

**Національна академія наук України
Інститут технічної теплофізики**

**Матеріали
XII Міжнародної онлайн-конференції
ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОФІЗИКИ
ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ
(26-27 жовтня 2021 р.)**

Київ
Видавець Симоненко О. І.
2021

Матеріали XII Міжнар. онлайн-конф. : Проблеми теплофізики та теплоенергетики (26-27 жовтня 2021 р.). – Київ : Симоненко О. І., 2021. – 160 с.

ISBN 978-617-7979-05-9

Видання містить матеріали XII Міжнародної онлайн-конференції «Проблеми теплофізики та теплоенергетики», в яких відображені погляди вчених і фахівців щодо вирішення проблем теплопостачання й ефективного використання енергоресурсів на найближчу перспективу.

Всі назви та зміст тез представлені в оригінальному викладі їх авторів без правок і коректур редакції. Оргкомітет не несе відповідальності за зміст представлених матеріалів.

Для наукових працівників, аспірантів та студентів енергетичних спеціальностей.



**ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ
НАН УКРАЇНИ**

**ХІІ Міжнародна онлайн-конференція
ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОФІЗИКИ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ
(26–27 жовтня 2021 р.)**

Конференція присвячена 30-річчю Незалежності України

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

- **Інститут технічної теплофізики НАН України**

За підтримки:

- Національної академії наук України
- Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України
- Комітету Верховної Ради України з питань енергетики та житлово-комунальних послуг
- Рівненської обласної державної адміністрації
- Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»
- Національного комітету з тепломасообміну
- Київської торгово-промислової палати

ПРОБЛЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ

1. Фундаментальні дослідження в теплофізиці і теплоенергетиці
2. Відновлювані та альтернативні джерела енергії
3. Енергоефективні теплотехнології та обладнання
4. Моніторинг і автоматизація в теплоенергетиці
5. Комунальна і промислова теплоенергетика
6. Енергоефективність будівель

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

Снєжкін Ю.Ф.

академік НАН України, директор ІТТФ НАН України,

Заступники голови:

Авраменко А.О.

чл.-кор. НАН України, заст. директора ІТТФ НАН України

Науковий секретар конференції:

Сергієнко Р.В. канд. техн. наук

Виконавчий секретар конференції:

Олійник Л.В.

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ.....	10
Снєжкін Ю.Ф. Енергетичні та екологічні аспекти процесів сушіння.....	10
Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Теплоенергетика і глобальне потепління: політика адаптації.....	11
Круковський П.Г., Метель М.О., Давиденко Б.В. Екологічні і енергетичні проблеми Нового Безпечного Конфайнмента Чорнобильської АЕС...	13
Секція №1 Фундаментальні дослідження в теплофізиці і енергетиці.....	14
Рудобашта С.П., Карташов Э.М., Зуева Г.А. Математическое моделирование осциллирующей и непрерывной электромагнитной сушки.....	14
Борисов І.І., Кобзар С.Г., Халатов А.А., Теплицький Ю.С., Піцуха Є.О. Вихрове допалювання продуктів газифікації біомаси в циклонно-шаровій топці з киплячим шаром.....	15
Fialko N.M., Dinzhos R.V., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Korzhik V.N., Navrodska R.A., Koseva N., Lazarenko M.M., Dashkovskaya I.L., Klishch A.V. Analysis of the dependence of the heat conductivity of polymer nanocomposites on the temperature regime of their preparation.....	16
Дорняк О.Р., Кошелева М.К. Тепло- и массоперенос при сушке материалов с различной структурой пористости.....	17
Попов В.М., Дорняк О.Р. Тепловая проводимость составных систем из плоских металлических и неметаллических элементов.....	18
Тирінов А.І., Щоголев Б.О., Коваленко О.В. Моделювання клинопідібної течії з проковзуванням методом ґраток Больцмана.....	19
Кремньов В.О., Басок Б.І., Тимощенко А.В., Тимощенко О.Б. Гідродинаміка та теплообмін розплаву базальту в фідері печі плавильної.	20
Скляренко Д.І., Круковський П.Г. Модель зовнішнього обтікання повітрям Нового Безпечного Конфайнмента Чорнобильської АЕС.....	21
Ковецька М.М., Гомжина Л.Д., Домашев В.Є. Теплообмін при природній конвекції реального газу біля вертикальної стінці.....	22
Москаленко А.А., Разумцева О.А., Проценко Л.Н. Переваги використання акустичного діагностичного модуля для ідентифікації режимів та інтенсивності нестационарного двофазного охолодження в рідинах.....	23
Тимощенко А.В., Гулієнко О.В., Тимощенко Є.В. Порівняння способів охолодження футеровки ванної плавильної печі.....	24
Дмитренко Н.П., Кондратьєва О.О., Волошина І.В. Нестационарный конвективный теплообмен у нанорідинах при миттєвому переході до плівкового кипіння.....	24
Халатов А.А., Доник Т.В. Вплив випуклості поверхні на плівкове охолодження з двофазною подачею охолоджувача в траншеї.....	25
Котульська О.В., Парамонова Т.М., Літвінова Ю.С. Температурний стан потоків пари у циліндрі низького тиску при мало-витратних режимах роботи турбіни.....	26
Маляренко О.Є., Горський В.В., Майстренко Н.Ю., Тесленко О.І. Прогнозний попит на теплову енергію за моделлю «країна-регіони-сектори економіки».....	27
Petrova Zh., Slobodianiuk K., Grakov O. Comparative analysis of theoretical	28

and experimental research of heat and mass transfer during convective drying.....	
Soroka B.S. Thermodynamic fundamentals of «wet» combustion process with two-stage heat recovery based upon Maisotsenko's cycle.....	29
Костіков А.О., Шубенко О.Л., Сенецький О.В., Бабак М.Ю., Голощанов В.М. Розробка принципів рішень при переведенні теплових схем діючих енергоблоків 300 МВт на суперпонадкритичні параметри пари	30
Шубенко О.Л., Сафонов В.Й., Бабак М.Ю., Сенецький О.В., Бояршинов О.Ю. Збільшення ресурсу і електричної потужності вологопарових ступенів парової турбіни при супергідрофобному покритті їх соплових апаратів.....	31
Кремньов В.О., Басок Б.І., Тимошенко А.В., Тимошенко О.Б. Аеродинаміка та теплообмін при складній теплопередачі та змішаному русі повітря в плоскому каналі.....	32
Москаленко А.А., Проценко Л.М., Разумцева О.В. Теплофізичний моніторинг деградації охолоджуючих властивостей мінеральних масел в промислових технологіях.....	33
Fialko N.M., Nosovskiy A.V., Prokopov V.G., Meranova N.O., Aleshko S.O., Khmil D.P., Sharaevskiy I.G., Pioro I.L., Zimin L.B., Vlasenko T.S. The structure of the distribution of the heat conductivity coefficient of super critical water with an upflow in a vertical tubes.....	34
Ковецька Ю.Ю., Коваленко В.М., Філіппова О.В. Теплообмін в круглому пористому мікроканалі з граничними умовами проковзування другого порядку.....	35
Fialko N.M., Nosovskiy A.V., Prokopov V.G., Meranova N.O., Aleshko S.O., Khmil D.P., Sharaevskiy I.G., Pioro I.L., Zimin L.B., Vlasenko T.S. Density fields of water in channels at supercritical pressures.....	36
Дядюшко Є.В., Склярєнко Д.І., Старовіт І.С. Неорганізований повітрообмін Нового Безпечного Конфайнменту ЧАЕС з оточуючим середовищем (моделювання за експлуатаційними даними).....	37
<i>Секція №2 Відновлювальні та альтернативні джерела енергії.....</i>	38
Желєзна Т.А., Баштовий А.І. Кращі приклади впровадження проєктів відновлюваної енергетики на рівні громад в ЄС і в Україні.....	38
Жовтянський В.А. Технології одержання «зеленого за зелений» водню	39
Уланов М.М. Акумуляування вільної електричної енергії з АЕС за рахунок виробництва екологічно-чистого водню.....	40
Сорока Б.С., Згурский В.С., Кудрявцев В.С., Горупа В.В. Энергетические характеристики метано-водородных смесей как перспективного альтернативного топлива.....	41
Любименко О.М. Використання водню в водневій енергетиці для отримання градієнтних сплавів.....	42
Павлюк Н.Ю., Сігал О.І. Використання енергетичного потенціалу твердих побутових відходів для декарбонізації енергетики і впровадження циркулярної економіки в Україні.....	43
Корінчук Д.М. Температурно-вологісна активація в технологіях виробництва гранульованого композиційного біопалива.....	44
Jomantas Giedrius, Buinevičius Kęstutis Pollutants emission reduction by burning biomass in staged mode.....	45

Драгнєв С.В. Аналіз викидів парникових газів виробництва біоетанолу з кукурудзи на зерно з відчуженням кукурудзиння для отримання теплової енергії.....	46
Сидоренко В.В., Ободович О.М. Вплив технологічних параметрів лужної попередньої підготовки на делігніфікацію соломи пшеничної.....	47
Кремньов В.О., Беляєв Г.В., Беляєва І.П. Лісорослинницька діяльність в Україні – проблеми координації і інтеграції з енергетикою та іншими галузями суспільного господарства.....	47
Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков К.Л. Скоординовані організаційно-технічні заходи на підприємствах лісового господарства – постачальниках і теплогенеруючих об'єктах-користувачах деревного палива.....	48
Стецюк В.Г., Корбут Н.С., Шпільберг Л.Ю. Використання факторів довкілля при оптимізації логістичних рішень теплоенергетичного використання неліквідного тонкоміру деревини.....	49
Беляєв Г.В., Корбут Н.С., Стецюк В.Г. Дослідження сушіння паливної тріски за рахунок енергії сонячного випромінювання.....	50
Кремньов В.О., Жуков К.Л., Беляєва І.П. Модульний комплекс з утилізації відходів біомаси орієнтований на умови м.Києва та Київської області.....	51
Самойленко К.М. Адсорбційні характеристики застарілих мулових відкладень, торфу, тирси та композиційних гранул з них.....	52
Новікова Ю.П. Дослідження показника активності води двокомпонентних гранул на основі мулових відкладень та торфу.....	53
Чмель В.М., Новікова І.П. Пірогенетична обробка корду та коксового залишку піролізу шин.....	54
Парамонова Т.М., Котульська О.В., Літвінова Ю.С. Аналіз роботи відновлюваних джерел енергії щодо необхідності використання компенсуючих потужностей.....	55
Іващук О.С., Атаманюк В.М., Чижович Р.А., Кузьмінчук Т.А., Кіяєва С.С., Жеребецький Р.Р. Дослідження теплотворної здатності осушеної післяспиртової барди.....	56
Ословський С.О., Безродний М.К. Енергетична ефективність використання системи кондиціювання на базі ґрунтового теплового насосу в активному та пасивному режимах.....	57
Зур'ян О.В., Олійниченко В.Г. Вплив сезонних факторів на ефективність роботи теплового насосу типу вода-вода.....	58
Басок Б.І., Новіцька М.П. Прогнозування теплового стану повітряно-ґрунтового теплообмінника із застосуванням штучної нейронної мережі...	59
Михайлик В.А., Корінчевська Т.В. Термічний аналіз гранульованого термообробленого композиційного палива.....	60
Чмель В.М., Новікова І.П. Розробка технології спалювання твердого палива.....	61
Горпинко Ю.І. Представлення ефективності активованих теплотою складних термотрансформаторів, підвищувальні частини яких є тепловими насосами.....	62
Секція №3 Енергоефективні теплотехнології та обладнання.....	63
Гапонюк І.І. Тепло-аеродинамічні особливості та способи удосконалення камерних американських зерносушарок Deluxe.....	63

Гапонюк І.І. Особливості технології, тепло-аеродинаміки та енергоемності вітчизняних і закордонних зерносушарок.....	64
Пазюк В.М. Використання енергії теплонасосних установок в зерносушильних комплексах.....	65
Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Тимошенко А.В., Шпільберг Л.Ю. Розробка основних технічних рішень та проектної документації дослідно-промислового модуля сушки твердих дисперсних матеріалів за рахунок енергії сонця.....	66
Кремньов В. О., Шпільберг Л.Ю., Жуков К.Л. Дослідження сушіння лісорослинницьких відходів (тріски паливної з тонкоміру) у щільному шарі і розроблення енергоефективної конвеєрної сушильної установки для сушіння твердих дисперсних матеріалів у середовищі високовологої пароповітряної суміші.....	67
Тимошенко А.В., Корбут Н.С., Стецюк В.Г. Дослідження сушіння лісорослинницьких відходів (тріски паливної з тонкоміру) у «псевдокиплячому» шарі та у експериментальній роторно-вихровій установці і розробка на цій основі дослідно-промислової роторно-вихрової сушарки для твердих дисперсних матеріалів.....	68
Тимошенко А.В., Корбут Н.С., Стецюк В.Г. Димогазовий енерготехнологічний комплекс з роторно-вихровою сушаркою та газогенератором для сушіння твердих дисперсних матеріалів.....	69
Корінчевська Т.В., Михайлик В.А. Дослідження термічної стійкості овочевих культур.....	70
Місюра Т.О., Безродний М.К. Енергетичний аналіз теплонасосної системи вентиляції, кондиціювання та осушення виробничого приміщення з утилізацією енергії вентиляційного повітря.....	71
Кузьменко І.М. Моделювання протитоку в плівкових контактних апаратах та особливості їх гідродинаміки.....	72
Целень Б.Я., Іваницький Г.К., Радченко Н.Л., Гоженко Л.П. Дослідження процесу дегазації рідини під впливом кавітаційних ефектів способу дискретно-імпульсного введення енергії.....	73
Гоженко Л.П., Іваницький Г.К., Целень Б.Я., Радченко Н., Недбайло А.Є. Застосування кавітаційного пульсаційного апарата для інтенсифікації процесу екстрагування з рослинної сировини.....	74
Радченко Н.Л., Іваницький Г.К., Целень Б.Я., Ганзенко В.В. Дієтичні безглютенові суміші на основі екструдованого голозерного вівса.....	75
Іваницький Г.К., Гоженко Л.П., Целень Б.Я., Радченко Н.Л. Моделювання гідродинамічних процесів в пульсаційному диспегаторі з соплом Вентурі.....	76
Кшевецький О.С. Експериментальна оцінка впливу застосування різних термоелектричних теплових насосів в деяких процесах з рухомих повітрям на енергоефективність цих процесів.....	77
Декуша Г.В., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О. Дослідження процесу одержання порошкової форми гриба шиїтаке з підвищеним вмістом лікувального полісахаридного комплексу.....	78
Ганжа М.Г., Кузнецов М.О., Ганжа А.М. Методика визначення теплоенергетичної ефективності компактних теплообмінних апаратів в схемах енергетичних установок.....	79

