng Y., Shu C., Chew Y. T. A 3D incompressible thermal lattice Boltzmann model and its application to simulate natural convection in a cubic cavity //Journal of Computational Physics. 2004. V. 193. №. 1, P. 260–274.

Отримано 03.12.2018

Received 03.12.2018

УДК 664.8/9

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІВЕ-ОБРОБКИ ПЛОДОВОГО ТІЛА ГРИБА ШИЇТАКЕ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРИБНОЇ СУСПЕНЗІЇ

Шаркова Н.О., канд. техн. наук, Жукотський Е.К., Турчина Т.Я., канд. техн. наук,
Декуша Г.В., канд. техн. наук, Макаренко А.А., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.4>

Вивчено вплив ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на фізико-механічні властивості грибної суспензії. Показано, що за певної компоновки робочих органів РПА розміри просторових агрегатів грибної суспензії зменшуються утричі, а при кавітаційній обробці її після трьох проходів через РПА динамічна в'язкість знижується на 20 %.

Изучено влияние ДИВЕ-обработки плодового тела гриба шиитаке на физико-механические свойства грибной суспензии. Показано, что при определенной компоновке рабочих органов РПА размеры агрегатов в грибной суспензии уменьшаются втрое, а при кавитационной обработке ее после трех проходов через РПА динамическая вязкость снижается на 20 %.

Effect of DPEI processing of shiitake fungus on physical and mechanical properties of mushroom suspension have been studied. It is shown that a certain layout of RPA working bodies allows to reduce the size of aggregates in the mushroom suspension three times. Cavitation processing after three passes through RPA decreases dynamic viscosity of mushroom suspension by 20 %.

Библ. 13, рис. 6.

Ключові слова: плодове тіло гриба шиїтаке, дискретно-імпульсне введення енергії, деструкція полісахаридного комплексу, мікроструктура.

t – температура,
ДІВЕ – дискретно-імпульсне введення енергії,

РПА – роторно-пульсаційний апарат,
ХГК – хітин-глюкановий комплекс.

Використання механізмів дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) в різних галузях стало надійним і ефективним інструментом інтенсифікації процесів тепломасообміну в різноманітних технологічних лініях і зниження питомих енерговитрат на виробництві. Вивчення процесів та структурних перетворень в гетерогенних системах під дією механізмів ДІВЕ відкривають все нові грані ефективного їх застосування. Виявляється, за певних умов ДІВЕ-обробки можна не тільки підготувати до розпилювального сушіння рідинну гетерогенну систему з певним ступенем дисперсності нерозчинних мікрочастинок, але й досягти покращення якісних характеристик отриманого порошкового продукту і навіть посилення певних його властивостей при збереженні усіх цінних складових вихідної сировини. Саме такого не очікуваного ефекту було отримано при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шиїтаке.

Широкий спектр лікувальних властивостей шиїтаке обумовлений комплексною дією на організм людини багатьох специфічних біологічно активних речовин: полісахаридів з імуномодельючими властивостями, білків, до складу яких входять усі незамінні амінокислоти, вітамінів, незамінних поліненасичених жирних кислот, низки найважливіших макро- і мікроелементів, в тому числі, дефіцитного в нашому харчуванні селену [1-3].

Актуальність використання деяких видів базидіаль-

них грибів з лікувальними властивостями, серед яких традиційний японський гриб шиїтаке, підтверджена багаторічними та численними результатами експериментальних і клінічних досліджень механізмів імуномодельючої і протипухлинної дії грибних полісахаридів та позитивним ефектом застосування високовартісних препаратів фармацевтичних корпорацій Японії, Китаю, які займають біля 30 % ринку імунокоректорів і протипухлинних препаратів [4-5].

Стінки клітини плодового тіла гриба містять 5...15 % сухої маси грибів і на 95 % складаються з природних полісахаридів: хітину, глюканів і протеогліканів. Хімічна будова їх макромолекул (тип глікозидного зв'язку, моносахаридний склад ланцюга, наявність функціональних груп) визначає їх біологічне призначення. Особливий інтерес представляє хітин-глюкановий полісахаридний комплекс (ХГК), біологічна активність якого визначається наявністю в ньому хітину і глюканів, між якими існують ковалентні зв'язки в мікрофібрилах, що обумовлює високу міцність клітинної стінки, надає стійкості ХГК і робить неможливим виділення одного компоненту без руйнування іншого. Таким чином, ХГК є розгалуженим полісахаридом, в якому ланцюг глюкана зв'язаний з ланцюгом хітину [6].

Глюканова складова в структурі ХГК має імуноморегулюючу і протипухлинну дію, однак доступність до цих біологічно активних речовин суттєво знижена

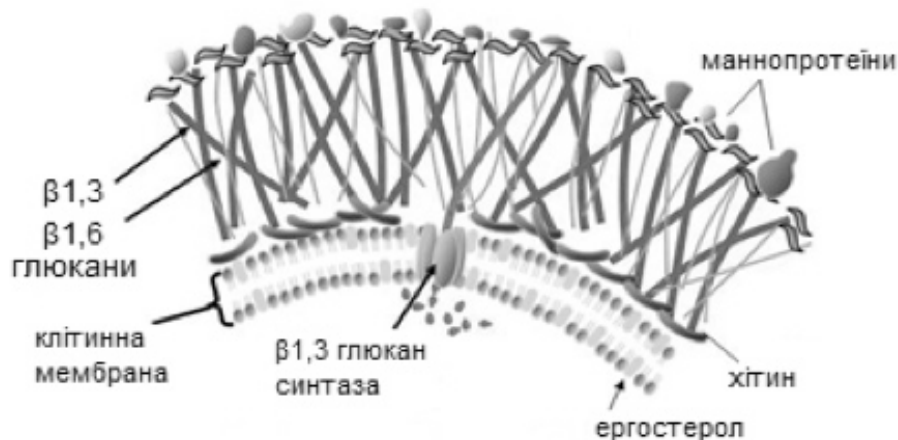


Рис. 1. Схема хітин-глюканового комплексу клітинної стінки гриба.

внаслідок міцності хітинової складової з внутрішньої сторони клітини, а з іншої — міцного шару молекул пептидогліканів, що вкриває зовнішню поверхню клітини мукополісахаридами (рис. 1).

Посилення лікувальної дії полісахаридів в імунокоректорах і протипухлинних препаратах відомих фармацевтичних корпорацій досягається за рахунок виділення окремих фракцій або хімічної модифікації полісахаридів шляхом розщеплення молекул за Смітом і активізації методом формолізу. Але при цьому втрачається унікальний за своїм складом природний біологічно активний комплекс речовин грибів — білків, вітамінів, жирів, мінеральних речовин тощо [7-8,13].

Для збільшення імуномодельючої і протипухлинної дії грибних полісахаридів перспективні різні методи їх модифікації, які дозволяють збільшити їх розчинність у воді і біодоступність. На сьогодні відомі різні методи модифікації полісахаридів з метою збільшення доступності біологічно активних речовин за рахунок руйнування великих молекулярних структур з утворенням (виділенням) низькомолекулярних фракцій олігосахаридів, що високоефективні в імунології: хімічні (вказано вище), механіко-хімічні, лазерно-кавітаційні, гідродинамічні [9-10].

Для розробки високоефективної технології з можливістю направленою керування технологічним процесом, нами запропоновано інноваційний метод нанотехнологічної обробки плодового тіла гриба шиїтаке. Даний метод дозволяє за рахунок проведення гідромеханічної деструкції полісахаридних структур збільшити в декілька разів доступність до біологічно активного полісахаридного комплексу, зберігаючи цінний природний потенціал всього гриба.

Для здійснення гідромеханічної деструкції полісахаридного комплексу плодового тіла гриба шиїтаке нами було запропоновано технологію з використан-

ням принципу ДІВЕ. Спрямована і локальна дія концентрованої енергії на дисперсні включення в гетерогенних системах під час обробки в РПА дозволяє значно збільшити сумарну поверхню контакту фаз та інтенсифікувати масообмін і гідродинамічні процеси при істотно невеликому рівні питомих енерговитрат.

Мета роботи полягала у вивченні впливу ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на фізико-механічні властивості та структурні характеристики грибної суспензії як об'єкту розпилювального сушіння.

Отримана грибна суспензія — це складна полідисперсна колоїдна гетерогенна система, яка складається з двох фаз: дисперсної фази — часточок подрібненого плодового тіла гриба і дисперсійного середовища — води. Складність цієї системи визначається не тільки хімічним складом плодового тіла гриба шиїтаке — здатністю полісахаридів і білків в присутності води утворювати стійкі колоїдні розчини, але і структурними особливо-

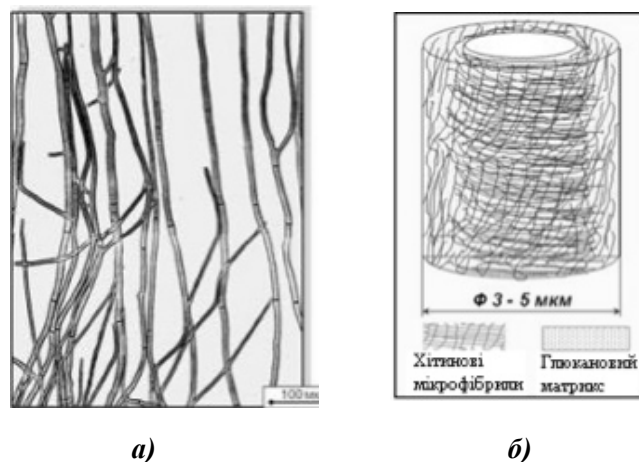


Рис. 2. Будова грибної гіфи: а) вегетативні гіфи гриба; б) схема мікрофібрилярної будови клітинної стінки грибної гіфи.

стями гіфоподібної будови плодового тіла (рис. 2).

Відомо, що для розчинів полісахаридів характерна аномальна в'язкість, яка залишається високою навіть в дуже розведених розчинах. Реологічні властивості грибної суспензії обумовлені анізотричною формою часток, величиною сил взаємодії між частками, структурою агрегатів, що формуються, та величиною об'ємної концентрації дисперсійної фази. Стикаючись своїми кінцями частки гіфів (рис. 2 а) та їх агрегати створюють в об'ємі гетерогенної системи нерівномірні просторові сітки – асоціати. Наявність тонкого рідинного прошарку між частками обумовлює меншу міцність структури та надає їй пластичності. Утворення просторових структур (агрегатів) при отриманні грибної суспензії з певними властивостями залежить не тільки від особливостей хімічного складу та будови плодового тіла гриба, а і від методу диспергування і гомогенізації [2].

При проведенні експериментальних досліджень в технологічних процесах переробки гриба шийтаке для визначення раціональних режимів отримання грибної суспензії з заданими властивостями вивчено зміну динамічної в'язкості в залежності від співвідношення дисперсної фази та дисперсійного середовища, температурних режимів та компоновки робочих органів РПА. Залежність зміни динамічної в'язкості грибної суспензії із різним співвідношення дисперсної та дисперсійної фази (гідромодуля) від температури представлено на рис. 3.

Грибна суспензія надзвичайно складна в технологічній обробці. Дані на рис. 3 свідчать, що при нагріванні всіх зразків водної грибної суспензії від 20 до 80 °С їх

в'язкість знижується в середньому в 2 рази. Зниження динамічної в'язкості грибної суспензії більш суттєво залежить від гідромодуля. Так, зміна значень гідромодуля від 1 до 2 при температурі 20 °С призводить до зниження в'язкості суспензії у три рази, а при температурі 80 °С – удвічі.

Зміни структурно-механічних властивостей дисперсної системи можливі за рахунок направленого регулювання шляхом:

- компоновки робочих органів РПА;
- збільшення зовнішнього тиску, підвищуючи швидкість течії грибної суспензії [2].

При розгляді механізму подрібнення дисперсних часток в потоці дисперсійного середовища визначальними факторами є створені в потоці високі градієнти швидкості і пульсації тиску, що призводять до руйнування дисперсних включень. Це досягається за рахунок конструктивних особливостей апаратів роторного типу, робочими органами яких є коаксіальні перфоровані циліндри з малими величинами ширини каналів і малими зазорами між ними. Міжциліндрові зазори є областями найбільш ефективного гідродинамічного впливу на гетерогенне середовище. Вплив відцентрових сил на гідродинамічні процеси призводить до появи вихорів, що рухаються вздовж потоку, а виникнення відцентрової нестійкості потоку в мікроканалах дозволяє розглядати ефекти проковзування потоку на стінках апарату. Крім того, дисперсна частка в процесі її руху піддається силовим впливам зі сторони дисперсійного середовища. Різке гальмування або прискорення потоку на певних ділянках робочого об'єму РПА призводить до

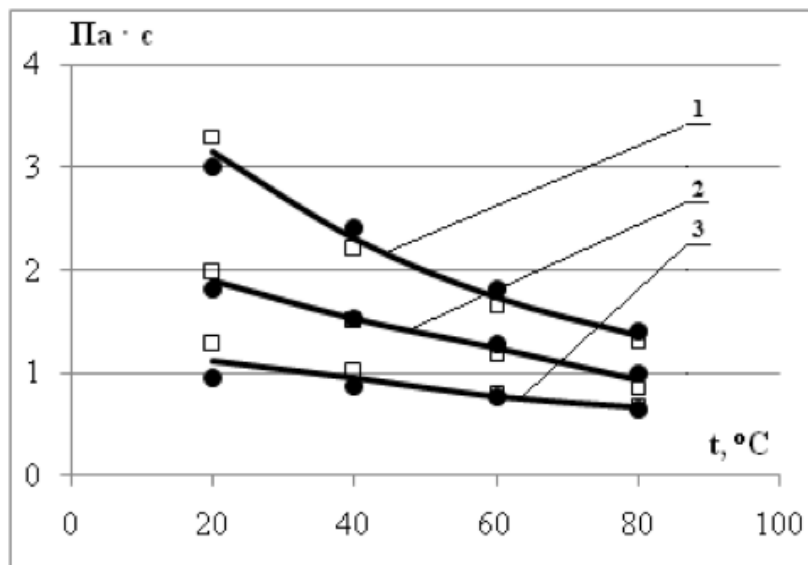


Рис. 3. Зміна динамічної в'язкості зразків грибної суспензії, приготовлених на РПА різних варіантів компоновки робочих органів (□ – 1 варіант: ротор-статор-ротор; ● – 2 варіант: статор-ротор-статор) в залежності від її температури при різних гідромодулях: 1 – гідромодуль 1; 2 – гідромодуль 1,5; 3 – гідромодуль 2.

деформації і руйнування часток дисперсної фази [11-12].

Можливості зміни фізико-механічних властивостей грибною гетерогенною системою досліджувались в процесі диспергування і гомогенізації плодового тіла гриба шийтаке в робочих об'ємах РПА двох типів компоновки – системи коаксіальних циліндрів: ротор-статор-ротор (варіант 1) та статор-ротор-статор (варіант 2).

Аналіз результатів досліджень виявив незначне зниження показників в'язкості грибною суспензії (5...10 %) при послідовності робочих органів в РПА 2-го варіанту компоновки (статор-ротор-статор) (рис. 3, криві 2 і 3).

В обмеженому об'ємі робочої зони РПА рух потоків рідкого середовища має обертально-пульсаційний характер, який характеризується високими рівнями локальних швидкостей, прискорень, градієнтів тиску, що відбуваються за дуже малі проміжки часу. Сукупність усіх цих чинників діє на гетерогенне середовище, що обробляється, і призводить до ефективного подрібнення дисперсних часток.

Важливим показником роботи РПА є дисперсний склад часточок нерозчинних фракцій грибною суспензії, про що свідчить аналіз її мікроструктури. На рис. 4 представлено фотографії мікроструктури грибною суспензії, що пройшла ДІВЕ-обробку в РПА при різній послідовності компоновки робочих органів.

Дослідження структури грибною суспензії, отриманої після ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шийтаке проводили на електронному мікроскопі «Olympus BX53» та з цифровою фотокамерою «Olympus DP72», визначення розмірів структурних елементів проводили за допомогою програми «Olympus Labsens».

Електронно-мікроскопічні дослідження мікроструктури грибною суспензії дозволили визначити розміри дисперсних часток, зміну просторової структури агрегатів в об'ємі дисперсійного середовища в залежності від конструктивних особливостей диспергуючого обладнання. Отримані дані показали, що при

диспергуванні плодового тіла гриба в РПА розміри часток гіфів і наступна самоорганізація їх в агрегати і структурні просторові сітки-асоціати суттєво відрізняється в залежності від послідовності компоновки робочих органів РПА (ротора і статора).

При використанні РПА 1-го варіанту компоновки робочих органів (ротор-статор-ротор) розміри гіфів грибною суспензії складають 2,6...25 мкм (рис. 4 б), а при обробці в РПА 2-го варіанту компоновки (статор-ротор-статор) розміри гіфів складають ≥ 50 мкм (рис. 4 а, в).

Однак, як показали результати досліджень мікроструктури зразків грибною суспензії після певної витримки грибною суспензії у часі, чим менші розміри диспергованих частинок азометричних за формою гіфів, тим більше спостерігається їх активна взаємодія між собою (самоорганізація) з утворенням більших за об'ємом агрегатів (асоціатів) (рис. 4 а, в), що вимагає негайної подачі щойно підготовленої грибною суспензії з однорідним складом часток дисперсної фази (≤ 100 -150 мкм) в розпилювальну сушарку.

Відомо, що зниження в'язкості грибною суспензії можна досягти і при її обробці в кавітаційному пристрої, де за рахунок збільшення зовнішнього тиску і швидкості руху колоїдної системи відбувається руйнування просторової структури агрегатів дисперсної фази [12].

Досліджено вплив кількості проходів грибною суспензії через РПА та через кавітаційний пристрій на зміну її динамічної в'язкості. Кавітаційну обробку грибною суспензії проводили на експериментальному стенді для дослідження впливу гідродинамічної кавітації на властивості гетерогенних систем, розробленому в ІТТФ НАН України (рис. 5 а). Основним робочим органом кавітаційного пристрою є сопло Лавалю (трубка Вентурі) (рис. 5 б) з наступними параметрами:

- внутрішній діаметр горловини сопла $d = 3$ мм;
- довжина горловини $c = 20$ мм,
- кут розкриття дифузору $\alpha = 10^\circ$.

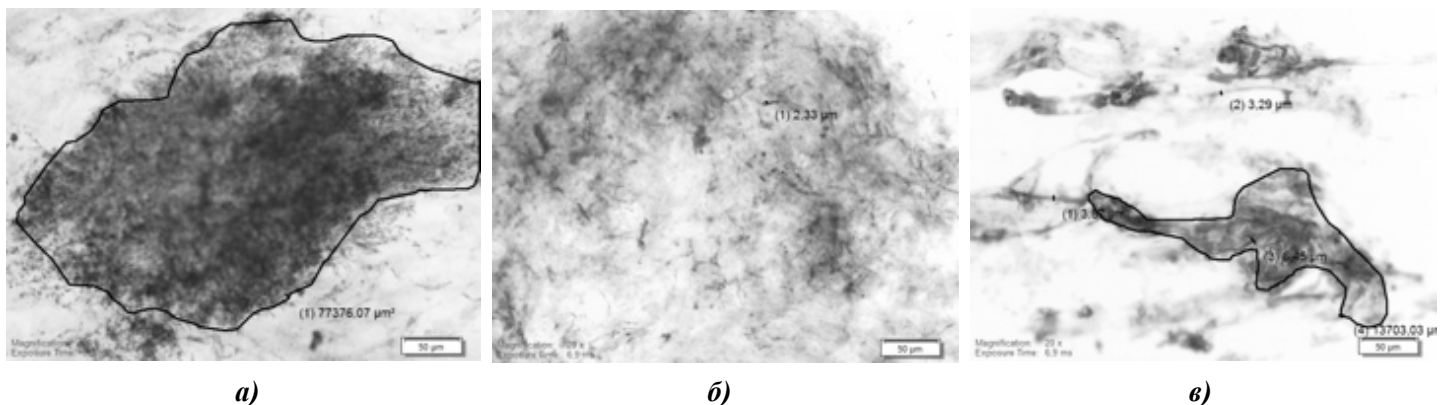
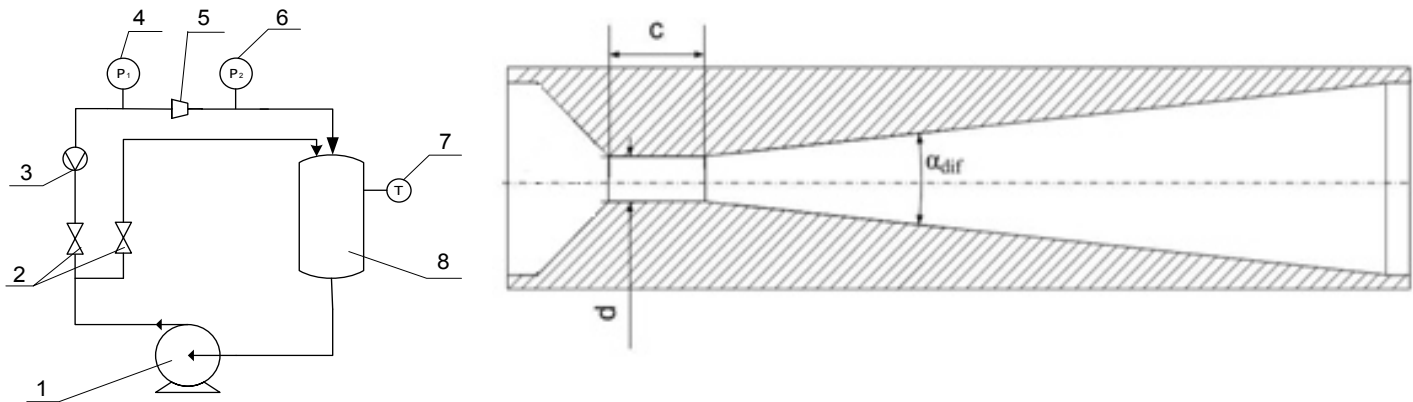


Рис. 4. Мікроструктура грибною суспензії, отриманої після ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шийтаке в РПА двох варіантів компоновки робочих органів: а, б) 1-й варіант: ротор-статор-ротор; в) 2-й варіант: статор-ротор-статор.



а)

б)

Рис. 5. Схема кавітаційного стенду а) та його робочого органу б) для обробки грибної суспензії: 1 – відцентровий насос; 2 – вентиль; 3 – ультразвуковий витратомір; 4, 6 – манометр; 5 – сопло Лавалля; 7 – датчик температури; 8 – резервуар.

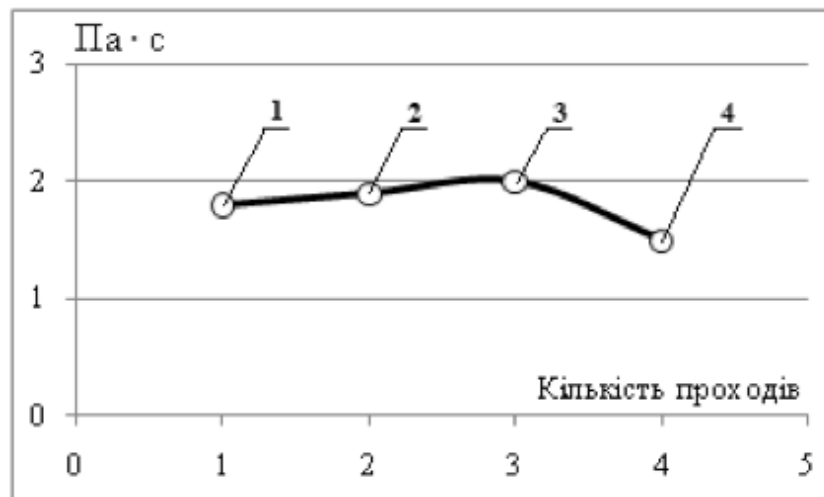


Рис. 6. Залежність динамічної в'язкості зразків грибної суспензії від методу гідродинамічної обробки: 1 – один прохід через РПА; 2 – два проходи через РПА; 3 – три проходи через РПА; 4 – три проходи через РПА і кавітаційний пристрій.

Процес гідродинамічної обробки грибної суспензії в кавітаційному пристрої протікав при наступних його технічних характеристиках:

тиск $p = 4$ ата,

витрати $Q = 1,3 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$,

швидкість руху суспензії всередині сопла $v = 183 \text{ м/с}$,

число кавітації $\chi = 0,0023$.

Визначення зміни динамічної в'язкості зразків грибної суспензії в залежності від методу гідродинамічної обробки проводили наступним чином. Грибну суспензію з температурою 20°C , отриману після трьох проходів через РПА, подавали відцентровим насосом на кавітаційний пристрій. Значення динамічної в'язкості

зразків суспензії вимірювали після кожного проході через РПА і після кавітаційного пристрою (рис. 6).

Результати досліджень динамічної в'язкості грибної суспензії, яка була тричі пропущена через РПА з подальшою обробкою на кавітаційному пристрої, показали зниження значень в'язкості на 20 %, що підтверджує тезу про руйнування дисперсної фази колоїдної системи, в тому числі просторових агрегатів, за рахунок збільшення зовнішнього тиску і швидкості руху системи.

В ході досліджень було встановлено, що грибна суспензія, яка містить 4,5 % сухих речовин, представляє собою текучу однорідну колоїдну систему желеподібної консистенції світло-коричневого кольору з сіруватим відтінком з властивим даній сировині вираженим гриб-

ним смаком і запахом. Суспензія стійка до розшарування, не піддається фільтруванню та центрифугуванню і з часом її густина незначно зростає. І хоча після механічного і гідродинамічного руйнування при ДІВЕ-обробці система здатна відновлювати свою структуру, вона проявляє властивості, що характерні для псевдопластичних неньютонівських рідин.

Таким чином, проведені дослідження дали можливість визначити раціональні теплотехнологічні параметри процесу переробки плодового тіла гриба шиїтаке з отриманням достатньо текучої грибної суспензії на стадії підготовки її до розпилювального сушіння.

Підтвердженням ефективності застосування механізмів ДІВЕ при отриманні грибної суспензії є те, що за рахунок проведення гідромеханічної деструкції полісахаридних структур ХГК гриба шиїтаке вміст біодоступного комплексу водорозчинних онкостатичних та імунорегулюючих полісахаридів у порошок, отриманому при сушінні грибної суспензії на експериментальній розпилювальній сушарці ІТТФ НАН України, збільшено в 6 разів, що підтверджено провідними мікологами України.

Висновки.

Проведений комплекс експериментальних досліджень впливу ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на фізико-механічні властивості та структурні характеристики грибної суспензії показав доцільність використання механізмів ДІВЕ для досягнення деструкції високоміцних структур хітин-глюканового полісахаридного комплексу гриба і зниження в'язкості грибної суспензії перед розпилювальним сушінням. Експериментально встановлено, що з підвищенням гідромодуля та температури грибної суспензії досягається зниження в'язкості в 2...3 рази. Досліджено вплив конструктивних особливостей РПА та застосування кавітаційного пристрою на в'язкісні характеристики грибної суспензії. Показано, що кавітаційна обробка грибної суспензії після трьох проходів через РПА дає можливість знизити динамічну в'язкість суспензії на 20 %.

В результаті мікроструктурного аналізу грибної суспензії встановлено, що більш високий ступінь дисперсності частинок досягається при використанні РПА першого варіанту компоновки (ротор-статор-ротор), але в такій суспензії з часом відбувається процес самоорганізації просторових агрегатів значно більших розмірів ніж в суспензіях, отриманих в РПА другого варіанту компоновки (статор-ротор-статор), що вимагає організації негайної подачі грибної суспензії з РПА в розпилювальну сушарку для уникнення підвищення її динамічної в'язкості та втрати однорідності її дисперсного складу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух то-*

мах. Т.1 / Под ред. чл.-кор. НАН Украины С.В. Вассера. – К.: Альтпрес, 2011. – 212 с.

2. *Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух томах. Т.2 / Под ред. чл.-кор. НАН Украины С.В. Вассера. – К.: Альтпрес, 2012. – 459 с.*

3. *Цивилева О.М.* Природные биологически активные вещества грибного происхождения / Химия биологически активных веществ: Межвузовский сборник научных трудов. Саратов: Изд-во «КУБиК». 2012. – С. 30–32.

4. *Wasser S.P.* Medicinal mushroom science: Current perspectives, advances, evidences and challenges // *Biomed journal.* – 2014. – 37(6). – pp. 345–356.

5. *Лукьянчук В.Д., Мищенко Е.М., Бабенко М.Н.* Бета-глюканы как основа создания средств иммуно-модулирующего действия // *Український медичний часопис.* 2011. – Т.5 (85) – С. 92–93.

6. *Нудьга Л.А.* Структурно-хімічна модифікація хітину, хітозану і хітин-глюканового комплексу. Автореферат докт. дис., Санкт-Петербург, 2006 р. 361 с.

7. *Герасименя В.П., Гумаргалиева К.З., Захаров С.В. др.* Экстракты базидиальных грибов и их полифункциональная медико-биологическая активность / Москва: Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, ООО «Инбиофарм», 2014. – 128 с.

8. *Wasser S.P.* Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides // *Applied microbiology and biotechnology.* – 2002. – 60 (3). – pp. 258–274.

9. *Иозеп А.А.* Разработка путей модификации природных полисахаридов с целью создания новых биологически активных веществ : автореферат дис. ... доктора фармацевтических наук: 15.00.02.- Санкт-Петербург, 1999.- 48 с.

10. *Баранов Г.А., Беляев А.А., Оникиенко С.Б. и др.* Гидродинамические эффекты, вызывающие модификацию полисахаридов при облучении их водного раствора лазерным лучом // *Письма в журнал технической физики,* 2002, Т. 28, Вып. 17. – С. 25–30.

11. *Долінський А.А., Авраменко А.О., Іваницький Г.К.* Фізичні основи, математичні підходи та технологічні аспекти використання ДІВЕ для керування кінетикою протікання нанорівневих процесів в дисперсних та супрамолекулярних системах. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ. К. 2015. – С. 308–323.

12. *Басок Б.И., Давыденко Б.В.* Особенности гидродинамики, теплопереноса и процессов диспергирования в рабочих объемах цилиндрических роторно-пульсационных аппаратов / Микро- и нано- уровневые процессы в технологиях ДИВЭ. – К.: 2015. – С. 464.

13. *Литвяк В.* Хитин-глюкановый комплекс: получение и свойства // *Наука и инновации.* – 2016. – 9 (163).

RESEARCH OF EFFECT OF DPEI-PROCESSING OF SHIITAKE FRUIT BODY ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MUSHROOM SUSPENSION

Sharkova N.O., Zhukotskyi E.K., Turchyna T.Y., Dekusha H.V., Makarenko A.A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.4>

The use of discrete-pulse energy input (DPEI) mechanisms in various industries has become a reliable tool for intensification of heat and mass transfer processes in different technological lines and reduction of specific energy consumption. The study of structural transformations in heterogeneous systems under influence of DPEI mechanisms opens up new possibilities for their use. Under certain conditions it is possible to prepare mushroom suspension with specified characteristics for spray drying and enhance medicinal properties of obtained powder product retaining all valuable components of feedstock.

An article presents the results of research of DPEI-processing effect of shiitake mushrooms on physical and mechanical properties and structural characteristics of mushroom suspension. The influence of hydro module, temperature and layout of working bodies of rotor-pulse apparatus (RPA) on dynamic viscosity of suspension has been studied and possibility of reducing its viscosity by 2-3 times has been shown. Analysis of microstructure of mushroom suspension has shown that a certain layout of working bodies of RPA makes it possible to control the degree of particle dispersion and change spatial structure of aggregates in dispersion medium volume. It has been determined that self-organization of spatial aggregates from individual hyphae in such suspensions occurs over time. Moreover, the smaller hyphae size (≤ 25 microns after processing in RPA of the first version of the arrangement: rotor-stator-rotor), the larger size of spatial aggregates are formed in suspension. After processing in RPA of second layout option, the hyphae fragments have sizes ≥ 50 μm , but dimensions of spatial aggregates are three times smaller.

It was found that three-time passing of mushroom suspension through RPA and its subsequent processing in a cavitation apparatus are able to reduce dynamic viscosity of suspension by 20 %.

Confirmation of DPEI effectiveness when obtaining mushroom suspension is hydromechanical destruction of polysaccharide structures of shiitake chitin-glucan complex. Content of bioavailable complex of water-soluble oncostatic and immunoregulatory polysaccharides in powder, that was obtained by drying of mushroom suspension in an experimental spray dryer, has increased by 6 times. References 13, figures 6.

Key words: fruit body of shiitake, discrete-pulse energy input, destruction of polysaccharide complex, microstructure.

1. *Wasser S.* [Biological properties of medicinal macro-mycetes in culture: Collection of scientific papers in two volumes], Kyiv, Altpress, 2011, V.1, 212 p. (Rus.)

2. *Wasser S.* [Biological properties of medicinal macro-mycetes in culture: Collection of scientific papers in two volumes], Kyiv, 2012. V.2, 459 p. (Rus.)

3. *Tsivileva O.M.* [Natural biologically active substances of fungal origin], [Chemistry of biologically active substances: Interuniversity collection of scientific papers], Saratov: Publishing House "KUBiK", 2012. P. 30–32. (Rus.)

4. *Wasser S.P.* [Medicinal mushroom science: Current perspectives, advances, evidences and challenges], [Biomedical journal], 2014. 37(6). P. 345–356. (Eng.)

5. *Lukyanchuk V.D., Mishchenko E.M., Babenko M.N.* [Beta glucans as a basis for creating immunomodulating agents], [Ukrainian medical journal]. 2011. Vol. 5 (85). P. 92-93. (Rus.)

6. *Nudha L.A.* [Structural chemical modification of chitin, chitosan and chitin-glucan complex], IPA thesis, Saint-Petersburg. 2006. 361 p. (Rus)

7. *Herasymentia V.P., Humarhalyeva K.Z., Zaharov S.V. et al.* [Extracts of basidiomycetes and their multifunctional medicobiological activity], Moscow: Semenov institute of chemical physics of Russian Academy of Sciences, PLC «Inbiopharm», 2014. 128 p. (Rus.)

8. *Wasser S.P.* [Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides], [Applied microbiology and biotechnology], 2002. 60 (3). P. 258-274. (Eng.)

9. *Iozep A.A.* [Development of ways to modify natural polysaccharides in order to create new biologically active substances], Saint-Petersburg, dissertation abstract... doctor of pharmacy: 15.00.02, 1999. 48 p. (Rus)

10. *Baranov H.A., Beliaev A.A., Onikienko S.B. et al.* [Hydrodynamic effects causing modification of polysaccharides upon irradiation of their aqueous solution with a laser beam], [Technical Physics Letters], 2002, V. 28, Iss. 17. P. 25–30. (Rus)

11. *Dolinskyi A.A., Avramenko A.O., Ivanytskyi H.K.* [Physical principles, mathematical approaches and technological aspects of using DPEI to control the kinetics of the flow of nano-level processes in dispersed and supramolecular systems], Kyiv, [Micro- and nano-level processes in DPEI technologies], 2015. P. 308-323. (Ukr.)

12. *Basok B.I., Davydenko B.V.* [Features of hydrodynamics, heat transfer and dispersion processes in working volumes of cylindrical rotary pulsation apparatus], Kyiv, [Micro- and nano-level processes in DPEI technologies], 2015. P. 464. (Rus.)

13. *Lytviak V.* [Chitin-glucan complex: preparation and properties], [The Science and Innovations], 2016. 9 (163). (Rus.)

Отримано 20.12.2019

Received 20.12.2019

УДК: 620.9

ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ В РЕАЛІЯХ СУЧАСНОГО СВІТУ (ОГЛЯД)

Басок Б. І., чл.-кор. НАН України, Базєєв Є. Т., канд. техн.наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.5>

Представлений огляд концептуальних підходів, пов'язаних з прогнозуванням майбутнього, в т. ч. з прогнозуванням розвитку енергетики. Надано пропозиції щодо необхідності супроводжувати прийняту в Україні в 2017 році енергетичну стратегію робочими документами - оперативними поточними планами-прогнозами (дорожніми картами) для управління і моніторингу ходу реалізації стратегії на проміжних тимчасових інтервалах, можливо, створивши для цих цілей спеціалізовану структуру.

Представлен обзор концептуальных подходов, связанных с прогнозированием будущего, в т. ч. с прогнозированием развития энергетики. Рассмотрены предложения о необходимости сопровождать принятую в Украине в 2017 году энергетическую стратегию рабочими документами – оперативными скользящими планами-прогнозами (дорожными картами) для управления и мониторинга хода реализации стратегии на промежуточных временных интервалах, возможно, создав для этих целей специализированную структуру.

A review of conceptual approaches related to future forecasting, including energy development forecasting, is presented. There are proposals on the need to accompany the energy strategy adopted in Ukraine in 2017 with working documents – operational sliding forecasting plans (road maps) for managing and monitoring the implementation of the strategy at intermediate time intervals, creating, perhaps, a specialized structure for these purposes.

Бібл. 27, рис. 2.

Ключові слова: паливно-енергетичний комплекс, енергетична стратегія, прогнозування, реалізація стратегії, управління і моніторинг, дорожня карта.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ЕС – енергетична стратегія;
МЕ – міністерство енергетики США;
МЕА – міжнародне енергетичне агентство;

НІСД – Національний інститут стратегічних досліджень;
НТП – науково-технічний прогрес;
ПЕК – паливно-енергетичний комплекс.

Українська енергетика – фундамент національної економіки держави, одна з основних складових соціальної стабільності та національної безпеки. У 2015 році ця галузь економіки надала державному бюджету близько 133 млрд. грн. платежів податку (25% від загального обсягу). Об'єднана енергетична система України за розмірами є шостою в Європі після Німеччини, Франції, Італії, Іспанії та Великої Британії. В енергетиці України працює 450 тис. фахівців (3% зайнятого населення). Вітчизняна енергетика є драйвером розвитку інших галузей (так само і окремі галузі впливають на енергетику) [1].