Малецкая К.Д., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К. Розвиток галузі виробництва сухих продуктів функціонального призначення на основі розробок ІТТФ НАН України.....	80
Вишнівський В.М. Методи інтенсифікації сушіння капусти білокачанної.....	81
Смольченко Д.А., Дейнеко А.І., Хуторний В.М. Теплофізичний аналіз опалювальної здатності вікон з електропідігрівом.....	81
Смольченко Д.А., Дядюшко Є.В., Дейнеко А.І. Термогідролічний аналіз і проектування термовакуумної камери для тестування орбітальних супутників.....	82
Долінський А.А., Грабова Т.Л., Посунько Д.В., Базєєв Р.Е. Фізичне моделювання процесів в технологіях отримання високо-дисперсних рідинних систем.....	83
Hotskyi Y.H., Stepaniuk A.R. Kinetics of the process of evaporation of multi-component solutions of ammonium sulphate on the surface.....	84
Liashenko A. The results of the implementation of pilot industrial samples of equipment for combined drying and grinding processes in one chamber.....	85
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А. Досвід використання кавітаційних технологій.....	86
Гусарова О.В., Шапар Р.О. Вплив виду сировини під час одержання продуктів снекової групи.....	87
Новодворський В.В., Швед М.П., Швед Д.М. Параметри контролю якості розплаву в процесі екструзії полімерів.....	88
Переяславцева О.О., Іваницький Г.К., Сильнягіна Н.Б. Математична модель сушіння окремих крапель біосуспензій в умовах розпилювальної камери.....	89
Переяславцева О.О., Іваницький Г.К., Степанова О.Є. Моделювання процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей.....	90
Дабіжа Н.О., Малащук Н.С., Чалаєв Д.М., Базєєв Р.Є. Дослідження полімерного перехреснотічного теплообмінника «повітря-повітря».....	91
Малащук Н.С., Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О. Енергоресурсозберігаючі технології зневоднення лікарських та пряно-ароматичних рослин.....	92
Титлов А.С., Адамбаєв Д.Б. Аналіз результатів испытаний бытового абсорбционного холодильного прибора на электрическом и газовом источнике тепловой энергии.....	93
Петрова Ж.О. Вплив температури на кінетику сушіння композиційних гранул.....	94
Малащук Н.С., Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О. Енергоефективна теплонасосна сушарка для зневоднення пряно-ароматичної сировини.....	95
Михайлик В.А., Корінчевська Т.В. Вплив способу та режиму сушіння цукровмісної сировини на кристалічність продукту.....	96
Секція № 4 Моніторинг і автоматизація в теплоенергетиці.....	97
Бабак В.П., Єременко В.С. Особливості побудови систем моніторингу та діагностування.....	97
Куц Ю.В., Щербак Л.М., Лисенко Ю.Ю. Застосування перетворення Гільберта для опрацювання сигналів у вимірювальному експерименті.....	98
Фуртат І.Е., Фуртат Ю.О. Про моделювання руху теплового фронту в пласті.....	99

Зайцева О.О., Чередниченко С.В., Грищенко Є.М., Яцюта О.І. Контроль метрологічних характеристик теплолічильників під час експлуатації.....	100
Воробйов Л.Й., Декуша Л.В. Малогабаритний зонд для вимірювання теплопровідності сипких матеріалів.....	101
Щепетов В.В. Захисні високотемпературні покриття для теплоенергетики.....	102
Харченко С.Д. Сучасні наноструктурні теплозахисні покриття.....	103
Ковтун С.І., Бабак В.П. Аналіз методів вимірювання теплопровідності для дослідження наногетерогенних матеріалів з підвищеною жаростійкістю.....	104
Декуша О.Л., Бурова З.А. Інформаційно-вимірювальна система теплофізичних характеристик матеріалів та виробів.....	105
Красильников А.И. Модели негауссовых распределений результатов измерений с нулевыми коэффициентами асимметрии и эксцесса.....	106
Берегун В.С., Красильников О.І. Використання кумулянтів другого і четвертого порядку для виявлення та розрізнення симетричних сигналів на фоні завади.....	107
Полобюк Т.А. Статистический анализ кумулянтной метрики для симметричных законов распределений.....	108
Сергієнко Р.В., Воробйов Л.Й. Квазідиференціальний кондуктивний калориметр з мультиреферентним імітатором.....	109
Іванов С.О., Декуша Л.В., Воробйов Л.Й. Низькотемпературна калориметрична система для дослідження стану вологи в матеріалах.....	110
Хайдуrow В.В. Обратные задачи как метод исследования и повышения производительности энергетических объектов и систем.....	111
Богачев І.В., Мислович М.В., Хайдуrow В.В. Ультразвукова діагностика елементів теплотехнічного обладнання на базі мало-апертурних магнітострикційних перетворювачів.....	112
Богачев І.В. Покращення метрологічних характеристик систем ультразвукового контролю з малоапертурними магнітострикційними перетворювачами.....	113
Склярєнко Є.В. Термохімічний метод - складова розвитку водневої енергетики.....	114
Свердлова А.Д., Запорожець А.О. Діагностування складних теплоенергетичних об'єктів із використанням нейронних мереж.....	115
Старовіт І.С., Дядюшко Є.В. Застосування технології нейронних мереж для аналізу гідравлічного стану Нового Безпечного Конфайнмента Чорнобильської АЕС.....	116
Олійник В.С. Методика термоциклування GaN HEMT транзисторів та оцінка термічної деградації.....	117
<i>Секція № 5 Комунальна і промислова теплоенергетика.....</i>	118
Колієнко А.Г., Супрун Т.Т., Шеліманова О.В. Фактори оптимізації температурного графіка відпуску теплоти в системах комунальної теплоенергетики.....	118
Степанов М.В., Клименко В.М. Технологічні та економічні аспекти впровадження когенерації в комунальній енергетиці України.....	119
Бабін М.Є., Дубовський С.В. Ретроспективний аналіз енергетичної ефективності ТЕЦ на основі термодинамічного методу поділу витрат.....	119
Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Стратегія енергетичної безпеки: комунальна енергетика.....	120

гетика.....	
Голощанов В.М., Костіков А.О., Тарасова В.О. Вибір схеми реконструкції енергоблоків ТЕЦ за технологією парогазової установки.....	122
Тарасова В.О., Соловей В.В., Зіпунніков М.М., Кузнецов М.О. Оцінка ефективності парогазових установок ТЕЦ з інтеграцією твердооксидних паливних елементів.....	123
Чиркова А.П., Халатов А.А., Шіхабутінова О.В., Олійник В.С. Аеродинаміка та теплообмін конічної труби ТЕС з урахуванням навколишнього середовища.....	124
Ступак О.С., Халатов А.А. Градирня нового покоління для атомної та теплової енергетики України.....	125
Петраш В.Д., Родин Б.А., Петухов С.А. Условия энергоэффективного теплоснабжения города Одессы на основе температурного потенциала морской воды.....	126
Басок Б.І., Лисенко О.М., Андрейчук С.В., Приємченко В.П. Особливості теплоспоживання будівлі при недотриманні температурного графіка теплової мережі.....	127
Навродська Р.О., Фіалко Н.М., Шевчук С.І., Гнедаш Г.О., Сбродова Г.О. Теплоутилізаційні системи з поглибленим охолодженням відхідних газів котельних установок.....	128
Гнедаш Г.О., Фіалко Н.М., Пресіч Г.О., Новаківський М.О. Підвищення теплової та екологічної ефективності парових котлів шляхом теплоутилізації відхідних газів.....	129
Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Пресіч Г.О., Степанова А.І. Покращення екологічних показників котельних установок з системами глибокої теплоутилізації відхідних газів.....	130
Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Aleshko S.A., Maletskaya O.E., Hanzha M.V., Babak V.P., Shepetov V.V., Kharchenko S.D. Analysis of temperature regimes of microjet burners with multi-layer coating.....	131
Fialko N.M., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O., Aleshko S.O., Yurchuk V.L., Polozenko N.P., Timoshchenko O.B., Abdulin M.Z., Regragui A., Kutnyak O.M. Working processes of microjet burners with cylindrical flame stabilizers in the presence of niche cavities.....	132
Tymchenko M.P., Fialko N.M. Traditional district heating systems vs 4 and 5 G-DH in the context of modern legislation of Ukraine and the EU.....	133
Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О., Альошко С.О., Рокитько К.В., Полозенко Н.П., Юрчук В.Л., Малецька О.Є., Абдулін М.З. Аналіз можливостей регулювання характеристик газових пальників з асиметричним паливо розподілом.....	134
Фіалко Н.М., Степанова А.І., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Сбродова Г.А. Оптимізація геометричних параметрів теплообмінної поверхні теплоутилізаторів скловарної печі.....	135
Фіалко Н.М., Степанова А.І., Навродська Р.О., Шевчук С.І., Новаковський М.О. Аналіз ексергетичної ефективності теплоутилізаторів скловарної печі.....	136
Демченко В.В. Технології накопичення енергії.....	137
Демченко В.Г., Коник А.В. Використання матеріалів з фазовим перехо-	138

дом в мобільних теплових акумуляторах.....	
Коник А.В., Фалько В.Ю. Створення бінарних теплоаккумуляційних матеріалів з низькотемпературним фазовим переходом.....	139
Макаренко Л.А. Ефективність використання систем центрального опалення для зберігання та транспортування холодної енергії.....	140
Погорєлова Н.Д. Процес плавлення матеріалу з фазовим переходом в системі зберігання теплової енергії.....	141
Хоменко М.В. Модернізація конструкції бункеру циклонного обладнання.....	142
Кобзар С.Г. Вплив заміщення частини вугільного пилу піролізними газами на екологічні та технологічні показники котла ТПП 312 при його роботі на понижених навантаженнях.....	143
Дейнеко А.І., Дядюшко Є.В., Захаров С.М. Аналіз енергоефективності методів осушення тунельного повітря КП "Київський метрополітен".....	144
Волошина І.В. Розгляд можливості автоматизації роботи установки з переробки сміття піролізом.....	145
<u>Секція №6 Енергоефективність будівель.....</u>	145
Гончаров П.В., Міходуй О.Л., Гончарова О.М., Набок Т.М., Чалаєв Д.М., Грабова Т.Л., Базєєв Р.Є., Ковальов В.І., Посунько Д.В. Знезараження повітря в системах Централізованої вентиляції громадських будівель.....	145
Басок Б.І., Давиденко Б.В., Новіков В.Г., Лисенко О.М. Розподіл температурних напружень в бетонній фасадній стіні будинку в зимовий період року.....	146
Постернак І.М., Постернак С.О., Постернак О.С. Енергореконструкція історичної забудови Одеси – як можливість розвитку інноваційного містобудівного середовища.....	147
Басок Б.І., Давыденко Б.В., Новиков В.Г. Особенности естественной конвекции и теплообмена в узком канале межстекольного пространства в современных стеклопакетах.....	148
Басок Б.І., Беляєва Т.Г., Хибина М.А. Енергоефективні будинки пасивного типу.....	149
Поклонський В.Г., Новак С.В. Теплофізичний аналіз при розрахунках будівельних конструкцій на вогнестійкість.....	150
Басок Б.І., Новіцька М.П. Аналіз теплотехнічних характеристик теплої водяної підлоги сухого способу укладання на основі теплофізичного моделювання.....	151
Недбайло О.М., Басок Б.І. Термовологісні параметри повітря в системі геотермальної вентиляції.....	152
Басок Б.І., Мороз М.В. Особливості теплоперенесення через стінову огорожувальну теплоізольовану конструкцію.....	153
Кремньов В.О., Жуков К.Л., Тимощенко А.В., Шпільберг Л.Ю. Пілотний проект (стартап) системи опалення на основі використання димогазового енерготехнологічного комплексу (інститут Теплофізики).....	154
Добровольський М.П., Сильнягіна Н.Б., Чалаєв Д.М. Інтенсифікація теплообміну в конденсаторі теплонасосного водонагрівача.....	155
Гончарук С.М., Басок Б.І., Давиденко Б.В., Кужель Л.М. Визначення параметрів ефективної роботи склопакету з електрообігрівом.....	156

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ

Сніжкін Ю.Ф.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 456-62-82,
e-mail: ittf_ntps@ukr.net*

Мета роботи: визначення шляхів зниження споживання енергоресурсів та викидів парникових газів в Україні при енергоефективному використанні процесів сушіння.

Результати роботи і висновки.

В розвинутих країнах з високотехнологічними виробництвами, великою часткою доданої вартості у внутрішньому валовому продукті (ВВП) та високим рівнем енергоефективності приріст ВВП відбувається при практично стаціонарному, а в деяких країнах навіть падінні рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів. Так наприклад, в економіці Німеччини при цьому відбувається ще й суттєве зменшення викидів парникових газів.

Баланс емісії парникових газів за секторами економіки ЕС показує, що на промислові процеси та сільське господарство приходить біля 20 % всіх викидів. В Україні цих викидів ще більше.

Сушіння це складний тепло технологічний процес зі значними витратами енергії на випаровування вологи, яка у вигляді водяної пари надходить в оточуюче середовище і відноситься до парникових газів.

Розрахунки показують, що на процеси сушіння в Україні витрачають 25 % енергії в промисловості і 15% в сільському господарстві від всієї енергії, яку вони споживають. Найбільші витрати енергії приходяться на виробництво цегли та будівельних матеріалів, потім сушіння вугілля, пиломатеріалів та агропромисловий комплекс. При цьому в оточуюче середовище країни викидається біля 17 млн. тон водяної пари. Найбільше її надходить від сушіння вугілля, процесів в агропромисловому комплексі та при зневодненні біомаси.

В Інституті розроблені методи інтенсифікації тепло- і масообміну в процесах сушіння та енергоефективне обладнання, яке дозволяє в 1,5 – 2 рази знизити енерговитрати та значно знизити викиди водяної пари в оточуюче середовище. Це стрічкові, тунельні, камерні, барабанні, розпилюючи сушарки, в яких витрати енергії на 1 кг випареної вологи значно нижче ніж в існуючому обладнанні, а використання в багатьох із них теплових насосів дозволяє конденсувати випарену вологу в рідину, і таким чином зменшити забруднення оточуючого середовища. Сушильне обладнання захищено патентами і апробовано на багатьох підприємствах України і за кордоном.

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА І ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ: ПОЛІТИКА АДАПТАЦІЇ

Басок Борис Іванович (доповідач), Базєєв Є.Т.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-47,
e-mail: basok@ittf.kiev.ua, ittfbazeev@gmail.com*

Мета. Розробка адаптаційних до змін клімату заходів при застосуванні інноваційних технологій та обладнання енергоефективних систем в сфері теплоенергетики, зокрема з використанням відновлюваних джерел енергії та інтелектуальних систем.

Результати. Як приклад, виконано експериментальні розробки інноваційно і енергоефективно-орієнтованих із скороченням викидів парникових газів технологій та обладнання систем енергозабезпечення будівель та оптимізація і адаптація їх до змін клімату. З метою розширення і поглиблення теорії і практики підвищення енергоефективності на найближчу перспективу визначено предмети фундаментальних і прикладних досліджень.

Висновки:

1. Є прихильники і техногенної, і природної концепції змін клімату та глобально потепління. Природну концепцію підтримують здебільшого науковці, антропогенну – в основному політики. Є й інші підходи, в яких причини та наслідки глобального потепління переставлені: зміни атмосферної концентрації діоксиду вуглецю – це є наслідком глобальних змін температури планети, а не їх причиною. Але є і зовсім радикальні погляди, наприклад: «Зараз ми живемо поблизу максимуму одного з тимчасових потеплінь, що почалося ще в XVII столітті, коли про антропогенний вплив на клімат викидів парникових газів в атмосферу і говорити не доводилося. Зрозуміло, що сучасне потепління має яскраво виражене природне походження і незабаром може зміниться новою фазою похолодання», «...в найближчому майбутньому нас чекає тільки похолодання і настання «малого льодовикового періоду», як це було в XVII–XVIII ст., зі зменшенням середніх температур на градус і більш».

2. Серед прихильників антропогенного впливу на глобальне потепління є багато політиків, в т.ч. достатньо впливових. Є й ті, хто вважає, що на зміну клімату діють одночасно і природні, і антропогенні фактори. Кожен має свої аргументи і вибудовує свої імперативи в проблемі глобального потепління. Але є й такі, які вважають, що глобальне потепління – це, швидше за все, наслідок руйнування природних екосистем, тобто порушення механізму регуляції хімічного складу атмосфери і природних вод та ґрунтів. Збої механізму ведуть до порушення стійкості життя на Землі на всіх рівнях. У доповіді Амстердамської конференції (2001 р.), присвяченій виконанню і перспективам основних глобальних наукових проблем, сформульоване фундаментальне положення: «Земля являє собою систему, в якій саме життя допомагає контролювати її стан. Біологічні процеси силь-

но взаємодіють з фізичними та хімічними процесами в формуванні властивостей навколишнього середовища, ніж це передбачалося раніше».

3. Проблема глобального потепління, розробки заходів із його пом'якшення, та/або адаптації до нього надмірно політизована; тут проявляються насамперед інтереси глобальних фінансистів і великих міжнародних корпорацій та бізнесових груп. Хоча першочергово вкрай потрібне беземоційне, зважене і об'єктивне дослідження світової наукової і технічної спільноти істинних причин, наслідків, викликів, загроз та ризиків, пов'язаних зі зміною клімату.

4. Вочевидь, що впливати на зміни клімату внаслідок сонячно-земної взаємодії надзвичайно важко, але до наслідків спільної дії обох факторів необхідно розробляти заходи адаптації до можливих природних змін. В нашій країні для цього повинна бути сформульована, прийнята і реалізована концепція, стратегія і програма адаптації економіки України (загальнодержавна і регіональні) до зміни клімату.

5. І останнє. Можна підтримати твердження автора: «Навіть якби глобального потепління не було, з точки зору провідних країн світу його слід було б вигадати, оскільки для його запобігання вживаються заходи, які сприяють розробці нових енергетичних технологій, заснованих на поновлюваних джерелах енергії». Розробка нових енергетичних технологій, звичайно, не повинна обмежуватися тільки орієнтацією на поновлювані джерела енергії. Якщо говорити про прогнози розвитку енергетики і, відповідно, про характер динаміки емісії парникових газів, то в найближчі десятиліття можуть і будуть проявляти себе такі тенденції:

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

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 спостерігається вже більше ста років (перехід від вугілля до нафти, газу і останнім часом – до збільшення обсягів поновлюваних енергоресурсів). Остання тенденція призводить, як зазначено в, до зниження темпів зростання антропогенного впливу на кліматичну систему. Тому слід очікувати досить помірних змін складу атмосфери і клімату планети. Саме на такі етапи розвитку і орієнтується українська теплоенергетика.

ЕКОЛОГІЧНІ І ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

**Круковський Павло Григорович (доповідач), Метель М.О.,
Давиденко Б.В.**

Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (096) 333 7981, e-mail: kruk_2@ukr.net

Новий Безпечний Конфайнмент (НБК) ЧАЕС призначений для забезпечення безпеки персоналу НБК та оточуючого середовища під час виконання робіт з перетворення зруйнованого 4-го енергоблоку в екологічно безпечну систему. Нажаль оболонки та будівельні конструкції під стінами НБК не є герметичними, що призводить до неорганізованого повітрообміну з радіоактивними аерозолями (РА) НБК з оточуючим середовищем. Для зниження виходу РА із НБК існує потужна система вентиляції об'ємів НБК **загальною потужністю біля 1 МВт**, яка повинна працювати на протязі 100 років проектного терміну служби НБК, що змушує ЧАЕС розглядати шляхи підвищення енергоефективності режимів роботи технологічних систем НБК.

Метою роботи є визначення шляхів зниження неорганізованого повітрообміну з РА НБК з оточуючим середовищем і зниження споживання електричної енергії системою вентиляції.

Результати роботи і висновки.

1. Має місце неорганізований вихід повітря і РА із основного об'єму НБК назовні, який суттєво залежить від напрямку і швидкості вітру, що є **екологічною проблемою НБК**.

2. **Енергетичною проблемою НБК** є високе споживання електричної енергії системою вентиляції.

3. Зменшити і навіть уникнути неорганізованого виходу повітря з РА в навколишній простір можливо **шляхом оптимального управління вентиляцією НБК**, що також дозволяє зменшити споживання електричної енергії системою вентиляції НБК.

Результатом даної роботи є також висновок що оптимальне управління вентиляцією НБК може бути досягнуто шляхом розробки моделей термогазодинамічного і вологісного стану НБК, які враховують зміну кліматичних умов і всіх експлуатаційних параметрів системи вентиляції НБК. В доповіді розглядаються розроблені в Інституті технічної теплофізики моделі аналізу і прогнозування неорганізованого повітрообміну НБК з навколишнім середовищем при довільному напрямку і швидкості вітру. Моделі були застосовані для зменшення цих витрат за допомогою керування вентиляційними установками, що дозволяє **зменшувати екологічне навантаження** на оточуюче середовище завдяки **зниженню неорганізованого повітрообміну з РА НБК з оточуючим середовищем** і дозволяє **підвищувати енергоефективність** НБК завдяки **зниженню споживання електричної енергії** системою вентиляції.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ И НЕПРЕРЫВНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СУШКИ

**Рудобашта Станислав Павлович¹ (докладчик), Карташов Э.М.²,
Зуева Г.А.³**

*1 – Российский государственный аграрный университет – РГАУ-МСХА
им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия; тел. (905) 590-23-38, e-mail: rudobasta@mail.ru;*

2 – Институт тонких химических технологий Московского государственного университета информационных технологий, радиотехники и электроники, Москва, Россия;

*3 – Ивановский государственный химико-технологический университет,
Иваново, Россия*

Цель работы: разработка аналитических математических моделей, описывающих электромагнитный нагрев тел разной формы в условиях их конвективной сушки и расчет кинетики сушки с их использованием.

Результаты. Сформулированы математические модели, описывающие нагрев тел разной формы (пластина, цилиндр, шар) под воздействием электромагнитного поля и получены их аналитические решения.

При формулировке задач было принято, что внутренние фазовые превращения в теле отсутствуют (сток теплоты на испарение влаги происходит у поверхности тела), цикличность облучения задавалась с помощью единичной функции Хевисайда. Кинетика сушки описана на основе решений задач массопроводности (термовлагопроводность и фильтрационный перенос влаги отсутствуют). Вследствие намного большей инерционности поля влагосодержаний по сравнению с полем температур и малым периодом осцилляций температуры считали, что колебания температуры не искажают кривую сушки и она имеет гладкий монотонный характер, что для процесса инфракрасной сушки-стимуляции семян подтверждается экспериментально. Решения задач получены при условии постоянства теплофизических характеристик.

На основе полученных решений проведено численное моделирование процесса осциллирующей инфракрасной сушки семян различной формы, показавшее "работоспособность" полученных решений. В результате проведенного численного моделирования найдены технологические режимы осциллирующей инфракрасной сушки семян при заданных минимальной и максимальной температурах их нагрева в цикле и длительности облучения, которые позволяют не только высушить семена, но и существенно улучшить их посевные качества - энергию прорастания и всхожесть.

Получено также аналитическое решение задачи непрерывного электромагнитного нагрева плоского тела при ТВЧ и СВЧ энергоподводе с учетом стока тепла на испарение влаги и выполнен численный анализ процесса на его основе с целью изучения влияния на него различных факторов.

Вывод: разработанные математические модели, описывающие нагрев тел разной формы в условиях конвективной сушки, могут быть использованы в практических расчетах.

ВИХРОВЕ ДОПАЛЮВАННЯ ПРОДУКТІВ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ В ЦИКЛОННО-ШАРОВІЙ ТОПЦІ З КИПЛЯЧИМ ШАРОМ

Борисов Ігор Іванович¹ (доповідач), **Кобзар С.Г.¹**, **Халатов А.А.¹**,
Теплицький Ю.С.², **Піцуха Є.О.²**

1 – Інститут технічної теплофізики НАН України;

тел. (044) 453-28-53, e-mail: igor_borysov@ukr.net;

2 – Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова НАН Білорусі

Метою роботи є визначення впливу підігріву вторинного повітря на екологічні характеристики циклонно-шарової топки з киплячим шаром.

За допомогою пакету прикладних програм ANSYS CFX виконано комп'ютерне моделювання процесу спалювання продуктів газифікації біомаси у вторинній камері згоряння циклонно-шарової топки. В якості об'єкту дослідження була вибрана експериментальна установка білоруських дослідників з ІТМО ім. А.В. Ликова БИ-1М тепловою потужністю 25 кВт, параметри продуктів газифікації задавались виходячи з експериментальних даних. Вторинне повітря подавалось тангенціально на периферії топки, його температура варіювалась в діапазоні від 30°C до 300°C.

В результаті розрахунку було отримано поля осьової та окружної швидкості, статичного тиску, кінетичної енергії турбулентності, температури, концентрації окису вуглецю в об'ємі топки, середньої температури та концентрації СО на виході. Розрахунки показали, що при проході через діафрагму між первинною та вторинною камерами згоряння відбувається інтенсивне змішування продуктів газифікації та вторинного повітря за рахунок генерації турбулентності на границі двох потоків. В результаті відбувається ефективне спалення продуктів газифікації.

Визначено суттєвий вплив підігріву вторинного повітря на екологічні характеристики топки. В результаті підігріву у 2 рази зростає окружна швидкість вторинного повітря, що призводить до інтенсифікації перемішування і збільшення повноти згоряння. Моделювання показало, що підігрів вторинного повітря з 30°C до 300°C знижує концентрацію діоксиду вуглецю на виході з установки з 65 ppm до 40 ppm, тобто більш, ніж у 1,5 рази.

Робота виконувалась за Договором № 02-04-20 «Фізико-хімічні процеси спалювання гранульованої біомаси з комбінацією зернистого шару і вихрового допалювання» в рамках спільного конкурсу НАН України та НАН Білорусі 2020 р.

ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE HEAT CONDUCTIVITY OF POLYMER NANOCOMPOSITES ON THE TEMPERATURE REGIME OF THEIR PREPARATION

Fialko N.M.¹, Dinzhos R.V.², Sherenkovskiy Ju.V.¹, Meranova N.O.¹,
Korzhik V.N.³, Navrodska R.A.¹, Koseva N.⁴, Lazarenko M.M.⁵,
Dashkovskaya I.L.¹, Klishch A.V.¹

1 – Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine, 2a, Maria Kapnist st., Kyiv, 03057, Ukraine; tel. +38(044)456-91-71, nmfialko@ukr.net

2 - V.O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv, 24 Nikolskaya st., Mykolaiv, 54030, Ukraine;

3 – E.O. Paton Electric Welding Institute, 11, Kazimir Malevich st., Kyiv, 03680, Ukraine;

4 – Institute of Polymers of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

5 – Taras Shevchenko National University of Kyiv, 60 Vladimirskaya st., Kyiv, 01033, Ukraine

Purpose of work. Establishing the regularities of the influence of the temperature regime of obtaining nanocomposites on their heat-conducting properties.

Results. Experimental studies have been carried out to establish the dependence of the heat conductivity of polypropylene-based nanocomposites filled with carbon nanotubes (CNTs) on the main parameter of the temperature regime of their preparation - the level of overheating of the polymer melt relative to its melting point. The studies were carried out for nanocomposites obtained applying a method based on mixing components in a polymer melt using a special disk extruder. In the process of obtaining composites, the level of overheating of the melt varied from 10 to 75 K with varying the mass fraction of the filler from 0.3 to 10.0%.

It is shown that an increase in the overheating of the polymer melt leads to an increase in the heat conductivity of the composites. However, upon reaching a certain value of the overheating, its further growth does not provide an increase in the heat conductivity of nanocomposites. Based on the established regularity, the rational level of this overheating was determined. The latter meets the objectives of obtaining highly heat-conducting nanocomposites and implementing the corresponding energy-saving technology. Data on the effects of the influence of the overheating of the polymer melt on the values of the first and second percolation thresholds for the considered nanocomposites are obtained. It has been established that the value of the first percolation threshold is more sensitive to the value of the specified overheating.

Conclusions. Experimental dependences of the heat conductivity of polymer nanocomposites based on polypropylene filled with CNTs on the level of overheating of the polymer melt relative to its melting point have been obtained for a wide range of temperature variations of the composites.

ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС ПРИ СУШКЕ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОРИСТОСТИ

Дорняк Ольга Роальдовна¹ (докладчик), Кошелева М.К.²

1 – Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия, тел. +7(908)144-90-97, e-mail: ordornyak@mail.ru

2 – Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия, тел.8(926)355-04-48, e-mail: oxtraxt@yandex.ru

Целью работы является экспериментальное и теоретическое исследование кинетических закономерностей процесса сушки материалов, которые значительно различаются по свойствам, характеризующим их как объекты сушки.

Результаты. Проведено комплексное экспериментальное исследование структурных и сорбционных характеристик двух объектов сушки – гранул поликапроамида (ПКА) и гранул носителя никелевого катализатора (ННК). Установлены характерный радиус и объемное содержание пор. Экспериментально исследован процесс внутреннего массопереноса, получены зависимости коэффициента массопроводности от влаго-содержания и температуры. Показано, что характер зависимостей коэффициентов массопроводности для обоих материалов одинаков, при этом их численные значения отличаются на три порядка, что обусловлено различиями в механизмах массопереноса. Перенос влаги в грануле ПКА осуществляется путем молекулярной (активированной) диффузии, что подтверждается низкими значениями коэффициентов массопроводности ($10^{-10} \div 10^{-11}$ м²/сек); в грануле ННК - за счет совокупности механизмов массопереноса, характерных для капиллярно-пористых материалов (капиллярный перенос, пленочное течение, диффузия пара и др.).

Моделирование процессов тепло- и массопереноса проведено на основе математической модели, включающей нестационарные уравнения влаготеплопроводности, теплопроводности, в целом повторяющие уравнения известной модели академика А.В. Лыкова. Коэффициенты массопроводности и интенсивность фазовых переходов определяются локально с помощью специальных зависимостей на основе опытных политерм десорбции. В модель включены дополнительно уравнение концентрации паровой компоненты и уравнение для давления этой смеси, отличающееся от известного уравнения общего давления, что позволяет последовательно рассчитать интенсивность фазовых переходов при сушке.

Вывод. Верификация математической модели тепло- и массопереноса диффузионно-фильтрационного типа на основе экспериментальных кривых кинетики сушки подтверждает возможности использования модели в регулировании процесса конвективной сушки материалов с различной пористостью.

ТЕПЛОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ СОСТАВНЫХ СИСТЕМ ИЗ ПЛОСКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Попов Виктор Михайлович (докладчик), **Дорняк О.Р.**

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия, тел. +7(908)144-90-97, e-mail: ordornyak@mail.ru

Целью работы является экспериментальное исследование термического сопротивления в зоне контакта плоских элементов разъемных соединений из однородных и гетерогенных материалов.

Результаты исследования контактного термосопротивления (КТС) получены на установке стержневого типа для образцов из сплава Д16Т (нагреватель) и термообработанной древесины березы при влажности 11% по методике¹. В образцах фиксировались по 4 хромель-копелевых термопары. Специальное устройство прижима позволяет создать в зоне контакта элементов давление до 100 МПа. Замеры температуры проводились в стационарном режиме. КТС в зоне раздела определялось по известной формуле $R_k = \Delta T_k / q_m$, где ΔT_k – температурный скачок в зоне контакта, q_m – средний удельный тепловой поток в зоне контакта. В данной работе значение q_m определено как среднее арифметическое для плотности теплового потока в 1 и 2 образце. В таблице представлено влияние на значение КТС R_k величины давления в зоне контакта p . Среднее значение высоты микровыступов на поверхности образцов из сплава Д16Т $R_{z1} = 2.1$ мкм, из древесины $R_{z21} = 1.8$ мкм. Температура контакта 352 К.

Таблица. Зависимость КТС от давления для контактной пары из сплава Д16Т и термообработанной древесины березы, подвергнутой нагреву

$p, \text{МПа}$	$\Delta T_k, \text{К}$	$Q_m \cdot 10^{-3}, \text{Вт/м}^2$	$R_k \cdot 10^{-4}, (\text{м}^2 \text{К})/\text{Вт}$
0.1	4.6	8.2	5.7
0.25	4.25	9.1	4.4
0.6	4.0	9.3	4.1
1.0	3.62	9.6	3.8
1.2	3.5	10.7	3.2
1.5	3.33	11.9	2.8

Вывод. Значения КТС для разнородных материалов идентичны известным данным большинства исследователей для однородных материалов, что связано с выбором метода определения теплового потока в контактной зоне q_m . В случае разнородных образцов контактной пары необходимо обоснование иных методов определения этой величины.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-08-00165).

¹ Попов В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. – М.: Энергия, 1971. с.

МОДЕЛЮВАННЯ КЛИНОПІДІБНОЇ ТЕЧІЇ З ПРОКОВЗУВАННЯМ МЕТОДОМ ГРАТОК БОЛЬЦМАНА

Тирінов Андрій Іванович, Щоголев Б.О., Коваленко О.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, 03057, м. Київ, вул. М. Капніст, 2а
тел.: (044) 456-90-49, e-mail: atyrinov@ittf.kiev.ua

Задача моделює процеси, що відбуваються в підшипниках ковзання. З огляду на малу ширину клиновидного каналу (порядку 10^{-6} м), чисельне моделювання даної задачі необхідно проводити з урахуванням граничних умов проковзування середовища на стінках каналу. Висота каналу залежить від горизонтальної координати.

Граничні умови:

- нижня границя – непроникна стінка із постійною швидкістю U і з умовою проковзування;
- верхня границя – похила непорушна стінка з умовою проковзування;
- ліва й права границі – постійний тиск p_0 .

Для задання граничних умов тиску використовується підхід, що полягає у перерахунку тиску рідини на границі у щільності вузлів. Отримане значення щільності на границі використовується для розрахунку функцій розподілу вірогідностей у комірках ґраток.

На нижній стінці, що рухається зі швидкістю U , швидкість проковзування u_{wb} у приграничних комірках визначається виразом

$$u_{wb} = U \frac{\text{Kn } N_y}{(1 + \text{Kn } N_y)},$$

де число Кнудсена Kn залежить від координати x , і коефіцієнта нахилу k

$$N_y = N_{y0} \left(1 + k \frac{x}{N_x} \right),$$

а N_x - кількість елементів ґраток вздовж осі x , а N_{y0} - уздовж осі y для висоти каналу h_0 .

Швидкість проковзування у комірках біля верхньої, похилої, границі обчислюється за виразом

$$u_{wt} = \tilde{u}'_y \frac{\text{Kn } N_y}{(1 + \text{Kn } N_y)},$$

де $\tilde{u}'_y$ - швидкість в сусідній нижній комірці.

Моделювання виконувалось методом ґраток Больцмана в двовимірній постановці на ґратці D2Q9 з дев'ятьма швидкісними каналами. Ґратка 400x40 елементів. Метод ґраток Больцмана був реалізований в середовищі GNU Octave.

Досліджено режими течії як без прослизання (число Кнудсена $\text{Kn} = 0$), так і в діапазоні чисел Кнудсена $\text{Kn} = 0,1 \dots 0,001$. Отримано профілі швидкості та тиску.

ГІДРОДИНАМІКА ТА ТЕПЛООБМІН РОЗПЛАВУ БАЗАЛЬТУ В ФІДЕРІ ПЕЧІ ПЛАВИЛЬНОЇ

Кремньов В.О., Басок Б.І., Тимошенко Андрій Володимирович (доповідач), Тимошенко О.Б.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (+38 044) 424 1586,
e-mail: kremnev@ukr.net, a_timoshchenko@ukr.net*

Мета роботи полягала в побудові границь гарнісажного шару в ванній та фідерній частинах печі, обчисленні значень верхньої та нижньої меж кристалізації розплаву, аналізі впливу граничних умов моделі на процеси витікання розплаву з фідерної частини печі через фільтрний живильник при формуванні базальтових волокон.

Результати – одержано поля швидкостей, температури та тиску, встановлено розміри гарнісажного шару в фідері печі, вивчено вплив на них таких технологічних факторів, як температури, рівня та витрати розплаву, температури поверхні фільтрного живильника. Встановлено, що температурна неоднорідність призводить до гідродинамічної неоднорідності, внаслідок чого різні елементарні об'єми розплаву базальту не однаковий час перебувають у ванній печі плавильної і повинні мати різну ступінь гомогенізації. Ситуація ускладнюється на водоохолоджувальних елементах кріплення фільтрного живильника, на них спостерігається значна деформація профілів швидкості і температури, значно збільшуються розміри гарнісажного шару, стаючи пропорційними з глибиною шару розплаву. Наслідком температурної, а за нею й в'язкостної, неоднорідності, є нерівномірна робота фільтрних каналів. Течія в них характеризується різними масовими витратами розплаву та, в тому числі, виступає джерелом різноманітності базальтових волокон. Крім того, наявність в фільтрному живильнику областей розплаву з різною в'язкістю викликає подальше порушення технологічного процесу за рахунок збільшеної обривності волокна.

Висновки - одержано розміри гарнісажного шару в ванному та фідерному просторі печі. Досліджено вплив на розміри гарнісажного шару інтенсивності охолодження поверхні розділу, витрати, рівня та середньої температури розплаву базальту. Встановлено, що до сукупності факторів, що впливають на стабільність технологічного процесу та однорідність ансамблю базальтових волокон, слід додати внутрішні умови течії та теплообміну розплаву в ванній та фідері печі плавильної. На практиці це дозволило сформулювати вихідні дані для модернізації фідеру плавильної печі та вузла кріплення пластинчастого фільтрного живильника.

МОДЕЛЬ ЗОВНІШНЬОГО ОБТІКАННЯ ПОВІТРЯМ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

Скляренко Дмитро Ігорович (доповідач), Круковський П.Г.

*Інститут технічної теплофізики НАН України,
тел. (044) 453-28-60, e-mail: cklyr90@bigmir.net*

Новий Безпечний Конфайнмент (НБК) є захисною спорудою 4-го енергоблоку ЧАЕС який побудований з метою перетворення зруйнованого енергоблоку в екологічно безпечну систему. Для забезпечення безпеки персоналу НБК та навколишнього середовища необхідно моніторити та автоматично керувати протічками повітря з радіоактивними аерозолями (РА) назовні і всередину НБК за допомогою керуючою системою вентиляції НБК з метою не перевищення граничнодопустимого рівня викиду РА із НБК.

Метою роботи є побудова CFD моделі зовнішнього обтікання повітрям НБК та подальше її налаштування по літературним та експлуатаційними даним ЧАЕС для отримання розподілу тисків по зовнішній поверхні НБК та будівельним конструкціям об'єкта «Укриття» при обтіканні повітрям, який дозволить в реальному часі отримувати прогнозні значення витрат ($\text{м}^3/\text{с}$) протічок повітря з РА назовні і всередину НБК та керувати вентиляційною системою НБК з метою не перевищення гранично допустимого рівня викиду РА із НБК.

Результати роботи.