Головною цільовою установкою на сучасному етапі нової стратегії розвитку енергетики повинен бути перехід від імпортно-сировинного до енергоефективно-орієнтованого розвитку ПЕК з використанням результатів фундаментальних і прикладних досліджень в галузі природничих і соціально-економічних наук, вітчизняного інноваційного потенціалу з його науково-технічними та науково-технологічними розробками. Все це в умовах нових концептуальних підходів, ключових внутрішніх і зовнішніх ризиків та викликів розвитку ПЕК, в тісній зв'язці тріади: енергетика-економіка-екологія і високих темпів зростання наукових знань [2].

Україна прийняла, починаючи з 1996 року, чотири

енергетичних стратегії [3 - 6]. Кожна з перших трьох (1996, 2006, 2013 років) не досягала прогнозованих цілей і індикативних показників. Вже на проміжних тимчасових інтервалах була очевидною їх нездійсненність, а наступні стратегії, після 1996 року, приймалися до закінчення терміну попередньої.

У 2017 році була прийнята нова Енергетична стратегія України на період до 2035 року (ЕС-35) [6], як симбіоз розроблених проєктів Енергетичної стратегії України на період до 2035 року (Національний інститут стратегічних досліджень) і Нової Енергетичної стратегії України до 2020 року: безпека, енергоефективність, конкуренція (Центр Разумкова спільно з Представництвом Фонду Фрідріха Науманна (Німеччина) в Україні). Аналіз пропозицій, що надійшли по формуванню ЕС-35, був оброблений з використанням програми Psychea Expertus (НТЦ "ПСІХЕСЯ").

Де шукати причини таких «результатів реалізації» стратегій? У методах і інструментаріях прогнозування, в управлінні шляхами і механізмами реалізації, в соціально-економічній і геополітичній турбулентності, в глобальній фінансово-економічній кризі? Або в принциповій неможливості пізнання майбутнього (на досить віддаленому часовому інтервалі)?

Нижче наведено огляд концептуальних підходів, пов'язаних з прогнозуванням (пророкуванням, передбаченням) життя суспільства загалом, і прогнозуванням розвитку енергетики, зокрема. Аналіз підходів до проблематики прогнозів передбачення майбутнього представлений в [7]. Ряд видатних філософів, теоретиків-економістів наполягають на принциповій тезі про непередбачуваність майбутнього знання. Й. Шумпетер, видатний економіст-теоретик стверджує: *«Будь-який прогноз – це позанаукове пророцтво, яке прагне зробити щось більше, ніж поставити діагноз спостережуваним явищам, і показати, яким може бути результат, якщо ці тенденції будуть діяти відповідно до власної логіки розвитку»* [7]. Ф. А. Хайек, не менш відомий теоретик-економіст, нобелівський лауреат зазначає, що *«Події сучасності тим відрізняються від подій історичних, що ми не знаємо, до чого вони ведуть. Озираючись назад, ми можемо зрозуміти події минулого, простежуючи і оцінюючи їх наслідки. Але поточна історія для нас – не історія. Вона спрямована в невідомість і ми майже ніколи не можемо сказати, що нас чекає попереду»* [8]. Лауреат нобелівської премії, фізико-хімік І. Р. Пригожин приводить своє судження про непередбачуваність майбутнього: *«Ми можемо, звичайно, екстраполювати наявні знання за межі нашого бачення і будувати припущення з приводу того, яким би міг бути механізм, керуючий динамікою універсуму. Однак нам не слід забувати, що, хоча ми в принципі й можемо знати початкові умови в нескінченному числі точок, майбутнє, проте, залишається принципово непередбачуваним»* [9]. Філософ-класик XX століття, Карл Поппер наводить логічний ланцюжок (силогізм) про *принципову неможливість прогнозувати історію майбутнього*. За Поппера історія країни (регіону країн) визначається зростанням наукових знань. Але зростання наукових знань непередбачуване, отже, й історію неможливо прогнозувати [10]. Дійсно, провідні галузі економіки, оборонно-промислова сфера країни кардинально впливають на історію країни, але вони визначаються освоєними критичними, проривними технологіями, створеними в результаті використання нових наукових знань, а зростання таких знань непередбачуване. Ще два-три десятиліття тому ми не передбачали настання сучасного шостого технологічного укладу. Його основою є міждисциплінарні наукові підходи, зокрема, теорія самоорганізації, синергетика, а також соціальні, когнітивні, біологічні, інформаційні та нанотехнології (socio-, cognito-, bio-, info-, nanotechnology – SCBIN) [11].

Не піддаються прогнозуванню і майбутні проривні наукові дослідження. Говорячи про наукові відкриття майбутнього, П.Л. Капіца стверджує, що нове явище природи – це таке фізичне явище, яке не можна ні повністю передбачити, ні пояснити на основі вже наяв-

них теоретичних концепцій. *«Найцінніше в науці і що становить основу великої науки не може плануватися, оскільки воно досягається творчим процесом, успіх якого визначається талантом вченого»* [12]. Академік НАН України В. М. Локтев зазначає: *«... будь яке відкриття є непередбачуваним за означенням, а отже, не може бути прогнозованим ані за часом, ані за місцем появи. Хіба що можна скоріше очікувати прориву там, де є висококваліфіковане середовище, єдина мета якого – фундаментальні пошуки без жодної прив'язки до чогось конкретного»* [13].

Як підсумок вищесказаного, наведемо сформульовані Т. І. Ойзерманом дві соціологічні закономірності, а саме: 1) *непередбачуваність (непізнанність) значної, все більше примноженої з часом частини наслідків людської діяльності, як в окремій країні, так і на всій планеті Земля;* 2) *непередбачуваність (непізнанність) майбутнього наукового знання і неминучість, впливаючи з цього, різноманітних соціальних наслідків* [7].

Вищенаведені погляди на неможливість передбачити майбутнє можуть привести до недовіри до прогнозування як такого. Є межі, за якими прогнози стають фантазіями. Це справедливо для прогнозів на досить віддалені часові горизонти. На порівняно коротких тимчасових інтервалах, при відсутності форс-мажорних потрясінь, прогнози, безсумнівно, необхідні і вони можуть, нехай з неточностями, описувати найближче майбутнє. *«Без таких прогнозів неможливі успішний розвиток суспільного виробництва, здійснення соціальних програм і, отже, більш-менш керовані соціальні процеси»* [7].

Наражається на ризик непередбачуваності свого розвитку і така складна галузь економіки як енергетика. Зважаючи на вищезазначене, і слід розглядати проблему її прогнозування, що подається у вигляді формалізованої енергетичної стратегії, як регуляторного документа. При цьому енергетику країни слід аналізувати не лише як фізико-технічну виробничу систему, але і як базову галузь економіки країни, тісно пов'язану в тріаді: енергетика–економіка–екологія із чинниками різної природи, прямими і зворотними зв'язками, що притаманні цій тріаді.

Оцінка перспектив розвитку будь-якої галузі економіки і, зокрема, енергетики – комплексний процес, що вимагає глибокого знання технології, інструментарію прогнозування та врахування аналітичного досвіду, думок і гіпотез фахівців, експертів у галузі енергетики і міжгалузевих проблем.

Прогноз – це науково обгрунтоване судження про можливі стани системи в майбутньому та/чи про альтернативні шляхи й терміни досягнення цільового стану [14]. Стосовно до стратегії розвитку ПЕК, прогноз, на нашу думку, – це науково обгрунтоване визначення цілей, пріоритетів, завдань, вибір напрямів і механізмів

їх реалізації з урахуванням даного і розглянутого часового інтервалу стану економіки, науково-технічного прогресу (чи інноваційного розвитку науки і техніки), законодавчо-правового поля та інших факторів, що визначають розвиток енергетики. Прогноз розвитку енергетики – це симбіоз двох підходів до розробки прогнозів, а

саме: пошукового (дослідницького) і нормативного [15].

Багаторівнева схема розвитку енергетики представлена на рис. 1 [16].

Кожен блок схеми, наприклад, прогноз внутрішнього енергоспоживання, в свою чергу, має свої міжгалузеві зв'язки (рис. 2) [17].

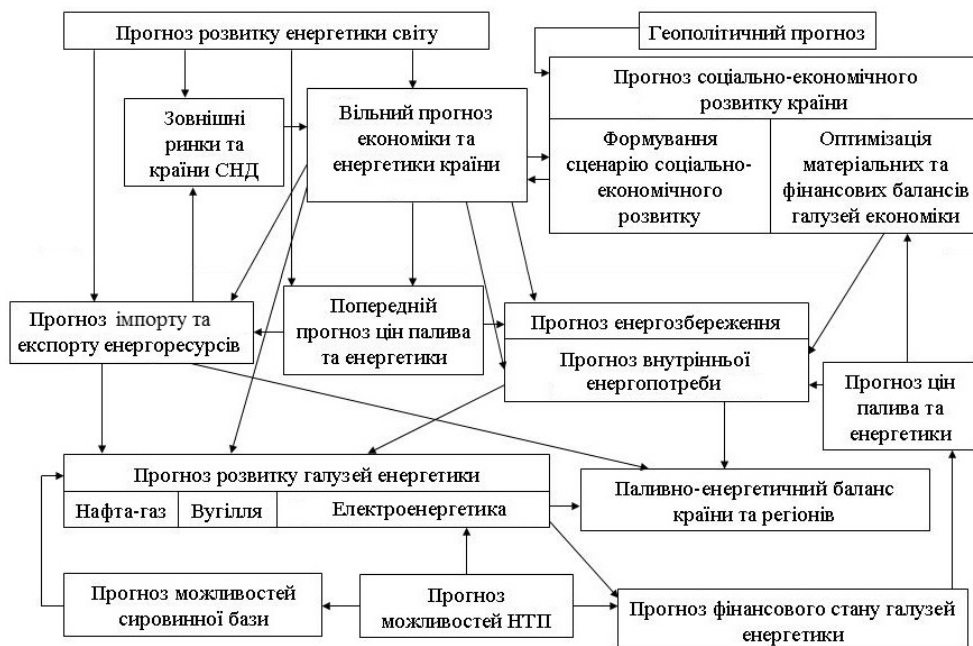


Рис. 1. Схема прогнозування енергетики [16].



Рис. 2. Схема прогнозування енергоспоживання в країні та в регіонах [17].

Схеми, що наведені на рис. 1 і 2, при певній адаптації характеризують складність зв'язків в ПЕК України.

З рисунків видно всю складність схеми прогнозування енергетики. Необхідно проводити міжгалузеве узгодження прогнозів розвитку економіки та енергетики, прогнозів розвитку світової економіки, можливих трендів вітчизняних і геополітичних подій, спираючись на результати фундаментальних досліджень в області численних наукових напрямків. Але неможливо врахувати багато ключових чинників високої невизначеності, а також ризики і виклики різної природи ("збурений вплив зовнішнього середовища"). *"Прогнозування не зводиться до спроб вгадати деталі майбутнього, при розробці прогнозів виходять з діалектичної детермінації явищ майбутнього, з того, що необхідність пробиває собі дорогу через випадковості, щодо явищ майбутнього потрібен ймовірнісний підхід з урахуванням широкого кола можливих варіантів. ... Прогнозні рішення – це область допустимих рішень з безлічі можливих"* [15].

«На відміну від фізико-технічних систем, такі складні системи як енергетика, не володіють найважливішою для моделювання властивістю – незмінністю їх основних параметрів в спостережуваній ретроспективі в прогнозований період» [16]. *«Будь-який інструментарій прогнозування виробничих систем може претендувати на отримання не достовірних траєкторій їх розвитку, а прийнятних для практичних цілей діапазонів значень ключових (далеко не всіх) показань динаміки системи. Фактично він покликаний процедурно і модельно-інформаційними засобами всіляко полегшувати і прискорювати процес людського пізнання і передбачення таких систем, які завжди не повні та нескінченні»* [16]. Довгострокові прогнози відбудовувати складно, тому що їх основні показники постійно змінюються залежно від чисельності непередбачуваних обставин, як у поточному, так і у прогнозованому періоді. *"Оцінка перспектив розвитку системи є складним завданням за рахунок зростання невизначеностей, які є в будь-якому динамічному процесі. Чим далі перспектива, тим більшою мірою буде позначатися вплив неповноти знань. Відповідно, час управління прогнозів при прогнозуванні систем обмежений. Це обмеження випливає з факту нелінійного зростання невизначеності в міру просування в майбутнє ... "* [15].

При геополітичній турбулентності, при радикальній зміні соціально-економічного устрою в країні, що супроводжується спадом економіки, в тому числі і виробництва в секторах ПЕК, на будь-якому часовому етапі реалізації енергетичної стратегії можуть з'являтися точки біфуркації, в околицях яких малі флуктуації зовнішнього впливу різко посилюються, і показники прогнозу до чітких тимчасових інтервалів можуть стати мало реалізованими, можуть змінюватися і сценарії розвитку ПЕК. За якими показниками може бути добрий

збіг, за іншими – прийнятний, а по ряду показників – значне розходження з прогнозами. Головним стає визначення діапазону значень ключових показників і тренди розвитку енергетики та окремих її галузей.

Як уже зазначалося, починаючи з 1996 року, енергетичні стратегії України змінюють одну одну до завершення попередньої. Відстежити реалізацію прогнозованих показників кожної стратегії було неможливо. На тимчасових же етапах отримували реперні показники в більшості випадків не збігалися з прогнозованими. Аналіз проведених реформ в ПЕК України (зокрема, чому не йшли реформи), нинішні виклики для української енергетики, пріоритети розвитку ПЕК, завдання на найближчу перспективу, механізми енергетичної політики в достатній мірі представлені в [18].

Остання (четверта) енергетична стратегія (ЕС-35) розроблялася в надзвичайних умовах – при глобальних змінах трендів світової енергетики та під впливом низки викликів для вітчизняної енергетики. Опублікований на веб-сайті Міненерговугілля 19 грудня 2016 р. проект ЕС-35 був проаналізований українськими та європейськими експертами, доопрацьований і 1 червня 2017 р. було оприлюднено проект нової ЕС-35, а 17 серпня рішенням Міненерговугілля України було прийнято ЕС-35.

Пам'ятаючи результати прогнозування енергетичних стратегій, що передували ЕС-35, висококваліфіковані фахівці, експертне середовище виступають з пропозиціями щодо оперативного супроводження ЕС-35 [18]. *"В майбутньому, у разі зміни уряду, відкидати діючу стратегію і розробляти нову, на нашу думку, не потрібно. Варто проводити моніторинг виконання, розуміти і враховувати тренди (світові та європейські) і вносити зміни, якщо буде необхідно"* (С. Голікова, директор ПП "Трансенергоконсалтинг"). *"Енергетична стратегія має визначати цілі по окремих секторах енергетичної галузі. Але завдання і механізми (алгоритми) досягнення цих цілей не є предметом стратегії. Вони мають бути сформульовані і конкретизовані в короткострокових планах Уряду України, в компетентних органах виконавчої влади та в енергетичних компаніях для досягнення цілей розвитку, визначених Енергетичною стратегією"* (В. Рябцев, консультант-спеціаліст Групи координації програми реформування та розвитку енергетичного сектору при Міністерстві енергетики та вугільної промисловості України). Пропонується також створити експертну робочу групу з контролю реалізації енергостратегії за певними періодами часу. *"Важливо, щоб дальність кінцевого терміну підведення підсумків реалізації Стратегії не викликала сумнівів у її реалізації. Повинна бути розроблена конкретна програма по виконанню Стратегії в реальні терміни. ... Не треба знову намічати п'ятірочки! Оптимальним був би термін на 2 роки максимум"* [19].

Безсумнівно, енергетична політика України, і зокре-

ма ЕС-35, буде залежати від "енергетичних контурів нового світу" – енергетичних трендів і сценаріїв, глобальних і локальних ризиків. *"На міжнародній арені настав час нових альянсів і груп інтересів, які вже почали малювати нові енергетичні контури та формувати свіжі тенденції. Дедалі більше значення має розуміння суті нових геополітичних енергетичних процесів, які стануть основою майбутнього на найближчі три-п'ять років. Далі прогнозувати вкрай складно"* [20].

Вищенаведені та інші пропозиції, в кінцевому рахунку, зводяться до розробки і прийняття Дорожньої карти, *"змістовний аспект якої має містити конкретні механізми реалізації завдань реалістичних орієнтирів та спиратися на відповідне фінансове підґрунтя, ресурсні можливості та потенційні потреби"* [21].

Таким чином, в ситуації з яскраво вираженою невизначеністю багатьох факторів, поряд з розробленою стратегією (в даний час ЕС-35), щоб усунути (зменшити) розбіжність очікуваних прогнозних значень індикативних показників з реальними, доцільно довгостроковий прогноз розвитку енергетики (в залежності від мінливих умов, при очевидних змінах трендів, появи і загострення нових ризиків та викликів) коригувати, супроводжувати (відстежувати) оперативними, "поточними планами-прогнозами" на порівняно коротких тимчасових інтервалах (три-п'ять років), на яких, за експертними оцінками, енергетика країни ("об'єкт управління") істотно не зміниться. По суті, реалізується принцип безперервного прогнозування в міру надходження нової інформації. Енергетична стратегія при цьому стане гнучким документом управління – не декларацією, а настановою до дій. Загальні тренди розвитку енергетики можуть змінюватися при зміні цілей, задач економіки держави.

Супровід енергетичної стратегії "поточними планами-прогнозами" зніме гостроту дискусій між прихильниками, що підтримують свої напрямки розвитку енергетики. Наприклад, атомники не підтримують нестримний оптимізм прихильників використання в енергетиці ВДЕ. Останні ж мають свої аргументи проти використання ядерної енергії та вважають за можливе мало не повний перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року [22].

Як було показано вище, прогнозні значення показників раніше прийнятих трьох енергетичних стратегій України та двох стратегій Росії не співпали вже на проміжних тимчасових інтервалах. *"По суті прогнозування – це імовірнісний експеримент, при якому при одних і тих же умовах його проведення можливе настання різних подій, тобто експеримент – це якась функція, задана на безлічі подій"* [23]. Проблема якості енергетичного прогнозування недостатньо розроблена, так як немає усталених критеріїв, за якими можна об'єктивно оцінювати переваги і недоліки тієї чи іншої

прогнозої системи [23].

Систематичне прогнозування в енергетиці має історію близько 40 років. Є можливість зіставити за ряд років прогнозні та фактичні значення показників і на основі статистики оцінити якість виконання прогнозів. Проблеми, пов'язані з оцінкою якості прогнозних систем розглянуті в [23].

Провідні прогностичні центри (наприклад, МЕА і МЕ США) обмежуються фрагментарними оцінками точності своїх прогнозів. Ці оцінки, як правило, представляють собою таблиці відносних похибок, визначених на основі наявних прогнозних і фактичних значень протягом ряду років. Вони дають тільки інтуїтивну оцінку якості прогнозування, засновану на тому, що 1% відносної похибки – це добре, а 10% – погано.

На основі узагальнення результатів аналізу довгострокових прогнозів світового енергетичного ринку пропонується програма досліджень, як частина робіт зі створення методики оцінки якості систем прогнозування та аналізу перспектив розвитку енергетичних ринків [23].

Незважаючи на відсутність об'єктивних критеріїв оцінки якості прогностичних інструментів [16, 23], в даний час системне прогнозування енергетики, як складової частини тріади: енергетика–економіка–екологія, є загальновизнаним і використовується в провідних енергетичних країнах.

Чи можливі взагалі довгострокові прогнози розвитку енергетики і сценаріїв викиду діоксиду вуглецю (основного парникового газу, що надходить в атмосферу внаслідок антропогенної діяльності)? Думки з цього питання фахівців провідних національних і міжнародних інститутів розходяться. Деякі з них, спираючись на результати не виправданих прогнозів, схильні до негативної відповіді. Інші ж, розробивши метод т. зв. генетичного прогнозу світової енергетики, вважають його вельми надійним інструментарієм для прогнозування сценаріїв розвитку енергетики і майбутньої зміни навколишнього середовища і клімату [24]. Це дозволяє їм сформулювати фундаментальні висновки на розвиток енергетики на найближчі десятиліття [24]:

1) стабілізація національного питомого енергоспоживання на душу населення в основному визначається клімато-географічними факторами;

2) неухильне і практично лінійне зниження з часом вуглецевої інтенсивності світової енергетики (кількість діоксиду вуглецю, що припадає на одиницю споживання енергії) в результаті змін структури паливно-енергетичного балансу, що спостерігається вже більше ста років (перехід від вугілля до нафти, газу і останнім часом – до збільшеними обсягами поновлюваних енергоресурсів).

У світі запропонований цілий ряд систем енергетичних прогнозів: Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), Міністерства енергетики США (МЕ США), Міжнародного інституту прикладного аналізу,

ряду дослідницьких центрів Європейської комісії та ООН. У Росії – це Модельно-Інформаційний Комплекс Енергетичних Перспектив (МІКЕП), в Україні – програма Форсайт, створена в Інституті системного аналізу НТТУ "КПІ ім. І. Сікорського", макроекрномічна модель стратегії розвитку енергетики TIMES-Україна та модель міжчасової рівноваги, ДУ "Інститут економіки та прогнозування НАН України", Psychea Expertus-модель. Є й інші моделі: LEAP-модель (Long-range Energy Alternatives), модель Хольта-Вінтерса, модель MARKAL/TIMES і ін.

Реалії сучасного світу такі, що прогнозування стратегічних перспектив розвитку енергетики неминуче повинні проходити через точки біфуркації, вихід з яких може міняти сценарії розвитку енергетики. Як приклад, варто тільки згадати стрибкоподібну зміну світових цін на нафту в 2000 - 2018 роках. Очікувані ключові параметри та показники можуть не збігатися з реалізованими значеннями. Як зазначено в [16, 23], сучасна наука ще не має методів впевненого прогнозування розвитку енергетики на тривалий період, але досвід використання моделей прогнозування дає підстави для стриманого оптимізму будувати не суперечні сценарії, хоч й без оцінки повноти їх складу та ймовірності реалізації. Супровід енергетичної стратегії "поточними планами-прогнозами" (дорожніми картами) додає оптимізму в реалізованість такого регуляторного документа. Для цього повинна бути вирішена проблема організації виконання ЕС-35 з чітким визначенням механізмів імплементації завдань для виконавчої та законодавчої влади з постійним моніторингом ходу реалізації ЕС-35 по тимчасових інтервалах. Як варіант, пропонується для цього створити спеціалізовану структуру, можливо – інститут енергетичної стратегії із залученням для підготовки дорожніх карт енергетичних форсайтів незалежних експертів [25]. Створення такого інституту – це все ж мабуть «занадто», але комісія (комітет) з фахівців у галузі енергетики, економіки, екології, експертів та осіб, які приймають рішення, було б доцільним. У роботі такого комітету повинні взяти участь всі ті, хто стояв біля витоків створення проекту ЕС-35 – НІСД, Центр Разумкова, НТЦ "ПСІХЄЯ", Міненерговугілля, відповідні відділення НАН України [2, 22, 26, 27], зокрема, Відділення фізико-технічних проблем енергетики, Відділення економіки, які брали участь в дослідженнях по формуванню енергетичної політики на перспективу.

ЛІТЕРАТУРА

1. О. Домбровский. Український парламент за три роки ухвалив повний пакет європейського енергетичного законодавства. Тепер потрібна швидка імплементація. TERMINAL №4, грудень, 2017. С. 21-23.
2. Кулик М. М., Горбулін В. П., Кириленко О. В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали). К.: Інститут загальної енергетики НАН України. 2017. 78 с.
3. Постанова Верховної Ради України "Про національну енергетичну програму України до 2010 року" 15 травня 1996 року, №191/96-ВР.
4. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006, №145-р.
5. Оновлена енергетична стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.04.2013, №1070-р. "Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року".
6. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність". URL: energetychna_strategiya_do_2035_r.zip, <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
7. Ойзерман Т. И. Возможно ли предвидение отдалённого будущего. Вестник РАН. 2005. Т. 75. №8. С. 720-726.
8. Хайек Ф. А. Дорога к рабству. Вопросы философии. 1990. №1. С. 113-1519
9. Пригожин И. Р. Философия нестабильности. Вопросы философии. 1991. №6. С. 46-52.
10. Поннер К. Нищета историзма. М.: Издательская группа "Прогресс". 1992. - 166 с.
11. Малинецкий Г. Г. Техногенные ресурсы в контексте новой индустриализации России. Вестник РАН. 2015. Т. 85. №4. С. 344-350
12. Капица П. Л. Эксперимент теория практика. М.: "Наука". 1974, 288 с.
13. Локтев В. М. Знання – сила? Вісн. НАН України. 2018. №1, С. 75-85
14. Рябцев Г. А. Державна політика розвитку ринку нафтопродуктів в Україні: формування та реалізація [Текст]: монографія. - К.: НАДУ, 2011. - 416 с.
15. Горелова В. Л. Основы прогнозирования систем. Учеб. пособ. для инж.-экон. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1986. - 287 с.
16. Макаров А. А. Методы и результаты прогнозирования развития энергетики России. Изв. РАН. Энергетика. 2010. №4. С. 26-40.
17. Филиппов С. П. Прогнозирование энергопотреблением комплекса адаптивных имитационных моделей. Изв. РАН. Энергетика. 2010. №4. С. 41-45.
18. Суходоля А., Рябцев Г. Энергетический манифест. TERMINAL. 2017. №2 (848) август. С. 3-8.
19. Потапшик С. И. От стратегии – к рабочим документам и реальным срокам. TERMINAL. 2017. №2 (848). С. 31-32.
20. Рукомеда Р. Энергетические контуры нового мира. TERMINAL. 2017. №2 (848) август. С. 39-42.
21. Буславец О. Для якісної дорожньої карти необхідні якісні інструменти. TERMINAL. 2017. №2 (848). С. 22-26.

22. "Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року" / О. Дячук, М. Чепелєв, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін., за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої. Пред-во Фонду ім. Г. Бюлля в Україні. К.: Вид-во ТОВ "АРТ КНИГА". 2017. 88 с.

23. Аполонский О. Ю., Орлов Ю. Н. Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития энергетики. Часть II //Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша. 2010. №58. 26 с. URL <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?=2010-58>.

24. Клименко В. В. Опыт генетических прогнозов мировой энергетики: можем ли мы предвидеть далёкое будущее? //Докл. РАН. 2014. Т. 458. №4. - С. 415-418.

25. НТЦ "ПСИХЕЯ" Psychea Expertus: розглядаєть деталі. TERMINAL. 2017. №2 (848) август. С. 35-36.

26. Гесць В. М. Розвиток та взаємодія економічної та енергетичної політики в Україні. Вісник НАН України. 2016. №2. С. 46-53.

27. Долінський А. А., Басок Б. І., Базєєв Є. Т. Стратегія теплозабезпечення населених пунктів України. До обговорення проектів Енергетичної стратегії України на період до 2020, 2030 та 2035 року // Вісник НАН України.- 2015.- №4. - С. 98-105.

ENERGY STRATEGY IN THE REALITIES OF THE MODERN WORLD (REVIEW)

Basok B.I., Baseyev Ye.T.

Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zheluabova, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.5>

Starting the year 1996, energy strategies of Ukraine, one by one, before the completion of the next. In view of the implementation of forecasting indications of leather strategies, it is impossible. At the same time, the obtained reference values did not coincide with the projected.

Where to find the reasons for such "results of implementation" strategies? In the methods and tools of forecasting, management of ways and mechanisms for implementation, socio-economic and geopolitical turbulence, in the global financial and economic crisis? Or, in principle, the impossibility of knowing the future (at a sufficiently remote time interval)?

An overview of conceptual approaches to forecasting the future is given and the impossibility to predict the future is emphasized. The risk of unpredictability of its development and such a complex sector of the economy as energy.

With geopolitical turbulence, with a radical change in the socio-economic system in the country, accompanied by a downturn in the economy, including production in the fuel and energy sector, at any time stage in the implementation of the energy strategy, bifurcation points may appear in the vicinity of which small fluctuations of external influence will sharply increase and indicators forecast in strictly time intervals may become slightly realized, and scenarios for the development of the fuel and energy complex may change. For some indicators, there may be a good match, for others - acceptable, and for a number of indicators - a significant discrepancy with forecasts. The main task is to determine the range of values of key indicators and trends in the development of energy and its individual industries. It was emphasized that the problem of the quality of energy forecasting is not sufficiently developed, since there are no established criteria by which one can objectively evaluate the advantages and disadvantages of a given forecasting system. There are well-established criteria by which one can objectively evaluate the advantages and disadvantages of a particular forecasting system. Despite the lack of objective criteria for assessing the quality of predictive tools, at present systemic forecasting of energy as an integral part of the triad: energy-economy-ecology is generally accepted and is used in leading energy countries. Propositions regarding the need for the super water pipeline in Ukraine in 2017 are involved in the strategy of operational documents - operational plan-forecasts (road maps) for managing and monitoring the

implementation of the strategy for promotional projects in 2014, in the disciplines, in the disciplines.

References 27, figures 2

Keywords: fuel and energy complex, energy strategy, forecasting, strategy implementation, bifurcation points, management and monitoring, roadmap.

1. *Dombrovsky O.* [The Ukrainian parliament has approved a complete package of European energy legislation within three years. Now we need quick implementation], *TERMINAL* [TERMINAL], December 2017. № 4. P. 21-23. (Ukr.)

2. *Kulyk M.M., Horbulin V.P., Kyrylenko O.V.* [Conceptual approaches to the development of energy of Ukraine (analytical materials)], Kyiv, Instytut zahalnoi enerhetyky NAN Ukrainy [Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2017. 78 p. (Ukr.)

3. *Postanova Verkhovnoi Rady Ukrainy* "Pro natsionalnu enerhetychnu prohramu Ukrainy do 2010 roku" 15 travnia 1996 roku, № 191/96-VR [Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine "On the National Energy Program of Ukraine until 2010" May 15, 1996. № 191/96-VR]. (Ukr.)

4. *Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku.* Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15.03.2006, №145-r [About the acceptance of the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2030. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 15, 2006, No.145-r.]. (Ukr.)

5. *Onovlena enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku.* Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27.04.2013, №1070-r. "Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku". [The renewed energy strategy of Ukraine for the period up to 2030. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 27.04.2013, No. 1070-r. "On Approval of the Energy Strategy of Ukraine for the Period until 2030"]. (Ukr.)

6. *Nova enerhetychna stratehia Ukrainy do 2035 roku:* "Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist" [New Energy Strategy of Ukraine until 2035: "Security, Energy Efficiency, Competitiveness"]. (Ukr.) <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>

7. *Oizerman T.I.* [Is it possible to foresee a distant future], *Vestnik RAN* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2005. V. 75. № 8. P. 720-726. (Rus.)

8. *Haiek F.A.* [Road to slavery], *Voprosy filosofii* [Questions of philosophy], 1990. № 1. P. 113-1519. (Rus.)

9. *Prihozyn I.R.* [Philosophy of instability], *Voprosy filosofii* [Questions of philosophy], 1991. № 6. P. 46-52. (Rus.)

10. *Popper K.* [The Poverty of Historicism (or Questions of Philosophy)], Moscow, "Prohress" ["Progress"]. 1992. 166p. (Rus.)

11. *Malinetskii H.H.* [Technogenic resources in the context of the new industrialization of Russia], *Vestnik RAN* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2015. V. 85. № 4. P. 344-350. (Rus.)

12. *Kapitsa P.L.* [Experiment Theory of Practice], Moscow, "Nauka" ["Science"]. 1974, 288 p. (Rus.)
13. *Loktev V.M.* [Knowledge is power?], Visnyk NAN Ukrainy [Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2018. № 1. P. 75-85. (Ukr.)
14. *Riabtsev H.A.* [State policy on oil products market development in Ukraine: formation and implementation], Monograph. Kyiv, NADU [NAPA]. 2011. 416p. (Ukr.)
15. *Horelova V.L.* [Basics prediction of systems], Moscow, Vysshaya shkola [Higher School]. 1986. 287 p. (Rus.)
16. *Makarov A.A.* [Methods and results of forecasting the development of the energy of Russia], Izvestiia RAN. Enerhetika [News of the Russian Academy of Sciences. Energy], 2010. № 4. P. 26-40. (Rus.)
17. *Filippov S.P.* [Predicting Energy Consumption of a Complex of Adaptive Simulation Models], Izvestiia RAN. Enerhetika [News of the Russian Academy of Sciences. Energy], 2010. № 4. P. 41-45. (Rus.)
18. *Sukhodolia A., Riabtsev G.* [Energy manifesto], TERMINAL [TERMINAL], 2017. № 2 (848). P. 3-8. (Rus.)
19. *Potashnik S.I.* [From strategy to working papers and real deadlines], TERMINAL [TERMINAL], 2017. № 2 (848). P. 31-32. (Rus.)
20. *Rukomeda R.* [Energy contours of the new world], TERMINAL [TERMINAL], 2017. № 2 (848). P. 39-42. (Rus.)
21. *Buslavets O.* [High-quality road maps require high-quality tools], TERMINAL [TERMINAL], 2017. № 2 (848). P. 22-26. (Ukr.)
22. *Diachuk O., Chepeliev M., Podolets R., Trypolska H.* and others, f in general edition by Oharenko Yu. ta Aliievoi O. ["The transition of Ukraine to renewable energy till 2050"], Kyiv, ART KNYHA [ART BOOK]. 2017. 88 p. (Ukr.)
23. *Apolonskii O.Yu., Orlov Yu.N.* [Comparative analysis of long-term forecasts of energy development. Part II], Preprint IPM im. M.V. Keldysha [Preprint of the IPM them. MV Keldysh], 2010. № 58. 26p. (Rus.) <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?2010-58>.
24. *Klimenko V.V.* [Experience of genetic projections of world energy: can we foresee the distant future?], Reports RAS [Reports of the Russian Academy of Sciences]. 2014. 458. №4. P. 415-418. (Rus.)
25. *[PsycheaExpertus STC "Psyche": consider details]*, TERMINAL [TERMINAL]. 2017. № 2 (848). P. 35-36. (Rus.)
26. *Heiets V.M.* [Development and interaction of economic and energy policy in Ukraine], Visnyk NAN Ukrainy [Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2016. № 2. P. 46-53. (Ukr.)
27. *Dolinsky A.A., Basok B.I., Baseev Y.T.* [Strategy of heat supply of settlements of Ukraine. To discuss the projects of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2020, 2030 and 2035] Visnyk NAN Ukrainy [Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2015. №4. P. 98-105. (Ukr.)

Отримано 05.02.2019
Received 05.02.2019

УДК: 697.431, 65.012.123

ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСКРЕТНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ
НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ ЕКСПРЕС-МЕТОДОМ ЗЕ

Демченко В.Г., канд. техн. наук, Трубачев А.С., канд. техн. наук, Гронь С.С.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.6>

При аналізі системи теплопостачання населеного пункту було визначено її тип, структуру та умови функціонування, основні ризики та переваги. Проведено дослідження наявних систем прийняття рішень та представлено експрес-метод, що ставить на меті швидко визначення доцільності впровадження нових продуктів, систем, технологій тощо.

При анализе системы теплоснабжения населенного пункта был определен ее тип, структура и условия функционирования, основные риски и преимущества. Проведено исследование существующих систем принятия решений и представлен экспресс метод, который позволяет в короткие сроки определить целесообразность внедрения новых продуктов, систем, технологий.

During analyzing the heat supply system of a settlement, was discovered type, structure and operating conditions, main risks and benefits. Has been conducted the existing decision-making systems and has been introduced an express method that allows us to quickly determine the feasibility of introducing new products, systems and technologies.

Бібл. 13, табл. 2, рис. 10.

Ключові слова: критерій, метод, прийняття рішень, система, теплопостачання, ефективність.

S – повна площа вірогідних результатів;
 c – шукане значення функції;
 R_1, R_2, R_i – множина вірогідно-оптимальних рішень;
 m_i – маси точок координат;
 F_1, F_2, F_3 – критерії за яким проводиться пошук задовільних результатів;
 M – барицентр (центр мас або центр ваги);
 kE_1 – коефіцієнт зведеного значення показників енергетики;
 kE_2 – коефіцієнт зведеного значення показників екології;

kE_3 – коефіцієнт зведеного значення показників економіки;
 G – середньомісячна вартість палива, доларів США;
 I – вартість однієї Гкал, в залежності від виду опалення, доларів США;
ДСО – дискретна система опалення;
«ЗЕ» – авторський багатокритеріальний метод прийняття рішень;
ОТГ – об'єднана територіальна громада;
МТП – місцеве теплопостачання;
РСМ – теплоаккумуляційна речовина з фазовим переходом.

Вступ

Світова система енергетики проходить етап значних змін, через стрімке збільшення населення, глобальне погіршення екології, переорієнтацію геополітичних сил виникає потреба у швидкому прийнятті рішень щодо змін в енергетичній галузі в цілому та розвитку енергоменеджменту на рівні державних установ, територіальних об'єднань тощо.

У теперішній час Україна не є винятком та окрім цього має ряд економічних обмежень, що є додатковими мотиваційними чинниками для розвитку нових енергоощадних технологій. За умов сучасного стрімкого розвитку маркетингових технологій та конкуренції на ринку вітчизняної енергетики з'являються нові товари та послуги. Окремо виділяють дискретну систему опалення (ДСО), що призвана зменшити навантаження на теперішню систему теплозабезпечення, поліпшити екологічне становище у районі та зменшити щорічні витрати на опалення [1,2].

Для прийняття управлінського рішення щодо впровадження ДСО у селищі міського типу Чернігівської області та порівняння його з іншими джерелами теплової енергії є необхідність у гнучкому, адаптивному будь яких заданих умов методу. Наявні класичні методи прийняття рішень на жаль мають ряд недоліків, такі як: велика похибка та нездатність обробити велику кількість критеріїв при скаляризації, або обмеженість результатів при методі зважених сум. Таким чином необхідно розробити інструментарій, за допомогою якого за короткий проміжок часу можна прийняти стратегічні управлінські рішення.

2. Об'єкт дослідження

Об'єктом даного дослідження є модернізація системи теплопостачання на конкретному прикладі – об'єднаної територіальної громади Михайло-Коцюбинське (надалі по тексту – ОТГ), що розташоване у Чернігівському районі Чернігівської області України.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є систематизація основних сучасних наукових підходів до прийняття стратегічного рішення, на прикладі визначення доцільності впровадження новітньої енергоефективної дискретної системи опалення та охолодження (ДСО) за допомогою авторського методу «ЗЕ».

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити сучасний стан теплопостачання населеного пункту та надати пропозиції щодо її модернізації з урахуванням географічних, інфраструктурних та соціальних особливостей.

2. Проаналізувати підходи та наявні методи до прийняття стратегічних рішень, розкрити їх сутність та зміст, порівняти результати розрахунків з багатокритеріальним методом «ЗЕ». Проаналізувати переваги та недоліки усіх методів для визначення доцільності проведення енергоефективних заходів.

3. Вирішити оптимізаційну задачу використання мобільних теплоаккумуляторів та надати рекомендації щодо впровадження дискретної системи опалення.

4. На основі отриманих результатів обґрунтувати переваги авторського методу прийняття рішень.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Класичним підходом до вирішення задачі прийняття рішень за умови багатокритерійності є скаляризація. При цьому багатокритеріальна задача (2) зводиться до однокритеріальної (1)

$$f(x) \rightarrow \min, x \in \Omega - \text{однокритеріальна задача}, \quad (1)$$

$$(f_1(x), \dots, f_k(x)) \rightarrow \min, x \in \Omega - \text{багатокритеріальна задача}. \quad (2)$$

Одним із методів скаляризації є побудова допоміжної функції $h: R^k \rightarrow R$, що приймає значення компоненту

векторної цільової функції, що зводить, таким чином задачу до однокритеріальної. [3]

$$f(x) = h(f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)). \quad (3)$$

Даний метод є відносно простим, але з урахуванням складності поставленої задачі існує велика ймовірність отримати результат з похибкою, що не зможе коректно дати відповідь щодо прийняття рішень. Іншим відомим підходом до розв'язання даної проблеми є метод зважених сум в якому функціонал береться лінійним:

$$f(x) = \sum_{i=1}^k \omega_i \cdot f_i(x) \quad \omega_i > 0, i = 1, \dots, k, \sum_{i=1}^k \omega_i = 1. \quad (4)$$

Геометрична інтерпретація у випадку двох цільових функцій зображена на рис. 1. Мінімізація інтерпретується як пошук такого значення c , при котрому лінія $\omega \cdot f^T = c$, проходить по дотичній до границі множини допустимих значень цільових функцій. Даний метод також має суттєвий недолік, тому що за допомогою нього не можна оцінити результати, що знаходяться у межах поля допустимих значень.

Ще один метод зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної називається метод ε – обмежень, графічно зображений на рис. 2.

$$\min f_p(x) \text{ при обмеженні } f_i(x) \leq \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, k.$$

Змінюючи ε_i можна отримати різні результативні точки. Одним із недоліків цього методу є те, що для отримання двох точок необхідно окремо вирішити дві однокритеріальні задачі. Таким чином для досягнення задовільної точності необхідно провести велику кількість ітерацій. [4]

При якісному зіставленні критеріїв, коли неможливо визначити вагові коефіцієнти, але при цьому є можливість ранжування їх по зменшенню важливості використовується метод переваг. Спочатку формується множина вірогідних рішень з урахуванням усіх кри-

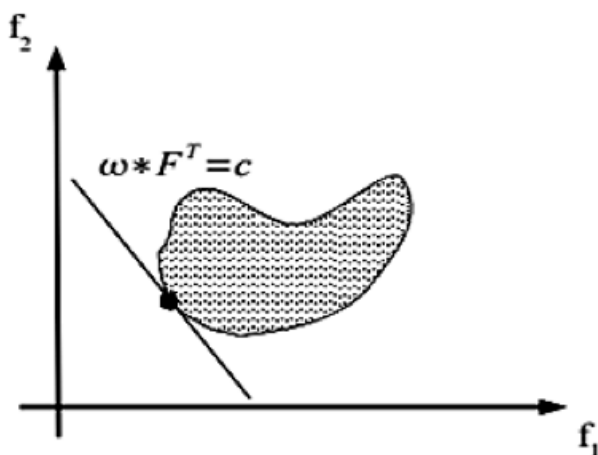


Рис. 1. Метод зважених сум.

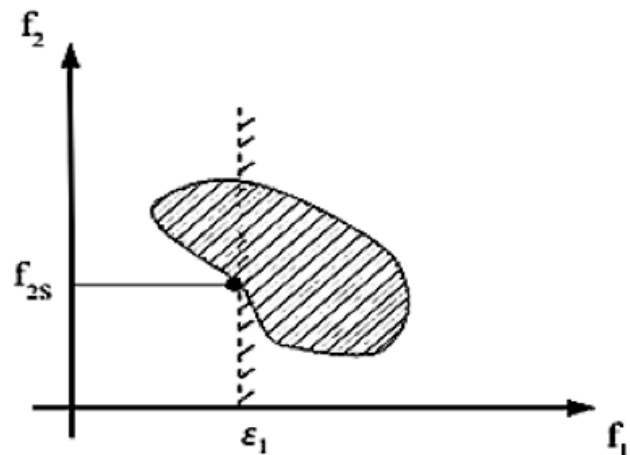


Рис. 2. Метод ε – обмежень.

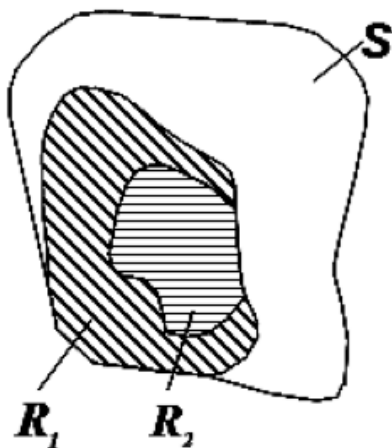


Рис. 3. Метод переваг.

теріїв. Далі на побудованій площині проводиться одно-критеріальна вибірка по найбільш важливому критерію і з урахуванням даного критерію будується наступна площина рішень у межах основної площини. Наступним кроком є аналіз наступного по важливості критерію та визначення меж рішень з врахуванням останнього.

Схематичне зображення алгоритму застосування методу переваг приведено на рис. 3 (S – повна множина усіх рішень, що можуть бути запропоновані щодо даного предмету дослідження; R_1, R_2 – множина вірогідно-оптимальних рішень за відповідними критеріями $F_1, F_2, \dots, F_n$; $F_1 > F_2 > \dots > F_n$).

Недоліком даного методу є його громіздкість та необхідність чіткого розуміння важливості усіх критеріїв за якими проводиться пошук рішень для отримання вірогідної відповіді. [5]

При складних випадках прийняття рішень в умовах багатокритеріальної ситуації, коли критерії не можна зіставити як кількісно так і якісно, застосовують метод Парето. Основним принципом Парето є визначення, що альтернативи не можна розрізнити по оптимальності, якщо жодну з них не можна покращити хоча б по одному з критеріїв, при цьому не погіршивши хоча б по одному з інших критеріїв.

Принцип пошуку множини компромісів – попарне порівняння альтернатив. Таким чином $F_1, F_2 \rightarrow \min$. Альтернатива 4, як зображено на рис. 4, має переваги над альтернативою 1, через те, що $F_{11} > F_{41}, F_{12} > F_{42}$. Так як альтернатива 3 має перевагу у порівнянні з 2, тому що $F_{22} = F_{32}, F_{21} > F_{31}$.

Тобто альтернативи 3 та 4 задовольняють умовам згідно з принципом Парето та вважаються рівнооптимальними. При цьому альтернативи 1 і 2 не дають правильного рішення. Основним недоліком методу Парето є: – складність структурування діаграми, що

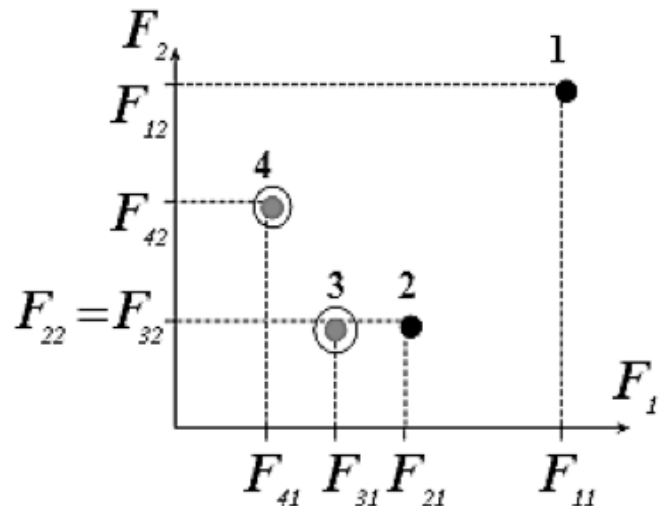


Рис. 4. Метод Парето (мінімізація критеріїв).

може призвести до невірних висновків; – наявність лише двох факторів порівняння [6].

5. Метод центрів мас «3Е»

У даній роботі, для прийняття рішення щодо впровадження дискретної системи опалення, було використано новітній багатокритеріальний метод оцінювання 3Е (метод центрів мас). В математиці і фізиці барицентр, або геометричний центр, двовимірної області – це середнє арифметичне положень всіх точок фігури. Визначення поширюється на будь-який об'єкт в n -мірному просторі. Барицентр є середнім положенням усіх точок фігури за всіма координатними напрямками. Метод центра мас "3Е" ґрунтується на тому, що координати центра мас однорідної трикутної пластинки, якщо не враховувати її товщину, дорівнюють середньому арифметичному однорідних координат її вершин. Барицентр трикутника лежить на перетині трьох медіан [7].

$$F_1 \cong F_2 \cong \dots \cong F_n \quad R_1 > R_2 > \dots > R_i \quad (5)$$

$$R_c = \frac{\sum_i R_i m_i}{\sum_i m_i}; \quad R_c = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}; \quad \sum_i (R_i - R_c) m_i = 0. \quad (6)$$

Усі порівнювані процеси або вироби розглядаються за трьома основними ваговими критеріями, які найточніше показують їх якість. Попереднє вираження кожного критерію в чисельному безрозмірному вираженні дозволяє отримати рішення, прийняте графо-аналітичним способом. Це дозволяє визначити основні фактори впливу на об'єкт дослідження та зведення прийняття рішення до трьох рівнозважених коефіцієнтів, а саме: kE_1 – енергетика, kE_2 – економіка та kE_3 – екологія. Отримані показники являються гранями трикутної діаграми (рис.5), що утворює загальну площину, у межах якої знаходяться усі досліджувані об'єкти або про-

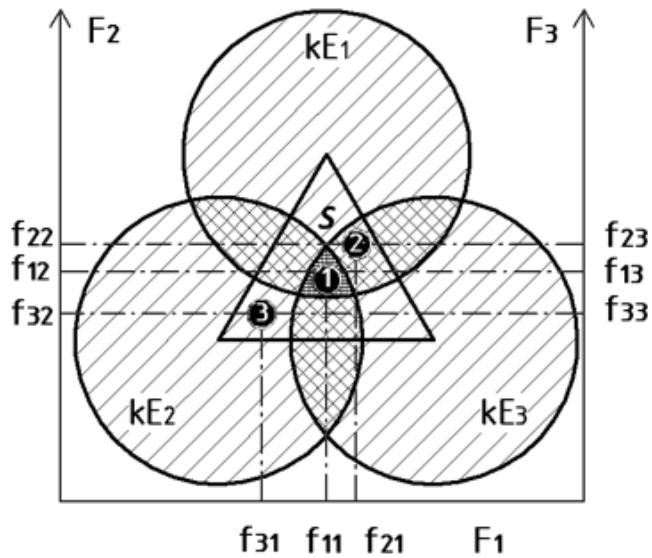


Рис. 5. Метод «3Е» (метод центрів мас).

цеси. Наступним етапом являється визначення поля задовільних результатів, що має гнучку систему побудови, яка точно показує межі з урахуванням умов конкретної задачі та цілей [8, 9, 10].

Як виразно видно на рис. 5, тільки центр 1 потрапляє в зону S , центри 2 і 3 лежать за межами границь повної площини вірогідних результатів.

Для побудови поля результатів, що задовольняє поставленим цілям аналізуємо критерії за наступним алгоритмом:

1. Коефіцієнт kE_1 показує мінімальну та максимальну кількість акумульованої енергії. Для коректного порівняння різних енергетичних складових за допомогою багатокритеріального методу мас необхідно привести усі джерела теплової енергії до єдиного показника. Додатково враховується, що теплові втрати в процесі акумуляції теплоти можуть сягати 25 % згідно зі статистичними та емпіричними показниками. [2]

2. Коефіцієнт kE_2 безпосередньо залежить від об'єму привнесеної шляхом акумуляції енергії в систему теплопостачання й холодопостачання. Він являється відображенням об'єму скорочення шкідливих викидів в атмосферу при генерації теплоти, шляхом зменшення об'єму димових газів від стаціонарних джерел теплопостачання, які функціонують на території ОТГ. Попередньо проведені розрахунки показали, що об'єм димових газів при скороченні генерації теплоти на 25% зменшується на 30%. [2]

3. Коефіцієнт kE_3 – це економічна привабливість проекту. При визначенні нижньої межі ефективності керуємося тим, що на законодавчому рівні в Україні прийнята практика зменшення тарифу на 10% для теплопостачальних організацій, що використовують для генерації поновлювані джерела енергії. Крім того кон'юнктура ринку має на увазі, що пропонувана тепло-

ва енергія і холод мають бути дешевші централізованої генерації не менш, ніж на 10%. Рентабельність підприємства прийнята в розрахунках на рівні 20% і ще 10% приймається на непередбачені витрати пов'язані з транспортуванням та акумуляцією енергії. Таким чином, довірчий інтервал за економічними показниками приймається в межах від 40 до 100%.

Даний підхід надає змогу з високою точністю та у короткий термін вирішити наступні задачі:

1. Оцінити привабливість проекту за трьома базовими показниками для визначення доцільності проведення заходів щодо подальшої розробки та впровадження проекту.

2. Надати графічно відображене порівняння ефективності різних видів матеріалів, корисних моделей, методів, технологій, підходів тощо.

3. Визначити рейтинг будь якої кількості об'єктів порівняння з метою подальшого вибору найоптимальнішого варіанту або чітку послідовність проведення дій враховуючи їх вагову складову.

4. Отримати кількісні значення коефіцієнтів ефективності, що полегшує процес ухвалення рішень.

5. Визначити узагальнений інтегральний показник для системи, що вивчається, по якому можна оцінити тісноту зв'язку між ознаками вагових коефіцієнтів, провести вибір оптимального варіанту фінансування проекту по індексам привабливості та пропорційності [2].

Детальний опис даного методу та приклади застосування його на практиці у різних сферах діяльності висвітлено у роботах [8, 9, 10].

6. Результати дослідження

Об'єкт досліджень займає площу 6513,6 га, з них земель державної власності – 2381,14 га, земель приватної власності – 4132,46 га, земель запасу – 530,52 га та земель резерву – 161,7 га. Загальна чисельність населення – 8423, згідно з офіційною інформацією [10]. Більшість прилеглих територій займають поля, крім двох ділянок лісосмуг у південно-західному та південно-східному напрямках від ОТГ Михайло-Коцюбинське. Слід зазначити географічні переваги регіону через те, що він розташований безпосередньо біля кордону з Республікою Білорусь та усього в 140 км від м. Києва, що дає можливість розвиватися міжнародним логістичним центром. Але розвиток регіону лімітований комплексом загальнонаціональних проблем та обмежень, однією з базових експерти виділяють енергетичну проблему.

На території громади на сьогодні виділяють дві галузеві групи підприємств, що мають пріоритети розвитку: сільськогосподарські (обробка землі, вирощування зернових культур та розведення великої рогатої худоби), деревообробні (виробництво меблів та інша обробка деревини). Селище газифіковане. Зведений енергобаланс джерел теплоти ОТГ по видах палива, приведено у табл. 1.

Таблиця 1. Середньомісячний енергобаланс ОТГ Михайло-Коцюбинське

Джерело теплоти	Кількість отриманої теплоти, Гкал	Кількість палива для 1 Гкал	Собівартість Гкал, \$
Тепловий акумулятор	14,5	312 кг	34
Дрова	36	555 кг	38
Природний газ	93	140 м ³	64
Пелети	46,9	285 кг	52
Покупна теплова енергія	70,1	140 м ³	74,5
Електроенергія	0,24	1163 кВт	99,7

Згідно з даними щодо джерел теплової енергії ОТГ можна побудувати структуру перспективного теплопостачання, зображену на рис. 6.

Аналізуючи сучасний стан надійності та ефективності теплопостачання можна зробити висновок, що система має змішаний тип (рис. 7). Даний тип енергосистеми – місцевого теплопостачання (МТП), з невеликою протяжністю транспортної тепломережі, є оптимальною для не дуже великих населених пунктів, щільність забудови в яких є невисокою. Удосконалення МТП та підвищення її надійності може бути проведено шляхом залучення додаткових джерел енергії та впровадження дискретної системи опалення (ДСО), що дасть змогу залучити до генерації теплоти місцеві види палива та зменшити негативний вплив на її функціонування аварій та надзвичайних ситуацій.

Аналіз впровадження дискретної системи опалення, в об'ємі всього 5% від загального теплоспоживан-

ня, на конкретному прикладі ОТГ (рис. 8) показує, що її впровадження покращить параметри оптимізації теплозабезпечення, ризикозахищеності та живучості об'єктів у випадках надзвичайних ситуацій.

Окрім використання мобільної котельні для зменшення пікових навантажень та аварійного режиму опалення об'єктів з впровадженням ДСО з'являється можливість передачі теплоти без трубопровідного транспорту, від стаціонарних джерел з меншою одиничною вартістю теплової енергії на об'єкти з більшою, шляхом використання тільки мобільного теплоакумулятора. Ще одна опція впровадження ДСО – це можливість використання місцевих видів палива і вогневого знищення твердого сміття організованих і несанкціонованих звалищ, з передачею теплоти споживачеві. У випадку довгострокового використання є можливість стаціонарного розміщення елементів ДСО, а саме пересувної котельні та мобільного теплоакумулятора для теплозабезпечення окремих об'єктів. Проектом впровадження ДСО пропонується використання автомобільного транспорту, однак транспортування теплоносія можна забезпечи-

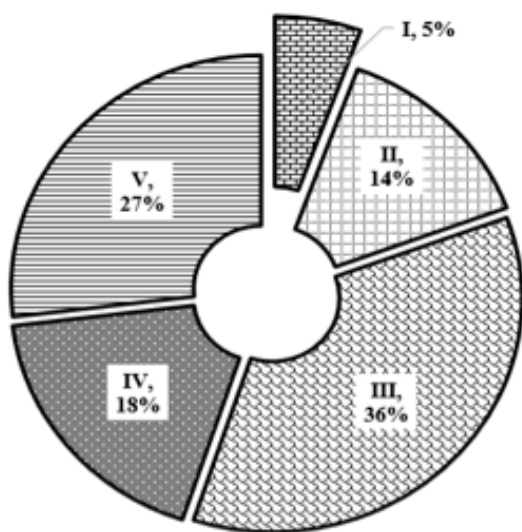


Рис. 6. Структура теплозабезпечення ОТГ Михайло-Коцюбинське по видах палива, де: I – тепловий акумулятор; II – дрова; III – природний газ; IV – пелети; V – покупна теплова енергія.

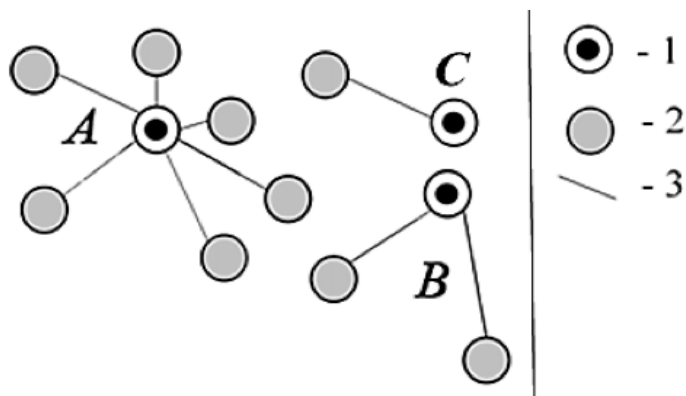


Рис. 7. Графи, що показують сучасний стан, тип та властивості системи теплопостачання ОТГ до модернізації, де: 1 – джерело опалення (A – закупівельна теплова енергія від ПАТ «Чернігівоблтеплокомуненерго», B – газові котли, C – твердопаливні котли), 2 – споживачі теплової енергії, 3 – наявна тепломережа.

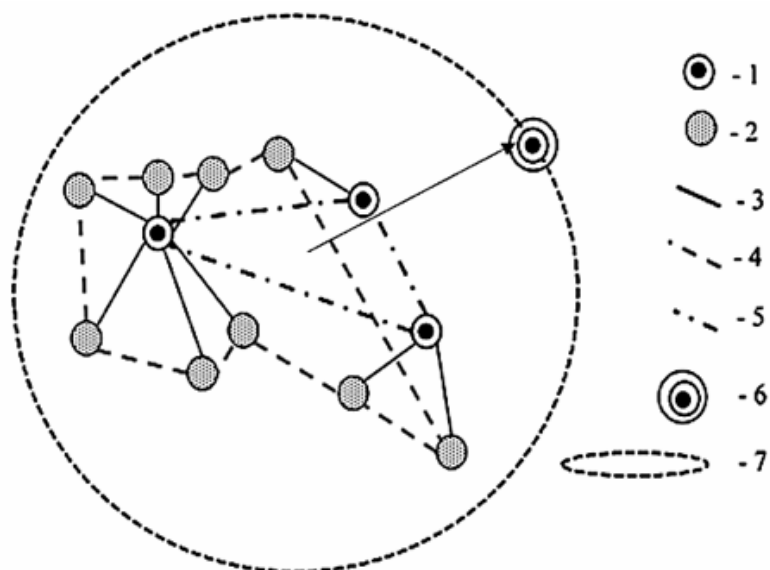


Рис. 8. Графи, що показують тип та властивості енергосистеми населеного пункту після впровадження ДСО, де: 1 – джерело теплопостачання, 2 – споживачі теплової енергії, 3 – наявна теплотрасса, 4 – використання мобільної котельні ДСО споживачами, 5 – використання мобільного теплоакумулятора ДСО між джерелами теплопостачання, 6 – мобільне джерело з теплоакумулятором, 7 – межа дії ДСО.

ти наземним, морським, річковим та навіть повітряним транспортом.

Запропонована технологічна схема ДСО дозволяє використовувати всі відомі види газових та рідких палив, твердих відходів, біологічних палив, альтернативних джерел теплоти, тощо [12].

Проведене дослідження дозволяє вирішити оптимізаційну задачу по визначенню економічної привабливості транспортування теплової енергії мобільними акумуляторами (рис. 9).

Вартість доставлення теплоти тепловими акумуляторами має пряму залежність від транспортних та

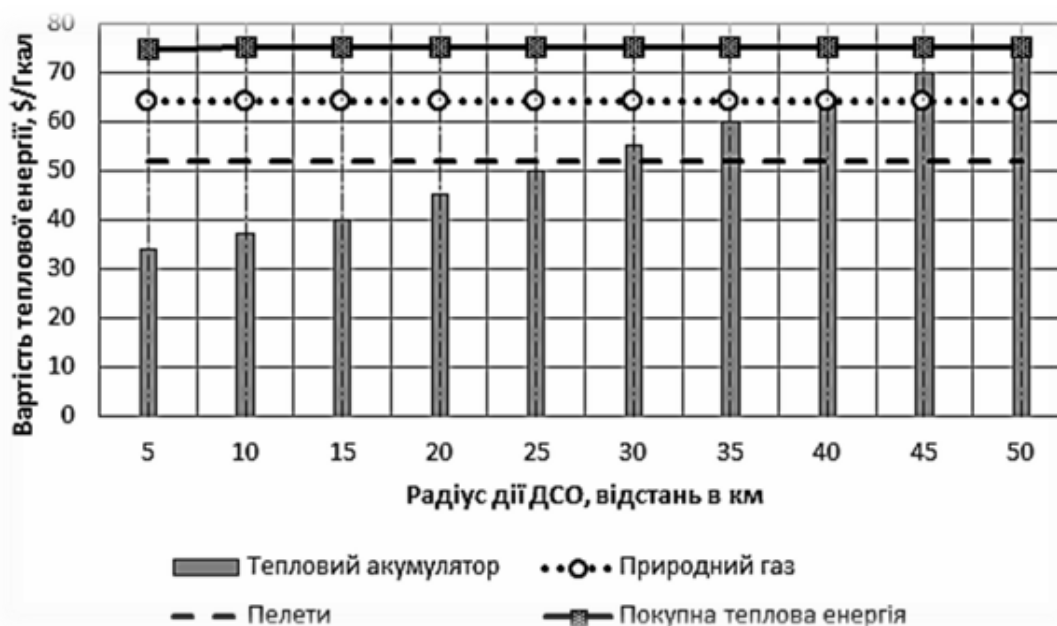


Рис. 9. Залежність ціни теплової енергії від відстані до споживача.

операційних витрат. Аналіз графика на рис. 9 показав, що використання мобільного теплоаккумулятора на відстані до 25 км до споживача вигідніше генерації теплоти з використанням пелет, відповідно до 40 км генерації на природному газі, та до 50 км вартості покупної теплоти від центральної котельної. Теплова енергія, отримана шляхом використання ДСО, транспортується за допомогою мобільного акумулятора, об'єм якого може варіюватися в залежності від цілей та технічних особливостей транспортного засобу. Враховуючи динаміку зростання цін на пелети та природний газ оптимальним об'ємом баку-акумулятору є 5...10 м³ РСМ.

Алгоритм проведення розрахунків вагових коефіцієнтів здійснюється наступним чином:

1. Головним показником енергетичної ефективності kE_1 є якість і кількість виробленої теплоти (Гкал). Як можна бачити з таблиці 1 та рис. 6, найбільший об'єм складає покупна теплова енергія, адже за допомогою неї опалюється більша частина об'єктів. На першому етапі впровадження проекту пропонується використання теплового акумулятора ємністю 5,0 м³ РСМ, що дозволить компенсувати пікові навантаження, покращити тепловий баланс та використовувати місцеві види палива. Кількість виробленої в середньому за місяць опалювального періоду теплоти прийнято з початкових даних статистичної звітності ОТГ.

2. Економічний коефіцієнт kE_2 пропонується обчислювати як співвідношення вартості 1,0 (Гкал) та прийнятого місцевого тарифу теплової енергії. На основі попередніх, багаторічних, натурних досліджень, авторами зроблено висновок, що приблизно 80% вартості 1,0 Гкал теплоти складає вартість палива. Ґрунтуючись на цьому, можна з великою долею вірогідності визначити вартість 1,0 Гкал теплової енергії. Вартість палива у 2018 році в ОТГ складала: Природний газ – 1,0 м³ – 12,18 грн.; Електроенергія – 1,0 кВт·г – 2,864 грн.; Вода 1,0 м³ – 15,00 грн.; 1,0 тонна пеллет – 3800,00 грн.; 1,0 скл.метр дров – 480,00 грн. Розрахунки проведені в доларах США, по курсу 1 \$ = 27 грн., що дає змогу враховувати зміни вартості палива. Економічний коефіцієнт визначається співвідношенням вартості палива плюс

20% операційних витрат до вартості 1,0 Гкал, за формулою:

$$kE_2 = 1,2 G / I, \% . \quad (7)$$

3. Екологічний коефіцієнт kE_3 визначався як відношення шкідливих викидів в атмосферу за рахунок певного виду опалення, до допустимих норм [2, 13]. Проведені розрахунки представлені в таблиці 2.

Зауважимо, що для певного виду отримання теплової енергії врахована різна вартість палива. Найбільше значення вартості 1,0 Гкал було отримано для електроенергії, найменше – для теплового акумулятора. При визначенні вартості отриманої теплової енергії враховано, що енергія, яка отримана від теплового акумулятора, повинна коштувати мінімум на 10% менше ніж від найдешевшого стаціонарного джерела теплоти, працюючого на дровах.

На основі отриманих даних щодо використання різних видів палива для обігріву будівель в ОТГ було виконано розрахунки за допомогою експрес-методу «3Е» для визначення ефективності різних джерел опалення та прийняття рішення щодо впровадження системи ДСО.

Як можна бачити на рисунку 10, трикутна діаграма більше інформативно відображає реальну ситуацію теплопостачання об'єктів ОТГ різними джерелами теплоти. Результати графоаналітичного дослідження представлені на рис. 10,а у вигляді традиційної криволінійної діаграми та для порівняння у вигляді «3Е» діаграми (рис.10,б) з критерійним полем задовільного інтервалу, що знаходиться у межах трикутної діаграми.

Використання мобільного джерела теплопостачання з мобільним акумулятором найвигідніше. Джерело теплопостачання на дровах, що використовують як паливо, найпривабливіші по економічним параметрам, проте програють іншим джерелам теплоти з екологічної і енергетичної точки зору. Теплова енергія, генерована автономними газовими котлами, з енергетичної та екологічної точки зору вигідніша, ніж генерована котлами що використовують деревні пелети. Генерація теплоти центральними котельними та електроенергією не доцільна та виходить за межі критеріального поля.

Таблиця 2. Значення коефіцієнтів ефективності, економічності та екологічності

Джерело теплоти	$kE1\%$	$kE2\%$	$kE3\%$
Тепловий акумулятор	31	25	91
Дрова	42	30	81
Природний газ	65	8,97	62
Пелети	53	24,3	57
Покупна теплова енергія	72	8,54	44
Електроенергія	27	4,5	25

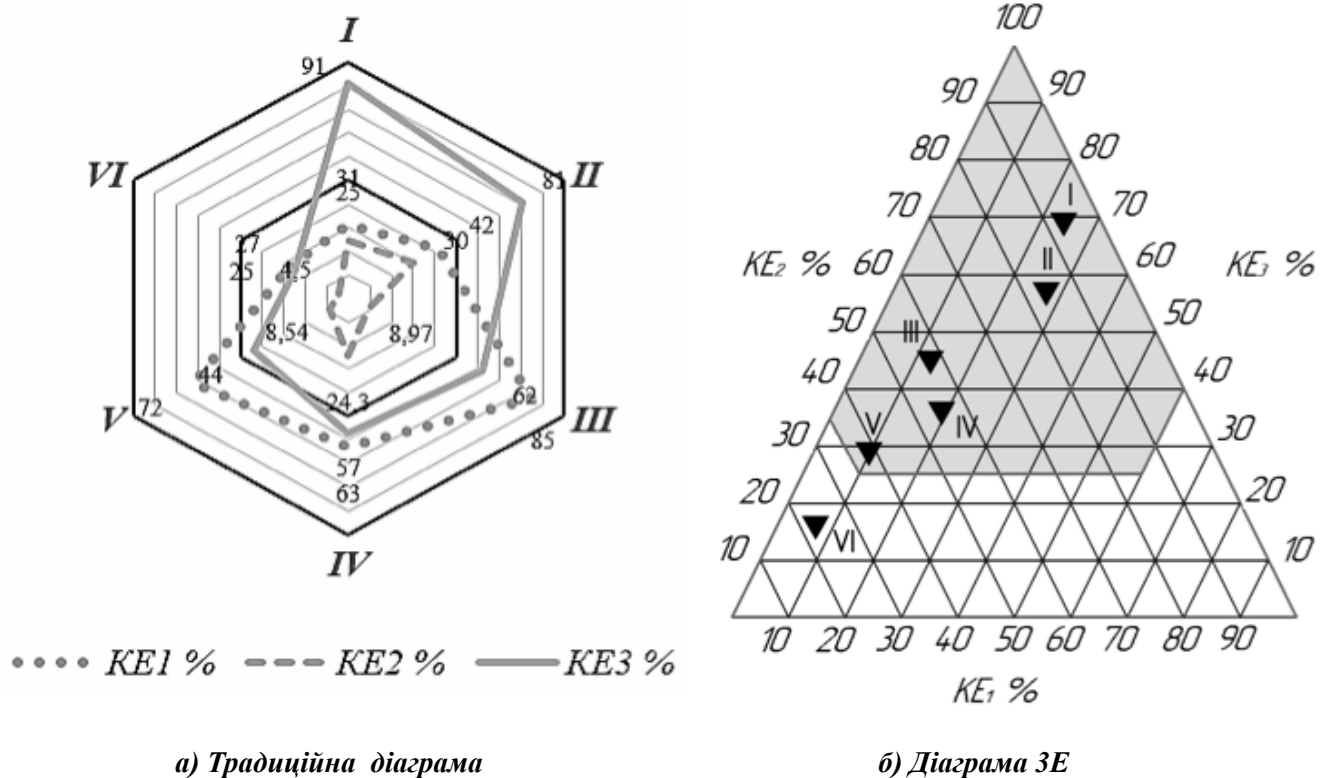


Рис. 10. Порівняння ефективності отримання теплоти різними джерелами, де: I – тепловий акумулятор ДСО; II – дрова; III – природний газ; IV – пілети; V – покупна тепла енергія; VI – електроенергія.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Сильними сторонами запропонованого методу є його гнучкість та можливість застосування в будь-якій сфері діяльності при стратегічному плануванні та прийнятті управлінських рішень; легкість застосування без проходження спеціальних підготовчих курсів та отримання додаткової освіти; швидкість та висока точність отримання результату.

Weaknesses. Запропонований метод на сьогодні не є стандартизованим в Україні, таким чином результат експрес-аналізу має інформативний характер.

Opportunities. Для всебічної інтеграції даного методу доцільним є створення спеціалізованого програмного забезпечення, що може бути використано на підприємствах та в органах влади для систематичного користування. Автоматизація представленого методу у вигляді програмного забезпечення дасть змогу проводити аналіз в режимі реального часу та визначати динаміку змін поля задовільних інтервалів та рейтингу досліджуваних об'єктів. Дані властивості можуть бути корисні при використанні на фондовій біржі, штабі збройних сил і таке інше.

Threats. У зв'язку з нестабільністю економічного середовища може виникнути необхідність проведення експрес-аналізу повторно, з урахуванням змін в

економіці країни, а таким чином і змін у полі задовільних інтервалів.

Висновки

1. У даній статті детально проаналізовано систему опалення населеного пункту та визначено її сильні та слабкі сторони. Побудовано графі, що описують стан системи опалення до та після впровадження системи ДСО.

2. Проведено дослідження сучасних методів прийняття рішень в умовах багатокритерійності. Сформульовані слабкі і сильні сторони наявних класичних багатокритерійних методів оцінки. Надано опис нового методу, який запропоновано назвати методом центру мас "3E", який має низку вагомих переваг.

3. Аналіз впровадження інвестиційного проекту на реальному об'єкті проведений методом "3E" показав, в порівнянні з відомими методами прийняття рішень, більш високу збіжність результатів і кращий результат, проілюстрований на трикутній діаграмі.

4. Проведені дослідження показали, що при використанні методу «3E» непотрібно проводити велику кількість ітерацій для отримання результатів із задовільною вірогідністю. Перевагою даного методу є одночасне отримання наочного поля задовільних

результатів та рейтингу об'єктів дослідження, окрім того, з'являється можливість подальшого використання методу «ЗЕ» в будь-якій сфері діяльності.

5. Результати дослідження показали, що тепло-ва енергія, яка отримана за допомогою дискретної системи опалення, найкраще задовольняє потреби населеного пункту. При цьому додатково збільшує ризикозахищеність та живучість системи опалення, покращується екологічний стан навколишнього середовища тощо. Наочно результат представлений на три-кутній діаграмі та обгрунтовано оптимальне плече підвезення теплоти тепловими акумуляторами для за-міщення традиційних видів палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демченко В.Г., Фалько В.Ю., Гронь С.С. Мобільні акумулятори для дискретних систем теплохолодопостачання. Частина 1. Пром. теплотехніка, 2018, т. 40, №2, с. 20-26. <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.03>
2. Демченко В.Г., Трубачев А.С., Фалько В.Ю., Гронь С.С., Мобільні акумулятори для дискретних систем теплохолодопостачання. Частина 2, Промислова теплотехніка, 2018, т. 40, №3, с. 57-69. <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.08>
3. Jorge Nocedal and Stephen J. Wright : Numerical optimization. Springer Science + Business Media, 2006.
4. Gabriele Eichfelder: Adaptive scalarization methods in multiobjective optimization. Springer, 2008.
5. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие // М. : «Март», 2004. 656 с
6. Кох Р. Принцип 80/20. // К. : видавнича група КМ- БУКС, 2017, 336 с
7. Roger A. Johnson. Advanced Euclidean Geometry. – Dover, 2007, p. 173.
8. Демченко В.Г., Трубачев А. С., Експрес-аналіз доцільності проведення енергозберігаючих заходів, The scientific method, ISSN 2708-5341, (Warszawa, Poland), №20/ 2018, с.74-77
9. Demchenko V., Trubachev A., Hron S., Comparative analysis of the Efficiency of gas Boilers by express method of multi-criteria Assessment / V. Demchenko, A. Trubachev, S. Hron // Technology audit and production reserves – № 5/1(43). 2018. p. 34 – 41.
10. Демченко В.Г., Макаренко Л.А., Гронь С.С. Визначення ефективності ізоляційних матеріалів, Danish Scientific Journal, ISSN 3375-2389, (Copenhagen, Denmark), № 20, 2018, с. 21 – 27.
11. Офіційний портал Михайло-Коцюбинської об'єднаної громади <https://mkocubynska-gromada.gov.ua/istorichna-dovidka-17-38-47-19-04-2017/>
12. Демченко В.Г., Усунення загроз забезпечення теплом інфраструктурних об'єктів, Промышленная теплотехника, 2017, т. 39, №2 с. 70-74.
13. Постанова КМУ від 28.12.2001 № 1780 «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел».