1. аналіз літературних даних зовнішнього обтікання будівель показав, що на навітряній стороні аеродинамічний коефіцієнт тиску C_p повинен бути $C_p=0,6\div0,9$, а на підвітряній стороні $C_p=-0,2\div-0,6$ і залежить від швидкості вітру, що набігає, рельєфу місцевості та геометрії будівель;

2. аналіз існуючих граничних умов (ГУ) у вигляді карт тиску отриманих компанією НОВАРКА в аеродинамічній трубі, який показав для підвітряної сторони НБК значення $C_p=2,0$, що якісно і кількісно не співпадають з літературними даними зовнішнього обтікання;

3. залежність тиску для різних сторін теплиці з дахом аروحного типу показує, що якісно і кількісно ГУ за стандартом EN 1991-1-4: 2005. Єврокод 1. Впливи на конструкції. Частина 1-4. Загальні впливи. Вітрові впливи, добре співпадають ($C_p=0,9$ і $-0,6$) з картами тиску із CFD моделі теплиці для рельєфу місцевості III типу і показником степеневого закону $m=0,31$ для врахування зміни швидкості вітру по висоті моделі.

Висновок. За результатами роботи отримано розподіл тисків по зовнішній поверхні НБК та будівельним конструкціям об'єкта «Укриття» при обтіканні повітрям для різних напрямків вітру, які якісно і кількісно співпадають з літературними даними зовнішнього обтікання будівель і теплиць та які в подальшому додатково потрібно налаштовувати по експлуатаційними даним перепадів тисків і швидкостей вітру біля НБК отриманих ЧАЕС.

ТЕПЛООБМІН ПРИ ПРИРОДНІЙ КОНВЕКЦІЇ РЕАЛЬНОГО ГАЗУ БІЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ СТІНЦІ

Ковецька Маргарита Марківна (доповідач), **Гомжина Л.Д.,
Домашев В.Є.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел.(044) 543-28-93,
e-mail: Kovetskamargarita@ukr.net*

Аналіз результатів дослідження гідродинаміки і теплообміну в теплоносіях з нелінійною залежністю густини від температури свідчить, що коефіцієнти тепловіддачі і критичні числа Релея істотно залежать від ефектів стисливості середовища. Особливу увагу надається дослідженням процесів теплообміну в області нелінійної залежності густини теплоносія від температури, що визначається рівнянням стану Ван дер Ваальса.

Мета роботи полягає в дослідженні впливу теплофізичних властивостей газу Ван дер Ваальса на теплообмін при природній конвекції біля вертикальної стінці, що нагрівається.

Розглянута задача стаціонарного процесу природної конвекції газу Ван дер Ваальса біля вертикальної стінці з постійною температурою, яка більша, ніж температура газу. Біля стінці утворюється спрямований вгору рух нагрітого шару газу товщиною δ . Розв'язується система рівнянь збереження маси, кількості руху і енергії з рівнянням стану Ван дер Ваальса у

вигляді $(p + ar^2)\left(\frac{1}{\rho} - b\right) = RT$, где a і b – сталі параметри. Рішення задачі

отримано на основі аналізу симетрії (групи Лі). Визначені профілі швидкості, температури і коефіцієнти тепловіддачі для різних значень параметрів в рівнянні стану. Дано порівняння отриманих результатів з випадком ідеального газу (рівняння стану Клайперона). Показано, що нелінійні ефекти в рівнянні стану, які описуються параметром a сприяють збільшенню швидкості в пристінному шарі порівняно з ідеальним газом. Це обумовлено ефектом додаткового тиску, який в рівнянні стану характеризується параметром a . Параметр b в рівнянні Ван дер Ваальса характеризує додатковий об'єм, збільшення якого сприяє уповільненню потоку. Інтенсифікація і ослаблення теплообміну також обумовлені ефектами нелінійності в рівнянні стану, що пов'язано з впливом параметрів Ван дер Ваальса на профілі швидкості. Отримані результати впливу параметрів Ван дер Ваальса на коефіцієнти тепловіддачі якісно узгоджуються з результатами аналітичного рішення.

Висновок: Отримано рішення стаціонарної задачі теплообміну при природній конвекції газу Ван дер Ваальса біля вертикальної стінки, що нагрівається. Показано, що інтенсифікація теплообміну обумовлена ефектами нелінійності в рівнянні стану і пов'язана зі впливом параметрів Ван дер Ваальса на профілі швидкості.

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ АКУСТИЧНОГО ДІАГНОСТИЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РЕЖИМІВ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ НЕСТАЦІОНАРНОГО ДВОФАЗНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ В РІДИНАХ

Москаленко А.А., Разумцева О.А., Проценко Л.Н.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. 453-28-93,
e-mail: admin@ittf.kiev.ua

Мета: експериментальне підтвердження обґрунтованості використання діагностичного акустичного модуля для безконтактного визначення режимів та їх тривалості в процесах високофорсованого двофазного охолодження в рідинах та розчинах.

Результати: досліджений метод ідентифікації режимів кипіння для визначення охолоджуючої здатності рідин з різним складом та фізичними властивостями.

Висновки:

1. Акустична діагностика дозволяє реєструвати двофазний теплообмін на поверхні дослідного термозонду в режимі реального часу.
2. Використання акустичного модуля дозволяє записувати акустичні сигнали синхронно з початком і кінцем режимів кипіння на поверхні теплового зонда.
3. Частотно-амплітудний аналіз змін шуму при кипінні дозволяє визначати наступні фази і характеристики процесу: а) наявність та тривалість режиму вибухового скипання; б) початок формування плівкового режиму кипіння; в) руйнування парової плівки на поверхні зразка і перехід до режиму бульбашкового кипіння; г) встановлення розвиненого бульбашкового режиму кипіння, під час якого амплітуда сигналу зростає в 5 - 10 разів; д) закінчення режиму інтенсивного кипіння на поверхні термозонда і перехід до режиму конвективного теплообміну, в якому акустичний шум відсутній.
4. Результати термометричних вимірювань та розрахунки теплофізичних показників тепловіддачі шляхом рішення оберненої задачі теплопровідності, з допомогою встановленої програми IQLab, підтверджують взаємозв'язок результатів акустичного і термометрического методів.
5. Попередні випробування в умовах промислового виробництва підтверджують реальну ймовірність подальшої заміни традиційного термометричного методу на безконтактний акустичний для визначення на практиці охолоджуючої здатності рідин.

ПОРІВНЯННЯ СПОСОБІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ФУТЕРОВКИ ВАННОЇ ПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

**Тимощенко А.В., Гулієнко Олег Валерійович (доповідач),
Тимощенко Є.В.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (+38 044) 424 1586;
e-mail: kremnev@ukr.net, a_timoshchenko@ukr.net*

Бажання знизити теплові втрати через футеровку печі плавильної, потребує перегляду існуючого способу її охолодження. Умовою цілісності футеровки є організація такої величини густини теплового потоку, при якій на границі розділу «розплав - футеровка» формується гарнісажний шар, що захищає футеровку від фізико-хімічного руйнування. Проведено оцінку інтенсивності охолодження поверхні печі різними способами.

Мета роботи полягала в визначенні величини густини теплового потоку на поверхні футеровки, що відповідає різним способам охолодження поверхні печі.

Розглядалися умови, що відповідають:

- а) природному радіаційно-конвективному охолодженню в повітряному середовищі;
- б) примусовому конвективному охолодженню повітрям;
- в) примусовому конвективному охолодженню водою.

Результати. Одержано розподіли температури та густини теплового потоку в масиві футеровки ванної плавильної печі, що відповідають різним способам її охолодження, проведено порівняння величини густини теплового потоку для різних способів охолодження поверхні.

Висновки. Розглянуто різні способи охолодження футеровки печі. Встановлено, що примусове конвективне повітряне охолодження поверхні футеровки, відповідає мінімальним рекуперативним втратам теплоти. У порівнянні зі способом охолодження, який широко застосовується, – природнім радіаційно-конвективним охолодженням – досягається 11-13% зниження величини втрат теплоти. У порівнянні з примусовим водяним охолодженням досягається 19-24% зниження величини теплових втрат. Результати дослідження використано при створенні енергоефективної конструкції корпусу ванної плавильної печі.

НЕСТАЦІОНАРНИЙ КОНВЕКТИВНИЙ ТЕПЛООБМІН У НАНОРІДИНАХ ПРИ МИТТЄВОМУ ПЕРЕХОДІ ДО ПЛІВКОВОГО КИПІННЯ

**Дмитренко Наталія Павлівна (доповідач), Кондратьєва О.О.,
Волошина І.В.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 543-28-93,
e-mail: dmytrenkonata1@meta.ua*

Задача, що розглядається зосереджена на проблемі конвективної теплопередачі між шаром (тобто плівкою) пари з наночастинками та верти-

кальною пласкою стінкою, коли тепловий потік раптово подається на стінку. Щільність теплового потоку вища за критичний тепловий потік. В результаті на стінці утворюється пароізоляційна плівка з товщиною δ . Припускається, що парова плівка виникає миттєво.

Поставлена задача буде розв'язана з урахуванням двох наборів граничних та початкових умов. Перший набір умов стверджує, що градієнт швидкості зникає на межі поділу між фазами, що узгоджується з підходом Бромлі. Другий набір умов включає початкові та граничні умови, запропоновані Еліоном для нерухомої рідини на межі розділу пара-рідина.

Метою дослідження є врахування впливу наявності наночастинок на динаміку миттєвого переходу до плівкового кипіння. Обчислення проводиться чисельно на основі автотельних рівнянь, отриманих за допомогою перетворень групи Лі.

Потік нанорідини та тепловіддача в паровій плівці описується наступною математичною моделлю:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + g \rho_f,$$

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \rho_p c_p \left(D_B \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{D_T}{T} \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} \right),$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D_B \frac{\partial \phi}{\partial y} + \frac{D_T}{T} \frac{\partial T}{\partial y} \right),$$

де c_p - теплоємність, D_B - коефіцієнт броунівської дифузії, D_T - коефіцієнт термофоретичної дифузії, g - сила тяжіння, h - ентальпія, k - коефіцієнт теплопровідності нанорідини, t - час процесу, T - температура, u - швидкість, μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, ρ - густина, ϕ - концентрація наночастинок.

В результаті аналіз розподілу температури показує, що криві, які відповідають паровій плівці з наночастишками, швидко досягають стаціонарного стану. Було також показано, що збільшення концентрації наночастинок у паровій плівці сприяє посиленню теплопередачі

ВПЛИВ ВИПУКЛОСТІ ПОВЕРХНІ НА ПЛІВКОВЕ ОХОЛОДЖЕННЯ З ДВОХРЯДНОЮ ПОДАЧЕЮ ОХОЛОДЖУВАЧА В ТРАНШЕЇ

Халатов А.А.^{1,2}, Доник Т.В.^{1,2}

1 - Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна

2 - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна

Газові турбіни широко застосовуються в авіації, енергетиці, суднобудуванні, а також в якості нагнітачів на магістральних газопроводах при

транспортуванні природного газу. Основним напрямком удосконалення газових турбін залишається зростання температури продуктів згоряння перед турбіною (після камери згоряння).

В даний час широко використовується внутрішнє і зовнішнє охолодження конструкції лопаток першого і другого ступеня високотемпературної газової турбіни, для чого використовується повітря високого тиску, що відбирається з різних ступенів осевого компресора. При зовнішньому охолодженні лопаток використовується плівкове охолодження з подачею повітря з внутрішньої порожнини лопатки на її поверхню через систему дискретних отворів діаметром 0.3 - 0.8 мм. Для підвищення ефективності плівкового охолодження використовуються багаторядні (розподілених по довжині) схеми охолодження з криволінійними поверхнями. Таким чином, метою цієї роботи є вивчення закономірностей плівкового охолодження поблизу випуклої пластини при подачі охолоджувача через двохрядну систему траншей.

Виконано комп'ютерне моделювання ефективності плівкового охолодження двохрядної схеми плівкового охолодження при подачі охолоджувача через отвори в траншеях на випуклій поверхні, з використанням комерційного пакету ANSYS CFX 14. Подача охолоджувача на випуклу поверхню через два ряди траншей плівкового охолодження призводить до деякого зниження величини поперечного градієнта тиску. З одного боку, прискорення основного потоку гарячих газів в криволінійному каналі біля випуклої поверхні призводить до інтенсифікації теплообміну між основним потоком і плівкою і до зменшення ефективності плівкового охолодження. З іншого боку, при обтіканні випуклої поверхні струмені охолоджуючого повітря мають тенденцію до відриву потоку при взаємодії з твердою стінкою, проте позитивний поперечний градієнт тиску в каналі перешкоджає відриву плівки від випуклої поверхні і сприяє кращому поперечному розтіканню охолоджувача по поверхні.

ТЕМПЕРАТУРНИЙ СТАН ПОТОКІВ ПАРИ У ЦИЛІНДРІ НИЗЬКОГО ТИСКУ ПРИ МАЛОВИТРАТНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ ТУРБІНИ

**Котульська Ольга Валеріївна¹ (доповідач), Парамонова Т.М.¹,
Літвінова Ю.С.²**

*1 – Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,
тел. (057) 349-48-09, e-mail: kot2017ov@gmail.com;*

2 – Національний технічний університет «ХПІ»

Робота парових теплофікаційних турбін великої потужності на теплове навантаження призводить до росту температури пари в ЦНТ, особливо при закритій поворотній діафрагмі, за рахунок збільшення вентиляційних втрат. При відсутності охолодження у проточній частині температура пари в міжступеновому зазорі останнього ступеня ЦНТ при тиску в конденсаторі $P_k = 5,8$ кПа досягає 240-280 °С в залежності від рівня протічок че-

рез регулюючий ступінь. Штатна система охолодження вихідних патрубків знижує температуру пари приблизно на 20°C, що недостатньо для забезпечення надійної експлуатації робочих лопаток.

Мета роботи визначення максимального рівня температур пари у проточній частині ЦНТ при маловитратних режимах роботи теплофікаційної турбіни Т-250/300-240.