ESTIMATION INTRODUCTION OF THE DISCRETE HEATING SYSTEM OF THE SETTLEMENT USING THE EXPRESS-METHOD «3E»

Demchenko V.G., Trubachev A.S., Hron S.S.

*Institute of Technical Thermophysics of the National
Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelubova, 2a,
Kyiv, 03057, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.6>

The energy system of Ukraine, as well as the world power industry now in a phase of change related to the deterioration of the environment, a large number of new technologies and a change in global geopolitics. Thus, there is a need for quick decision-making when introducing new products, technologies and methods. The article proposes a modern approach to solving key strategic issues at the enterprise. A comparative analysis of existing classical methods of making management decisions is made and a number of advantages of the author's method are revealed. In this article, with the help of the proposed method, the feasibility of introducing a discrete heating system in the village is determined. In order to achieve this goal, the structure of the heat sources used in the settlement is determined, an analysis of the users of heating and comparison of the prices for heat energy is obtained using natural gas, pellets and a discrete heating system. The next step is to compare all sources of heat energy by the three main weighting criteria that most accurately reflect their quality. The preliminary expression of each criterion in a numerical dimensionless expression allows us to obtain a decision to make an optimal decision by graph-analytical method. This allows us to determine the main factors influencing the object of research and the decision making decision to three equally weighted coefficients: energy, ecology, economics. The obtained indicators are the faces of a triangular diagram, which forms the general plane within which all investigated objects or processes are located. The next step is to determine the field of satisfactory results, which has a flexible system of construction, which accurately shows the limits, taking into account the conditions of a specific task and goals. The triangular diagram has a visually accessible structure, so it is easy to understand to untrained people. As can be seen from the rating, the use of mobile heat supply with mobile battery is the most advantageous. Sources of heat supply on wood used as fuel, the most attractive from an economic point of view, however, lose to other sources of heat from the ecological and energy point of view.

References 13, figure 10, table 2.

Keywords: criterion, method, making decision, system, heat supply, efficiency.

1. Demchenko V.G., Falko V.U., Hron S.S. [Mobile accumulators for discrete systems of heat-supplying. Part 1.], Prom. Teplotekhnika [Industrial Heat Engineering], 2018, vol.40. No. 2, P. 20-26 (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.03>
2. Demchenko V.G., Trubachev A.S., Falko V.Y., Hron S.S. [Mobile accumulators for discrete systems of heat-and-water supply. Part 2], Prom. Teplotekhnika [Industrial Heat Engineering], 2018, vol. 40, No. 3, P. 57-69 (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.08>
3. Jorge Nocedal and Stephen J Wright: Numerical optimization. Springer Science+ Business Media, 2006.
4. Gabriele Eichfelder: Adaptive scalarization methods in multiobjective optimization. Springer, 2008.
5. Orlov A.Y. [The theory of decision-making. Tutorial], M.: «Mart» [Moscow: "March"], 2014. 656 p. (Rus.)
6. Koch P. [Principle 80/20.] Kiev: publishing group of «KM-Books», 2017, 336 p. (Ukr.)
7. Roger A. Johnson. [Advanced Euclidean Geometry], Dover, 2007, 173 p.
8. Demchenko V.G., Trubachev A.S., [Express-analysis of expediency of energy saving measures], The scientific method, ISSN 2708-5341, (Warszawa, Poland), No. 20/2018, p.74-77 (Ukr.)
9. Demchenko V., Trubachev A., Hron S., [Comparative analysis of the Efficiency of Gas Boilers by the express method of multi-criteria evaluation], Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva [Technology audit and production reserves] No. 5/1 (43). 2018, p. 34 - 41. (Ukr.)
10. Demchenko V.G., Makarenko L.A., Hron S.S. [Determination of the Efficiency of Insulating Materials], Danish Scientific Journal, ISSN 3375-2389, (Copenhagen, Denmark), № 20, 2018, P. 21 – 27. (Ukr.)
11. The official portal of the Mykhailo-Kotsiubynsky united community <https://mkocubynska-gromada.gov.ua/istorichna-dovidka-17-38-47-19-04-2017/>, 2017 (Ukr.)
12. Demchenko V.G., [Removing the Threats to Provide Heat to Infrastructure Objects], Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Thermal Engineering], 2017, vol. 39, No. 2 P. 70-74 (Ukr.)
13. [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 28.12.2001 No. 1780 "On Approval of the Procedure for the Development and Approval of Permitted Permits for Pollutants from Stationary Sources"], 2001 (Ukr.)

Отримано 15.01.2019

Received 15.01.2019

УДК 620.92

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗБЕРЕЖЕННЯ І РОЗВИТКУ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ

Гелету́ха Г.Г., канд. техн. наук, Крамар В.Г., канд. техн. наук, Олійник Є.М., Антоненко В.О.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.7>

Описано поточний стан та оцінені перспективи розвитку системи централізованого теплопостачання (ЦТ) України. Проаналізовано причини, що призводять до втрачання конкурентоспроможності ЦТ, та запропоновано заходи, які допоможуть відновити систему. Представлені переваги використання біопалива в системах ЦТ.

Описано текущее состояние и оценены перспективы развития системы централизованного теплоснабжения (ЦТ) Украины. Проанализированы причины, приводящие к утрате конкурентоспособности ЦТ, и предложены меры, которые помогут восстановить систему. Представлены преимущества использования биотоплива в системах ЦТ.

Condition and prospects of development of district heating system (DH) of Ukraine are estimated. The DH competitiveness deterioration factors are analyzed. The measures to restore DH are proposed. Advantages of biomass utilization in DH are presented.

Бібл. 7, табл. 2.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, теплові мережі, біопалива.

ЦТ – централізоване теплопостачання;
ТКЕ – теплокомуненерго;

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;
ПДВ – податок на додану вартість.

Централізоване теплопостачання (ЦТ) вважається одним з найбільш ефективних, економічних і екологічних способів теплопостачання багатоквартирних будинків. Варто зазначити, що збільшення енергоефективності та розширення використання відновлюваних джерел енергії загалом визнаються ключовими вимогами щодо скорочення викидів парникових газів, сприяння сталому розвитку та зменшенню вразливості до перебоїв у постачанні енергоносіїв. Але дуже часто не враховується, яку важливу роль відіграє централізоване теплопостачання у досягненні цих цілей, зменшуючи споживання викопного палива шляхом сприяння ефективному використанню скидного тепла та відновлюваних джерел енергії [1]. Можливість об'єднувати теплові навантаження дає змогу використовувати екологічні джерела, такі як когенерація та/або альтернативні джерела енергії (скидне тепло, біомаса, геотермальне тепло) найбільш економічно ефективним шляхом. Україна має значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії та добрі передумови для суттєвого розширення використання біомаси в тому числі у ЦТ [2]. Сьогодні системи ЦТ забезпечують значну частку потреб в тепловій енергії в таких країнах як Латвія (65%), Данія (63%), Польща (53%), Україна (52%), Білорусь (50%), Фінляндія (50%), Словаччина (35%) [3].

ЦТ залишається основним способом опалення багатоквартирних житлових будинків і в Україні. Нажаль, протягом останніх років намітились стійкі негативні тенденції в цьому секторі:

1. Частка ЦТ стабільно зменшується. За останній час вона скоротилася з 60% у 2014 р. до 52% у 2017 р. [4]. Багато міст повністю відмовилось від систем ЦТ, перейшовши на індивідуальні чи автономні системи опалення (Ужгород, Марганець, Нікополь, Покров, Золочів, Долина). В Закарпатській області взагалі не залишилось жодної працюючої системи ЦТ.

2. Технічний стан систем ЦТ, особливо теплових мереж, погіршується. За останні роки протяжність теплових мереж зменшилась на 8 тис. км. З 20 тис. км теплових мереж, що залишились, 38% знаходяться в поганому та аварійному технічному стані. Середні втрати теплової енергії в теплових мережах складають 19%.

3. Економічний стан підприємств ЦТ, нажаль, також погіршується. Станом на 24 квітня 2018 року сумарна прострочена заборгованість перед НАК «Нафтогаз України» підприємств ТКЕ за природний газ склала близько 35,5 млрд. грн., з них борг за 2018 р. – 12,3 млрд. грн. [5].

Нескладно спрогнозувати, що якщо ці негативні тенденції продовжаться, ми повністю залишимося без систем ЦТ. Як альтернатива пропонуються і активно впроваджуються індивідуальні системи поквартирного опалення, в основному газовими котлами.

Причини деградації систем ЦТ

Багато років тарифна політика щодо природного газу стимулювала перехід від систем ЦТ до індивідуальних систем на основі газових котлів. Ціни на природний газ для населення були суттєво нижчими,

ніж для підприємств ТКЕ. Відповідно, якщо власник квартири встановлював індивідуальний газовий котел і від'єднувався від системи ЦТ, то він починав платити значно менше. Ситуація трохи покращилась з 2014 року, відколи ціна газу для населення і ТКЕ зрівнялися, та це, на жаль, не зупинило процес руйнації систем ЦТ.

Крім того, системи ЦТ, в їх нинішньому стані, по багатьох показниках об'єктивно менш привабливі для кінцевого споживача, ніж індивідуальні системи на основі газових котлів. З іншого боку, з точки зору енергетичного сектору в цілому, індивідуальні системи мають суттєві недоліки в порівнянні з системами ЦТ. Переваги і недоліки ЦТ і індивідуальних систем теплопостачання наведені нижче (табл. 1).

Як результат, населення продовжує правдами і неправдами шукати шляхи від'єднання від систем ЦТ і переходу на «індивідуалку». Певним чином стримувати цей процес вдається тільки завдяки адміністративним заходам – труднощам у від'єднанні від систем ЦТ і встановленні індивідуальних газових котлів. В той же час адміністрації окремих населених пунктів співфінансуючи підтримання систем ЦТ в робочому стані схиляють споживачів до переходу на індивідуальні та автономні системи теплопостачання.

Забудовники нових будівель часто мають значні адміністративні труднощі і суттєві витрати, пов'язані з підключенням до систем ЦТ, і їм значно простіше і дешевше встановити в таких будівлях індивідуальні

Табл. 1. Описання переваг і недоліків ЦТ та індивідуальних систем теплопостачання

Характеристики	Індивідуальні системи теплопостачання	Системи ЦТ
Комфорт для споживачів	+ більший, легкість регулювання, можливість подовжити опалювальний сезон	- менший
Надійність	+ вища, незалежність від аварій в системах ЦТ	- нижча, в основному, через незадовільний стан тепломереж
Вартість теплової енергії	+ як правило, нижча, ніж в ЦТ	- як правило, вища
Екологічні характеристики для споживачів	- гірші, особливо в будинках з відсутністю димоходів. Відомі випадки виведення димоходів через бокові стіни під вікна сусідам зверху.	+ кращі, повна екологічна безпека для споживачів
Безпека для споживачів	- гірша, ризик отруєння чадним газом і вибухонебезпечність	+ краща, відсутність ризику отруєння чадним газом і вибухів для споживачів
Можливість диверсифікації видів палива	- обмеженість виключно природним газом	+ можливість роботи на біопаливі, побутових відходах, скидному тепло технологічних процесів, інше
Можливість застосування більш ефективних схем виробництва теплової енергії	- обмеженість переважно котлами	+ можливість застосування ТЕЦ, когенераційних установок, утилізаторів, конденсаційних економайзерів, теплових насосів, баків – акумуляторів, інше.

«+» - перевага; «-» - недолік.

газові котли, чи автономну дахову котельню. Що вони «успішно» і роблять.

До цих причин додається ще цілий ряд факторів, пов'язаних з неререформованістю систем ЦТ в цілому, у тому числі:

1. Відсутність чіткої стратегічної політики щодо подальшого розвитку сектору ЦТ.

2. Неререформована система тарифоутворення на виробництво теплової енергії та її транспортування, побудована ще за радянським принципом «витрати +», а також сильно залежна від політичного впливу, часто популістського.

3. Відсутність готовності для залучення приватного капіталу і інвестицій в системи ЦТ з боку нинішніх комунальних власників.

4. Монопольне положення ТКЕ в системах ЦТ і, як результат, невелика їх зацікавленість до підвищення ефективності, переходу на більш дешеві палива і зниження вартості своїх послуг. На сьогодні індивідуальні системи є чи не єдиним конкурентом у ТКЕ і, дякуючи цій конкуренції ми, принаймні, бачимо сьогоднішню неефективність систем ЦТ.

Шляхи збереження та відновлення систем ЦТ

Системи ЦТ можуть стати цікавими споживачам якщо вони будуть генерувати тепло суттєво (на **20...40 %**) дешевше, ніж індивідуальні системи. При однаковій вартості газу для населення і ТКЕ цього досягти неможливо. Системи ЦТ на газу завжди будуть програвати індивідуальним системам по багатьом показникам і, в першу чергу, по вартості теплової енергії. Майбутнє систем ЦТ на природному газі не виглядає оптимістичним.

Ряд експертів пропонує продавати газ для ТКЕ по зниженій ціні і за рахунок цього підняти їх кон-

курентоспроможність. Проте, на фінансування цього штучного здешевлення газу знадобиться джерело покриття, і ці витрати, ймовірно, ляжуть на бюджет України, і їх опосередковано заплатить кожен громадянин. Такий механізм також буде серйозним бар'єром для повного відкриття та розвитку ринку газу. Пропонуємо ряд інших технічних і організаційних заходів.

Технічні заходи

По-перше, це перехід на більш дешеві види палива, в першу чергу, на біопалива. Нижче наведено порівняння вартості одиниці енергії в біопаливі і в інших паливах.

Як видно, біопалива в ряді випадків більш ніж вдвічі дешевші на одиницю енергії, ніж інші палива. Їх широке використання в системах ЦТ може привести до суттєвого здешевлення теплової енергії. Досвід Литви це підтверджує: середня вартість теплової енергії від котелень на біомасі була в 2015-17 рр. на **27...35 %** нижчою, ніж від котелень на газу. За рахунок цього Литва досягла долі біомаси в ЦТ у **68,6%** в 2017 р. і планує вийти на **80%** в 2020 р і **90%** в 2030 р. [6].

По-друге, це перехід на більш ефективні технології генерації теплової енергії (ТЕЦ, когенераційні установи, використання конденсаційних економайзерів). Їх застосування якраз і може надати суттєву перевагу системам ЦТ. Наприклад, в ЄС-28 тільки на деревній трісці працюють 770 ТЕЦ, у тому числі в Німеччині – близько 250 одиниць, в Австрії і Фінляндії – близько 100 в кожній з країн, у Швеції, Польщі, Італії, Чехії – по 30-40. Частка ТЕЦ у виробництві теплової енергії в системах ЦТ становить в Румунії – 90%, в Німеччині – 81%, в Хорватії – 78%, в Чехії – 75%, в Фінляндії, Данії, Латвії – 73%. В ЄС планується збільшити потужність ТЕЦ на 80% відносно 2010 р. і довести її до 180 ГВт до 2050 р. [7].

Табл. 2. Порівняння вартості одиниці енергії в біопаливі і в інших паливах

Вид палива або енергоносія	Вартість (на квітень 2018 р.), грн./т без ПДВ	Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	Вартість одиниці енергії в паливі, або енергоносії, грн./ГДж без ПДВ
	А	Б	А/Б
Природний газ для населення	5798 грн./тис. м ³	34,0 МДж/м ³	171
Природний газ для промисловості	8686 грн./тис. м ³	34,0 МДж/м ³	256
Вугілля	2800	25,0	112
Мазут	9000	42,0	214
Електроенергія	1,91 грн./кВт·год	-	531
Деревна тріска	1000	10,1	99
Дрова	870	13,4	65
Пелети з деревини	2900	17,0	171
Пелети з лушпиння	1600	17,5	91
Тюки соломи чи стебел кукурудзи	900	14,6	62

Використання конденсаційних економайзерів в котельнях ЦТ дозволяє підвищити ККД котлів до 100...103 %, маючи при цьому швидку окупність і відносно невисокі капітальні витрати.

Своє місце в системах ЦТ можуть знайти і електрокотли, що використовуватимуть для нагріву нічний тариф на електроенергію, та відіграватимуть важливу роль у вирівнюванні графіка споживання електроенергії в нічний час. Це особливо важливо для енергетичної системи України з понад 50% виробітком електроенергії на атомних електростанціях.

Важливим є питання зменшення теплових втрат при транспортуванні теплової енергії. Використання сучасних матеріалів, технологій та стандартів теплової ізоляції, оптимізація діаметрів нових тепломереж дозволяє досягти рівня **6...8 %** втрат теплової енергії при транспортуванні, що суттєво підвищує конкурентоспроможність систем ЦТ.

Організаційні заходи

По-перше, спростити і гарантувати підключення до теплових мереж ЦТ незалежних виробників теплової енергії за умови, що вони готові забезпечити технічні вимоги до теплоносія в системі, і пропонують тепло дешевше за існуючих виробників. Між всіма під'єднаними до мережі виробниками раз на рік повинен проводитись тендер на закупівлю теплової енергії. Виграє тендер той, хто запропонує теплову енергію дешевше. Сьогодні ТКЕ переважно сприймають незалежних виробників теплової енергії як конкурентів і роблять все, щоб не допустити останніх в систему. Проте, без їх дешевого тепла системи ЦТ не можуть конкурувати з індивідуальними системами. ТКЕ повинні змінити ставлення до незалежних виробників, прийняти в систему їх дешеве тепло і разом з ними забезпечити конкурентоспроможність систем ЦТ. Одночасна робота котельних ТКЕ та незалежних виробників можлива в системах ЦТ з приєднанням тепловим навантаженням понад 50 Гкал/год. Завдяки створенню такої конкуренції ТКЕ вимушені будуть також встановлювати власні котельні та ТЕЦ на альтернативних видах палива та виробляти більш дешеве тепло.

Важливим є також створення сприятливих умов для підключення нових споживачів (новозбудованих житлових будинків або тих, що раніше від'єдналися від систем ЦТ). Підприємства ТКЕ мають бути зацікавлені в підключенні нових споживачів та шукати взаємовигідні технічні та організаційні рішення для цього.

По-друге, повинен бути здійснений повний перехід від принципу «витрати +» в тарифоутворенні на виробництво і транспортування теплової енергії до принципів стимулюючого тарифоутворення. Також необхідне об'єктивне визначення витрат та встановлення тарифів окремо за кожним видом ліцензованої діяльності (виробництво, транспортування та постачання теплової енергії), не допускаючи при цьому перехресного субси-

дування. Інвестиційна складова кожного з тарифів повинна забезпечувати не лише підтримання виробничої інфраструктури в робочому стані, а й підвищення її ефективності.

Транспортування теплової енергії, в тому числі від незалежних виробників, повинно бути для ТКЕ рентабельним і включати інвестиційну складову, достатню для системних інвестицій в модернізацію теплових мереж. Так, це приведе до підвищення тарифу на транспортування, але в той же час ми прогнозуємо зниження тарифу на виробництво (за рахунок переходу на більш дешеве паливо, більш ефективні схеми генерації та за рахунок запровадження конкуренції між виробниками), а також суттєве зменшення втрат теплової енергії в мережах після їх модернізації. Відповідно, повний тариф на теплову енергію для споживача, що включає тариф на її виробництво і транспортування, залишиться на тому ж рівні, або знизиться. Державний бюджет чи місцеві бюджети можуть і повинні долучитися до інвестування в капітальні витрати на модернізацію тепломереж, знизивши цим їх вплив на кінцевий тариф за тепло для споживачів і сприяючи конкурентоспроможності систем ЦТ.

По-третє, держава повинна чітко задекларувати стратегічний напрямок на збереження і розвиток систем ЦТ. Це повинно бути відображене на державному рівні у відповідних програмних документах. Повинен бути також запроваджений принцип зонування територій міст, що включатиме зони ЦТ і зони автономного чи індивідуального теплопостачання. В зонах ЦТ всі нові будівлі без виключень повинні під'єднуватися тільки до систем ЦТ. В цих зонах від'єднання існуючих споживачів від систем ЦТ має бути повністю забороненим.

Висновки та рекомендації для України

Таким чином системи ЦТ мають пропонувати теплову енергію споживачам дешевше, ніж індивідуальні системи на газу. Для цього необхідно запровадити ряд технічних і організаційних заходів:

1. перехід на більш дешеві види палива, в першу чергу, на біопалива;
2. перехід на більш ефективні технологічні схеми генерації теплової енергії (ТЕЦ, когенераційні установки, застосування утилізаторів чи конденсаційних економайзерів, баків-акумуляторів теплової енергії);
3. спрощення і гарантування підключення до теплових мереж ЦТ незалежних виробників теплової енергії там, де це доцільно з огляду на масштаби системи, сприяння приєднанню нових споживачів;
4. перехід від принципу «витрати +» в тарифоутворенні на виробництво і транспортування теплової енергії до принципів стимулюючого тарифоутворення з урахуванням довгострокових інвестиційних планів для підвищення ефективності систем ЦТ;

5. держава повинна зафіксувати як ціль збереження, модернізацію і підвищення частки систем ЦТ, розробивши відповідні програмні документи на середньо- та довгострокову перспективу. Повинен бути також запроваджений принцип зонування територій міст, що включатиме зони ЦТ і зони автономного чи індивідуального теплопостачання.

Заходи, що пропонуються вище, добре узгоджуються з досвідом країн ЄС. Директива 2012/27 ЕУ «Про енергоефективність» визначає ефективні системи централізованого теплопостачання і охолодження або охолодження, що використовують мінімум 50% відновлюваної енергії, 50% скидного тепла, 75% тепла від когенерації або 50% комбінації попередніх способів генерації тепла». До таких систем ми власне і прийдемо, якщо запровадимо кроки, що пропонуються.

ЛІТЕРАТУРА

1. *International Energy Agency Implementing Agreement on District Heating and Cooling, including the Integration of Combined Heat and Power* <<http://www.iea-dhc.org/the-technology/for-policy-makers.html>>

2. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Олійник Є.М. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні// Аналітична записка БАУ №6

3. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Баишовий А.І. Аналіз моделей функціонування сектору централізованого теплопостачання країн європейського союзу. Частина 1// ISSN 0204-3602. Пром. теплотехника, 2016, т. 38, №4

4. *Держстат України* <<http://www.ukrstat.gov.ua/>>

5. *Публікація НАК Нафтогаз України* <<http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/3CFB785CD481F169C225827A002D53B6?>>>

6. Домбровський О., Корсакайте Д., Гелетуха Г., Савчук С. Що може зробити біоенергетика для подолання газових криз// 27 березня 2018, «Економічна правда» <<https://www.epravda.com.ua/publications/2018/03/27/635394/>>

7. *Публікація Евростату* <<http://ec.europa.eu/eurostat/publications/all-publications>>

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES FOR SAVING AND DEVELOPMENT OF DISTRICT HEATING SYSTEMS IN UKRAINE

Geletukha G.G., Kramar V.G., Oliynyk Y.M., Antonenko V.O.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Zhelyabova str., 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.7>

Purpose of the paper is to analyze the main causes leading to the destruction of DH systems in Ukraine, as well as the search for ways to modernize the existing worn-out DH system. After comparison of DH and individual systems, it was concluded that in order to retain the leading positions, the DH should generate heat significantly (by 20-40%) cheaper than individual systems. Several technical measures have been examined in detail and evaluated, namely: transition to cheaper fuels, in particular biomass; transition to technologies that are more efficient for generation of thermal energy (CHP, cogeneration plants, condensing economizers). In addition, it is necessary to create conditions for full-fledged competitiveness of Communal Utilities with independent heat producers, in particular, a simplification of networks connection procedure. No special requirements should be put other than heat carrier parameters and lower heat price. A reliable parallel operation of Communal Utilities and independent companies is possible in DH systems exceeding 50 Gcal / h. The emerged competition must induce Communal Utilities to use biomass on their own CHPs and boilers and produce cheaper heat. An important organizational measure is a full transition from the "cost +" principle in tariff formation to incentive tariff formation. It is also necessary to determine tariff costs separately by each type of licensed activity (production, transportation and supply of heat energy), while not allowing cross subsidies. Summing up the above suggestions it is concluded that state authorities should adopt program documents with strategic direction for the preservation and development of the DH systems.

References 7, table 2.

Keywords: district heating systems, heating networks, biofuels.

1. *International Energy Agency Implementing Agreement on District Heating and Cooling, including the Integration of Combined Heat and Power* <<http://www.iea-dhc.org/the-technology/for-policy-makers.html>>

2. *Geletukha G., Zheliezna T., Oliynyk E. Perspektyvy vyrobnytstva teplovoi enerhii z biomasy v Ukraini [Prospects for the production of heat energy from biomass in Ukraine]// UABio Position Paper N6*

3. *Geletukha G., Zheliezna T., Bashtovyi A. Analiz modelei funktsionuvannia sektoru tsentralizovanoho teplopostachannia krain yevropeiskoho soiuzu. Chastyna 1 [Analysis of the functioning models of the district heating sector in the countries of the European Union. Part 1]// ISSN 0204-3602. Engineering Thermal Physics, 2016, t. 38, N 4*

4. *State Statistics of Ukraine* <<http://www.ukrstat.gov.ua/>>

5. *Publication of NAK Naftogaz of Ukraine* <<http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/3CFB785CD481F169C225827A002D53B6?>>>

6. *Dombrovsky O., Korsakaite D., Geletukha G., Savchuk S. [What bioenergy can do to overcome gas crisis], March 27, 2018, [Economical truth] (Ukr.)* <<https://www.epravda.com.ua/publications/2018/03/27/635394/>>

7. *Eurostat Publication* <<http://ec.europa.eu/eurostat/publications/all-publications>>

Отримано 18.10.2018

Received 18.10.2018

УДК 620.92

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОГЕНЕРАЦІЇ В УКРАЇНІ

Гелету́ха Г.Г., канд. техн. наук, Желє́зна Т.А., канд. техн. наук, Баштовий А.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.8>

Метою роботи є визначення передумов та перспективних напрямків розвитку високоефективної когенерації в Україні. Проаналізовано законодавчу базу України в сфері когенерації, розроблено пропозиції для її покращення з урахуванням відповідного досвіду Євросоюзу.

Целью работы является определение предпосылок и перспективных направлений развития высокоэффективной когенерации в Украине. Проанализирована законодательная база Украины в сфере когенерации, разработаны предложения для ее улучшения с учетом соответствующего опыта Евросоюза.

The purpose of the work is to determine the preconditions and perspective lines for the development of high-efficiency cogeneration in Ukraine. The legislative base of Ukraine concerning cogeneration has been analysed, some proposals for its improvement have been developed taking into account the relevant experience of the European Union.

Библ. 15, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: когенерація, високоефективна когенерація, теплоелектроцентрально, теплова електростанція, теплова енергія, електроенергія.

АЕС – атомна електростанція;
ВВП – валовий внутрішній продукт;
ГЕС – гідроелектростанція;
ЗППЕ – загальне постачання первинної енергії;
КГУ – когенераційна установка;
КЕС – кінцеве енергоспоживання;
КМУ – Кабінет Міністрів України;
НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;
ТЕС – теплова електростанція;
ТЕЦ – теплоелектроцентрально;
ЦТ – централізоване теплопостачання;
н.е. – нафтовий еквівалент.

Нижній індекс:

е – електричний.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю розвитку високоефективного комбінованого виробництва теплової і електричної енергії (когенерації) в Україні як інструменту для скорочення споживання палива і підвищення ефективності виробництва енергії. **Метою** роботи є визначення передумов та перспективних напрямків розвитку високоефективної когенерації в країні. Завдання роботи полягають в огляді європейського досвіду в даній сфері, аналізі відповідного українського законодавства, розробці рекомендацій для його вдосконалення. **Методи дослідження** включають вивчення літературних, статистичних та інших даних, аналіз нормативно-правових актів.

Переваги використання когенерації

Розвиток комбінованого виробництва теплової і електричної енергії (когенерації) є важливим і актуальним питанням для енергетики України та інших країн. Застосування когенерації дозволяє підвищити загальну ефективність виробництва енергії та заощадити паливно-енергетичні ресурси у порівнянні з роздільним виробництвом. Так, на ТЕЦ коефіцієнт використання палива може бути на 25-30% вище, ніж при

окремому виробництві теплової енергії на котельні та електроенергії на ТЕС (рис. 1).

Для України проблема економії паливно-енергетичних ресурсів і підвищення ефективності їх використання є вкрай нагальною. Незважаючи на певне зниження протягом останніх 10...15 років первинної та кінцевої енергоемності в Україні, на сьогодні ці показники все ще значно перевищують відповідні величини енергоемності країн ЄС (табл. 1).

Розвиток високоефективної когенерації сприятиме зменшенню енергоемності ВВП України і досягненню національної індикативної мети енергозбереження – 9% середнього показника кінцевого внутрішнього енергоспоживання за період 2005-2009 рр. [1].

Розвиток когенераційних технологій в ЄС та їх підтримка

Розвиток когенерації в Євросоюзі вважається важливою складовою енергетичних стратегій і реалізації національних планів країн-членів щодо виконання їх зобов'язань за Кіотським протоколом. За оцінками фахівців Європейської асоціації підтримки когенерації (COGEN Europe), використання когенераційних техно-



Рис. 1. Порівняння роздільного та комбінованого виробництва теплової і електричної енергії.

Табл. 1. Первинна та кінцева енергоємність в Україні та деяких країнах ЄС [1]

Країни	Первинна енергоємність, ЗППЕ (т н.е.) / ВВП (1000 US\$ 2005 р.)		Кінцева енергоємність, КЕС (т н.е.) / ВВП (1000 US\$ 2005 р.)	
	2002 р.	2012 р.	2002 р.	2012 р.
Україна	1,98	1,28	0,78	0,77
Литва	0,44	0,25	0,24	0,20
Польща	0,33	0,24	0,21	0,16
Швеція	0,15	0,12	0,11	0,08
Німеччина	0,12	0,10	0,09	0,07

логії забезпечить виконання близько 15% загальної цілі ЄС 2020 року по підвищенню енергоефективності і близько 20% загальної цілі ЄС 2020 року по скороченню викидів парникових газів [2].

На сьогодні в Євросоюзі близько 11% всієї електроенергії виробляється в режимі когенерації (рис. 2). Лідерами за цим показником є країни ЄС з високорозвиненою системою централізованого тепlopостачання: Словаччина – 80%, Латвія – 45%, Данія – 40%, Фінляндія – 30%, Литва – 30% (рис. 3). Близько половини теплової енергії, виробленої на ТЕЦ, використовується в ЦТ, решта – у промисловості.

За оцінками COGEN Europe, в ЄС є потенціал для досягнення 20% частки ТЕЦ в загальному виробництві електроенергії і 25% у виробництві тепла (наразі 15%)

до 2030 року. При цьому частка відновлюваних джерел енергії у когенерації може сягнути 33% (наразі 21%). За даними 2013 р., встановлена потужність ТЕЦ в ЄС і Туреччині складає близько 120 ГВт. Поставлено завдання збільшити потужність ТЕЦ в ЄС відносно 2010 року на 80% і довести її до 180 ГВт у 2050 році [2-4].

У багатьох країнах Євросоюзу діють різні механізми стимулювання розвитку когенераційних технологій (табл. 2). Треба зазначити, що ці механізми є гнучкими, регулярно змінюються і вдосконалюються в залежності від ситуації на ринку і у секторі.

Аналіз законодавчої бази розвитку когенерації в Україні

На сьогодні основні положення щодо когенерації прописані в Законі України «Про комбіноване вироб-

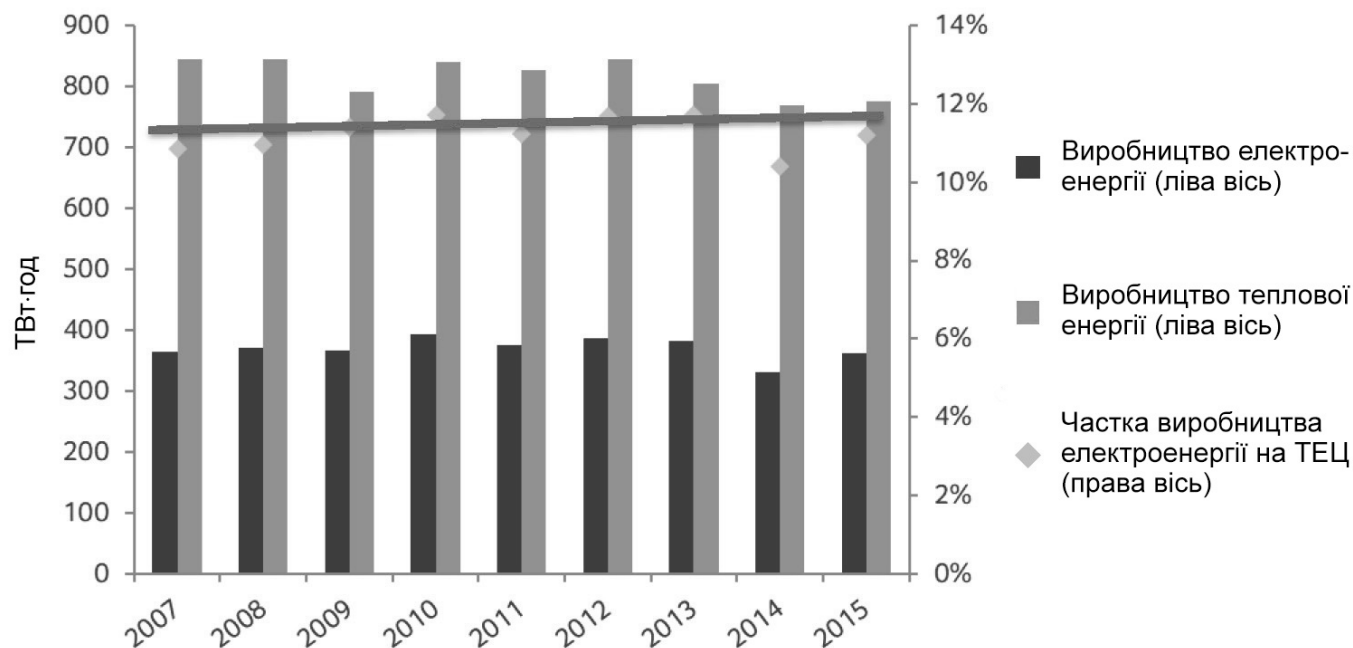


Рис. 2. Виробництво теплової і електричної енергії та частка виробництва електроенергії на ТЕЦ в Євросоюзі [2]

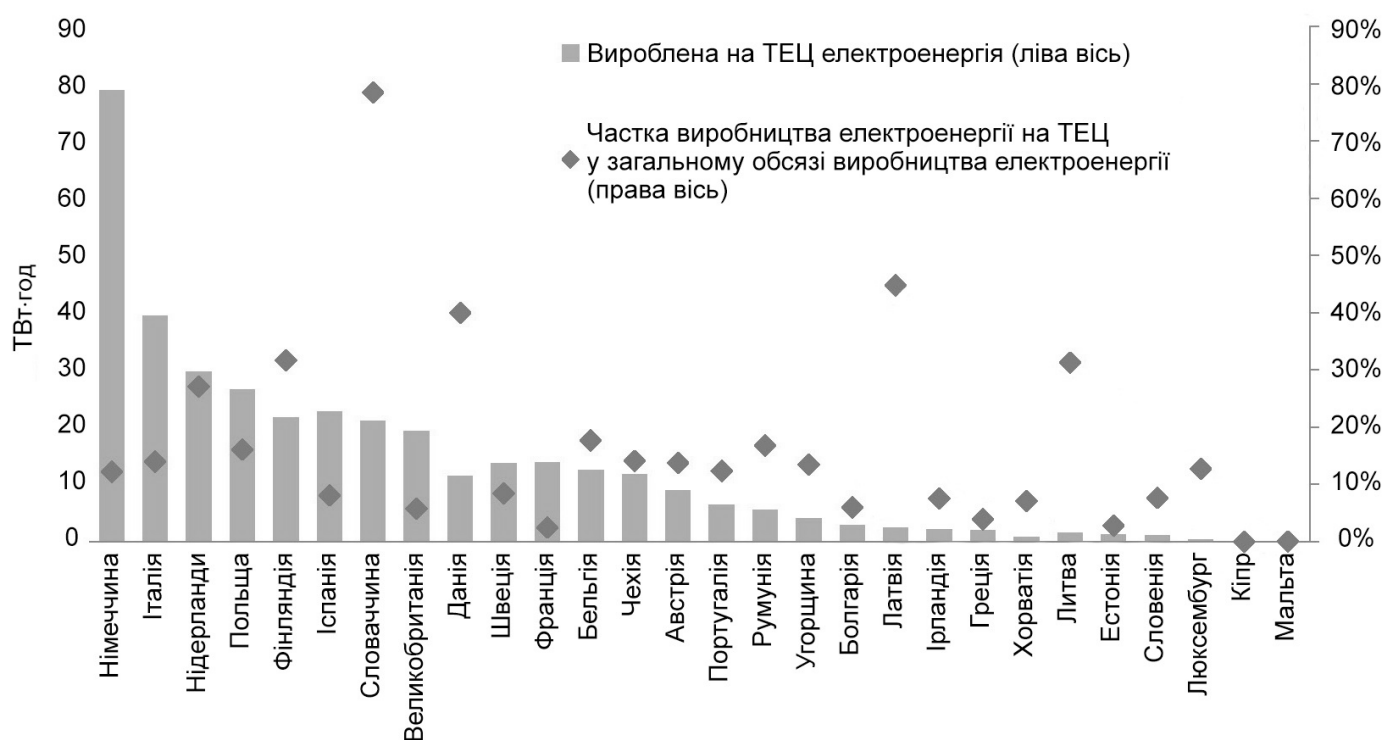


Рис. 3. Частка виробництва електроенергії на ТЕЦ в загальному обсязі виробництва електроенергії в країнах ЄС (2015 р.) [2].

Табл. 2. Основні механізми підтримки когенерації в деяких країнах Європейського Союзу та світу (дані 2016 р.) [3-5]

Країна	Інструменти стимулювання когенерації
Австрія	Інвестиційні гранти.
Чехія	Тарифні бонуси. Податкові пільги.
Польща	Система кольорових сертифікатів для підтримки високоефективної когенерації. Інвестиційні гранти.
Данія	Цінові механізми («зелені» тарифи, 3-ставкові тарифи, тарифні бонуси). Вимоги щодо підключення нових та існуючих будівель до системи районного опалення.
Фінляндія	Тарифні бонуси. Податкові пільги. Інвестиційні гранти. Зменшення адміністративних бар'єрів після лібералізації ринку.
Бельгія (Фландрія)	Система сертифікатів. Податкові пільги. Інвестиційні гранти.
Франція	Цінові механізми («зелені» тарифи, тарифні бонуси). Податкові пільги. Зменшення адміністративних бар'єрів (обов'язок придбання електроенергії, виробленої в режимі когенерації).
Німеччина	Цінові механізми («зелені» тарифи, тарифні бонуси). Податкові пільги.
Греція	«Зелені» тарифи.
Угорщина	Пріоритетна подача електроенергії до мережі. Система гарантій походження для електроенергії від високоефективних КГУ та для «зеленої» електроенергії. Пільгові кредити для малих і середніх підприємств.
Ірландія	«Зелені» тарифи. Податкові пільги.
Італія	Система сертифікатів. Податкові пільги.
Нідерланди	Податкові пільги. Інвестиційні гранти.
Португалія	«Зелені» тарифи.
Словаччина	Тарифні бонуси.
Великобританія	«Зелені» тарифи. Податкові пільги.
Іспанія	Тарифні бонуси.
Японія	Державні субсидії і податкові пільги.
Південна Корея	Державні субсидії і податкові пільги.
США	На федеральному рівні прийнято Дорожню карту щодо стимулювання розвитку ТЕЦ.

ництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» (№ 2509-IV від 05.04.2005, із змінами). Фактично, цей Закон має декларативний характер і не передбачає ніяких стимулів для розвитку когенерації в країні.

У 2017 році було прийнято Енергетичну стратегію України на період до 2035 року [6], згідно якої до пріоритетних напрямків відносяться (серед іншого):

- оптимізація джерел теплогенерації з фокусом на когенераційні потужності та максимізацію ККД;
- оптимізація використання когенерації на ТЕЦ для виробництва тепла та електроенергії;
- запровадження стимулюючого тарифу для підприємств теплопостачання та когенерації;
- підтримка реалізації проєктів з когенерації на ТЕЦ і когенерації на біопаливі;
- підтримка будівництва високоефективної когенерації.

Для досягнення цілей Енергетичної стратегії КМУ було затверджено План заходів з реалізації етапу «Реформування енергетичного сектору (до 2020 року)» [7]. Одним з пунктів цього документу передбачено розроблення та подання КМУ проєктів законодавчих актів щодо стимулювання впровадження високоефективних когенераційних установок (п. 72, головний виконавець Мінрегіон).

Аналогічне положення міститься у Плані заходів із впровадження Концепції реалізації державної політики у сфері теплопостачання до 2020 року [8]: забезпечити супроводження у Верховній Раді України проєкту Закону України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу щодо розвитку високоефективної когенерації» (п. 9, головний виконавець Мінрегіон).

Проект Закону України «Про внесення змін до За-

кону України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерації) та використання скидного енергопотенціалу» щодо розвитку високоефективної когенерації» був зареєстрований у Верховній Раді України у грудні 2017 року (№ 7465 від 28.12.2017) [9].

Проектом Закону уведено поняття високоефективної когенерації та високоефективної когенераційної установки, які відповідають європейській практиці. Запроваджено вимогу здійснювати аналіз витрат і вигід щодо оцінки потенціалу застосування високоефективної когенерації з метою планування економічно ефективного варіанту теплопостачання в населених пунктах. Цей аналіз виконується для населених пунктів, в яких передбачається істотне оновлення діючих теплогенеруючих об'єктів або будівництво нових потужностей теплової генерації, до початку проведення робіт з будівництва, реконструкції або технічного переоснащення в разі, коли планується будівництво нової установки тепловою потужністю понад 20 МВт або істотне оновлення існуючої установки загальною тепловою потужністю понад 20 МВт. Фактично, вимога здійснювати аналіз витрат і вигід щодо оцінки потенціалу застосування високоефективної когенерації являє собою спробу імплементації в законодавство України відповідних положень Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» [10].

Незважаючи на загальну позитивну оцінку даного законопроекту, треба зазначити, що він потребує доопрацювання, основна мета якого – забезпечити підтримку правильного напрямку розвитку високоефективної когенерації в Україні. Для цього обов'язково необхідно врахувати реально існуючу структуру використання різних видів палива для окремого виробництва теплової і електричної енергії. Наразі в Україні понад половини загального обсягу електроенергії виробляється на АЕС, 34% – на ТЕС (вугільних), 7,5% – на ТЕЦ (більше 52% яких використовують газ як основне паливо), 6% – на ГЕС. Більше 60% теплової енергії відпускається котельними (з яких 62% працюють на природному газі), 30% відпускається ТЕЦ [11, 12]. Таким чином, видно, що частка електроенергії, виробленої з природного газу, є доволі обмеженою, тоді як теплової енергії, навпаки, дуже високою – близько 54% загального обсягу тепла виробляється з газу, у тому числі 38% – газовими котельними.

Проект Закону по суті підтримує впровадження газових ТЕЦ, що не є економічно обґрунтованим в умовах України, оскільки електроенергія від газової ТЕЦ суттєво дорожче електроенергії від АЕС і ГЕС. Так, наприклад, за даними НКРЕКП [13], на березень-травень 2018 р. тариф на відпуск електроенергії Миколаївською ТЕЦ (основне паливо – природний газ) становив 241,41 коп./кВт·год, Одеською ТЕЦ (основне паливо –

природний газ) – 281,87 коп./кВт·год. При цьому тариф на відпуск електроенергії АЕС був 54,03 коп./кВт·год (січень-травень 2018 р.). Середній тариф на 2018 р. для ГЕС ПрАТ «Укргідроенерго» складає 28,14 коп./кВт·год без ПДВ, для ГЕС ДП «НАЕК «Енергоатом» – 114,93 коп./кВт·год без ПДВ. Приклади тарифів, встановлених для вугільних ТЕС, показують, що вони також нижче тарифів для газових ТЕЦ. Так, Миронівській ТЕС встановлено тариф на відпуск електроенергії 235,68 коп./кВт·год без ПДВ (з 01.01.2018) [14]. Середня ціна продажу до оптового ринку електроенергії генеруючих компаній ТЕС у липні 2018 р. склала 176,48 коп./кВт·год, АЕС – 54,63 коп./кВт·год, ГЕС (крім ГЕС, що працюють за «зеленим» тарифом) – 109,48 коп./кВт·год, ТЕЦ – 215,85 коп./кВт·год [15].

Вважаємо за необхідне розвивати когенерацію на місцевих видах палива. Для України місцевими паливами є вугілля і біомаса, з яких остання має переваги з точки зору екологічних показників (щодо викидів сірки, оксидів азоту, парникових газів) і наявності достатнього місцевого ресурсного потенціалу. Теплова енергія від ТЕЦ на біомасі дешевша за теплову енергію з газу, а впровадження ТЕЦ на біомасі сприяє скороченню обсягів споживання природного газу і робить внесок в економічний розвиток регіонів України. Будівництво ТЕЦ на біомасі має певні обмеження, такі як щільність забудови населеного пункту, проблеми логістики, але у випадках відсутності цих обмежень і при позитивних результатах техніко-економічного обґрунтування вважаємо реалізацію проектів даного типу доцільною.

Хоча когенерація є більш ефективним способом виробництва теплової і електричної енергії у порівнянні з роздільним виробництвом, при оцінці потенціалу її застосування мають використовуватися правильні підходи. Вважаємо, що при проведенні аналізу витрат і вигід (тобто фактично ТЕО) щодо оцінки потенціалу застосування високоефективної когенерації така оцінка має виконуватися для різних видів палива, у тому числі біопалива, а не тільки для природного газу.

У поточній редакції законопроекту відсутні механізми стимулювання (через преференції) або регулювання (через адміністративні заходи) розвитку виробництва теплової і електричної енергії високоефективними КГУ в Україні. Як вже зазначалося, на сьогодні в Україні на ТЕЦ виробляється близько 7,5% загального обсягу електроенергії, тоді як інших в країнах Європи з високорозвиненою системою централізованого теплопостачання цей показник набагато вище: Словаччина – 80%, Латвія – 45%, Данія – 40%, Фінляндія – 30%, Литва – 30%. В країнах ЄС застосовуються різні механізми стимулювання розвитку когенераційних технологій, існують цілі і плани щодо подальшого нарощування потужності ТЕЦ. Вивчення та аналіз досвіду ЄС з підтримки когенерації може бути корисним для

України з точки зору вибору найбільш оптимального інструменту стимулювання.

Пропозиції щодо покращення змісту поточної версії проекту Закону № 7465 в загальному вигляді можна сформулювати наступним чином:

- додати визначення терміну «ефективне централізоване тепlopостачання і охолодження» у відповідності до Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність»;
- замінити термін «аналіз витрат і вигід» на «попереднє техніко-економічне обґрунтування» або інший термін, прийнятий в нормативно-правових актах України;
- увести зобов'язання та/або засоби сприяння впровадженню когенераційної установки у разі позитивного результату виконання аналізу витрат і вигід (попереднього ТЕО) щодо оцінки потенціалу застосування високоефективної когенерації.
- увести систему стимулювання та/або адміністративного зобов'язання для розвитку високоефективної когенерації в Україні.

Висновки

Україна має добрі передумови для розвитку когенераційних технологій, що сприятиме скороченню споживання паливно-енергетичних ресурсів за рахунок більш ефективного виробництва теплової і електричної енергії у порівнянні з роздільним виробництвом. Вважаємо за необхідне розвивати когенерацію на біопаливі. Теплова енергія від ТЕЦ на біопаливі дешевша за теплову енергію з газу, а впровадження таких ТЕЦ призводить до скорочення обсягів споживання природного газу і робить внесок в економічний розвиток регіонів України. Вважаємо за доцільне доопрацювання проекту Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» щодо розвитку високоефективної когенерації» (№ 7465 від 28.12.2017) у відповідності до розроблених рекомендацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року*. Схвалено Розпорядженням КМУ № 1228-р від 25.11.2015 <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15/paran2#n2>
2. *Alexandra Tudoroiu-Lacavice*. Cogeneration becoming a cornerstone of our future energy system. Presentation at the seminar “From big to small: various power and heat supplying concepts with CHP”, Hannover, 24.04.2018 http://files.messe.de/abstracts/85460_uni_Tudoroiu.pdf
3. *Alexandra Tudoroiu-Lacavice, Stane Merse*. COGEN Europe national snapshot survey. Presentation as of 22.03.2016 http://www.cogeneurope.eu/medialibrary/2016/03/31/eaf93a61/2016_03_22%20COGEN%20Europe_Snapshot%20Survey.pdf

4. *Зарубіжний досвід розвитку систем централізованого та автономного тепло- та електропостачання*. ДП «НЕК Укренерго», 2016 <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/5.-TSentralizovane-ta-avtonomne-teplozabezpechennya.pdf>
5. *Cogeneration Roadmap*, Hungary. D5.1, CODE2, 2014 <http://www.code2-project.eu/wp-content/uploads/2014-12-CODE2-Roadmap-Hungary-final.pdf>
6. *Енергетична стратегія України на період до 2035 року*. Схвалено Розпорядженням КМУ № 605-р від 18.08.2017 <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>
7. *План заходів з реалізації етапу “Реформування енергетичного сектору (до 2020 року)”* Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”. Затверджено Розпорядженням КМУ № 497-р від 06.06.2018 <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/497-2018-%D1%80>
8. *План заходів із впровадження Концепції реалізації державної політики у сфері тепlopостачання до 2020 року*. Затверджено Розпорядженням КМУ № 307-р від 10.05.2018 <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/307-2018-%D1%80>
9. *Проект Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» щодо розвитку високоефективної когенерації»* (№ 7465 від 28.12.2017) http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=63282
10. *Directive 2012/27/EU of 25 October 2012 on energy efficiency* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>
11. *Статистичний бюлетень «Постачання та використання енергії» за 2016 рік*. Державна служба статистики України, 2017.
12. *Енергетичний баланс України за 2016 рік*. Експрес-випуск Державної служби статистики України № 506/0/08.4вн-17 від 20.12.2017.
13. *Тарифи на відпуск електричної енергії*. НКРЕКП, 2018 http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/elektro/taryfy_na_vidpusk-elektro.pdf
14. *Постанова НКРЕКП Про встановлення тарифів на відпуск електричної енергії та виробництво теплової енергії ПАТ «ДТЕК Донецькобленерго» ВП «Миронівська ТЕС»* (№ 1499 від 28.12.2017 із змінами) <http://www.nerc.gov.ua/index.php?id=30156>
15. *Динаміка цін продажу електроенергії в Оптовий ринок електроенергії виробниками*. ДП «Енергоринок», 2018 <http://www.er.gov.ua/doc.php?f=3995>

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF COGENERATION IN UKRAINE

Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Bashtovyi A.I.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Zhelyabova str., 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.8>

The purpose of the work is to determine the preconditions and perspective lines for the development of high-efficiency cogeneration in Ukraine. The tasks of the work consist in a review of European experience in this area, an analysis of the relevant Ukrainian legislation, and the development of recommendations for its improvement. Methods of research include the study of literary, statistical and other data, analysis of regulatory acts. The results of the work show that Ukraine has good preconditions for the development of cogeneration technologies, which will reduce the consumption of fuel and energy resources due to more efficient production of heat and power compared to their separate production. The experience of EU countries on the development of cogeneration is considered, the existing mechanisms of support of this sector are analysed. The necessity to develop cogeneration on local fuels in Ukraine is substantiated. For Ukraine, local fuels are coal and biomass, of which the latter has advantages in terms of environmental performance (emissions of sulphur, nitrogen oxides, and greenhouse gases) and the availability of sufficient potential of local resources. Heat produced by a biomass CHP plant is cheaper than heat from gas, and the introduction of biomass CHP plants results in the reduction of natural gas consumption and contributes to the economic development of Ukraine's regions. Construction of a biomass CHP plant has certain limitations, such as the density of settlement development, the problems of logistics, but in the absence of these restrictions, and with the positive results of the feasibility study, the implementation of projects of this type is expedient. The legal basis of cogeneration development in Ukraine is analysed, the need for its improvement is shown. Recommendations for the improvement of an existing draft law on the development of high efficiency cogeneration in Ukraine have been developed.

References 15, tables 2, figures 3.

Keywords: cogeneration, high-efficiency cogeneration, combined heat and power production, heat power plant, heat, power.

1. *Natsionalnyi plan dii z enerhoefektyvnosti na period do 2020 roku*. Skhvaleno Rozporiadzhenniam KМУ № 1228-r vid 25.11.2015 [National action plan on energy efficiency up to 2020. Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine Executive Order No. 1228-p of 25 November

2015] <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15/paran2#n2> (Ukr.)

2. *Alexandra Tudoroiu-Lacavice*. Cogeneration becoming a cornerstone of our future energy system. Presentation at the seminar "From big to small: various power and heat supplying concepts with CHP", Hannover, 24.04.2018

http://files.messe.de/abstracts/85460_uni_Tudoroiu.pdf

3. *Alexandra Tudoroiu-Lacavice, Stane Merse*. COGEN Europe national snapshot survey. Presentation as of 22.03.2016

http://www.cogeneurope.eu/medialibrary/2016/03/31/eaf93a61/2016_03_22%20COGEN%20Europe_Snapshot%20Survey.pdf

4. *Zarubizhnyi dosvid rozvytku system tsentralizovanoho ta avtonomnoho teplo- ta elektropostachannia*. DP "NEK Ukrenenerho" [Foreign experience in the development of centralized and autonomous heat and power supply systems. SE "NEC Ukrenenergo"], 2016 (Ukr.)

<https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/5.-TSentralizovane-ta-avtonomne-teplozabezpechennya.pdf>

5. *Cogeneration Roadmap*, Hungary. D5.1, CODE2, 2014

<http://www.code2-project.eu/wp-content/uploads/2014-12-CODE2-Roadmap-Hungary-final.pdf>

6. *Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku*. Skhvaleno Rozporiadzhenniam KМУ № 605-r vid 18.08.2017 [Energy Strategy of Ukraine until 2035. Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine Executive Order No. 605-r of 18.08.2017] (Ukr.) <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>

7. *Plan zakhodiv z realizatsii etapu "Reformuvannia enerhetychnoho sektoru (do 2020 roku)" Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2035 roku "Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist"*. Zatverdzheno Rozporiadzhenniam KМУ № 497-r vid 06.06.2018 [Action Plan for the implementation of the "Energy Sector Reform (up to 2020)" of Energy Strategy of Ukraine until 2035 "Safety, energy efficiency, competitiveness". Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine Executive Order No. 495-r of 06.06.2018] (Ukr.)

<http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/497-2018-%D1%80>

8. *Plan zakhodiv iz vprovadzhennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky u sferi teplopostachannia do 2020 roku*. Zatverdzheno Rozporiadzhenniam KМУ № 307-r vid 10.05.2018 [Action Plan for the realization of the Concept of the state policy implementation in the field of heat supply till 2020. Approved by Cabinet of Ministers of Ukraine Executive Order No. 307-p of 10.05.2018] (Ukr.)

<http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/307-2018-%D1%80>

9. *Proekt Zakonu Ukrainy "Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy "Pro kombinovane vyrobnytstvo teplovoi ta elektrychnoi enerhii (koheneratsiiu) ta vykorystannia*

skydnoho enerhopotentsialu» shchodo rozvytku vysokoeфекtyvnoi koheneratsii” (№ 7465 vid 28.12.2017) [Draft Law of Ukraine “On Amendments to the Law of Ukraine “On Combined Heat and Power Production (Cogeneration) and Utilization of Waste Energy Potential” for the Development of High-Efficiency Cogeneration” (No. 7465 of 28.12.2017)] (Ukr.)

http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=63282

10. *Directive* 2012/27/EU of 25 October 2012 on energy efficiency

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>

11. *Statystychnyi biuleten* «Postachannia ta vykorystannia enerhii» za 2016 rik. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2017 [Statistical bulletin “Supply and use of energy” for 2016. State Statistics Service of Ukraine, 2017] (Ukr.)

12. *Enerhetychnyi balans* Ukrainy za 2016 rik. Ekspres-vypusk Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy № 506/0/08.4vn-17 vid 20.12.2017 [Energy balance of Ukraine for 2016. Express-issue by State Statistics Service of Ukraine No. 506/0/08.4vn-17 of 20.12.2017] (Ukr.)

13. *Taryfy na vidpusk elektrychnoi enerhii*. NKREKP, 2018 [Electricity tariffs. National Energy and Utilities Regulatory Commission, 2018] (Ukr.)

http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/elektro/taryfy_na_vidpusk-elektro.pdf

14. *Postanova NKREKP* “Pro vstanovlennia taryfiv na vidpusk elektrychnoi enerhii ta vyrobnytstvo teplovoi enerhii PAT “DTEK Donetskoblenerho” VP “Myronivska TES” (№ 1499 vid 28.12.2017 iz zminamy) [The Resolution of the National Energy and Utilities Regulatory Commission “On establishing tariffs for electricity supply and heat production of PJSC “DTEK Donetskoblenerho” SD “Myronivska TPP” (No. 1499 of 28.12.2017 as amended)] (Ukr.) <http://www.nerc.gov.ua/index.php?id=30156>

15. *Dynamika tsin prodazhu elektroenerhii v Optovyi rynok elektroenerhii vyrobnykamy*. DP «Enerhorynok», 2018 [The dynamics of electricity sales prices in the Wholesale Electricity Market by producers. SE “Enerhorynok”, 2018] (Ukr.) <http://www.er.gov.ua/doc.php?f=3995>

Отримано 09.11.2018

Received 09.11.2018

УДК 620.92

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПОХОДЖЕННЯ В УКРАЇНІ. ЧАСТИНА 2

Гелету́ха Г.Г., канд. техн. наук, Желі́зна Т.А., канд. техн. наук, Драгнєв С.В., канд. техн. наук,
Баштовий А.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.9>

Метою роботи є аналіз існуючих передумов та бар'єрів для широкого запровадження виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси в Україні. Розглянуто законодавчі аспекти виробництва брикетів з біомаси, питання стандартизації та сертифікації продукції. Запропоновано рекомендації для прискорення розвитку даного сегменту біоенергетики в Україні.

Целью работы является анализ существующих предпосылок и барьеров для широкого внедрения производства и потребления топливных брикетов из биомассы в Украине. Рассмотрены законодательные аспекты производства брикетов из биомассы, вопросы стандартизации и сертификации продукции. Предложены рекомендации для ускорения развития данного сегмента биоэнергетики в Украине.

Purpose of the work is analysis of existing preconditions and barriers for the wide introduction of the production and consumption of biomass briquettes in Ukraine. The article considers legislative aspects of biomass briquettes production as well as the product standardization and certification issues. Recommendations for the accelerated development of this bioenergy segment in Ukraine are suggested.

Бібл. 15, табл. 2.

Ключові слова: альтернативні види палива, біоенергетика, біомаса, біопаливо, тверде біопаливо, брикети, пелети.

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;
ТУ – технічні умови;

W – вологість.

Метою роботи є аналіз існуючих передумов, рушійних сил і перешкод для широкого запровадження виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси в Україні. **Завдання** роботи полягає у визначенні переваг і перспектив цього процесу, в першу чергу, для побутових споживачів, а також у розробці рекомендацій для створення сприятливих умов для розвитку цього сегменту біоенергетики в Україні. **Методи** дослідження включають збір, критичний аналіз і узагальнення статистичних та фактичних даних. **Результати** виконання першої частини завдання представлені у першій частині статті, інші результати – у даній публікації.

Види брикетів та їх паливні характеристики

Паливні брикети, вироблені з біомаси, являють собою спресовані матеріали циліндричної, прямокутної або будь-якої іншої форми з поперечним розміром не менше 25 мм і довжиною 100...400 мм. Типовий діаметр 60...75 мм, а довжина брикетів зазвичай не перевищує п'ятьох величин діаметру. Стандартних розмірів у даного виду продукту немає.

Брикети характеризуються різноманітністю форм, але загалом, виділяють три основні типи – NESTRO (NIELSEN), RUF та Pini&Kaу, назви яких походять від назв фірм, що виробляють найбільш популярні преси для отримання даних типів брикетів.

Брикети NESTRO (NIELSEN) – довгі циліндричної форми або багатокутного перерізу брикети, переважно,

без внутрішнього отвору, отримані за рахунок застосування високого тиску. Брикети NESTRO виробляють на гідравлічних пресах, а NIELSEN – на ударно-механічних пресах. Брикети даного типу при виробництві мають нескінченну довжину і можуть бути розділені як на «шайби», так і на «поліна». Форму брикету замовляє покупець. Виробничий процес характеризується невисокими вимогами до кваліфікації персоналу і до організації виробництва. Переваги брикетів типу NESTRO (NIELSEN) – невисока собівартість і достатньо висока щільність (1,0...1,15 т/м³). Недоліки – низька вологостійкість (необхідна хороша упаковка) [1, 2].

Пресовані куби-цеглини RUF виробляються на гідравлічних пресах за рахунок високого тиску. Розміри брикету залежать від пухкості вихідної сировини і прикладеного тиску. Виробничий процес характеризується мінімальними вимогами до персоналу і до організації виробництва. Перевагою брикетів RUF є низька собівартість виготовлення. Недоліки: найнижча щільність у порівнянні з іншими типами брикетів (0,75...0,80 т/м³), нестійкість до вологи і до механічних пошкоджень, що негативно впливає на стан біопалива після тривалого транспортування.

Брикети Pini&Kaу мають циліндричну або багатогранну форму з наскрізним отвором всередині. Наявність такого отвору забезпечує кращий рух повітря при горінні біопалива. Брикети даного типу виробляються екструзійно.

дерним способом на механічних (шнекових) пресах шляхом поєднання високого тиску і термічної обробки. Висока температура пресування (250...350 °C) сприяє оплавленню і зміцненню поверхні брикетів, що є важливим для їх транспортування без пошкоджень. Виробничий процес характеризується жорсткими вимогами до вологості сировини (< 8%), необхідністю подрібнення сировини до малих фракцій, значною енергоємністю та потребою у висококваліфікованому персоналі. Переваги паливних брикетів Pini&Kaу: стійкість до механічних пошкоджень та впливу вологи, найвища щільність у порівнянні з іншими типами брикетів (1,1...1,4 т/м³). Недолік – висока собівартість.

На ринку України представлено обладнання широкого діапазону продуктивності, починаючи від 50 кг/год, для виробництва брикетів з біомаси всіх зазначених типів. Приклади такого обладнання і їх порівняльний аналіз представлено в роботі [1].

Щільність є основним фактором, що визначає механічну міцність і водостійкість брикету. Зазвичай вона становить 0,8...1,2 т/м³ при вологості пресованої біомаси 8...14%. Теплотворна здатність брикету залежить від виду сировини, з якого він виготовлений, і від вологості. Типовий діапазон значень нижчої теплоти згорання брикетів з біомаси 16...17 МДж/кг (табл. 1).

Брикет з лушпиння соняшника характеризується високою теплотворною здатністю за рахунок відносно невеликої зольності і наявності олії у їх складі. З іншого боку, через вміст олії такі брикети інтенсивніше забруднюють димоходи сажею при горінні. Деревні брикети мають малу зольність і достатньо високу теплоту згорання. Брикет з соломи поступаються по якості двом попереднім видам через більшу зольність і нижчу теплотворну здатність. Крім того, брикет з соломи мають дещо меншу щільність. З розглянутих в таблиці 1 видів сировини брикет з лушпайки рису мають найнижчу якість (висока зольність, низька теплота згорання).

Важливою перевагою брикетів як палива є сталість температури при горінні протягом кількох годин. Брикет з біомаси можливо спалювати у побутових (15...30 кВт) та невеликих твердопаливних котлах з ручним завантаженням (до 100...150 кВт), які часто вже наявні у населення, закладах бюджетної або соціальної сфери. Також на ринку України представлені автоматизовані котли з бункером (до 200...250 кВт), пристосовані для використання брикетів із біомаси. Брикет меншої щільності (тобто «м'якші» за рахунок пресування вологішою сировиною) можна використовувати у більш потужних котлах із шнековою подачею. Очікується, що шнек, виконаний з міцного металу, буде здатний розламувати такі брикети і забезпечувати їх безперебійну подачу до топки.

В країнах Європи фахівцями було проведено низку досліджень по спалюванню брикетів з біомаси у пічках та побутових твердопаливних котлах, і їх результати є, переважно, позитивними. Так, наприклад, в Німеччині групою компаній було виміряно емісійні характеристики спалювання брикетів з соломи у пічці 6 кВт та твердопаливному котлі з ручним завантаженням 50 кВт, призначеному для дров. Результати дослідження показали, що емісія пилу склала 55...223 мг/м³, що у більшості випадків нижче німецьких норм (150 мг/м³). Емісія NO_x при спалюванні брикетів у котлі трохи перевищила існуючий ліміт у 600 мг/м³, а викиди CO та SO₂ знаходилися в межах національних норм. Було визначено, що температура плавлення золи становить більше 900 °C. За отриманими результатами зроблено висновок про можливість використання брикетів з соломи в існуючих пічках та малих твердопаливних котлах [1].

Групою дослідників з Великобританії, Чехії та Польщі було виконано порівняння рівнів емісії шкідливих речовин при спалюванні деревних брикетів, брикетів з суміші деревини та вугілля, вугілля і кускової деревини у котлі 30 кВт. По викидам CO та пилу бри-

Табл. 1. Типові характеристики брикетів, вироблених з різних видів біомаси [1, 3-6].

Матеріал брикету	Зольність, %	Вологість, %	Нижча теплота згорання, МДж/кг	Щільність, т/м³
Солома	4,0...8,0	6,0...10,0	15,4...15,7	0,70...0,9
Качани, стебла кукурудзи	3,0	7,5	14,1...15,9	0,75...0,92
Стебла соняшника	4,3	6,0...12,0	н.д.	0,85...0,89
Лушпиння соняшника	2,9...3,6	6,0...8,0	18,6...18,9	1,09...1,15
Лушпайка рису	12,0...20,0	5,0...12,0	13,2...13,8	1,0...1,1
Деревна тирса	0,5...1,1	4,0...8,0	17,0...18,9	1,15...1,25
Виноградна лоза	1,5%	н.д.	14,0	н.д.
Очерет	4,0%	н.д.	16,8	1,12
Міскантус	3,1...4,5%	7,5...8,0	17,5...17,7	0,85

н.д. – немає даних.

кети з деревини мають найкращі показники, по SO_2 та NO_2 трохи поступаються показникам при спалюванні кускової деревини (табл. 2) [7]. Огляд результатів деяких інших досліджень представлено в роботі [1].

Законодавчі аспекти виробництва паливних брикетів з біомаси

Нормативно-правова база виробництва брикетів з біомаси прописана в Законі України «Про альтернативні види палива» [8]. Згідно Закону, брикети з біомаси відносяться до твердих біологічних видів палива а також класифікуються як вид альтернативного палива. Законом визначено, що належність палива до альтернативного підтверджується документом про ідентифікацію палива, яке видається уповноваженим органом виконавчої влади в порядку, визначеному КМУ. Біологічні види палива, призначені для реалізації як товарна продукція, підлягають обов'язковій сертифікації відповідно до законодавства.

Виробниками альтернативних видів палива вважаються суб'єкти господарювання всіх форм власності, що виготовляють тверде, рідке та газове паливо з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини. Суб'єкти господарської діяльності, які реалізують свою продукцію, на вимогу покупця надають документ, що підтверджує якість палива та його належність до альтернативних видів палива.

Діяльність у сфері виробництва та використання біопалив може здійснюватися суб'єктами господарювання всіх форм власності відповідно до законодавства України. Суб'єкти господарювання, що використовують різні технології виробництва біопалив, мають рівні права на доступ до ринку біологічних видів палива. Виробники біопалива зобов'язані вести облік виробленого ними біопалива та біокомпонентів у порядку, встановленому законодавством.

Стандарти, якими встановлюються вимоги щодо якості альтернативних видів палива, повинні забезпечувати ефективне та економічне використання енергетичного потенціалу палива. Показники споживчої якості кожного альтернативного виду палива встановлюються у відповідних стандартах. Ці показники мають бути основою для всіх розрахунків щодо альтернативних видів палива (обсяги виробництва та реалізації, техніко-економічні, комерційні та інші показники). Нормативи екологічної безпеки альтернативних видів палива та показники щодо безпеки для здоров'я і праці людей повинні перебувати в межах, встановлених законодавством для традиційних видів палива.

Постановою КМУ «Про порядок видачі свідоцтва про належність палива до альтернативного» [9] визначено, що таке свідоцтво видається Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження у встановленому порядку. Це свідоцтво видається строком на два роки. Держенергоефективності має забезпечити веден-

ня реєстру альтернативних видів палива.

Треба зазначити, що у 2014 р. було скасовано звільнення від ПДВ операцій з продажу біопалив, у тому числі дров, тріски, гранул, брикетів, тому наразі відсутня необхідність обов'язкового отримання свідоцтва про належність палива до альтернативного. Але таке свідоцтво має отримуватися і надаватися за вимогою покупця.

Згідно Закону України «Про ліцензування видів господарської діяльності» [10], виробництво твердих біопалив, у тому числі брикетів, не підлягає ліцензуванню.

Питання сертифікації та стандартизації

Як вже було зазначено, в Україні біопалива, призначені для реалізації як товарна продукція, підлягають обов'язковій сертифікації. Сертифікація – це процедура підтвердження стабільної якості продукції, до якої залучаються відповідно акредитовані органи сертифікації, аудиту і лабораторії. Вона передбачає постійний контроль якості на виробництві і ретельне виконання правил виготовлення, зберігання і транспортування твердого біопалива. Проте, у зв'язку з відсутністю затверджених державних стандартів (за виключенням лушпиння соняшнику), сертифікація не здатна повністю гарантувати належну якість твердого біопалива [11].

Сертифікація тісно пов'язана з питаннями стандартизації. На думку експертів, в Україні необхідне запровадження сертифікації за нормами ENplus, яка відповідає кращим світовим стандартам якості твердого біопалива – EN 14961 та ISO EN 17225. Система сертифікації ENplus базується на ряді європейських стандартів, що стосуються, в першу чергу, покращеного твердого біопалива з деревини.

Для сертифікації пелет та брикетів з агросировини єдиний стандарт в ЄС відсутній, тому з метою забезпечення якості агропелет та брикетів, у європейських країнах використовують стандарти, що прийняті в інших країнах ЄС. Наприклад, у Франції діють стандарти AGRO+, AGRO.

В якості єдиного стандарту для різних видів твердого біопалива у світовій практиці використовується міжнародний стандарт ISO EN 17225. Він вступив у дію у 2014 році і визначає класи якості палива та специфікації для твердого біопалива з сировини і оброблених матеріалів, що мають походження з лісового господарства та розведення лісів, сільського господарства і садівництва, аквакультури [11].

Протягом довгого часу в Україні існував лише один державний стандарт на тверде паливо з біомаси, а саме – з лушпиння соняшника: ДСТУ 7124:2009 «Лушпиння соняшникове пресоване гранульоване. Технічні умови» (уведено в дію 01.01.2012, внесено зміни у 2014 році) [12]. Також в Україні діє Технологічний регламент на виробництво брикетів і гранул паливних з лушпиння

Табл. 2. Результати вимірювання емісії шкідливих речовин при спалюванні деревини та вугілля в котлі потужністю 30 кВт [7].

Речовина	Брикет з деревини (W 9,8%)	Брикет з деревини та вугілля (W 5,4%)	Вугілля (W 3,3%)	Кускова деревина (W 9,8%)
CO, г/ГДж	1760	2140	2990	2400
SO ₂ , г/ГДж	16	110	283	5
NO ₂ , г/ГДж	42	96	162	32
Пил, г/ГДж	39	63	294	116

соняшника [13]. Згідно Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», технічний регламент – нормативно-правовий акт, в якому визначено характеристики продукції або пов’язані з ними процеси та методи виробництва, включаючи відповідні процедурні положення, додержання яких є обов’язковим.

У 2015 році був затверджений ДСТУ 8358:2015 «Брикет з гранули паливної з деревинної сировини. Технічні умови», який набрав чинності 1 липня 2017 року [14]. На брикети з інших видів біомаси державних стандартів ще немає.

Згідно Закону України «Про стандартизацію», національні стандарти застосовуються на добровільній основі, крім випадків, якщо обов’язковість їх застосування встановлена нормативно-правовими актами. Наразі українські виробники брикетів з біомаси користуються, головним чином, власними технічними умовами або орієнтуються на європейські стандарти (у разі експорту продукції в Європу).

Законом «Про стандартизацію» визначено, що технічні умови – це нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинна відповідати продукція, процес або послуга, та визначає процедури, за допомогою яких може бути встановлено чи дотримані такі вимоги. Підприємства, установи та організації мають право у відповідних сферах діяльності та з урахуванням своїх господарських і професійних потреб організовувати та виконувати роботи із стандартизації, зокрема, розробляти, приймати, переглядати, застосовувати, скасовувати прийняті ними технічні умови, а також мають право власності на ці ТУ. Технічні умови, прийняті підприємствами, установами та організаціями, застосовуються на добровільній основі. Наразі в Україні існує кілька десятків ТУ, розроблених підприємствами-виробниками брикетів з різних видів біомаси. Перелік вибраних ТУ наведено в роботі [1].

Треба зазначити, що в Україні вже прийнято ряд стандартів (гармонізованих із європейськими), які стосуються загальних питань якості і методів визначення показників якості твердого біопалива, в тому

числі брикетів. Ці стандарти стосуються методики досліджень та не базуються на основних стандартах, які передбачають технічні, фізичні та екологічні вимоги щодо якісних показників твердого біопалива. Перелік вибраних стандартів наведено в роботі [1].

За думкою фахівців, в Україні є нагальна потреба в імплементації ще 36 європейських стандартів на тверде біопаливо та обладнання, які необхідні для впровадження на підприємствах-виробниках твердого біопалива сучасних систем сертифікації (наприклад, ENplus), захисту прав споживачів твердого біопалива, додержання екологічних норм та критеріїв сталості [15].