В результаті аналізу експериментальних значень зміни температури пари в проточній частині ЦНТ було встановлено, що на її рівень впливають дві складові: температура пари в паророзподільчій камері ЦНТ (у нижньому теплофікаційному відборі) та температурна різниця, яка визначається вентиляційними втратами $t_{2-31}^{max} = t_{но} + \Delta t^{max}$. При цьому температура у нижньому відборі $t_{но}$ змінюється від 55°C до 110°C в останньому ступені.

Визначено, що максимальна температура пари у теплофікаційній турбіні при маловитратних режимах формується в останньому ступені ЦНТ.

На основі обробки вимірів температур розроблено залежності, які дають змогу визначити максимальну температуру нагріву пари в проточній частині ЦНТ при маловитратних режимах роботи за рахунок вентиляційних втрат в залежності від тиску в конденсаторі та масової витрати робочого тіла через ступень, а також визначити границю переходу від вологої до перегрітої пари.

Висновок: Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні та створенні удосконаленої системи охолодження проточної частини ЦНТ теплофікаційної турбіни Т-250/300-240 для підвищення надійності та економічності її роботи.

ПРОГНОЗНИЙ ПОПИТ НА ТЕПЛОВУ ЕНЕРГІЮ ЗА МОДЕЛЛЮ «КРАЇНА-РЕГІОНИ-СЕКТОРИ ЕКОНОМІКИ»

Малярєнко Олена Євгеніївна, Горський В.В., Майстрєнко Н.Ю.,
Тєслєнко О.І.

*Інститут загальної енергетики НАН України, (044)294-67-23, факс (044)294-67-01,
e-mail: malyarenlana@gmail.com*

Метою роботи є створення об'єднаної математичної моделі, що дозволяє визначити та узгодити обчислені на різних ієрархічних рівнях прогнози попиту на теплову енергію для формування прогнозних структур систем теплозабезпечення на відповідних ієрархічних рівнях «країна-регіони-сектори економіки».

Результати. Розроблено удосконалену об'єднану математичну модель визначення прогнозного попиту на теплову енергію, яка більш точно та узгоджено враховує наявну статистичну інформацію, організована для трьох рівнів «І-країна-ІІ: регіони/ сектори економіки країни-ІІІ-сектори економіки в регіонах». Із використанням цієї моделі визначено загальний попит на теплову до 2040 р. по країні, секторах економіки країни, регіонах

та секторах економіки регіонів країни.

Висновки. Урахування регіонального рівня дозволило більш детально визначити потенціали енергозбереження за секторами економіки в регіонах з урахуванням місцевих особливостей. Порівняння результатів моделювання за двома гілками моделі «країна-сектори економіки країни» та «країна-регіони-сектори економіки регіонів» показало суттєву розбіжність (більше 12%) отриманих прогнозів теплової енергії між національним та сумарним регіональним рівнями. Визначено узгоджений прогнозний попит на теплову енергію до 2040 р.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING CONVECTIVE DRYING

Petrova Zh., Slobodianiuk K., Grakov O.

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, tel. (044) 424-96-39, e-mail: bergelzhanna@ukr.net

The purpose of this study is to present comparative analysis of theoretical and experimental research of heat and mass transfer during convective drying colloidal capillary-porous materials (CCPM).

Results. The obtained data of numerical modeling (according to the known model of O.V. Lykov) of the temperature regime of the drying process of 60 °C were compared with the data of experimental researches. Figure 1 shows the change in temperature over time in the middle of the sample CCPM. Curve (1) corresponds to the results of numerical simulation, and curve (2) - the results of the experiment. As can be seen from Figure 1 in the middle of the sample, the temperature changes rapidly within 120-130 minutes from the beginning of the drying process.

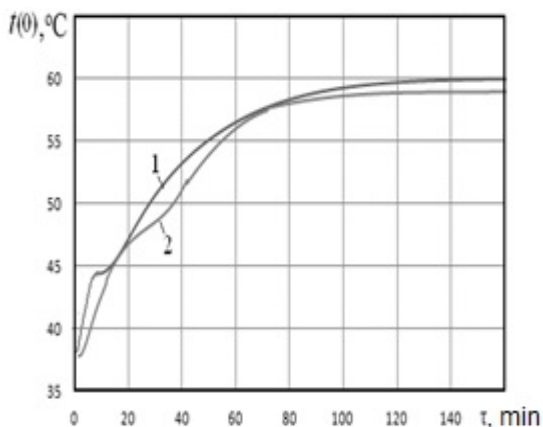


Fig. 1. Change in temperature over time in the middle of the sample CCPM during convective drying:

1 – the results of numerical simulation; 2 – the results of the experiment.

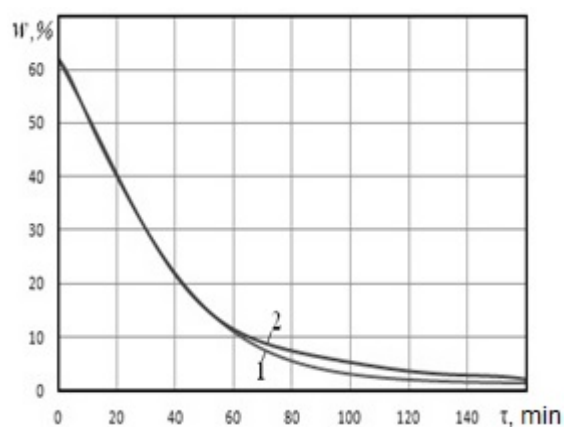


Fig.2. Change in time of the relative concentration of moisture of the sample CCPM during convective drying:

1 – the results of numerical simulation; 2 – the results of the experiment.

An important integral characteristic of the drying process is the change in time of the relative concentration of moisture in the material $w(\tau)$ (Figure 2). As

can be seen from Figure 2, in the time interval $0 < \tau < 60$ minutes the calculated results and experimental data agree quite well. Then, at the stage of drying, there is a slight discrepancy.

Conclusions. From the data of numerical modeling data and comparative analysis of theoretical data with experimental ones, it can be stated that the proposed numerical model can be used to calculate the regime parameters of the convective drying process of CCPM.

THERMODYNAMIC FUNDAMENTALS OF «WET» COMBUSTION PROCESS WITH TWO-STAGE HEAT RECOVERY BASED UPON MAISOTSENKO'S CYCLE

Soroka B.S.

Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine

1. The combustion process under the fixed temperature T_g provides the maximum direct efficiency η_f of fuel use by the case of dry state (without any especially organized humidification) of the flows of initial burning components: fuel and oxidant. Comparison the values of the energies (total (chemical) enthalpies) of combustion products (CP) against the process CP's temperatures T_g for the cases of dry and wet oxidant proves an exceeding the total enthalpies of «dry» combustion products in comparison with the «wet» ones.

2. To enhance the efficiency η_f in case of using the «wet» combustion, an air should be saturated with the vapor at maximum feasible temperature of outward source. A remarkable peculiarity of the wet saturated CP – the energy gain comparatively «dry» CP as an air becomes preheated while water evaporation takes place ensuring the working body with the excessive enthalpy.

3. The CP (flue gases) serve as the primary heat source while the energy is transferred by means of M-cycle's contact heat and mass exchanger (HME) within the available temperature range from T_T (theoretical combustion temperature) till T_{fl} (flue gases temperature). The lower is T_{fl} value the higher is efficiency η_f by fuel use in the system «thermal (power) plant–heat recovery unit(s).

4. The working process within the engine's cylinder is realized in gaseous state. An application of water vapor by supplying the engine is more expedient than injection the water because an available energy in form of total (chemical) enthalpy of the equilibrium H_2O in gas phase is highly exceeding the energy for water in the liquid phase. By this approach the efficiency of fuel utilization η_f for engine could be risen while supplying the combustion process with the wet air after passing the M-cycle's HME and air saturation at enhanced dew point.

Due using the M-cycle's HME ensuring the energy recovery from heat source – flue gases – we succeeded to transfer the excessive heat flux to dry combustion air (primary flow – product) and to saturated wet combustion air (secondary – working flow) thus enhancing an efficiency η_f by dozen percents in comparison with the dry air combustion process.

For this case the thermal (power consuming) plant, supplied with two-

stage heat recovery system: combustion air preheater / humidifier in the M-cycles block – at the 1-st (low-temperature) stage – and the principal heater of wet air flow (till temperature $T_{a,r}$) – at the 2nd stage – is considered.

It has been stated that the plants efficiency η_f by «wet» combustion exceeds η_f by «dry» combustion if $T_{fl} < T_{a,r}$.

5. Wet combustion process provides the essential environmental advantages due reduction the NOX emission by an order and twice decrease of CO effluents.

РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВИХ РІШЕНЬ ПРИ ПЕРЕВЕДЕННІ ТЕПЛОВИХ СХЕМ ДІЮЧИХ ЕНЕРГОБЛОКІВ 300 МВт НА СУПЕРПОНАДКРИТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПАРИ

Костіков А.О.¹, Шубенко О.Л.¹, Сенецький Олександр Володимирович² (доповідач), Бабак М.Ю.¹, Голощанов В.М.¹

1 – Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

2 – Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова,

тел.: (057)-349-47-42, e-mail: aleksandr-seneckij@ukr.net

Сучасна енергетика України включає 14 ТЕС і 4 АЕС, які грають головну роль в генерації електричної енергії. Значна частина їх обладнання зношена і недостатньо ефективна, потребує або заміни, або серйозної модернізації з урахуванням сучасних тенденцій розвитку галузі.

Одним з перспективних напрямків такої модернізації є впровадження енергоблоків на суперпонадкритичні параметри пари (СПКП).

Мета роботи – підвищення економічної ефективності енергоблоку при переведенні на СПКП за умови мінімізації капітальних вкладень.

Результати. Представлені результати варіантних розрахункових досліджень теплової схеми енергоблоку потужністю 300 МВт при переведенні турбіни К-300-23,5 АТ «Турбоатом» на СПКП пари (основна увага приділялася турбінній частини). Діапазон зміни параметрів пари на вході в турбіну: тиск 23,5 МПа - 35 МПа, температура 540 °С - 700 °С.

Досліджено два конструктивні варіанти при максимальному збереженні теплової схеми турбіни: з надбудовою існуючої турбіни циліндром на СПКП пари і перепроєктування ЦВТ на СПКП пари при збереженні габаритних характеристик корпусу.

Висновки. За рахунок вдосконалення проточних частин ЦВТ, ЦСТ і ЦНТ, шляхом доведення їх газодинамічної ефективності до сучасного рівня, можна отримати вииграш в ефективності енергоблоку на рівні ~3 %, від підвищення початкових параметрів пари теж не більше ніж на 3 % від сучасного рівня.

Результати розрахункових досліджень з попереднім визначенням техніко-економічних показників показали, що раціональним є варіант переробки ЦВТ під СПКП пари: 30 МПа, 650 °С зі збереженням системи регенерації і параметрів пари на вході в ЦСТ при доведенні газодинамічної ефективності проточних частин ЦСТ і ЦНТ до сучасного рівня. Маємо: ККД енергоблоку 49,6 %, пи-

тома витрата умовного палива 247,9 г у.п./кВт · год., корисна електрична потужність 375,7 МВт.

Дослідження здійснено в рамках виконання цільової конкурсної програми наукових досліджень НАН України «Інтелектуальна екологічно безпечна енергетика з традиційними та відновлюваними джерелами енергії» (Нова енергетика) 2019 – 2021 рр. (проект НЕ 4.2-19).

ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВОЛОГОПАРОВИХ СТУПЕНІВ ПАРОВОЇ ТУРБІНИ ПРИ СУПЕРГІДРОФОБНОМУ ПОКРИТТІ ЇХ СОПЛОВИХ АПАРАТІВ

**Шубенко О.Л.¹, Сафонов В.Й.², Бабак Микола Юрійович (доповідач),
Сенецький О.В.³, Бояршинов О.Ю.**

*1 – Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
тел.: (057)-349-47-42, e-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua*

2 – Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства і технологій ННЦ ХФТІ

3 – Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

Розвиток нанотехнологій призвів останні роки до вирішення питань з підвищення надійності вологопарових ступенів (ВПС) парових турбін шляхом застосування «зверхвологоактивних» супергідрофобних (SH) покриттів. Властивості останніх визначаються не стільки характеристиками матеріалу, скільки властивостями та структурою поверхневого шару (рельєфом шорсткості), що товщиною в кілька десятків нанометрів.

Утворення при SH властивості покриття на напрямних лопатках (НЛ) ВПС невеликих крапель в проточній частині турбіни (замість плівки вологи на поверхні без покриття, яка потім зривається з вихідної кромки у вигляді ерозійнонебезпечних крапель розміром 80-100 мкм, а далі попадає на робочі лопатки (РЛ)), дає змогу підвищити ресурс останніх.

Нанопокриття, наприклад, карбідо-хромові (ерозійностійкі та гідрофобні) з використанням технології атомно-іонного розпилення матеріалів у вакуумі та інші розробляють у ННЦ ХФТІ, м.Харків. Звідки і виникла ідея цього сумісного дослідження.

Мета роботи – аналіз наноконструкцій покриттів (зразків) з суперхарактеристиками щодо змочуваності, витривалості, можливостей підвищення ресурсу РЛ (у додаток до відомих підходів) та економічності ВПС парових турбін ТЕС шляхом нанесення цих покриттів на НЛ ступенів.

Результати. На першому етапі досліджень авторами розглянуто характеристики витривалих SH покриттів, а також з використанням експертного оцінювання («оптимістичне» та «песимістичне» значення) теоретично розглянуто вплив SH покриттів НЛ ВПС на зміну (підвищення) електричної потужності турбіни та ресурс РЛ останнього ступеня в залежності від витривалості покриттів та ціни на них.

Висновки. Попередня експертна оцінка впливу SH покриттів НЛ ВПС турбіни К-325-23,5 свідчить, що зменшення втрат енергії, а також витрати пари на сепарацію вологи у ВПС дасть змогу підвищити генерацію на

~1 МВт (на три ВПС з урахуванням трьох вихлопів) при підвищенні на 30-50 % ресурсу останніх РЛ при прийнятій витривалості покриттів 10000 год.

АЕРОДИНАМІКА ТА ТЕПЛООБМІН ПРИ СКЛАДНІЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТА ЗМІШАНОМУ РУСІ ПОВІТРЯ В ПЛОСКОМУ КАНАЛІ

Кремньов В.О., Басок Б.І., Тимошенко Андрій Володимирович (доповідач), Тимошенко О.Б.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (+38 044) 424 1586;
e-mail: kremnev@ukr.net, timoshchenko@ukr.net*

Мета роботи полягала в зниженні величини втрат теплопровідністю через кладку і створенні ефективної системи повітряного охолодження футеровки печі ванної плавильної.

Складний теплообмін в повітряному каналі визначається дією радіаційного та конвективного механізмів перенесення. Сумарний тепловий потік визначається при сумісному розгляді рівнянь променевого та конвективного теплообміну. Умови, що визначають особливості складного теплообміну в каналі: а) критерій Больцмана набагато більше одиниці, $Bo \in (10^2; 3 \cdot 10^3)$, механізм, який є визначальним при перенесенні між поверхнями каналу та повітряним потоком – конвекція; б) висока температура нагрітої поверхні каналу, до 700 °С; в) наявність різниці температур між поверхнями каналу; г) радіаційне перенесення теплоти від нагрітої стінки каналу до холодної; д) турбулентний режим течії в каналі, $Re \in (4 \cdot 10^3; 10^4)$; е) сумісний вплив вільної та примусової конвекції на теплообмін в каналі, $Ra \in (10^5; 6 \cdot 10^6)$.

Результати. Визначено: а) середні температури на поверхнях каналу; б) розподіл температури повітря по довжині каналу; в) місцеві та середньоінтегральні температурні напори по довжині каналу; г) місцеві та середньоінтегральні густини теплового потоку на поверхнях каналу; д) місцеві та середньоінтегральні коефіцієнти тепловіддачі та числа Нуссельта на поверхнях каналу; е) розподіл тиску по довжині та повний перепад тиску в каналі.

Висновки. Встановлено, що в розглянутому діапазоні величин густини теплового потоку та масової витрати повітря, домінуючим теплообміном між стінками каналу та повітрям, є складний конвективний теплообмін, при якому на примусову конвекцію ($Re > 4000$) впливає вільна конвекція ($10^3 < Gr < 10^7$). Спостерігається відмінність в величинах інтенсивності конвективного теплообміну на гарячій поверхні, та поверхні, що не обігрівається. Відмінність в величинах густини теплового потоку сягає 1,5-2,0 разів. Одержано узагальнюючі залежності, які дозволяють обчислити середні числа Нуссельта та середні температурні напори, на поверхнях каналу. Одержано узагальнюючу залежність величини коефіцієнту опору тертя, як функції від величини безрозмірної координати.

ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДЕГРАДАЦІЇ ОХОЛОДЖУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МІНЕРАЛЬНИХ МАСЕЛ В ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Москаленко Анатолій Андрійович (доповідач), **Проценко Л.М.,
Разумцева О.В.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України тел. (044) 543-28-93,
e-mail: an.moskalenko@gmail.com*

Забезпечення міцності металевих промислових виробів досягнуто науковими розробками робочих середовищ для операцій термічного зміцнення деталей, зокрема, гартування. Широке застосування серед рідких гартувальних середовищ отримали мінеральні масла. Для оптимізації охолоджуючих властивостей масел в широкому діапазоні температур металу при гартуванні, від 900°C і до температури навколишнього середовища, використовуються спеціальні коригуючі добавки. Складний зміст масел і екстремальні високотемпературні умови експлуатації загрожують порушеннями технологічних режимів зміцнення металу.

Мета роботи. Експериментально вивчіть вплив тривалої експлуатації за технологією загартовування сталевих деталей на стандартні показники кінетики охолодження в мінеральних оліях, які визначають якість перетворення мікроструктури металу на міцну мартенситну. Перелік статистичних показників випробувань охолоджуючих властивостей визначається за Міжнародним стандартом ISO 9950. Він дає лише деякі реперні крапки складного механізму нестационарного високофорсованого теплообміну між стандартним компактним циліндричним термозондом ($D=12,5$ мм, $H=60$ мм) та зразком охолоджуючого мінерального масла об'ємом 2 дм^3 . Задля отримання характеристик теплообміну, які дозволять наблизитися до прикладного їх застосування в розрахунках теплофізичних показників процесу, таких як температура поверхні, що охолоджується, а також швидкість охолодження, щільність теплового потоку та коефіцієнт тепловіддачі віднесені до температури поверхні, були проведені на спеціалізованому апаратно-програмному комплексі ІТТФ НАНУ дослідження на зразках виробничого гартувального мінерального масла з різними термінами використання, та деградацією охолоджуючих показників.

Висновок. Отримані результати підтвердили можливості фіксації та обрахування масивів температурно-часових даних на АПК ІТТФ НАНУ. На різних зразках гартувального мінерального масла досягнута висока точність розрахунків базового показника тепловіддачі $T_{\text{пов}}: \pm 0,85^{\circ}\text{C}$ в діапазоні охолодження термозонду $850\text{--}300^{\circ}\text{C}$. Лабораторні дослідження планується перевірити у виробничих умовах.

THE STRUCTURE OF THE DISTRIBUTION OF THE HEAT CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF SUPER CRITICAL WATER WITH AN UPFLOW IN A VERTICAL TUBES

Fialko N.M.^{1,2}, Nosovskiy A.V.², Prokopov V.G.¹, Meranova N.O.¹,
Aloshko S.O.¹, Khmil Dmitro Petrovych¹, Sharaevskiy I.G.², Pioro I.L.³,
Zimin L.B.², Vlasenko T.S.²

1 – Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, M. Kapnist str., Kyiv, tel. +38 (044) 456-91-71, nmfialko@ukr.net

2 – Institute for Safety Problems of NPPs of NAS of Ukraine, 12, Lysogorskaja str., Kyiv,

3 – University of Ontario Institute of Technology, 2000 Simcoe Str., N., Oshawa ON L1K 7K4, Canada

Purpose of work. Establishing the regularities of the spatial distribution of the heat conductivity of supercritical water in heated channels.

Results. A complex of computational studies of the spatial pattern of changes in the heat conductivity λ of supercritical water in the channel has been carried out. The construction of this pattern was realized according to the temperature fields determined from the results of solving the corresponding task of heat transfer.

The fields of the heat conductivity coefficient of supercritical water in the channel are given, which indicate the non-monotonic nature of its spatial distribution. In particular, in a significant section of the tube adjacent to the inlet section, λ of water decreases downstream. However, with an increase in the longitudinal coordinate, there is a zone of local increase in λ . This zone downstream is followed by a section where λ decreases in accordance with an increase in the flow temperature.

The presented distributions of the heat conductivity coefficient of supercritical water correspond to its temperature dependence. In general, there is a tendency for λ to decrease with increasing temperature, with the exception of its slight local increase in the region of the pseudo-critical transition "pseudo-liquid-pseudo-gas". The indicated nonmonotonicity of the temperature dependence of the heat conductivity coefficient of supercritical water determines the nonmonotonicity of the structure of the spatial distribution of λ in the channel.

The dependence of the investigated distributions λ on the heat flux density q supplied to the tube wall is analyzed. Based on the results of the studies performed, it is shown that the region of local increase in λ is located closer to the inlet section of the channel at large values of q . In this case, the level of the λ value in the outlet section is noticeably lower.

Conclusions. Based on CFD modeling, the analysis of the main features of the fields of the heat conductivity coefficient of supercritical water during its upflow in vertical tubes is carried out.

ТЕПЛООБМІН В КРУГЛОМУ ПОРИСТОМУ МІКРОКАНАЛІ З ГРАНИЧНИМИ УМОВАМИ ПРОКОВЗУВАННЯ ДРУГОГО ПОРЯДКУ

Ковецька Юлія Юріївна (доповідач), Коваленко В.М., Філіппова О.В.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел.(044)-543-28-93,
e-mail: Kovetskajulia@ukr.net*

В даний час спостерігається істотне зростання інтересу до капілярної гідродинаміки і теплообміну в мікросистемах, викликаний бурхливим розвитком електроніки та медицини, а також мініатюризацією пристроїв в різних областях техніки, наприклад, в аерокосмічній індустрії, транспорті та енергетиці.

Мета роботи полягає в дослідженні процесів гідродинаміки і теплообміну при примусовій конвекції в круглих мікроканалах, заповнених пористим середовищем за допомогою методу аналітичного моделювання. Основна система рівнянь для поставленої задачі включає рівняння Нав'є - Стокса, рівняння Фур'є - Кіргофа та рівняння нерозривності. Основна система рівнянь розв'язувалася для двох видів граничних умов проковзування: першого порядку точності та другого.

В результаті отримано аналітичні рішення для профілів швидкостей, температур та коефіцієнта тепловіддачі. Розрахунки проводилися для різних значень коефіцієнта A_2 , який обумовлює вплив граничних умов другого порядку. Результати розрахунків показали, при будь якій пористості зміна коефіцієнта A_2 від негативних до позитивних значень викликає зменшення різниці температур на стінці і в центрі каналу. При від'ємному значенні коефіцієнта A_2 стрибок швидкості на стінці більш значний. Зміна A_2 від негативного до позитивного викликає зменшення швидкості проковзування на стінці та швидкості в центральній частині каналу.

Результати розрахунку відносного числа Нуссельта показали, що зменшення пористості сприяє інтенсифікації теплообміну. При малих числах Прандтля переважає ефект проковзування. При високих числах Прандтля стрибок температури на стінці практично вироджується, що призводить до збільшення швидкості передачі тепла зі збільшенням числа Кнудсена. При малих числах Прандтля вплив параметрів другого порядку не спостерігався. Зі збільшенням числа Rg при від'ємних значеннях коефіцієнта ефекти другого порядку призводять до збільшення тепловіддачі, тоді як при позитивних значеннях відносного числа Нуссельта зменшується в порівнянні з випадком $A_2 = 0$.

Висновок: Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні та створенні нових мікроканальних систем, а також дають змогу оптимізувати найефективніші режимні робочі параметри вже існуючих систем.

DENSITY FIELDS OF WATER IN CHANNELS AT SUPERCRITICAL PRESSURES

Fialko N.M.^{1,2}, Nosovskiyy A.V.², Prokopov V.G.¹, Meranova N.O.¹,
Aloshko S.O.¹, Khmil Dmitro Petrovych¹, Sharaevskiy I.G.², Pioro I.L.³,
Zimin L.B.², Vlasenko T.S.²

1 – Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, M. Kapnist str., Kyiv,
tel. +38 (044) 456-91-71, nmfialko@ukr.net

2 – Institute for Safety Problems of NPPs of NAS of Ukraine, 12, Lysogorskaja str., Kyiv,

3 – University of Ontario Institute of Technology, 2000 Simcoe Str., N., Oshawa ON L1K
7K4, Canada

Purpose of work. Analysis of the features of the density fields of supercritical water during its flow in the channel, depending on the value of the heat flux supplied to its walls, using different mathematical models of the processes under study.

Results. The data of computer simulation of the density fields of supercritical water during its upflow in vertical heated tubes are presented. The investigated physical situation corresponds to the axisymmetric problem of mixed convection with a significant dependence of the liquid physical properties on temperature. The computational studies were carried out for conditions corresponding to a pressure at the channel inlet of 24 MPa, a mass flux of 500 kg/(m²s), and values of the heat flux q supplied to the tube wall, 239 kW/m² and 287 kW/m². In this case, two mathematical models of the process under study were considered – with and without taking into account the buoyancy forces.

Based on the results of the studies performed, it was found that a larger q value corresponds to a lower density of supercritical water in a fixed cross-section of the tube. Moreover, this tendency manifests itself less significantly at the entrance to the heated section of the tube. In addition, here the influence of q on the water density is localized in the subregion adjacent to the tube wall. Downstream the influence of q extends to the area of the flow core.

It is shown that there are certain differences in the values of the supercritical water density when modeling the investigated physical situation with and without taking into account the buoyancy forces. In particular, in a fixed cross-section of the tube for the model, taking into account the buoyancy forces, the value of the density of supercritical water is large in the flow core and it smaller – near the tube wall.

Conclusions. The regularities of the spatial distribution structure of the density of supercritical water in vertical tubes are established and the effects of the influence on the indicated distributions of the density of the heat flux supplied to the tube wall and the applied mathematical model of the process under study are revealed.

НЕОРГАНІЗОВАНИЙ ПОВІТРООБМІН НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТУ ЧАЕС З ОТОЧУЮЧИМ СЕРЕДОВИЩЕМ (МОДЕЛЮВАННЯ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ДАНИМИ)

Дядюшко Євгеній Валентинович (доповідач), Скляренко Д.І.,
Старовіт І.С.

Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (044) 453-28-60, e-mail: diadiushko@i.ua

Новий Безпечний Конфайнмент (НБК) призначений для забезпечення безпеки персоналу НБК та оточуючого середовища (ОС) під час виконання робіт з перетворення зруйнованого 4-го енергоблоку в екологічно безпечну систему. Наявні негерметичності в оболонках та під стінами НБК є підставою для існування неорганізованого повітрообміну НБК з оточуючим середовищем. Саме тому, для безпечного виконання проектних робіт НБК, необхідно мати можливість оцінити цей неорганізований повітрообмін.