Висновки та рекомендації

Брикети з біомаси – вид твердого біопалива, який має велику нішу на біопаливному ринку України і може користуватися достатньо високим попитом, в першу чергу у побутовому секторі для індивідуального опалення. Законодавча база виробництва паливних брикетів з біомаси прописана, головним чином, в Законах України «Про альтернативні види палива» та «Про ліцензування видів господарської діяльності». Одним зі стримуючих факторів розвитку даного сегменту біоенергетики є відсутність достатньої кількості відповідних державних стандартів та надійної системи сертифікації. Вирішення зазначених питань сприятиме підвищенню якості брикетів з біомаси і, відповідно, покращенню їх паливних характеристик. Також рекомендується розробка фахівцями типових ТЕО та бізнес-планів виробництва паливних брикетів з біомаси для демонстрації економічної привабливості цього виду діяльності і її практичної реалізації. Особливий акцент необхідно робити на використанні біомаси сільськогосподарського походження як сировини для виробництва брикетів. Очікується, що позитивний вплив на розвиток виробництва та споживання брикетів з біомаси матиме впровадження в Україні системи електронної торгівлі біопаливом, над створенням якої працюють фахівці ІТТФ НАН України у співпраці з Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 20, 2018
<http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>
2. Г. Гелетуха, С. Драгнєв, П. Кучерук, Ю. Матвєєв. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників агропромислового комплексу). Підготовлено в рамках проекту ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні», 2017
http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/f5/9c/f59c3f7f-8eca-4b6d-94cd-ffda1150f3ae/biofin.pdf
3. О.О. Серьогін, О.О. Осьмак, А.В. Баїта. Фізико-хімічні основи проектування обладнання для термохімічної конверсії сумішей біотехнічних відходів. Вісник НТУ «ХПІ», 2014, №52, с.125-130.
4. J. Kowalczyk, J. Zarajczyk, P. Sobczak et al. The usefulness of briquettes and pellets from selected plant materials for energy purposes. Teka. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2012, Vol. 12, No. 2, p. 311–313.
5. A.E. Daraban, S. Jurcoane, I. Voicea, G. Voicu. Miscanthus giganteus biomass for sustainable energy in small scale heating systems // Agriculture and Agricultural Science Procedia 6 (2015), p. 538-544.
6. O. Urbanovicova, K. Kristof, P. Findura et al. Physical and mechanical properties of briquettes produced from energy plants // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, V. 65, 2017, p. 219-224
https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2017065010219.pdf
7. A.B. Ross, J.M. Jones, S. Chaiklangmuang et al. Measurement and prediction of the emission of pollutants from the combustion of coal and biomass in a fixed bed furnace // Fuel, 2002, № 81, p. 571-582
<http://www.equichannel.cz/data/userfiles/1349325-1-coalBM.pdf>
8. Закон України «Про альтернативні види палива» № 1391-XIV від 14.01.2000 (із змінами)
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>
9. Постанова КМУ «Про порядок видачі свідоцтва про належність палива до альтернативного» №1307 від 5.10.2004 (із змінами)
<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1307-2004-п>
10. Закон України «Про ліцензування видів господарської діяльності» № 222-VIII від 02.03.2015 (із змінами)
<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/222-19>
11. Данчук. Документування найкращих практик застосування біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні. Підготовлено в рамках проекту ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні», 2015
http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/2a/3d/2a3da499-5057-4a5f-8e5b-565a52daf34c/dokumentuvannia_naikrashchikh_praktik_zast_bioenerget_tekhnologii.pdf
12. ДСТУ 7124:2009 «Лушпиння соняшнику пресоване гранульоване. Технічні умови»
http://auek.kpi.ua/Standards_energy/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20EN%207124-2009.pdf
13. М. Коломийченко, С. Апальков, Т. Ігнатенко. Посібник «Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС», 2014 р.
[http://sace.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20\(1\).pdf](http://sace.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20(1).pdf)
14. Наказ ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» № 101 від 21.08.2015
http://www.leonorm.lviv.ua/p/NL_DOC/UA/2015/Nak_101.htm
15. Коломийченко М.В. Дорожня карта з розвитку ринку твердого біопалива України. Підготовлено в рамках проекту ПРООН/ГЕФ «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі в Україні», 2016
http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf

ANALYSIS OF POSSIBILITIES FOR THE PRODUCTION AND CONSUMPTION OF AGROBIOMASS BRIQUETTES IN UKRAINE. PART 2

Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.9>

The purpose of the work is to analyze existing preconditions, driving forces, and barriers for the widespread introduction of the production and use of fuel briquettes from biomass in Ukraine. The task of the work is to determine the advantages and prospects of the process, first of all, for domestic consumers, as well as to develop recommendations for creating a positive environment for the development of this segment of bioenergy in Ukraine. In this part of the paper, the main types of briquettes from biomass and their fuel characteristics are considered. It is shown that density is the main factor determining the mechanical strength and water resistance of the briquettes. Usually, it is 0.8...1.2 t/m³ with a water content of pressed biomass of 8...14%. The calorific value of the briquettes depends on the type of the initial feedstock and on the moisture content. The typical range of the lower calorific value of briquettes from biomass is 16...17 MJ/kg. The legislative aspects of the production of briquettes from biomass, issues of standardization and certification of the products are analyzed. The legislative basis for the production of fuel briquettes from biomass can be found, mainly, in the Laws of Ukraine "On Alternative Fuels" and "On Licensing Types of Economic Activities". It was determined that one of the constraining factors for the development of this segment of bioenergy is the lack of a sufficient number of relevant state standards and the reliable certification system. Solutions to these issues will help to improve the quality of briquettes from biomass and, accordingly, improve their fuel characteristics. It is also recommended that experts should develop standard feasibility studies and business plans for the production of fuel briquettes from biomass to demonstrate the economic attractiveness of this type of activity and its practical implementation. Particular emphasis should be put on the use of biomass of agricultural origin as feedstock for the production of briquettes. It is expected that the introduction of the biofuel electronic trading systems in Ukraine, which is already under development, will have a positive impact on the development of production and consumption of briquettes from biomass.

References 15, tables 2.

Key words: alternative fuel types, bioenergy, biomass, biofuel, solid biofuel, briquettes, pellets.

1. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V.* Analiz mozhlivostei vyrobnytstva ta vykorystannia bryketiv z ahrobiomasy v Ukraini. Analitichna zapyska Bioenerhetychnoi asotsiatsii Ukrainy № 20, 2018 [Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V. Analysis of the possibilities of production and use of briquettes from agro biomass in Ukraine. UABio Position Paper No. 20, 2018]. (Ukr.)

<http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

2. *Geletukha G., Drahnev S., Kucheruk P., Matveev Yu.* Praktychnyi posibnyk z vykorystannia biomasy v yakosti palyva umunitsypalnomusektori Ukrainy (dliapredstavnykiv ahropromyslovoho kompleksu). Pidhotovleno v ramkakh proektu PROON/HEF "Rozvytok ta komertsializatsiia bioenerhetychnykh tekhnolohii u unitsypalnomu sektori v Ukraini" [Practical guide on the use of biomass as a fuel in the municipal sector of Ukraine (for representatives of the agroindustrial complex). Prepared within the UNDP/GEF project "Development and commercialization of bioenergy technologies in the municipal sector in Ukraine"], 2017. (Ukr.)

http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/f5/9c/f59c3f7f-8eca-4b6d-94cd-ffda1150f3ae/biofin.pdf

3. *Serehin O.O., Osmak O.O., Bashta. A.V.* Fyzyko-khimichni osnovy proektuvannia obladnannia dlia termokhimichnoi konversii sumishei biotekhnichnykh vidkhodiv [Physicochemical principles of designing equipment for thermochemical conversion of mixtures of biotechnological waste]. Visnyk NTU «KhPI» [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], 2014, No. 52. P. 125-130. (Ukr.)

4. *J. Kowalczyk, J. Zarajczyk, P. Sobczak et al.* The usefulness of briquettes and pellets from selected plant materials for energy purposes. Teka. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2012, Vol. 12, No. 2, p. 311–313.

5. *A.E. Daraban, S. Jurcoane, I. Voicea, G. Voicu.* Miscanthus giganteus biomass for sustainable energy in small scale heating systems // Agriculture and Agricultural Science Procedia 6 (2015), p. 538-544.

6. *O. Urbanovicova, K. Kristof, P. Findura et al.* Physical and mechanical properties of briquettes produced from energy plants // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, V. 65, 2017, p. 219-224

https://acta.mendelu.cz/media/pdf/actaun_2017065010219.pdf

7. *A.B. Ross, J.M. Jones, S. Chaiklangmuang et al.* Measurement and prediction of the emission of pollutants from the combustion of coal and biomass in a fixed bed furnace // Fuel 81 (2002), p. 571-582

<http://www.equichannel.cz/data/userfiles/1349325-1-coalBM.pdf>

8. *Zakon Ukrainy* “Pro alternatyvni vydy palyva” № 1391-XIV vid 14.01.2000 (iz zminamy) [Law of Ukraine “On Alternative Fuels” No. 1391-XIV of 14.01.2000 (as amended)]. (Ukr.)

<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>

9. *Postanova KМУ* “Pro poriadok vydachi svidotstva pro nalezhnist palyva do alternatyvnogo” №1307 vid 5.10.2004 (iz zminamy) [CMU Resolution “On the procedure for issuing a certificate of a fuel belonging to the alternative fuels” No. 1307 dated 5.10.2004 (as amended)]. (Ukr.)

<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1307-2004-n>

10. *Zakon Ukrainy* «Pro litsenzuvannia vydiv hospodarskoi diialnosti» № 222-VIII vid 02.03.2015 (iz zminamy) [Law of Ukraine “On licensing types of economic activity” No. 222-VIII of 02.03.2015 (as amended)]. (Ukr.)

<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/222-19>

11. *Danchuk I.* Dokumentuvannia naikrashchikh praktyk zastosuvannia bioenerhetychnykh tekhnolohii v munitsypalnomu sektori v Ukraini. Pidhotovleno v ramkakh proektu PROON/HEF “Rozvytok ta komertsializatsiia bioenerhetychnykh tekhnolohii u munitsypalnomu sektori v Ukraini” [“Documenting best practices in the application of bioenergy technologies in the municipal sector in Ukraine”. Prepared within the UNDP/GEF project “Development and commercialization of bioenergy technologies in the municipal sector in Ukraine”], 2015. (Ukr.)

http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/2a/3d/2a3da499-5057-4a5f-8e5b-565a52daf34c/dokumentuvannia_naikrashchikh_praktik_zast_bioenerget_tekhnologii.pdf

12. *DSTU 7124:2009* “Lushpynnia soniashnyku presovane hranulovane. Tekhnichni umovy” [State Standard of Ukraine “Pressed and granulated sunflower husks. Specifications”]. (Ukr.)

http://auek.kpi.ua/Standarts_energy/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20EN%207124-2009.pdf

13. *Kolomyichenko M., Apalkov S., Ihnatenko T.* Posibnyk “Ekonomichne obgruntuvannia dotsilnosti perekhodu na opalennia tverdym biopalyvom. Harmonizatsiia ukrainskykh standartiv ta standartiv ES” [Handbook “The economic justification of the feasibility of switching to solid biofuels heating. Harmonization of Ukrainian standards and EU standards”], 2014. (Ukr.)

[http://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20\(1\).pdf](http://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20(1).pdf)

14. *Nakaz DP* “Ukrainskyi naukovo-doslidnyi i navchalnyi tsentr problem standartyzatsii, sertyfikatsii ta yakosti” № 101 vid 21.08.2015 [An order of the State Enterprise “Ukrainian research and training center of standardization, certification and quality” No. 101 of 21.08.2015]. (Ukr.)

http://www.leonorm.lviv.ua/p/NL_DOC/UA/2015/Nak_101.htm

15. *Kolomyichenko M.V.* Dorozhnia karta z rozvytku rynku tverdoho biopalyva Ukrainy. Pidhotovleno v ramkakh proektu PROON/HEF “Rozvytok ta komertsializatsiia bioenerhetychnykh tekhnolohii u munitsypalnomu sektori v Ukraini” [Road map on the development of the market for solid biofuels in Ukraine. Prepared within the UNDP/GEF project “Development and commercialization of bioenergy technologies in the municipal sector in Ukraine”], 2016. (Ukr.)

http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvytku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf

Отримано 22.08.2018

Received 22.08.2018

УДК 532.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРОТОЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ ЗМІШУВАЧІВ

Макаренко А.А., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.10>

Проведений огляд конструкцій проточних кавітаційних гідродинамічних змішувачів та аналіз ефективності їх дії при обробці складних гетерогенних дисперсних систем, що характеризуються різними фізичними і термодинамічними властивостями. В залежності від типу апарату і конструкції робочих органів пропонуються їх використання у різних галузях промисловості.

Проведенный обзор конструкций проточных кавитационных гидродинамических смесителей и анализ эффективности их действия при обработке сложных гетерогенных дисперсных систем, характеризующихся разными физическими и термодинамическими свойствами. В зависимости от типа аппарата и конструкции рабочих органов предлагаются их использования в различных отраслях промышленности.

An overview of the structures of flow cavitation hydrodynamic mixers and an analysis of their efficiency in the processing of complex heterogeneous disperse systems characterized by different physical and thermodynamic was conducted. Depending on the type of apparatus and the design of the working bodies, they are offered for use in various industries

Бібл. 15, рис. 2.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, інтенсифікація тепломасообміну, сопло Вентурі, проточний кавітаційний змішувач, конфузор, дифузор.

Вступ

Явища кавітації використовуються у різних галузях промисловості для інтенсифікації масообмінних і гідромеханічних процесів при обробленні рідких гетерогенних систем і створенні сучасних енергозберігаючих технологій. Апарати, дія яких заснована на використанні гідродинамічної кавітації представляють собою ефективне обладнання, що прискорює технологічні процеси в рідких середовищах при цьому значно знижуючи питомі витрати енергії, що є **актуальним**.

На сьогодні кавітаційні технології використовуються у енергетиці, машинобудуванні, хімічній і харчовій, целюлозно-паперовій, будівельній та ін. галузях промисловості.

Метою даної статті є дослідження ефективності застосування різних конструкцій проточних кавітаційних змішувачів для обробки рідких гетерогенних дисперсних систем та визначення основних галузей промисловості для їх використання.

Кавітаційні апарати можуть бути ефективними при виконанні таких технологічних процесів, як: змішування рідин, які важко змішуються, розчинення твердих речовин в рідинах, отримання стійких багатокомпонентних високодисперсних емульсій без використання стабілізаторів, диспергування суспензій в системах рідина в рідині, прискорення екстракції і дифузії та багатьох інших. Гідродинамічна кавітація може бути використана в технологіях при виробництві мастильних матеріалів, паливних матеріалів, лаків і фарб, будівельних матеріалів, мийних засобів та ін. [1, 2]

В енергетиці кавітацію застосовують як спосіб от-

римання дешевої теплової енергії, за рахунок виділення енергії при зхлопуванні каверн. Це дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання, збільшити теплову продуктивність, знизити або зовсім виключити застосування кислот, лугів та інших хімічних реагентів, які використовуються, наприклад, для зниження величини електричної напруги при плазмоелектролітичному процесі. [1, 3].

Застосування кавітаційних технологій при отриманні паливних сумішей дозволяє знизити собівартість одержання теплової і електроенергії, зменшити витрати матеріалів і кількість шкідливих викидів в атмосферу. Перспективним напрямком в енергетиці є використання високодисперсних паливних систем [1, 2]. Кавітаційний вплив на мазут дозволяє знизити його в'язкість на 20...30% і збільшити температуру спалаху на 5...10%. Після кавітаційної обробки в мазуті утворюється до 35 % дизельного палива (температура відгону 250...290 °C). Використання якісних вугле-мазутних суспензій дозволяє зменшити витрати мазуту на 20...25 %. Спалювання вугле-мазутних і водо-вугільних суспензій дозволяє знизити шкідливі викиди, утилізувати вугільний шлак, знизити собівартість одержання теплової та електричної енергії. При спалюванні водо-мазутних емульсій отримують суттєвий економічний ефект, підвищення ККД на 3...5 % і зниження емісії забруднюючих речовин (СО, сажі, оксидів азоту, бензопірену та інших канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів) в атмосферу. Найбільший економічний ефект і одночасне зниження газових викидів забезпечує додавання в паливо 10...15% води, а найбільший еко-

логічний ефект в частині утилізації забруднених органічними продуктами вод реалізується при рівні водної фази до 50 %. Таким чином забезпечується можливість спалювання некондиційних високов'язких і обводнених мазутів, а в якості водної фази з'являється можливість використання забруднених промислових стоків підприємств. [2, 3, 4].

Експериментальні дослідження показали, що нафта, оброблена в кавітаційному генераторі, починає переганятися під атмосферним тиском при температурі нижче на 10...15 °С, ніж необроблена нафта, 50% необробленої нафти переганяється при температурі 328 °С, а 50% обробленої нафти переганяється при температурі 265°С під атмосферним тиском, що нижче на 63 °С [4, 5].

Кавітаційний вплив в машинобудівній промисловості дозволяє швидко і ефективно очищувати елементи деталей, агрегатів і систем мобільних машин різного призначення від забруднення, яке здебільшого представляє собою суміші твердих дрібних частинок, продуктів корозії і окислів із полімеризованими залишками масел, жирів олів, нагару тощо. Проведені дослідження показали, що запропонований спосіб очищення має високу ефективність, простоту, низьку собівартість [5, 6].

Ефективним є використання кавітаційних технологій для отримання наноструктур і наноматеріалів. За рахунок впливу на матеріал ультразвукової або гідродинамічної кавітації досягається значне збільшення продуктивності процесу їх отримання і зниження питомих витрат енергії на одиницю продукції [1, 2, 7].

В хімічній промисловості кавітаційний вплив допомагає підвищити ефективність окисно-відновних реакцій в рідині використовуючи енергію каверн, які утворюються при кавітації для підсилення потужності електричного розряду [2, 5].

На даний час кавітаційні ефекти широко використовуються як спосіб для дезінфекції, стерилізації та аерації води та водних систем. Кавітаційний вплив дозволяє провести якісне знезараження природних і стічних вод без використання хімічних реагентів і широко застосовується в системах господарського, питного та промислового водопостачання, а також для знезараження каналізаційних стоків переробних підприємств [7, 8].

В харчовій промисловості кавітаційний вплив на рідину дозволяє отримати високоякісні харчові і біологічно активні розчини, екстракти, емульсії, суспензії, наприклад при виробництві молочних продуктів, майонезів і соусів, фруктових і овочевих пюре, паст і соків [1, 5].

При виробництві молока кавітаційний вплив підвищує ефективність його гомогенізації і пастеризації, зменшує кількість мікроорганізмів. Така обробка мо-

лока при температурі 70 °С дозволяє знизити загальну кількість мікроорганізмів в 103...105 разів. При цьому відбувається повне знищення вегетативних форм дріжджів і плісняви, а також патогенних мікроорганізмів групи кишкової палички і нейтралізація фосфатази. Таким чином, така обробка дозволяє збільшити терміни зберігання молока при температурі 9...12 °С в нестерильній упаковці до не менше 5 діб без ознак його скисання. Також кавітація використовується для підготовки води, яка використовується при відновленні молока з сухого знежиреного залишку [9].

Кавітаційний вплив ефективно використовувати для інтенсифікації процесів розчинення і екстрагування біологічно активних речовин, наприклад, пектину, каротину, таніну і інших цінних речовин. Кавітація змінює властивості водних розчинів і гідрогелів полісахаридів: крохмалю, амілопектину, альгінату натрію, хітозану і ін. Внаслідок її використання збільшується вихід сухих речовин в екстрактах і досягається однорідність фракційного молекулярного складу отримуваних розчинів і екстрактів із сировини рослинного і тваринного походження [3, 5]. Застосування кавітаційних технологій дозволяє підвищити якість м'яких лікарських форм суспензійного і емульсійного типів [10].

Різні конструкції кавітаційних апаратів дозволяють отримати різні форми кавітації, різні способи її отримання або їх поєднання в залежності від призначення і галузі використання.

Принцип роботи проточних кавітаційних апаратів заснований на нестаціонарності потоків рідини і на активних гідродинамічних ефектах впливу на оброблювані речовини. Даний тип апаратів призначений для структурних перетворень рідини на мікро- і нанорівні з метою зміни її фізико-хімічних властивостей, інтенсифікації масообмінних і гідромеханічних процесів. Обробка рідини в кавітаційних апаратах здійснюється за рахунок локального імпульсного багатofакторного впливу: вихроутворення, мікромасштабних пульсацій тиску, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і нелінійних гідроакустичних ефектів. Кавітаційний апарат здійснює перетворення енергії низької концентрації в енергію високої локальної концентрації в нестійких точках структури речовини. Просторова і тимчасова концентрація енергії дозволяє отримати велику потужність імпульсного енергетичного впливу, зробити енергетичне накачування, вивільнити внутрішню енергію речовини, ініціювати численні квантові, каталітичні, ланцюгові, мимовільні, лавиноподібні і інші енергонасичені процеси [2].

Особливістю апаратів є невеликі габарити при високій продуктивності. Відмінні риси даного типу обладнання – це забезпечення безперервності хіміко-технологічного процесу і його висока інтенсифікація, можливість реалізації значних величин деформацій

і напружень зсуву, інтенсивний гідродинамічний і кавітаційний вплив, що обумовлює високу якість змішування компонентів, інтенсифікацію дифузійних процесів, простоту і надійність апаратурного оформлення. Економічна ефективність застосування гідродинамічних кавітаційних апаратів обумовлена низькою металоємністю обладнання, невисокими затратами на обслуговування і експлуатацію в порівнянні з ємнісними апаратами з мішалками [1, 2].

Форма виконання, конструкція апарату і величина тиску в робочій камері впливають на ефекти кавітації і, таким чином, на ефективність обробки. Основою великої кількості відомих проточних кавітаційних змішувачів (ПКЗ) є сопла Вентурі. Виникнення явища кавітації досягається за рахунок створення різкого розширення або звуження каналу (рис. 1), за рахунок зміни розмірів і конфігурацій отворів, що викликають потужні кавітаційні ефекти Ці ефекти впливають на дисперсну фазу рідини і сприяють інтенсивному подрібненню і гомогенізації. Форма обтічних або погано обтічних елементів змушує потоки рідин рухатися з різними швидкостями, зростаючими в міру віддалення від поверхні цих елементів, що призводить до відносного руху шарів, вихреутворення і кавітації [1, 2, 5].

Такі апарати мають значну економічність. Їх робота при певних умовах протікає в нестационарному режимі, що підвищує ефективність диспергування і емульгування.

Профілі виконання конфузора і дифузора можуть бути різними. Для отримання найменшого тиску на

виході з сопла велике значення надається профілю і куту розкриття дифузору. Основні різновиди профілів трубки Вентурі, що найчастіше використовуються наведені на рис.1.

Профіль виконання сопла (рис.1 а) відповідає класичному профілю трубки Вентурі. Він дозволяє змінювати кут розкриття дифузору. Профіль виконання сопла (рис.1 б) виконаний із дифузorzом у вигляді напівсфери. Сопло з профілем (рис.1 в) є спрощеним варіантом профілю (рис.1 б).

На сьогодні описано значну кількість модифікацій проточних кавітаційних змішувачів, які в основному відрізняються формою кавітатора. В основі великої кількості відомих в даний час апаратів лежить загальний принцип конструкції пристрою, який описаний в авторському свідоцтві СРСР №294897. Даний змішувач був розроблений і випробуваний в 1971 р., а потім запатентований в США, Великобританії, Франції, Японії та інших країнах Європи [2].

Варіанти виконання принципової схеми апарату зображена на рис. 2. В найпростішому вигляді він представляє собою послідовно з'єднані між собою конфузори 1, проточну камеру 2 і дифузори 3. В проточній камері 2, яка має прямокутну форму перерізу, перпендикулярно до її осі встановлено кавітатор 4 (рис. 2. а), який створює місцеве звуження каналу проточної камери. В більш складному виконанні (рис.2 б) можливе використання декілька кавітаторів, які встановлені в один або більше рядів [2, 4].

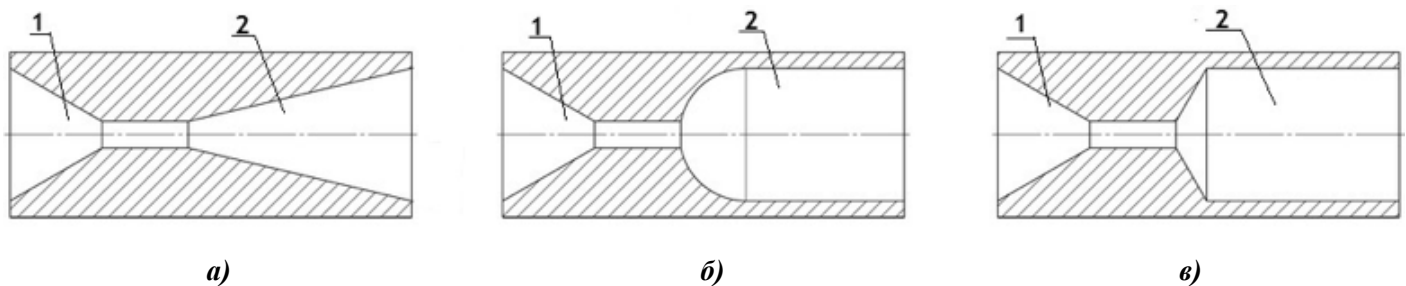


Рис. 1. Варіанти виконання ПКЗ з дифузорами і конфузорами: 1 – звуження каналу; 2 – розширення каналу.

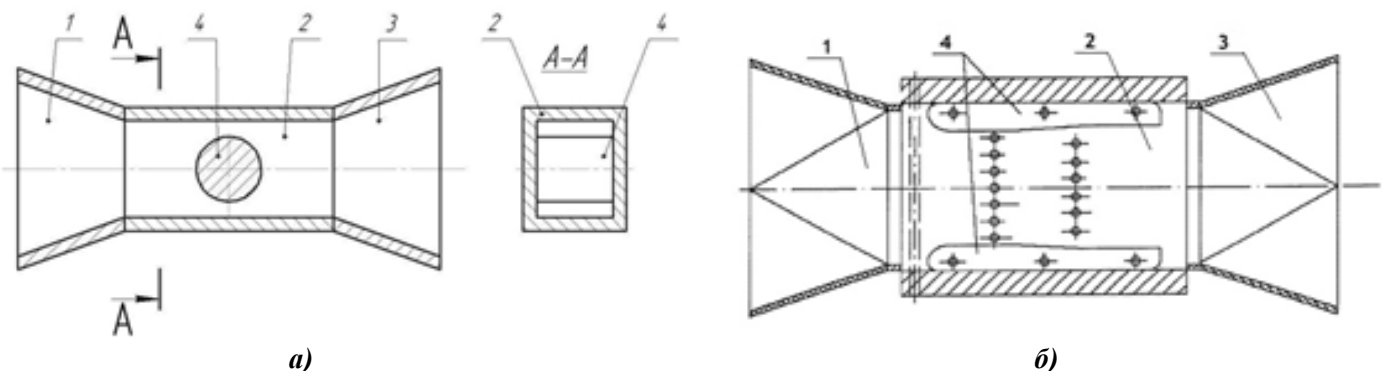


Рис. 2. Варіанти виконання проточного кавітаційного змішувача з встановленим кавітатором:

1 – конфузори; 2 – проточна камера; 3 – дифузори; 4 – кавітатор.

Змішувач працює наступним чином. Потік оброблюваних компонентів подається додатковим насосом зі швидкістю 1...3 м/с у конфузори. В конфузори, за рахунок стиснення, швидкість потоку зростає до 10...20 м/с і надходить в проточну камеру 2, обтікаючи кавітатор 4. За кавітатором, в результаті місцевого зниження тиску, утворюються кавітаційні каверни і бульбашки, які зносяться в зону підвищеного тиску, де зхлоплюються, здійснюючи динамічний вплив на оброблювальне середовище. В дифузори 3 швидкість потоку знижується до необхідної по умовам транспортування.

Поширеними елементами для створення нестійкості в потоці рідини в конструкціях статичних змішувачів є гвинтові елементи або тангенціальне введення потоку рідини в робочу камеру (рис. 3). Відповідно до закону збереження енергії, рідина прагне пройти робочу камеру за найкоротшим шляхом. Цьому перешкоджають гвинтові напрямні, що призводить до підвищення зсувних зусиль в потоці, зриву вихорів при обтіканні верхньої частини потоку рідини спіральною навівки і її турбулізації. Гвинтові елементи сприяють утворенню вихорів всього потоку рідини, що протікає через змішувач і підсилюють кавітаційні і вихрові ефекти (рис. 3 а) [3].

Для здійснення процесу гомогенізації компонент, що змішуються, проходить по трубі з гвинтовими елементами. Потік рідини, огинаючи нерухомі елементи, безперервно поділяється на кілька потоків, збільшуючи тим самим поверхню розподілу компонентів і їх дисперсність. Потрібна ступінь гомогенізації суміші регу-

люється числом елементів (рис. 3 б).

Ефективними елементами статичних змішувачів є перегородки з отвором (отворами) (рис. 4) [8]. Перегородка може бути виконана у формі диска, в якому є кілька каналів для проходження рідини. Канали рівномірно розподілені на робочій поверхні диска і можуть мати різну форму (рис. 4 а), різний розмір і різні кути розкриття (рис. 4 б). При проходженні рідини через отвори в диску в потоці рідини виникають вихроутворення, відривні течії і кавітація. Дані ефекти впливають на частки рідини і сприяють їх інтенсивному подрібненню і гомогенізації, зриву прикордонних шарів на частинках.

Тенденції розвитку конструкцій кавітаційних пристроїв характеризуються прагненням підвищити їх продуктивність, ефективність і інтенсивність диспергування, знизити питомі енерговитрати на обробку. Так для регулювання інтенсивності кавітаційного поля деякі змішувачі оснащені вакуумною системою. В інших випадках, для створення поля з підвищеною інтенсивністю, передбачені додаткові конструктивні елементи, які є по суті допоміжними кавітаторами (рис. 2. б, рис. 3 б). Відомі також ПКЗ, які мають декілька кавітаторів, які утворюють решітку в проточній камері, перпендикулярно її поздовжній осі [11]. Особливостями інших змішувачів є наявність другого ряду кавітаторів (рис. 2 б), деякі мають еліптичну форму і встановлені з можливістю обертання навколо своєї осі на 90°.

Для інтенсифікації перемішування на поверхні кавітатора в деяких конструкціях виконана насічка (рис 5 а), а в інших пропонується покриття кавітатора

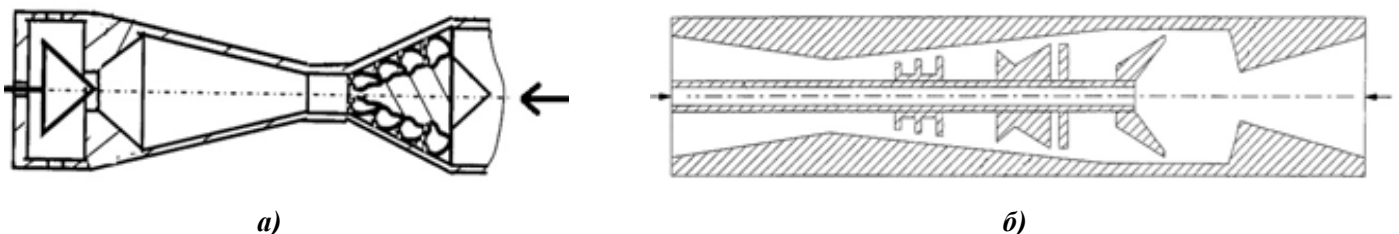


Рис. 3. Варіанти виконання ПКЗ з гвинтовими елементами.

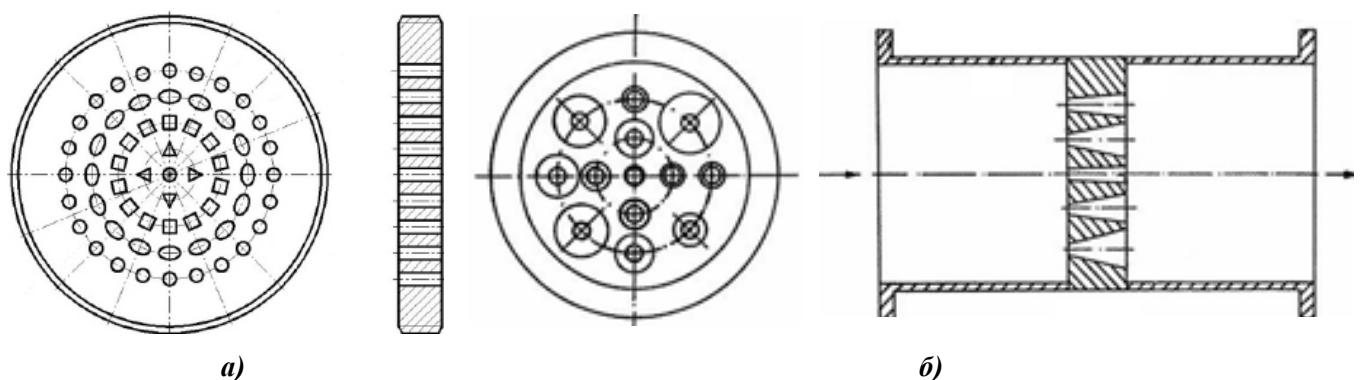


Рис. 4. Варіанти виконання перегородки з каналами.

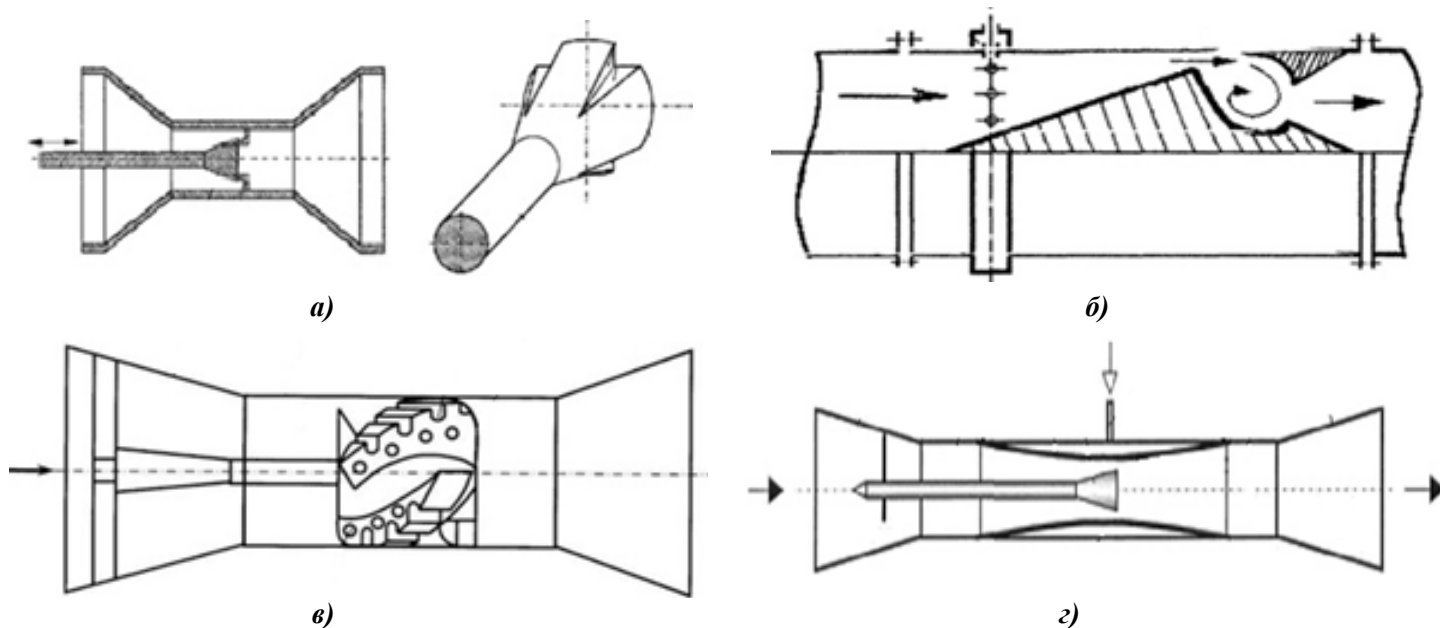


Рис. 5. Варіанти виконання ПКЗ з різними конструктивними особливостями.

шаром еластичного матеріалу. Для підвищення ерозійної активності кавітаційного поля в деякі пристрої встановлені пружно еластичні елементи і з'єднані з робочим контуром за допомогою гнучких трубопроводів [12].

Існує ряд ПКЗ, в яких використовується циліндрична проточна камера. Один з перших змішувачів представляє собою камеру трубу з встановленим в ній коаксіально кавітатором каплевидної, круглої або складної трикутної форми (рис. 5 б), роль конфузора в даній конструкції виконує дросель [7]. В ПКЗ даного типу для інтенсифікації процесу кавітаційної обробки також використовується решітки кавітаторів, розташовані послідовними рядами [4, 11].

Найбільшого розповсюдження отримали кавітатори з плавними обводами, виконані у вигляді стержнів круглого перерізу і еліпсів, а також каплеподібних і шароподібних тіл (рис. 5 г) [13].

В ряді інших конструкцій використовуються погано обтікаючими формами, виконані у вигляді трапецій, клинків, конусів, суперкавітуючих крильчаток, пластин, дисків (рис. 2 б, рис 5 в) [14, 15]. Також існує група апаратів, в яких роль кавітаторів виконує струмінь рідини, яка направлена назустріч потоку, що подається (рис. 3 б).

Висновки

Всі способи гідродинамічної кавітації дозволяють проводити обробку великих обсягів рідинних багатокомпонентних середовищ в потоці і використовуються для інтенсифікації енерговитратних промислових процесів.

Кавітаційні апарати представляють собою обладнання нового покоління, що призначені для структурних

перетворень рідини на мікро- і нанорівні з метою зміни її фізико-хімічних властивостей, а також інтенсифікації масообмінних і гідромеханічних процесів. Ці апарати розрізняються за такими характерними ознаками, як тип конструкції всього апарату і його робочих органів, а також способом подачі або видалення газової фази. Їх використання є ефективним при виконанні таких технологічних процесів, як: змішування рідин, які важко змішуються, розчинення твердих речовин в рідинах, отримання стійких багатокомпонентних високодисперсних емульсій без використання стабілізаторів, диспергування суспензій в системах рідин в рідині, прискорення екстракції і дифузії, отримання нано- та мікросуспензій та багатьох інших.

ЛІТЕРАТУРА

1. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов - Вестник ТГТУ, 2008. Т.14, № 4. С. 861 – 869с.
2. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теоретические основа производства, расчеты и конструкция кавитационных теплогенераторов) Часть II. Киев: АО «ОКО», 2000. 898 с.
3. Кавитатор: пат. 2516638 Российская Федерация, МПК В05В1/34 (2006.01). № 2012155933/05; заявл. 21.12.2012, опубл. 20.05.2014.
4. Гидродинамический кавитационный реактор: пат. 84256 Российская Федерация, МПК В01F5/00 (2006.01). № 2008109717/22; заявл. 17.03.2008, опубл. 10.07.2009.
5. Кавітаційний змішувач проточного типу: пат.

11842 Україна, МПК(2006) B01F 5/00. № u200506265; заявл. 24.06.2005; опубл. 16.01.2006, бюл. № 1

6. Тарасенко Т.В, Зайончковський Г.Й. Очищення елементів гідроапаратури за допомогою кавітаційних технологій. Technology and production reserves №2/2(10), 2013. С 7-10

7. Способ получения наночастиц серебра: пат. 2448810 Российская Федерация, МПК B22F9/24, B82B3/00. № 2011113035/02; заявл. 05.04.2011; опубл. 27.04.2012.

8. Кавітаційний змішувач: пат. 1398 Україна, МПК(2006) B01F 5/00. № 93250341; заявл. 02.02.1993; опубл. 25.03.1994, бюл. № 1.

9. Матияцук А.М., Матияцук О.В. Використання ефектів кавітації для оброблення рідких середовищ. Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2013. Доклад/ Технические науки , Технологии продовольственных товаров. SWorld. 18-29 June 2013

10. Предварительная дисперсия: пат. 2007120349 Российская Федерация, МПК B01F3/00. № 2007120349/15; заявл. 31.05.2007; опубл. 10.12.2008

11. Кавітаційний змішувач: пат. 108597 Україна, МПК(2016.01) B01F 3/00, B01F 5/00. № u201600326; заявл. 15.01.2016; опубл. 25.07.2016, бюл. № 14

12. Кавітаційний змішувач: пат. 41126 Україна, МПК(2009) B01F 5/00. № u200812866; заявл. 04.11.2008; опубл. 12.05.2009, бюл. № 9

13. Кавітаційний змішувач: пат. 106510 Україна, МПК(2016.01) B01F 3/00. № u201511177; заявл. 13.11.2015; опубл. 25.04.2016, бюл. № 8

14. Кавітаційний апарат: пат. 52910 Україна, МПК(2009) B01F 3/00, D21B 1/00. № u201004377; заявл. 14.04.2010; опубл. 10.09.2010, бюл. № 17

15. Multi-chamber supercavitation reactor: pat. US 2007/0189114 A1 USA, Int. Cl. B01F 5/08, B01J 19/26. № 11/679,665, 27.02.2007; Pub, date 16.08.2007

RESEARCH OF THE APPLICATION EFFICIENCY OF DIFFERENT CONSTRUCTIONS OF FLOW CAVITATION MIXERS

Makarenko A.A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.10>

The material which is accumulated for today about the application of hydrodynamic cavitation in technological processes makes it possible to determine the perspective areas of its use - in the processes of mass transfer, mixing, dissolution, dispersion and emulsification in the processing of liquid heterogeneous systems and the creation of modern energy-saving technologies.

The purpose of this article is to study the effectiveness of the use of different designs of flow cavitation mixers for the treatment of liquid heterogeneous disperse systems and to identify the main industries for their use.

Cavitation apparatus can be effectively used in performing such technological processes as mixing difficult to mix liquids, dissolving solids in liquids, obtaining stable, multicomponent high dispersion emulsions without using of stabilizers, dispersing suspensions in liquid-liquid systems, accelerating extraction and diffusion, and many others. Hydrodynamic cavitation can be used in technologies to produce lubricants, fuel materials, varnishes and paints, building materials, detergents, etc.

Different designs of cavitation devices allow to obtain different forms of cavitation, different ways of obtaining it or their combination, depending on the purpose and field of use. Apparatus whose action is based on the use of hydrodynamic cavitation represent an effective equipment that accelerates technological processes in liquid media while significantly reducing the specific energy consumption.

The structures of hydrodynamic cavitation devices provide multiple rearrangements of the velocity field and change the direction of fluid flow and mix components. The main feature of the devices is small dimensions with high performance. Distinctive features of this type of equipment are ensuring the continuity of the chemical-technological process and its high intensification, the possibility of realizing large quantities of deformations and strain of displacement, intensive hydrodynamic and cavitation effects, which results in high-quality mixing of components, intensification of diffusion processes, simplicity and reliability of hardware design. The economic efficiency of the application of hydrodynamic cavitation apparatus is

determined by the low metal capacity of the equipment, low maintenance and operation costs compared with capacitive mixing equipment.

References 15, tables 5.

Key words: hydrodynamic cavitation, intensification of heat and mass transfer, Venturi nozzle, flow cavitation mixer, confuser, diffuser.

1. *Promtov M.A.* [Prospects of application of cavitation technologies for intensification of chemical-technological processes] *Vestnik TSTU* [Transactions of the TSTU], 2008. V.14, No. 4. P. 861–869 (Rus)

2. *Fedotkin I.M., Gulyy I.S.* [Cavitation, cavitation technology and technology, their use in industry (theoretical basis of production, calculations and design of cavitation heat generators) Part II.] Kiev: JSC "OKO", 2000. 898 p. (Rus)

3. *Cavitator*: Pat. 2516638 Russian Federation, IPC B05B1/34 (2006.01). No. 2012155933/05; Dec 21, 2012, Publ. 20/05/2014 (Rus)

4. *Hydrodynamic cavitation reactor*: Pat. 84256 Russian Federation, IPC B01F5/00 (2006.01). No. 2008109717/22; March 17, 2008, publ. July 10, 2009 (Rus)

5. *Cavitation mixer of flowing type*: pat. 11842 Ukraine, IPC (2006) B01F 5/00. No. u200506265; 24.06.2005; publ. Jan 16, 2006, bul. No.1 (Ukr)

6. *Tarassenko T.V., Zayonchkovsky G.Y.* [Purification of elements of gidroaparaturi for additional technology]. Technology and production reserves No 2/2 (10), 2013. P. 7-10 (Ukr)

7. *Method for obtaining silver nanoparticles*: Pat. 2448810 Russian Federation, IPC B22F9/24, B82B3/00. No. 2011113035/02; May 04, 2011; publ. April 27, 2012 (Rus)

8. *Cavitation mixer*: pat. 1398 Ukraine, IPC (2006) B01F 5/00. No. 93250341: Febr. 02, 1993; publ. March 25, 1994, No. 1 (Ukr)

9. *Matiyschuk A.M., Matyaschuk O.V.* [Use of cavitation effects to treat liquid media]. Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education 2013. Report. Technical sciences, Technologies of food products. SWorld 18-29 June 2013 (Ukr)

10. *Preliminary dispersion*: Pat. 2007120349 Russian Federation, IPC B01F3/00. No. 2007120349/15; May 31, 2007; publ. December 10, 2008 (Rus)

11. *Cavitation mixer*: pat. 108597 Ukraine, IPC (2016.01) B01F 3/00, B01F 5/00. No. u201600326. January 15, 2016; publ. 07/25/2015, No. 14 (Ukr)

12. *Cavitation mixer*: pat. 41126 Ukraine, IPC (2009) B01F 5/00. No. u200812866; November 04, 2008; publ. May 12, 2009, No. 9 (Ukr)

13. *Cavitation Mixer*: Pat. 106510 Ukraine, IPC (2016.01) B01F 3/00. No. u201511177; November 13, 2015; publ. April 25, 2014, No. 8 (Ukr)

14. *Cavitation Apparatus*: Pat. 52910 Ukraine, IPC (2009) B01F 3/00, D21B 1/00. No. u201004377; April 14, 2010; publ. October 09, 2010, No. 17 (Ukr)

15. *Multi-chamber supercavitation reactor*: Pat. US 2007/0189114 A1 USA, Int. Cl B01F 5/08, B01J 19/26. No. 11 / 679,665, February 27, 2007; Pub, date 16.08.2007

Отримано 25.10.2018

Received 25.10.2018

УДК 620.92

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З АГРОБІОМАСИ В УКРАЇНІ

Гелету́ха Г.Г., канд. техн. наук, Желі́зна Т.А., канд. техн. наук, Драгнєв С.В., канд. техн. наук, Баштовий А.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.11>

Метою роботи є виконання попереднього техніко-економічного обґрунтування типових проектів з виробництва та споживання брикетів з агробіомаси в Україні. Розглянуто існуючі в країні успішні приклади, визначено пріоритетні види відповідних проектів, оцінено основні технічні та економічні показники кількох типових проектів.

Целью работы является выполнение предварительного технико-экономического обоснования типичных проектов производства и потребления брикетов из агrobiомассы в Украине. Рассмотрены существующие в стране успешные примеры, определены приоритетные виды соответствующих проектов, оценены основные технические и экономические показатели нескольких типичных проектов.

Purpose of the work is prefeasibility study of some typical projects on the production and consumption of agribiomass briquettes. Existing successful examples of such projects are considered, priority project types are determined, main technical and economic indexes of several typical projects are assessed.

Бібл. 4, табл. 2.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, біоенергетика, біомаса, біопаливо, тверде біопаливо, брикети.

ПРООН – програма розвитку Організації Об’єднаних Націй;

ПГ – природний газ;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю розвитку відновлюваної енергетики в Україні як інструменту для скорочення споживання дорогих викопних палив. Тверді біопалива можуть виступати в ролі прямих заміників викопних палив при виробництві теплової енергії. Особливу увагу необхідно приділити розвитку виробництва і використання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження з огляду на існуючі передумови та потенційні переваги цього напрямку.

Огляд основних типів брикетів з біомаси, можливих видів сировини та вимог до неї, а також аналіз законодавчої бази виробництва паливних брикетів з біомаси проведено в роботах [1, 2]. **Метою** даної роботи є виконання попереднього техніко-економічного обґрунтування типових проектів з виробництва та споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні. **Завдання** роботи полягає в аналізі і узагальненні отриманих результатів ТЕО. **Методи дослідження** включають огляд існуючих в Україні успішних прикладів виробництва та використання паливних брикетів з біомаси, визначення пріоритетних видів відповідних проектів, оцінку основних технічних та економічних показників кількох типових біоенергетичних проектів. **Результати** роботи дають змогу зробити висновок про

доцільність або недоцільність реалізації певних видів проектів у даному сегменті біоенергетики.

Огляд прикладів успішних проектів з виробництва та використання паливних брикетів з біомаси в Україні

Виробництво та використання паливних брикетів з біомаси є важливим і перспективним сегментом розвитку біоенергетики в Україні з огляду на ті економічні, екологічні та соціальні вигоди, які він може дати. Брикети виготовляються з доступної місцевої біомаси, яка являє собою відновлюване джерело енергії і є CO₂-нейтральною. Запровадження бізнесу із виробництва і продажу брикетів сприяє підвищенню енергетичної незалежності регіонів, створенню нових робочих місць у сільській місцевості і розвитку місцевої економіки.

На сьогодні в Україні вже існують приклади успішної реалізації проектів з виробництва та споживання паливних брикетів з різних видів біомаси, деякі з них розглянуто нижче. Ці приклади включають як проекти, впроваджені за грантові кошти, так і бізнес-проекти [3].

Завод із виробництва брикетів з соломи збудований і запущений у 2016 р. у с. Кінські Роздори Запорізької області у рамках програми ЄС/ПРООН з розвитку

сільської місцевості. Жителі села розробили бізнес-план, організували кооператив і звернулися в офіційне представництво програми в області. Як результат, на реалізацію проекту було виділено 80% від потрібних інвестицій, інше вклав кооператив. Загальні витрати на запуск брикетної лінії з ударно-механічним пресом склали близько 750 тис. грн. Потужність виробництва по готовій продукції становить 250...300 кг/год. Брикети формують компактні, щоб помістилися у будь-який котел, піч або камін. Споживачем брикетів є місцеве населення, у будинках якого переважає пічне опалення. Члени кооперативу (наразі 50 чоловік) отримують брикети за собівартістю. У перспективі кооператив має намір виготовляти брикети з лушпиння соняшника, стебел бур'янів та сухих гілок використаних новорічних ялинок.

Пілотний для півдня Одеської області міні-завод з виробництва брикетів з біомаси в с. Кам'янка (Ізмаїльський район) розпочав роботу в кінці 2016 р. Головним інвестором проекту виступило ТОВ «Ізмаїльська виробнича компанія». Потужність виробництва складає 2 тис. т продукції на рік, основний вид сировини – солома. Існують також плани по виробництву брикетів з виноградної лози та біомаси від обрізки садових дерев. Міні-завод є модельним підприємством, на якому місцевими фахівцями відпрацьовані технології брикетування різних видів біомаси, у тому числі і виноградної лози, яка є специфічною сировиною для брикетів, що потребує особливого обладнання для подрібнення перед пресуванням. Наразі вироблені брикети відпускаються місцевому населенню, в перспективі можливе постачання на об'єкти соціальної сфери (басейн, школа). За оцінками керівника проекту, потреба району у паливних брикетах в найближчому майбутньому може досягти 5 тис. т/рік.

У квітні 2018 року в рамках проекту ЄС «uP_running – Стале використання деревної біомаси від обрізки і викорчовування багаторічних сільськогосподарських насаджень» програми Горизонт 2020 [4] на міні-завод в с. Кам'янка було доставлено пробну партію минулорічної виноградної лози. Метою цього заходу було вироблення брикетів з лози і демонстрація можливості їх спалювання в існуючому твердопаливному котлі. Сировина була подрібнена і перероблена на ударно-механічному пресі продуктивністю 350 кг/год у брикети типу NIELSEN. Пробне спалювання біопалива у котлі центру первинної медико-санітарної допомоги м. Болград підтвердило хороші паливні характеристики брикетів з виноградної лози.

У лютому 2016 р. ТОВ «Світанок» впровадило брикетувальну лінію для соломи у с. Непедовка Вінницької області. Інвестиції в польське обладнання компанії ASKET склали 5,6 млн. грн. Обладнання працює у дві зміни, потужність по готовій продукції – до 5 т за зміну. Ще одна брикетувальна лінія у Вінницькій області з аналогічним обладнанням була запущена у с. Обухів на базі фермерського господарства «Вищеольчедаївське» у липні 2017 р. На виробництві працюють 6 робітників у 2 зміни. Брикетами забезпечуються обласні об'єкти соціальної сфери.

Фермерське господарство «АгроК» (Миколаївська область) виробляє брикети з власної соломи зернових культур та інших рослинних відходів. Для виробництва використовується обладнання польської компанії ASKET. Поточна потужність брикетувальної лінії невелика – 90 кг/год, але існують плани по її збільшенню до 160...180 кг/год. Брикетувальна лінія може працювати при температурі оточуючого середовища не нижче 5 ЯС. Запасу власної сировини фермерського господарства вистачає на рік безперервної роботи. Брикети продаються споживачам в сусідні сіла, більшість яких є негазифікованими.

Перша лінія з брикетування зернових відходів від очищення олійних культур була встановлена на підприємстві ТОВ «Колосовський елеватор» агрохолдингу «Нібулон» (Миколаївська область) в кінці 2017 р. Перед брикетуванням з сировини віджимається олія в процесі короткої термічної обробки в сушарці, яка працює на біопаливі власного виробництва. Паливні брикети використовуються у твердопаливних котлах філіалів Нібулону «Новоодеський», «Прибужановський», «Баштанський», «Кам'янець-Подільський». Наразі розглядається можливість впровадження лінії з брикетування зернових відходів в одному з філіалів Нібулону у Вінницькій області.

Мешканці с. Лосятин Тернопільської обл. об'єдналися у два кооперативи, що займаються вирощуванням малини та суниці. Згодом кооператив «Ягідний край» трансформувався у енергетичний – відходи вирощування малини (обрізані стебла), які раніше просто спалювалися на полях, з початку 2017 року використовуються для виробництва паливних брикетів. Впровадження брикетувальної лінії було фінансово підтримано проектом ЄС/ПРООН. Члени кооперативу купують паливні брикети по собівартості.

У м. Вилкове Одеської області компанія «Еко-Дельта» з 2014 року виробляє брикети з відходів очерету. Потужність лінії – 400 кг/год. Сировину для брикету-

вання постачають місцеві підприємства, які займаються заготівлею очерету. Від діяльності дев'яти таких фірм щорічно утворюється майже 300 т відходів. Брикети використовуються для опалення адміністративних будівель, а також реалізуються для потреб місцевого населення. Брикетувальну лінію було впроваджено в рамках реалізації україно-румунно-молдавського проекту «Адаптація дельти Дунаю до кліматичних змін шляхом інтегрованого управління водними і земельними ресурсами», профінансованого Євросоюзом.

ТЕО проектів з виробництва та споживання брикетів з агробіомаси в Україні

Для умов України можна запропонувати кілька перспективних варіантів виробництва та використання паливних брикетів з біомаси. Типові варіанти проектів з виробництва даного виду біопалива наступні:

- Варіант 1: підприємство в сільській місцевості виробляє брикети з агробіомаси і продає їх як заміник дорогого вугілля місцевому населенню та іншим споживачам, що використовують невеликі котли з ручним завантаженням. Такими споживачами можуть бути об'єкти соціальної сфери (школи, лікарні тощо). Перевагою даного виду проекту є можливість продажу брикетів по ринковій вартості.

- Варіант 2: мешканці села або члени об'єднаної територіальної громади створюють енергетичний кооператив, в рамках якого виробляють брикети з біомаси для власного споживання. Такий кооператив може бути або

новоствореним, або ж діяльність вже існуючого кооперативу (наприклад, ягідного або садового) розширюється на виробництво паливних брикетів. Переваги проекту: можливість використання дешевої (безкоштовної) власної біомаси, відсутність плати за оренду виробничого приміщення, можливість придбання членами кооперативу вироблених брикетів по собівартості.

- Варіант 3: крупне аграрне підприємство (агрофірма, агрохолдинг) виробляє брикети з власної сировини (побічних продуктів або відходів сільськогосподарського виробництва) і продає частину продукції своїм співробітникам, а решту – зовнішнім споживачам. Переваги проекту: можливість використання сировини (біомаси) по собівартості, відсутність плати за оренду виробничого приміщення, можливість продажу частини брикетів працівникам підприємства по ціні, близькій до собівартості (як складова «соціального пакету»).

Порівняльне (попереднє) ТЕО зазначених варіантів виробництва брикетів для випадку використання соломи як сировини представлено у таблиці 1. Результати ТЕО показують, що всі варіанти є економічно життєздатними з дисконтованим терміном окупності менше 4 років і внутрішньою нормою дохідності більше 25%.

Типові види проектів з використання паливних брикетів з біомаси можуть бути наступними:

- Варіант А: індивідуальний споживач використовує брикети з біомаси як заміник вугілля в існуючому або новопридбаному побутовому твердопаливному кот-

Табл. 1. Техніко-економічні показники типових проектів з виробництва брикетів з біомаси в Україні [3]

Показники	Варіант 1: Підприємство	Варіант 2: Енергокооператив	Варіант 3: Агрохолдинг
Продуктивність брикетної лінії, кг/год	320,0	160,0	640,0
Продуктивність річна, т/рік	1536,0	640,0	2560,0
Ціна сировини (соломи), євро/т без ПДВ	20,2	0,0	14,0
Капітальні витрати, тис. євро	40,5	23,4	136,7
Експлуатаційні витрати, тис. євро/рік	86,7	18,5	112,2
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	60	60	60
Ставка по кредиту, %	7	7	7
Продажна ціна брикетів, євро/т без ПДВ	64	38	60 (70%)*; 49 (30%)**
Простий термін окупності, років	3,3	2,9	2,8
Дисконтований термін окупності, років	3,7	3,3	3,3
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	26%	35%	36%

* Продаж брикетів стороннім споживачам.

** Продаж брикетів співробітникам підприємства.

Табл. 2. Техніко-економічні показники типових проектів з використання брикетів з біомаси в Україні [3]

Показники	Варіант А: індивідуальний споживач		Варіант Б: заклад торгівлі/сфери обслуговування		Варіант В: промислове/комерційне підприємство	
	існуючий котел (вар. А1)	новий котел (вар. А2)	існуючий котел (вар. Б1)	новий котел (вар. Б2)	існуючий котел (вар. В1)	новий котел (вар. В2)
Потужність котла, кВт	20	20	100	100	1000	1000
Капітальні витрати, євро		900		3500		30000
Ціна брикетів з соломи, грн./т з ПДВ	1600*	1600*	2600	2600	2300	2300
Економія коштів на придбанні палива**, євро/рік	408 по вугіллю	408 по вугіллю	409 по вугіллю	2307 по ПГ	10207 по вугіллю	29190 по ПГ
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %		60		60		60
Ставка по кредиту, %		7		7		7
Простий термін окупності, років		3,9		2,4		1,5
Дисконтований термін окупності, років		4,7		2,7		1,6
Внутрішня норма дохідності (IRR), %		26%		43%		68%

* По собівартості.

** У розрахунках прийнято ціну вугілля 6000 грн./т з ПДВ, ціну природного газу – 10042 грн./тис. м³ з ПДВ.

лі потужністю до 50 кВт. Можливість ефективного спалювання брикетів з біомаси в існуючих твердопаливних котлах було обґрунтовано в роботі [3].

- Варіант Б: заклад торгівлі або сфери обслуговування (магазин, готель тощо) споживає брикети з біомаси як заміник вугілля в існуючому твердопаливному котлі або переходить з природного газу на спалювання брикетів з біомаси у новопридбаному котлі потужністю до 100 кВт.

- Варіант В: підприємство (промислове, комерційне) споживає брикети з біомаси як заміник вугілля в існуючому твердопаливному котлі або переходить з природного газу на спалювання брикетів з біомаси у новопридбаному котлі потужністю до 1000 кВт.

Результати (попереднього) ТЕО зазначених варіантів споживання для випадку брикетів з соломи показують, що всі варіанти є економічно доцільними (таблиця 2). У разі використання брикетів у новопридбаному твердопаливному котлі організацією або промисловим підприємством, дисконтований термін окупності становить менше 3 років. Для індивідуального споживача

термін окупності складає майже 5 років через більшу питому вартість котла (45 євро/кВт) і меншу питому вартість енергії у вугіллі (близько 240 грн./ГДж), яке заміщується брикетами, у порівнянні з природним газом для промислових (комерційних) споживачів (близько 295 грн./ГДж). У випадку використання брикетів з біомаси в існуючих твердопаливних котлах споживачі отримують економію коштів за рахунок різниці ціни вугілля і паливних брикетів з соломи (табл. 2).

Висновки

Брикети з біомаси – вид твердого біопалива, який широко використовується в країнах, що розвиваються, і інтерес до якого давно існує і зростає в розвинутих країнах Європи і Північної Америки. Виробництво та використання паливних брикетів з біомаси є важливим і перспективним сегментом розвитку біоенергетики в Україні з огляду на ті економічні, екологічні та соціальні вигоди, які він може дати. В першу чергу, необхідно нарощувати обсяги виробництва брикетів з біомаси сільськогосподарського походження, враховуючи наявність в країні значного енергетичного потенціалу такої

біомаси і велику ємність ринку з боку споживання біопалива.

Брикетів виготовляються з доступної місцевої біомаси, яка являє собою відновлюване джерело енергії і є CO_2 -нейтральною. Запровадження бізнесу із виробництва і продажу брикетів сприяє підвищенню енергетичної незалежності регіонів, створенню нових робочих місць у сільській місцевості і розвитку місцевої економіки. Результати ТЕО типових варіантів виробництва і споживання паливних брикетів з агробіомаси показують, що всі проекти є економічно доцільними з дисконтованим терміном окупності в межах 3...5 років.

Для подальшого розвитку даного сегменту біоенергетики в Україні необхідно вдосконалювати законодавчу базу (наприклад, стосовно створення і функціонування енергетичних кооперативів), вирішувати питання стандартизації і сертифікації твердого біопалива, розвивати ринок біопалива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гелету́ха Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 1 // Промислова теплотехніка. – 2018. – Т. 40, № 4. – С. 62-68 <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2018.9>
2. Гелету́ха Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Аналіз можливостей виробництва і споживання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження в Україні. Частина 2 // Теплофізика та теплоенергетика. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.8>
3. Гелету́ха Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 20, 2018 <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>
4. Проект ЄС «uP_running – Стале використання деревної біомаси від обрізки і викорчовування багаторічних сільськогосподарських насаджень». Програма досліджень та інновацій ЄС Горизонт 2020 <http://ua.up-running.eu/>

FEASIBILITY STUDY OF THE PRODUCTION AND CONSUMPTION OF AGRIBIOMASS BRIQUETTES IN UKRAINE

Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.11>

The purpose of the work is to carry out a preliminary feasibility study of some typical projects on the production and consumption of agribiomass briquettes in Ukraine. The task of the work is to analyse and summarize the results of the feasibility study. The research methods include an overview of the successful examples of the production and use of biomass briquettes in Ukraine, the identification of priority types of relevant projects, the assessment of the main technical and economic indicators of several typical bioenergy projects. The results of the work make it possible to conclude whether it is feasible or not to implement certain types of projects in this segment of bioenergy. It is shown that today in Ukraine there are already examples of successful implementation of projects on the production and consumption of different biomass type briquettes. These examples include projects implemented for grants and business projects. For Ukraine, several promising options for the production and use of biomass briquettes can be suggested. The three typical variants of the biofuel production projects are as follows: (1) a rural enterprise produces agribiomass briquettes and sells them as a substitute for expensive coal to the local population and other consumers using small boilers with manual loading; (2) villagers or members of a united territorial community create an energy cooperative within which they produce biomass briquettes for their own consumption; (3) a large agrarian enterprise produces briquettes from its own agricultural raw materials and sells the product partly to its employees, partly to other consumers. Typical types of projects for the use of biomass briquettes can be as follows: an individual consumer or a trade/service organization or an industrial/commercial enterprise uses biomass briquettes in an existing boiler (replacement of coal) or in a newly purchased boiler of the appropriate capacity (replacement of coal/natural gas). The results of the preliminary feasibility study of these typical projects show that all the projects are economically feasible with a discounted payback period of 3-5 years.

References 4, tables 2.

Key words: renewable energy sources, bioenergy, biomass, biofuel, solid biofuel, briquettes.

1. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.* Analiz mozhyvostei vyrobnytstva i spozhyvannia palyvnykh bryketiv z biomasy silskohospodarskoho pokhodzhennia v Ukraini. Chastyna 1 [Analysis of possibilities for the production and consumption of agrobiomass briquettes in Ukraine. Part 1], *Promyslova teplotekhnika* [Industrial Heat Engineering]. – 2018, V. 40, № 4, P.62–68 (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2018.9>

2. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I.* Analiz mozhyvostei vyrobnytstva i spozhyvannia palyvnykh bryketiv z biomasy silskohospodarskoho pokhodzhennia v Ukraini. Chastyna 2 [Analysis of possibilities for the production and consumption of agrobiomass briquettes in Ukraine. Part 2], *Teplofizyka ta teploenergetyka* [Thermophysics and Thermal Power Engineering] 2019, V.1, № 1, P. – (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.8>

3. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V.* Analiz mozhyvostei vyrobnytstva ta vykorystannia bryketiv z ahrobiomasy v Ukraini. Analichna zapyska Bioenerhetychnoi asotsiatsii Ukrainy [Analysis of the possibilities of production and use of briquettes from agro biomass in Ukraine] UABio Position Paper No. 20, 2018] (Ukr.)

<http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>

4. Proekt ES «uP_running – Stale vykorystannia derevnoi biomasy vid obrizky i vykorchovuvannia bahatorichnykh silskohospodarskykh nasadzhenn». Prohrama doslidzhen ta innovatsii YeS Horyzont 2020 [EU Project “uP_running – Take-off for sustainable supply of woody biomass from agrarian pruning and plantation removal”. Horizon 2020 EU Framework Programme for Research and Innovation] <http://ua.up-running.eu/>

Отримано 22.08.2018

Received 22.08.2018

УДК 536.24:697.326

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОТЛА НИИСТУ-5

Сігал О.І., канд. техн. наук, Бикоріз Є.Й., Пузанов І.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова 2а, Київ 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.12>

Проведено аналітичний огляд науково-технічних рішень задачі підвищення ефективності роботи котла НИИСТУ-5. Розроблено методологію модернізації котла НИИСТУ-5 з експериментальною апробацією конструктивного рішення підвищення його ККД до 91...92 % за рахунок встановлення проміжних теплообмінних поверхонь в газоходах.

Проведен аналітический обзор научно-технических решений задачи повышения эффективности работы котла НИИСТУ-5. Разработана методология модернизации котла НИИСТУ-5 с экспериментальной апробацией конструктивного решения повышения его КПД до 91...92 % за счет установки промежуточных теплообменных поверхностей в газоходах.

An analytical review of scientific and technical solutions to the problem of increasing the efficiency of the NIISTU-5 boiler. A methodology for modernization of the NIISTU-5 boiler with experimental approbation of a constructive solution to increasing its efficiency up to 91...92 % due to the installation of intermediate heat exchange surfaces has been developed.

Бібл. 10, рис. 7.

Ключові слова: модернізація, ефективність, котли НИИСТУ-5, теплообмін, топка, ККД.

T – поточна температура димових газів, К,
 l – відстань між додатковою і основною конвективною поверхнею, мм,
 L – максимальна відстань між додатковою і основною конвективною поверхнею, мм,
 m – питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти, $\text{нм}^3/\text{Гкал}$,

M – максимальна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти, $\text{нм}^3/\text{Гкал}$.

Нижні індекси:

д.г. – димові гази.

Вступ

Кількість діючих котлів НИИСТУ-5 в комунальній теплоенергетиці і інших підприємствах, які постачають споживачам теплову енергію, складає ~ 10 тис. одиниць. З них більше 1 тис. котлів працюють на вугіллі, інші 13 тис. – на природному газі. В комунальній теплоенергетиці нараховується приблизно 4200 котлів НИИСТУ-5 та аналогів, які працюють на природному газі.

В середині 70-х років минулого століття більшість котлів НИИСТУ-5 було переведено на природний газ. В топці замість решітки встановили подові паливники. Такий котел має ряд суттєвих недоліків, а саме: газоспрямовуючі перегородки екранних труб мають щілини, через які частина продуктів згорання проходить в газохід, що знижує рівень теплообміну в топці; в котлі недостатньо розвинута теплообмінна поверхня. Ці недоліки негативно впливають на ККД котла, який коливається в межах 82...86 %. В той же час котел має безперечну перевагу перед сучасними аналогічними котлами малої теплопродуктивності, в основному – за рахунок високої ремонтпридатності та надійності роботи. У зв'язку з цим розроблялися і продовжують розроблятися технології модернізації котла НИИСТУ-5.

Аналітичний огляд технологій модернізації котла НИИСТУ-5

В «Сумитеплокомуненерго» проведена модернізація котла (автор Звягінцев В.Л. [1]) з метою підвищення надійності його роботи (рис. 1). У корпусі 1 котла розміщена топка 2 з верхнім, переднім, заднім і бічними обрамляючими екранами 3, 4, 5, і 6 з труб 7 з плавниками 8. Між екранами 6 і корпусом 1 встановлені проміжні екрани 9, труби 10, які виконані з плавниками 11 і розташовані із зсувом щодо труб 7 відповідних екранів 6. Труби 7 додатково скріплені з сусідніми трубами 10 екранів 9 своїми плавниками 8, які виконані з подовжніми компенсаційними вигинами. Плавники 11 труб 10 екранів 9 виконані автономними для кожної труби 10 і розташованих нахлестом із зазором щодо плавників 8 труб 10 екранів 9.

Модернізація котла дозволяє збільшити тепловий з теплообмінних поверхонь і рівномірно розподілити теплову енергію випромінювання між поверхнями нагріву екранів 6 і 9, знижуючи температурні розгортки в екранах 6 і 9. ККД котла збільшується, однак, в той же час збільшується металоємність котла і аеродинамічний опір.

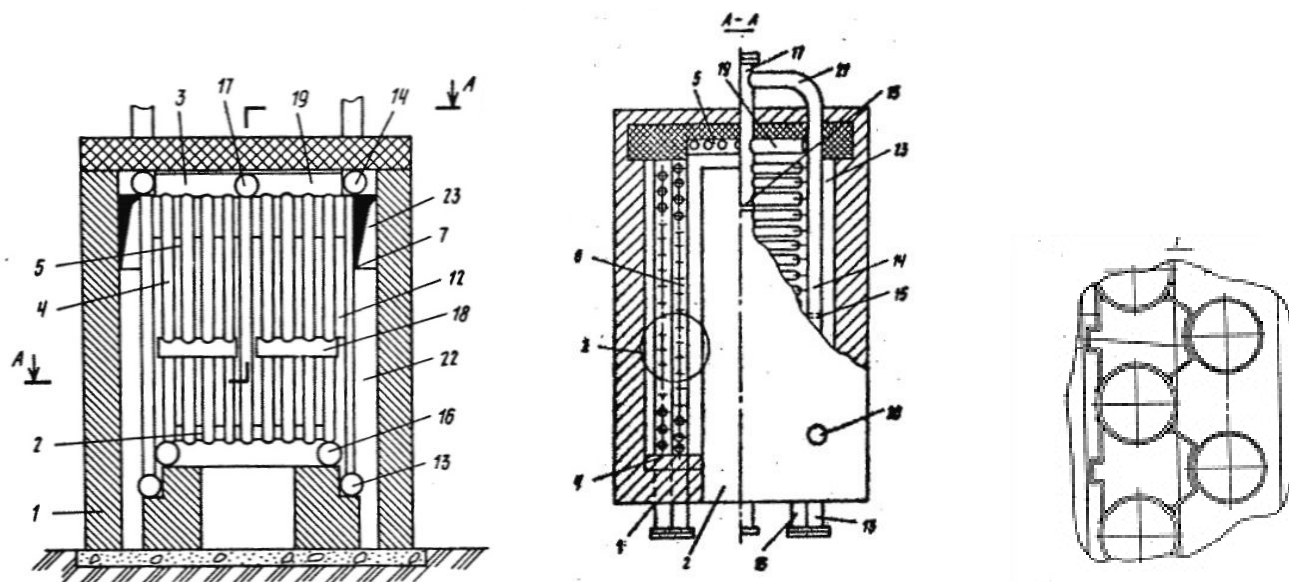


Рис. 1. Встановлення проміжних екранів в топку котла НІІСТУ-5 [1].

Модернізація водогрійного котла НІІСТУ-5 конструкції Таранцева А.А. [2] містить розміщені в корпусі з обмурівкою плавникові внутрішні і периферійні панелі з труб, розташованих паралельно з утворенням центрального і периферійного газоходів, послідовно сполучених між собою і з газовідвідним каналом, причому труби внутрішніх панелей розташовані із зсувом щодо труб периферійних панелей. З метою підвищення ефективності використання тепла димових газів в трубах периферійних панелей додатково встановлені димогарні труби, якими периферійний газохід сполучений з газовідвідним каналом (рис. 2). Тобто димові гази в процесі омивання панелей 4,5 (рис. 2 фіг. 3) та екранів 2, 3 (рис. 2 фіг. 3, 4) рухаються по складній траєкторії, що дозволяє більш ефективно використовувати їх теплову енергію.

Модернізація котла НІІСТУ-5 за технологією Таранцева А.А. дозволяє більш ефективно використовувати теплову енергію димових газів, але кардинально не змінює малоефективну систему використання продуктів спалювання.

Інтенсифікація топкового теплообміну в котлах шляхом установки проміжних (вторинних) випромінювачів за технологією Сігала О.І. і Падерно Д.Ю. [3, 4] підвищує ефективність спалювання газоподібного палива в котлах і зниження токсичних викидів в атмосферу.

Дія проміжних випромінювачів заснована на тому, що вони сприймають тепло селективним випроміню-

ванням і конвекцією від продуктів згорання і передають його повним спектром випромінювання до водоохолоджуваних поверхонь, розташованих в топці. Знаходячись в стаціонарному режимі при незмінній температурі, проміжні випромінювачі весь падаючий на них тепловий потік перевипромінюють на поверхні екрану у вигляді відбитого тепла і власного випромінювання (рис. 3).

В результаті зниження як максимальних температур в зоні горіння, так і температур на виході з топки і за котлом, полегшуються умови роботи, підвищується надійність і збільшується термін експлуатації котла.

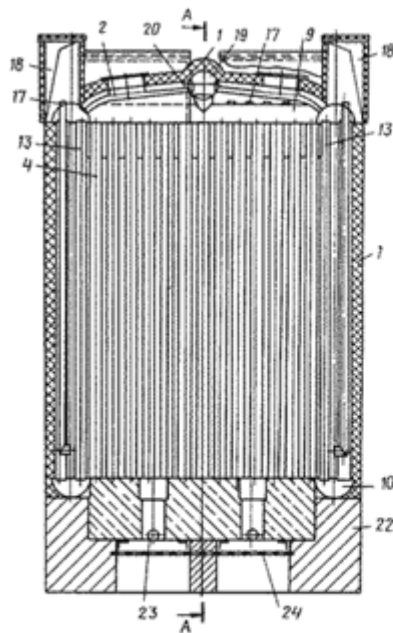
Використання проміжних випромінювачів дозволяє:

- збільшити тепловіддачу в топці котла на 10...30 %;
- зменшити витрату палива (природного газу) в котлах продуктивністю до 1 Гкал – на 3...5 %.

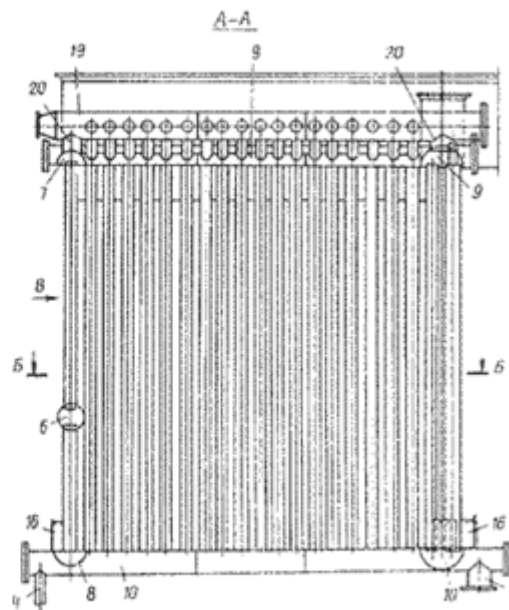
Недоліком цієї модернізації є те, що випромінювачі швидко зношувалися і потребували їх заміни після кожного опалювального сезону.

У роботі [5] наведено технологію модернізації котла НІІСТУ-5 шляхом встановлення розробленого авторами паливника повного попереднього змішування газу та повітря.

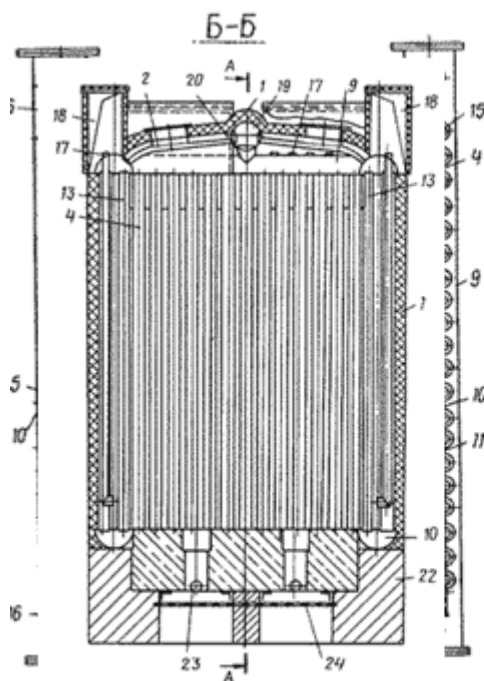
Паливник з повним попереднім змішуванням (рис. 4) представляє собою зварну конструкцію, яка складається з газового патрубка з отворами для подачі газу. Газові патрубки проходять через повітряні колектори 2 в реєстри 3, котрі призначені для подачі і змішування



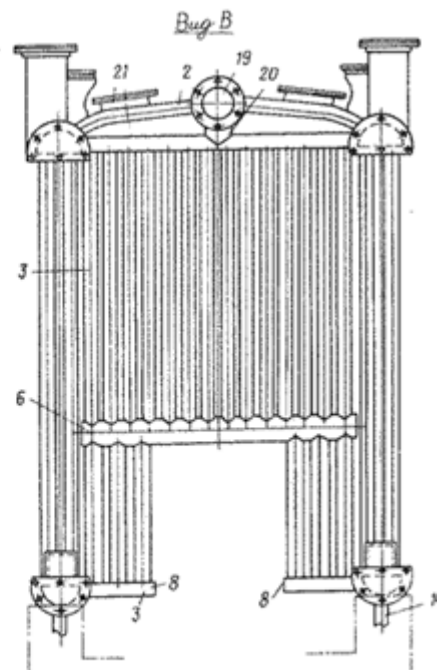
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Рис. 2. Встановлення димогарних труб в трубні периферійні панелі котла ННІСТУ-5 [2].

повітря з газом. Регістри змонтовані на повітряному колекторі таким чином, що між газовими патрубками і регістрами створюються кільцеві отвори. На кожному регістрі змонтовані сопла, які забезпечують рівномірну

роздачу і подачу газоповітряної суміші в топку котла. Відстань між всіма сопел складає 90 мм, а між всіма регістрів 165 мм.

Пальник розміщується в топці котла по всій площині

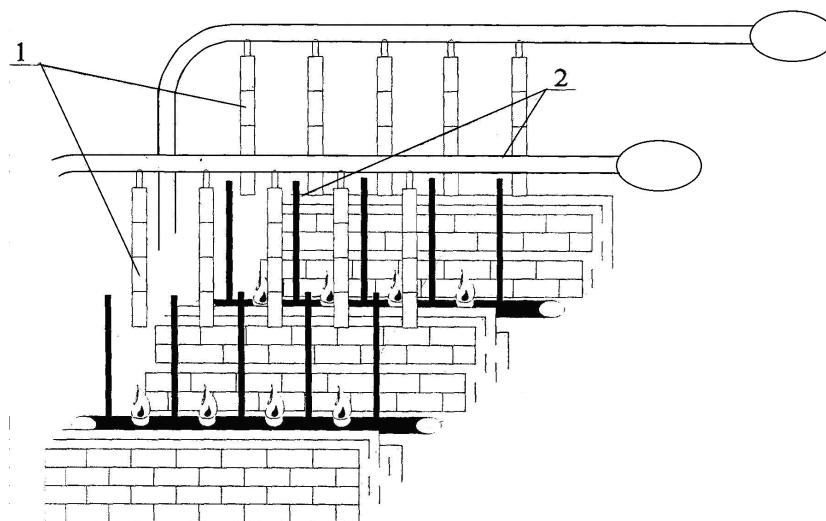


Рис. 3. Встановлення проміжних випромінювачів в топку котла ННІСТУ-5 [4]:
1 – навісні проміжні випромінювачі, 2 – стрижневі проміжні випромінювачі.

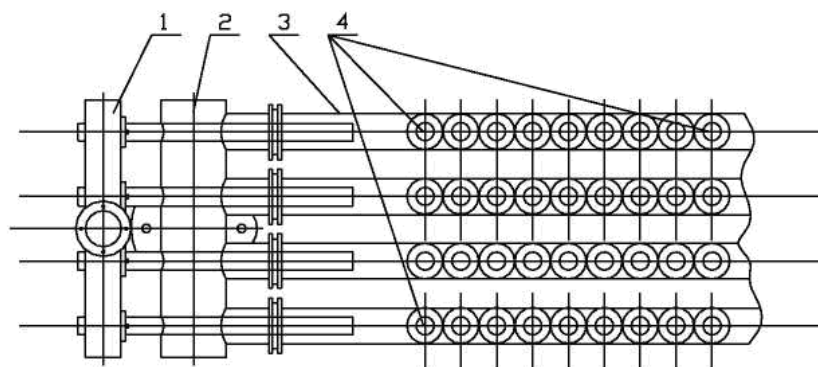


Рис. 4. Пальник газовий подовий з повним попереднім змішуванням [5]:
1 – газовий колектор, 2 – повітряний колектор, 3 – реєстр, 4 – сопла.

поду і приєднується до діючої автоматики безпеки і регулювання. Між реєстрами пальника засипається річний пісок фракцією 0,8...1,5 мм на 5...10 мм вище отворів ковпачків сопел.

Модернізація поду котла і застосування розробленого пальника дозволяє підвищити ККД котла на 2...3 %.

У зв'язку з тим, що пальник при номінальних режимах мав опір 250...3000 Па необхідно встановлювати вентилятор відповідного тиску. Вартість пальника суттєво збільшилась і виробництво пальника стало нерентабельним.

Підвищення радіаційного теплообміну в топці котла можна досягти також шляхом підвищення ступеня чорноти екранних поверхонь топки. Для цього Кучиним

Г.П. та ін. було розроблено покриття для труб екранних поверхонь топки на основі кремній-органічного лаку КО-075 [6], в якості пігментів використовувалась сажа марки К-364, оксид заліза з дисперсним складом 10-63 мм, дрібнодисперсний металевий алюміній (алюмінієва пудра). При нанесенні на екранні поверхні труб тонкого шару покриття ступінь чорноти системи під покриттям підвищувалась на 15...20 %, що приводило до підвищення ККД котла на 1,5...2 %. Цей спосіб відрізнявся від інших значно меншою вартістю капітальних витрат і малим терміном окупності.

Недоліком цього способу є малий термін існування покриття, що складає не більше одного опалювального сезону. Обстеження трубною частиною через сезон

експлуатації показало, що на значній поверхні труб покриття було відсутнє.

У роботі [7] автори, використовуючи пакет прикладних програм PHOENICS V 3.6 [8], провели дослідження інтеграції пальника ГБГМ-0,85 НД у топковий простір котла НІИСТУ-5. Результати розрахунку показали, що встановлення такого пальника в об'єм котла можливе за умови захисту заднього екрану топки котла. У відповідності до результатів комп'ютерного моделювання при реконструкції топкового простору котла його нижня частина була закладена вогнетривкою цеглою. На передній стінці котла перероблена плита для кріплення газового пальника ГБГМ-0,85 НД зі встановленням додаткової теплоізоляції. Випробування модернізованого котла показали збільшення ККД з 65 до 90%. Модернізація котлів НІИСТУ-5, що базується на оснащенні їх фронтальними блочними пальниками ГБГМ-0,85 НД дає змогу підвищити ККД котла до 90%. Однак, необхідна теплоізоляція заднього топкового екрану і частково бокових екранів не гарантує безаварійної експлуатації. Заміна подового пальника фронтальним призводить до суттєвого зменшення терміну служби топкових екранів котла.

В роботах [9, 10] наведено технічне рішення по вдо-

сконаленню водогрійного котла НІИСТУ-5, яке полягає у встановленні додаткової вертикальної теплообмінної водотрубною поверхні котла (рис. 5), чим забезпечується можливість інтенсифікації теплосуму в котлі.

На рис. 5 показано водогрійний котел у перетині. Водогрійний котел складається з корпусу 1, топки 2, радіаційної 3, та конвективної 4 поверхонь теплообміну, вікон 5, газоходів 7, додаткової поверхні теплообміну 8, яка обладнана теплообмінними трубами 6. Запропонований водогрійний котел працює таким чином: природний газ спалюється в топці котла 2. Продукти згоряння із топки через вікна 5 у верхній радіаційній поверхні поступають у газоходи 7 конвективних шахт з установленими в них трубами 6, які складають додаткову поверхню теплообміну 8, після чого – в димову трубу.

При відносній відстані від труб додаткової конвективної поверхні до труб конвективної поверхні котла $l=l_1/L_1=0,35$ підвищується аеродинамічний опір проходу газів в газоході котла, в результаті погіршується теплообмін між вихідними газами і конвективними поверхнями котла та додатковою конвективною поверхнею. Відносна температура вихідних газів $T = T_1/T_{\text{макс}} = 0,979$, відносна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти $m = m_1/m_{\text{макс}} = 0,973$; ККД = 84%

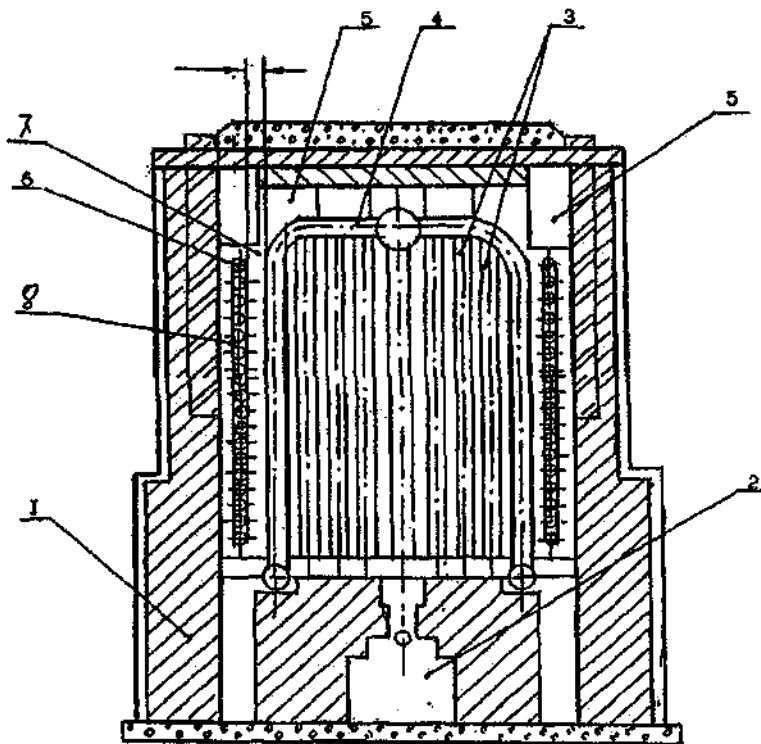


Рис. 5. Встановлення додаткової конвективної поверхні нагріву в газоходах котла НІИСТУ-5 [9, 10].

(рис. 6, крива 1).

При відносній відстані від труб додаткової конвективної поверхні до труб конвективної поверхні котла $l = 0,625 \dots 0,833$, відносна температура вихідних газів на вході в димову трубу $T = 0,817$, відносна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти складає $m = 0,893$; ККД = 92 % (рис. 6, крива 2).

При відносній відстані від труб додаткової конвективної поверхні до труб конвективної поверхні котла $l = 0,92$ відносна температура вихідних газів $T = 0,939$, відносна питома витрата природного газу на 1 Гкал виробленої теплоти $m = 0,953$; ККД = 86% (рис. 6, крива 3).

Експериментально визначено оптимальну відстань між трубами додаткової конвективної поверхні і основної конвективної поверхні, яка складає 20 мм і забезпечує максимальну інтенсифікацію теплообміну в газоходах котла.

Дана модернізація котла дозволить знизити температуру вихідних газів, зменшити питому витрату природного газу на одиницю виробленої теплоти і підвищити ККД котла до 92%. Основним показником ефек-

тивності модернізації котла є збільшення його ККД, що показано на рис. 7.

Висновки

Котел НИИСТУ-5 має ряд суттєвих недоліків: газоспрямовуючі перетинки екранних труб мають щілини, через які частина продуктів згорання проходить в газохід, що знижує рівень теплообміну в топці; в котлі недостатньо розвинута теплообмінна поверхня, що негативно впливає на ККД котла, який коливається в межах 75...82 %.

Проведений аналіз ефективності модернізації котла НИИСТУ-5 довів, що:

- модернізація котла НИИСТУ-5 по технології Звягінцева В.Л. [1] дозволяє збільшити ККД до 89%. При цьому збільшується аеродинамічний опір і теплоємність конструктиву;

- модернізація котла НИИСТУ-5 по технології Таранцева А.А. [2] дозволяє більш ефективно використовувати теплову енергію димових газів, але кардинально не змінює систему теплотриму від продуктів спалювання;

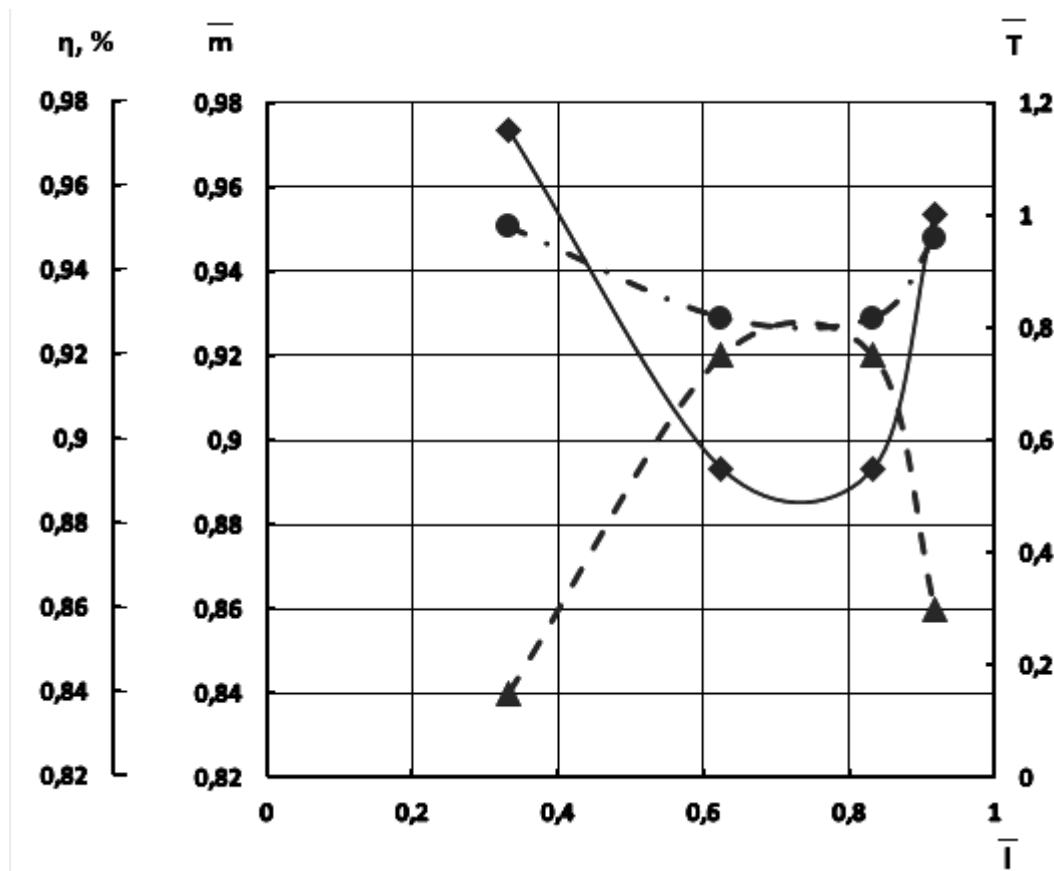


Рис. 6. Оптимізація установки додаткової конвективної поверхні:

▲ – η , %, ■ – T , ● – m .

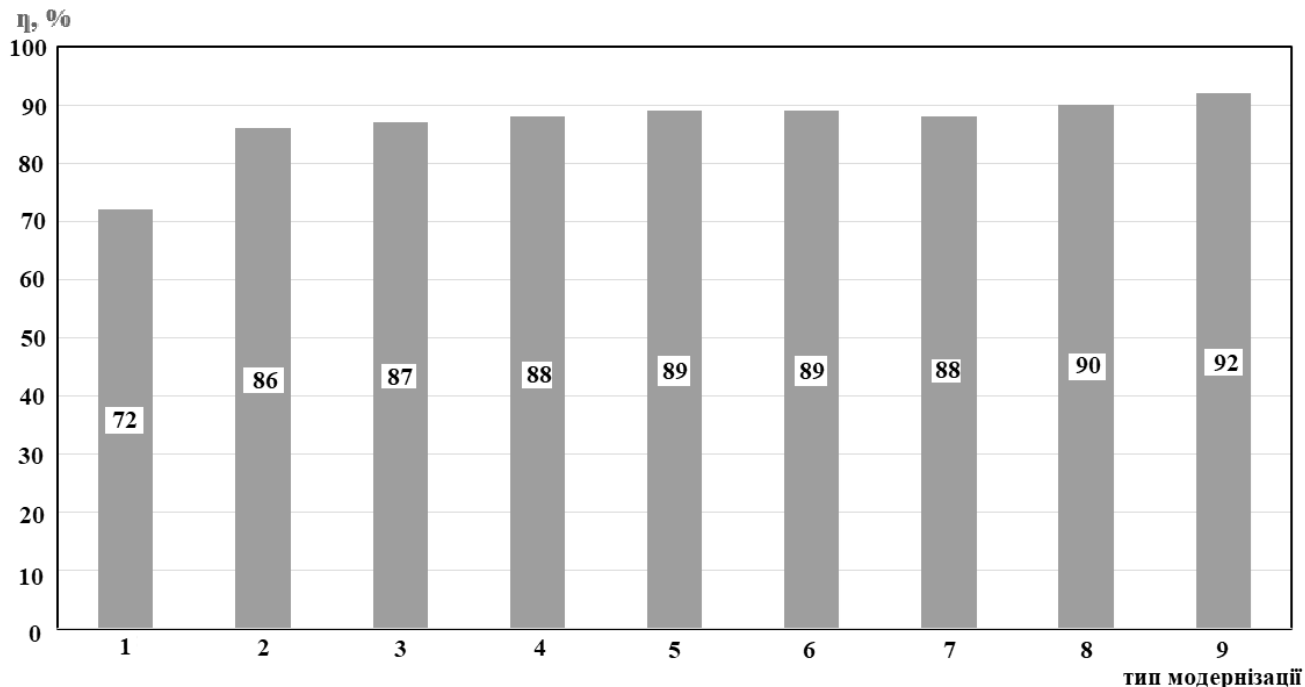


Рис. 7. Збільшення ККД котла НІИСТУ-5 у відповідності до використання різних технологій його модернізації:

1 – НІИСТУ-5, термін експлуатації більше 20 років, 2 – НІИСТУ-5 паспортний, 3 – [1], 4 – [2], 5 – [3, 4], 6 – [5], 7 – [6], 8 – [7, 8], 9 – [9, 10].

- встановлення проміжних випромінювачів максимально збільшує ефективність роботи топки котла, однак недовговічність експлуатації (менше 1 опалювального сезону) і відповідні додаткові витрати на поновлення їх роботи зменшує економічну ефективність випромінювачів [3, 4];

- оснащення котла НІИСТУ-5 фронтальними блочними пальниками ГБГМ-0,85 НД [7], дає змогу підвищення ККД до 90%, однак вимагає теплоізоляції топкових екранів і призводить до швидкого зношення поверхонь нагріву.

Технічні рішення з удосконалення водогрійного котла НІИСТУ-5 розроблялися авторами статті у двох напрямках.

1. Підвищення інтенсивності теплообміну в топці:

- розроблення і встановлення подового пальника, а саме, пальник з повним попереднім змішуванням газу та повітря [5] дозволяє збільшити радіаційний теплообмін з відповідним підвищенням ККД котла на 2...3 %. Однак, для ефективної роботи пальника необхідно встановити вентилятор підвищеного тиску, що значно здорожчує модернізацію котла;

- нанесення теплопоглинаючого покриття на трубні топкові екрани, а саме, збільшення ступеню чорноти екранних поверхонь на 1,5...2 % досягається нанесен-

ням, розробленого авторами теплопоглинаючого покриття [6], що дозволяє збільшити ККД котла на 2%. Експериментально визначено, що максимальний термін експлуатації теплопоглинаючого покриття обмежується одним опалювальним сезоном. Негативним фактором використання покриття є нерівномірне зношення його на трубних екранах, що призводить до місцевого перегрівання труб.

2. Підвищення теплообміну у конвективній частині:

- встановлення додаткової конвективної поверхні в газоході котла забезпечує збільшення теплообмінної поверхні котла, тобто здійснюється збільшення ККД котла (в залежності від умов його експлуатації) на 2...4 %, а також підвищується ефективність використання природного газу. Експериментально визначено оптимальну відстань між трубами додаткової конвективної поверхні і основної конвективної поверхні, яка складає 20 мм і забезпечує максимальну інтенсифікацію теплообміну в газоходах котла.

ЛІТЕРАТУРА

1. Звягинцев В.Л. Котлы: без электрических насосов и дымососов // Міське господарство України. - 2001. - № 1. - С. 16-17.

2. Авторское свидетельство СССР 1245814 А1. F24H 1/32. Водогрейный котел/ Таранцев А.А. и др. Заявл. 20.07.84. Опубл. 23.07.86. Бюл. №27.

3. Реконструкция котла НИИСТУ-5 // XI конференция стран СНГ с международным участием "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики". Тезисы докладов. – Севастополь 2001 – 181с.

4. Переоборудование существующих горелок котлов типа ДЕ и ДКВР с целью снижения расхода природного газа (особенно в осеннее-весенний период). Сборник трудов "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики". Киев 2014, С. 203-204.

5. Власюк А.В., Кучин Г.П., Скрипко В.Я. Повышение эффективности работы отопительных котлов мощностью до 1 МВт // Энергетика и электрификация. - 2001. - № 3. - С.15-16.

6. Власюк А.В., Менайлов О.М., Гавриленко О.І., Кучин Г.П., Скрипко В.Я. та ін. Властивість покрит-

тя – його стійкість. // Міське господарство України: Всеукраїнський інформаційний технічний журнал /Державний комітет України по житлово-комунальному господарству.- Київ .- 2000.-№3.-С.16-17.

7. Долинский А.А., Халатов А.А и др. Использование компьютерного моделирования при малозатратной модернизации котла НИИСТУ-5. Журн. Пром.теплотехника., 2007, т.29, №5.-С.80 – 91.

8 . PHOENICS Reference Guide Version 3.6 CHAM, London.-2004.

9. Кучин Г. П., Скрипко В. Я., Бикоріз Є. Й., Пузанов І. В. Розроблення технічних рішень для збільшення ресурсу роботи водогрійних газових котлів типу НІІ-СТУ-5. Сборник трудов "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики". Киев 201,4 С. 104-106.

10. Пат. 56393 У України F24H 1/2. Котел/ Кучин Г.П. та ін. Заявл. 11.06.2010. Опубл. 10.01.2011. Бюл. №1, 2011 р.

FEATURES OF MODERNIZATION OF THE BOILER NIISTU-5

Sigal A.I., Bykoriz E.I., Puzanov I.V.

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
2a, Zhelyabova Str., Kyiv, 03057, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2019.12>

Steel boiler NIISTU-5 with forced water circulation is simple and reliable in operation, it has high level of maintainability and designed to work in the heating systems and hot water supply of residential, administrative and industrial facilities. Some of the combustion products pass into the boiler flue through the slots that exist in the gas guide walls of the screen tubes, which leads to a decrease in the heat exchange rate in the furnace. In addition, the heat exchange process in the boiler has low efficiency, and as a result of this boiler efficiency is reduced to 75...82 % with a passport rating - 86%.

The aim of this work is development of technical solutions to improve the efficiency of existing boilers by extending the life of boiler equipment and reducing the natural gas consumption.

Technical solutions for the improvement of the water-heating boiler NIISTU-5 were developed by the authors in two directions.

1. Increasing the intensity of heat transfer in the furnace:

- development and installation of a bottom burner, namely, a burner with full preliminary mixing of gas and air, allows to increase radiation heat exchange with a corresponding increase in the efficiency of the boiler by 2...3 %;

- application of heat-absorbing coating on the tube furnace screens, which allows to increase the degree of blackness of the screen surfaces and the efficiency of the boiler by 1.5...2 %.

2. Increased heat transfer in the convective part

- installation of an additional convective surface in the boiler flue provides an increase in the heat exchange surface and efficiency of the boiler increases (depending on the operating conditions) by 2...4 %. It is experimentally definitely the optimal distance between the pipes of an additional convective surface and the main convective surface, which is 20 mm and ensures the maximum intensification of heat exchange in the gas ducts of the boiler.

References 10, figures 7.

Keywords: modernization, efficiency, boilers NIISTU-5, heat exchange, furnace.

1. Zvyagintsev V.L. Boilers: without electric pumps and exhausters // City economy of Ukraine. 2001. № 1. p. 16-17 (Ukr)

2. USSR author's certificate 1245814 A1. F24H 1/32. Water boiler / Tarantsev A.A. and others. 20.07.84. Publish. 23.07.86. Bull No. 27.

3. Reconstruction of the boiler NIISTU-5. // XI Conference of the CIS countries with international participation "Problems of ecology and operation of power facilities". Theses of reports. - Sevastopol 2001, 181p. (Ukr)

4. Re-equipment of the existing burners of boilers of type DE and DKVR in order to reduce the consumption of natural gas (especially in the autumn-spring period). Collection of works "Problems of ecology and operation of energy facilities". Kyiv. 2014. pp. 203-204 (Ukr)

5. Vlasyuk A.B., Kuchin G.P., Skrypko V.Y. Improving the efficiency of heating boilers with a capacity of up to 1 MW // Energy and electrification. 2001. № 3. P.15-16. (Ukr)

6. Vlasyuk A.B., Menaylov O.M., Gavrilenko O.I., Kuchin G.P., Skrypko V.Y. and etc. Properties of the coating - its stability. // Urban Economy of Ukraine: All-Ukrainian Information Technical Journal / State Committee of Ukraine on Housing and Communal Services. Kyiv. 2000. №3. P.16-17 (Ukr)

7. Dolinsky A.A., Halatov A.A. et al. Use of computer simulation in the low-cost modernization of the NIISTU-5 boiler. Industrial heat engineering. 2007, V.29, №5. P.80-91 (Ukr)

8. PHOENICS Reference Guide Version 3.6 CHAM, London.2004.

9. Kuchin G.P., Skrypko V.Y., Bykoriz Y.Y., Puzanov I.V. Development of technical solutions for increasing the life of the work of water-heating gas boilers of the type NIISTU-5. The collection of works "Problems of ecology and operation of objects of power engineering". Kyiv. 2014. P. 104-106 (Ukr)

10. Patent Ukraine 56393 F24H 1/2. Boiler / Kuchin G.P. etc. Declared 11/06/2010. Publish. 10.01.2011. Bull No. 1, 2011.

Отримано 11.12.2018

Received 11.12.2018

**ВИМОГИ ДО РУКОПИСІВ ЖУРНАЛУ
«ТЕПЛОФІЗИКА ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»
(«Thermophysics And Thermal Power Engineering»)**

В журналі публікуються результати досліджень за напрямками: тепло- і масообмінні процеси та апарати, теорія та практика сушіння, комунальна та промислова теплоенергетика, відновлювана енергетика, енергоефективність, використання та спалювання палива, теплоенергетичні установки, екологія, термодинаміка та процеси переносу, атомна енергетика, моніторинг та оптимізація теплофізичних процесів.

Приймаються статті українською, російською та англійською мовами.

Стаття повинна бути структурованою та містити підрозділи:

- постановку проблеми в цілому та її зв'язок з актуальними науковими та практичними задачами;
- аналіз останніх досліджень та публікацій, в яких започатковані рішення цієї проблеми;
- виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, якій присвячена дана стаття;
- формулювання цілей статті (постановка задачі);
- виклад основного матеріалу з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження та перспективи подальших завдань по даному напрямку.

До статті повинно додаватися:

- офіційний лист, підписаний керівником організації, в якій виконувалася робота;
- два примірники рукопису статті, виконані відповідно до вимог, викладених нижче. Один екземпляр рукопису повинен бути підписаний усіма авторами;
- оригінал експертного висновку про можливість опублікування даної роботи у відкритій пресі;
- підписану авторами «Угоду» про передачу авторами прав на публікацію рукопису і подальше розміщення статті в інтернеті (зразок – на сайті <http://www.ihe.nas.gov.ua>);
- повна поштова адреса одного з авторів, контактний телефон та адреса електронної пошти;
- текстовий файл всієї статті і окремо файли малюнків в програмних пакетах, описаних нижче (пересилаються на електронну пошту редакції: shmorgun@nas.gov.ua, shmorgun@itff.kiev.ua).
- російськомовний блок (якщо стаття викладена українською мовою), який включає російською мовою назву статті, прізвища авторів, поштову адресу організації, анотацію статті (структуровану, з кількістю знаків – не менше 1800), ключові слова, кількість рисунків, таблиць, бібліографічних посилань, список використаної літератури).
- україномовний блок, (якщо стаття викладена російською, чи англійською мовами), який включає українською мовою назву статті, прізвища авторів, поштову адресу організації, анотацію статті (структуровану, з кількістю знаків – не менше 1800), ключові слова, кількість рисунків, таблиць, бібліографічних посилань, список використаної літератури).

ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ:

Стаття повинна містити:

- шифр УДК; назва статті; прізвище, ім'я, по батькові авторів;
 - повна назва організації, де працюють автори, їх поштову адресу;
 - резюме українською, російською та англійською мовами (до 200-300 знаків), що відображає мету проведених досліджень і основні результати;
 - кількість бібліографічних посилань, таблиць, малюнків (наприклад: "Бібл. 9, табл. 1, рис. 3")
 - ключові слова;
 - список позначень;
 - текст статті (українською, російською чи англійською мовами) структурований, з висновками;
 - список літературних джерел (не більше 15), в порядку посилань на них у статті;
 - **блок на латиниці, що включає:**
 - Назву статті англійською мовою; Прізвище, ім'я, по батькові всіх авторів – транслітерацією;
 - Повні найменування і поштові адреси організацій, в яких працюють автори. Назви організацій, приналежність їх до конкретних відомств, поштові адреси, місто і країна подаються англійською мовою без скорочень;
 - Реферат англійською мовою (1000...2000 знаків), структурований, що містить мету, завдання, методи досліджень, результати;
 - бібліографію у вигляді: References 7, tables 2, figures 5.
 - Key words (ключові слова);
 - Список літературних джерел на латиниці: той же список, що і в статті, але прізвища авторів – транслітерацією; назва статті – англійською мовою (в квадратних дужках); назви журналів, інших літературних посилань - транслітерацією кирилиці, і далі в квадратних дужках – англійською мовою; вихідні дані позначаються англійською мовою, або - цифровими даними. В кінці кожного посилання (неангломовного видання) в дужках необхідно вказати мову оригіналу статті – (Rus.) або (Ukr.). Назви літературних джерел представляються без скорочень. Статті, опубліковані в іноземних журналах подаються в оригінальній назві.
 - Транслітерація алфавіту латиницею здійснюється відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27.01. 2010 року № 55 (див. <http://zakon.rada.gov.ua>).
- Обсяг статті (з малюнками) повинен не перевищувати 10 сторінок (міжрядковий інтервал – 1,5), кількість авторів не повинно перевищувати 4-х.

ОПИС МАКЕТА СТАТТІ:

Стаття повинна набиратися в текстовому редакторі Microsoft Word 97-2003, редактор формул MathType 5.0 і вище. Формат сторінки – А4, поля зверху, зліва – 2,5 см., Праворуч – 1,5 стор.

Основний текст: міжрядковий інтервал – 1,5. Шрифт – Times New Roman 11pt, вирівнювання по ширині, автоматична розстановка переносів, перший ряд – відступ 1,25 см. Назва статті – шрифт 12pt, жирний, дрібними літерами, розміщення по центру. Стаття оформляється без колонтитулів і нумерації сторінок. При написанні чисел дробову частину від цілої відокремлювати комою, а не крапкою.

Всі позначення виносяться з тексту і представляються єдиним списком перед викладом матеріалу статті. Позначення розташовуються в алфавітному порядку, в стовпчик, спочатку латинські, потім грецькі, російські, далі індекси - верхні і нижні. При використанні в тексті скорочених назв необхідно також дати їх розшифровку в кінці списку позначень.

Приклад: a – коефіцієнт теплопровідності;

Re – число Рейнольдса;

T – температура;

t – час;

α – коефіцієнт тепловіддачі;

ЗСОВ – замкнута система опалення та вентиляції.

Латинські позначення величин та індексів повинні друкуватися курсивом, (крім const , exp , ln , max , min , Bi , Fo , M , Nu , Pr , Re , St , Sin , Cos , $^{\circ}\text{C}$, K , C_2H_4 , CO_2 , O_2 ...), грецькі та російські – прямим шрифтом (в тексті, а також в формулах, на рисунках). Слід чітко розрізняти написання дефіса (-) і тире (–).

Формули: математичні формули представляються у вигляді окремих об'єктів в редакторі формул MathType. Шрифт – Times New Roman 11pt, вирівнювання по центру, нумерація – в круглих дужках, праворуч. Для редактора формул використовуються такі параметри: грецькі символи і букви – шрифт Symbol. Решта – Times New Roman. Розміри: звичайний – 11pt, великий символ – 14pt, великий індекс – 8pt. Латинські літери і символи повинні представлятися в стилі «Математичний», кириличні – в стилі «Текст». Не допускається подання формул і їх нумерації в вигляді таблиці. Символи в формулах і тексті статті повинні мати однакові зображення.

Рисунки: рисунки (до 5) представляються в спеціалізованих графічних пакетах Adobe Photoshop, Corel Photo-Paint, Corel Draw з розширенням файлів tif, grg, psx, bmp. з роздільною здатністю 300 dpi без підписів під рисунками і вставляються в текст як «малюнок», а не «полотно». Шрифт тексту на малюнках – Times New Roman 11pt. Невеликі малюнки рекомендується розміщувати з обтіканням текстом на 3 мм. Якщо малюнок вставлений, то необхідно відзначити опцію «Переміщати з текстом» і «Встановити прив'язку». Використання альбомної орієнтації не допускається. Фотографії представляти лише за крайньої необхідності.

Література: Список літературних джерел (не більше 15) нумерується в порядку згадування в тексті. Шрифт Times New Roman 10pt, прізвища авторів – курсивом. Скорочення назв цитованих джерел не допускається.

Статті, оформлені з недотриманням Вимог будуть повертатися авторам. Датою надходження буде вважатися дата повторного надходження статті, оформленої відповідно до вищевикладених Вимог. Більш детальну інформацію можна отримати в редакції журналу, т. (044) 456-48-67, (095) 277-33-73, поштою: shmorgun@nas.gov.ua, shmorgun@ittf.kiev.ua, або на сайті <http://www.ihe.nas.gov.ua>.

Поштова адреса редакції: вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна.

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ:

УДК 621.577

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ

Долінський А.А.¹, академік НАН України, Фіалко Н.М.¹, член-кореспондент НАН України, Навродська Р.А.¹, канд. техн. наук, Гнедой Н.В.², канд. техн. наук.

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

² Інститут проблем енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, Київ, 03057, Україна

Резюме (українською, російською та англійською мовами).

Ключові слова: енергетичне господарство України, вторинні енергоресурси, перспективи використання.

Бібліографія 4, рис. 5, табл. 1.

Список позначень.

ТЕКСТ СТАТТІ

(Текст оформлюється у відповідності до вищевикладеного макету статті)

ЛІТЕРАТУРА

1. *Статистичний щорічник України за 2010 рік.* – К.: Видавництво Консультант, 2011. – 551 с.

2. Фіалко Н.М., Зимин Л.Б. Анализ эффективности теплонасосных систем утилизации теплоты // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 1. – С. 77–85.

CONDITION AND PROSPECTS OF USE OF SECONDARY POWER RESOURCES IN THE POWER ECONOMY OF UKRAINE

Dolinskiy A.A.¹, Fialko N.M.¹, Navrodska R.A.¹, Gnedoy N.M.²

¹ Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

² Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Antonovycha, 172, Kyiv, 03057, Ukraine

The data about the structure and volume of waste energy output in the power sector of Ukraine are represented. Principles of changes of these volumes in concordance with the trends of the economy development are analyzed. The features of use of the different types of waste energy are considered. The prognostic assessment results of output volumes and the using levels of waste energy in the near future are given. (Об'єм реферата, структурованого, повинен містити не менш як 1800 знаків). References 4, tables 1, figures 5.

Key words: power economy, secondary power resources, waste energy.

1. [Statistical annual of Ukraine for 2010], Kyiv, Konsultant [Consultant]. 2011. 551p. (in Ukr.)

2. Fialko N.M., Zimin L.B. [Analysis of the efficiency of heat pump system for the utilization of sewage heat for the heat supply of social objects], Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering], ISSN 0204-3602, 2008. V. 30. № 1. P. 77–85 (in Ukr.)