Метою роботи є розробка та використання моделей гідравлічного стану НБК ЧАЕС для моделювання та аналізу неорганізованого повітрообміну основного об'єму (ОО) та кільцевого простору (КП) з ОС через негерметичні оболонки та місця протічок під стінами НБК.

Результати роботи.

1) Розроблені моделі гідравлічного стану системи НБК-ОС, як спрощені, так і з використанням нейронних мереж. Дані моделі провалідовані на експериментальних даних та задовільно корелюють між собою.

2) За час отримання експлуатаційних даних (приблизно 1 місяць), які використовувались для розрахунків та валідації моделей, за попередніми результатами моделювання був отриманий сумарний викид повітря в ОС, рівний 2,67 млн. м³. При максимально допустимій об'ємній концентрації РА в ОО НБК на рівні 210 Бк/м³, наявний викид складав би 561 МБк.

3) Моделі дозволили провести оцінку та уточнення еквівалентних значень площ протічок неорганізованого повітрообміну. На використаній вибірці експлуатаційних даних, площі склали: $S_{\text{кп-ос}}=1,7 \text{ м}^2$, $S_{\text{кп-оо}}=6,07 \text{ м}^2$, $S_{\text{оо-захід}}=2,46 \text{ м}^2$, $S_{\text{оо-схід}}=4,73 \text{ м}^2$.

Висновок. Розроблені моделі та методологія моделювання гідравлічного стану НБК ЧАЕС, за допомогою експлуатаційних вимірювань та експериментально отриманих граничних умов, дозволили оцінити та розрахувати еквівалентні площі протічок неорганізованого повітрообміну для довільних напрямку і швидкості вітру, а також, що досить важливо, оцінити витрати повітря з радіоактивними аерозолями в оточуюче середовище як в межах одного вимірювання, так і в межах усієї наданої вибірки даних.

Планується подальше вдосконалення розроблених моделей.

КРАЩІ ПРИКЛАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА РІВНІ ГРОМАД В ЄС І В УКРАЇНІ

Желєзна Тетяна Анатоліївна (доповідач), Баштовий А.І.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 456-94-62,
e-mail: zhelyezna@secbiomass.com*

Мета. Аналіз тенденцій, результатів та перспектив впровадження проєктів відновлюваної енергетики в громадах ЄС та України.

Результати роботи. Процес реалізації проєктів виробництва енергії з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) на рівні окремих селищ, громад, містечок розпочався в ЄС ще у 1990-х рр. і активізувався у 2000-х рр. Головним чином це стосується найбільш розвинених країн ЄС, таких як Німеччина, Австрія, Данія. Цікавим прикладом є управління об'єктами ВДЕ енергетичними кооперативами в Німеччині. Створення кооперативів почалося у середині 2000-х років і набуло свого піку у 2011 р., коли за один рік було засновано 200 кооперативів. Одним з різновидів енергетичних кооперативів є так звані біоенергетичні села. Ключовими положеннями концепції біоенергетичного села є забезпечення не менше 50% потреби громади в енергії за рахунок місцевої біомаси, принаймні часткове постачання біомаси жителями села, активна участь громади у розробці ідей і прийнятті рішень, можливість доповнення біоенергетичних установок використанням інших ВДЕ. Наразі в Німеччині налічується вже більше 100 біоенергетичних сіл, існують плани по суттєвому збільшенню їх кількості.

З грудня 2019 року енергетичний сектор Євросоюзу розвивається згідно з Європейським зеленим курсом. Цей курс являє собою комплексну стратегію переходу Європи до сталої економіки, чистої енергетики і кліматичної нейтральності до 2050 р. Для досягнення амбіційної цілі щодо нульових викидів парникових газів у 2050 р. необхідно залучення широкої громадськості до реалізації кліматичних дій, у тому числі переходу на ВДЕ. З цією метою в рамках Європейського зеленого курсу було створено всеєвропейську платформу. Очікується, що впровадження локальних проєктів відновлюваної енергетики набуде розвитку у всіх країнах-членах ЄС.

В Україні кращими прикладами розвитку відновлюваної енергетики на місцевому рівні є енергоефективні громади с. Веселе (Харківська обл.), с. Северинівка (Вінницька обл.), с. Гриньки (Полтавська обл.) та деякі інші. В цих селах енергетичні потреби повністю задовольняються за рахунок ВДЕ.

Висновок. Хоча в Україні наразі немає офіційного документу щодо «зеленого» енергетичного переходу, Уряд кілька разів оголошував наміри слідувати принципам Європейського зеленого курсу. Отже, вже зараз в Україні необхідно заохочувати і стимулювати процес широкого впровадження ВДЕ на рівні громад.

ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ «ЗЕЛЕНІШОГО ЗА ЗЕЛЕНИЙ» ВОДНЮ

Жовтянський Віктор Андрійович (доповідач)

Інститут газу НАН України, тел. (044) 459-55-01, e-mail: zhovt@ukr.net

В Інституті газу НАН України тривалий час розвиваються методи переробки вуглецевмісних відходів з використанням плазових технологій [1]. Вони здійснюються на основі процесів газифікації при відносно високих температурах понад 1100 °С, об'єктивно сприятливих для продукування водню в складі продуктів газифікації. Ще донедавна ці розробки були під загрозою закриття. Проте на користь їх розвитку нині беззаперечно свідчить створення цього року нової глобальної коаліції з підтримки чистої водневої економіки за ініціативою 22 країн та Європейської Комісії [2].

Автори аналогічної до [1] розробки з використанням плазових технологій [3] з компанії SGH2 (США) наголошують, що водень, який отримується в цьому процесі, є «зеленішим, ніж зелений». Дійсно, він є вуглецево-негативним, оскільки в іншому випадку відходи будуть гнити на звалищах і виділяти протягом 20 років метан – парниковий газ, який у 20 разів активніший за CO₂ з точки зору кліматичних змін. Таким чином, вклад вуглецю визначається як негативний у еквіваленті 188 кг CO₂ на мегаджоуль, порівняно з 20 кг для вугільного H₂ та нулем для стандартного «зеленого» водню. Отже ці аргументи є цілком переконливими для активного продовження та поглиблення таких досліджень в Україні.

Нами послідовно розвивається ще одна виключно важлива ідея стосовно одержання водню з вуглецевмісних відходів: забезпечення енергетичної самодостатності процесу його продукування, що є недосяжним для технологій виробництва «зеленого» водню. Саме її реалізації на основі детального аналізу процесів плазово-парокисневих процесів газифікації підпорядковане виконання цієї роботи. Експериментально досліджений та кількісно визначений методами термодинамічного моделювання процесів газифікації досяжний позитивний ефект з точки зору показника енергетичної ефективності цих процесів. Встановлена його залежність від таких технологічних параметрів як витрати електричної енергії на продукування плазового струменя, енерговитрати на виробництво кисню, склад сировини, відхилення від стехіометричного режиму процесу газифікації.

Показано, що технології виробництва водню на основі високотемпературної газифікації вуглецевмісних відходів здатні забезпечити як екологічну, так і енергетичну ефективність його продукування.

1. Петров С.В., Жовтянський В.А. Энергоэффективные пароплазменные технологии переработки отходов. – К.: Наукова думка, 2019. – 559 с.

2. Див.: https://ec.europa.eu/info/news/mission-innovation-launches-new-global-coalition-support-clean-hydrogen-economy-2021-jun-02_en#:~:text=The%20goal%20of%20the%20Clean,scale%20integrated%20hydrogen%20valleys%20worldwide.

3. Див.: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/worlds-largest-green-hydrogen-offtake-deal-signed-in-california-by-waste-to-h2-start-up/2-1-1020363>.

АКУМУЛЮВАННЯ ВІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З АЕС ЗА РАХУНОК ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНО-ЧИСТОГО ВОДНЮ

Уланов Михайло Миколайович (доповідач)

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-42,

e-mail: e3therm@gmail.com

Мета В умовах постійно зростаючого дефіциту енергоносіїв, росту їх вартості, посилення вимог до техногенного впливу людини на оточуюче середовище актуальною проблемою є пошук нових екологічно-чистих технологій виробництва, зберігання та транспортування джерел енергії. Одним із найбільш перспективним джерелом енергії на теперішній час розглядається екологічно-чистий водень отриманий за допомогою електролізу води за рахунок використання нічного надлишку електричної енергії або незавантажених існуючих потужностей блоків АЕС.

Результати роботи У 2020 році на енергетичному ринку України спостерігалася криза із-за введення балансових обмежень на виробництво електричної енергії на існуючих АЕС України, з одночасним дефіцитом маневрових потужностей в наслідок збільшення більш ніж в два рази виробництва електричної енергії вітровими та сонячними електростанціями. Не дивлячись на те, що у 2020 році 53,8% електроенергії України було вироблено атомними електростанціями, за I півріччя 2020 року було вироблено 39 503,3 млн кВт·год електроенергії, в той же час коефіцієнт використання встановлених потужностей складав 65,2%, що на 5,8 процентних пунктів менше, ніж за I півріччя 2019 року (71,0%). Недовиробництво електроенергії через балансові обмеження (відсутність попиту на електричну енергію за рахунок падінням споживання електроенергії через карантин і збільшення більш ніж в два рази виробництва електроенергії вітрових і сонячних електростанцій) за I півріччя 2020 року складав 5 291 млн кВт·год, що на 5 171 млн кВт·год більше, ніж за аналогічний період 2019 року (120 млн кВт·год). Міністерство енергетики України переглянуло енергетичний баланс на 2020 рік через енергетичну кризу в країні, який передбачав, що вироблення електроенергії державною компанією «Енергоатом» буде скорочено в два рази: три енергоблоки АЕС будуть виведені в резерв, а виробництво ще семи - обмежена. Це призвело до падіння виробництва електричної енергії до історичного мінімуму – 6 630 МВт з доступних у I півріччі 2020 року 9490 МВт (а всього встановлена потужність усіх блоків АЕС України складає 13 835 МВт).

Висновок. Встановлена потужність електролізних установок для виробництва товарного водню, що використовують нічний надлишок електричної енергії або незавантажени існуючі потужності блоків АЕС, може сягати від 2,86 ГВт до 7,21 ГВт, з загальною кількістю виробництва екологічно-чистого водню від 460 тис. т до 1150 тис. т на рік.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАНО-ВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА

Сорока Б.С., Згурский В.С., Кудрявцев В.С., Горупа В.В.

*Институт газа НАН Украины, ул. Дегтяревская 39, 03113 Киев, Украина,
e-mail: boris.soroka@gmail.com*

Проблему изменения глобального климата многие исследователи и политики во всем мире связывают с возрастающими в последние десятилетия выбросами углеродсодержащих компонент (прежде всего, CO_2 и CH_4) и возникающим как следствие парниковым эффектом – запиранием тепловой энергии солнечного излучения в приземном слое атмосферы. Для декарбонизации атмосферы предлагается изменить структуру топливного баланса с переходом на использование водорода в качестве альтернативного топлива, получаемого электролизом воды с использованием энергии солнечных панелей и ветряных двигателей. Получаемый таким образом H_2 именуется «зеленым (green) водородом» в отличие от «голубого (blue hydrogen)», производимого пиролизом природного газа.

На практике используется преимущественно не чистый водород, а смеси с природным газом или метаном. В соответствии с классификацией Gas Technology Institute (GTI, США) смеси H_2 с природным газом разделяются на низко –, средне – и высоководородсодержащие, соответственно при концентрациях: $[\text{H}_2] \leq 10\%$; $0 < [\text{H}_2] \leq 30\%$; $[\text{H}_2] > 30\%$ (об.).

К числу отобранных для расчетов характеристик газовых смесей относятся теплоты сгорания: высшая Q_h и низшая Q_l , числа Воббе, высшее Wo_h и низшее Wo_l , теоретическая температура горения T_T , метановое число MN (МЧ), точки росы: топлива $T_{d,f}$ и продуктов сгорания $T_{d,CP}$.

Отличительной особенностью представленных данных является строгое физическое определение энергетических характеристик топливного газа каждого состава как тепловых эффектов реакции горения смесей через полные энтальпии индивидуальных веществ.

Особое значение имеет строгая фиксация и выбор определяющих температур: стандартной $T_0 = 298 \text{ K}$ – для определения температуры реакции, нормальной $T_N = 273 \text{ K}$ – при учете контрольного объема газовых смесей, для которых определяются характеристики.

Основу определения Q_h , Q_l , Wo_h , Wo_l составляет расчет при 298K разности полных энтальпий 1 кг исходной горючей смеси и равновесных продуктов реакции с учетом содержания конденсированной фазы в продуктах сгорания.

Расчеты проводились с использованием программных комплексов: CANTERA (Калифорнийский технологический институт), «FUEL» (Институт газа НАНУ, рук.проф. Сорока Б.С.), «TERRA» (МВТУ рук.проф. Трусев Б.Г.). Расхождение результатов расчетов по упомянутым методикам при тестовых исходных условиях не превышает 1%.

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В ВОДНЕВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ГРАДІЄНТНИХ СПЛАВІВ

Любименко О.М.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», пл. Шибанкова 2а, 85302,
м. Покровськ, Україна, +380630705009, e-mail: olena.liubymenko@donntu.edu.ua

На сьогоднішній день в Україні існує безліч проблем в теплоенергетиці, а саме це якість недостатня якість енергетичних ресурсів. Якість енергетичних ресурсів можна цілком контролювати, якщо енергоносії отримувати промислово-хімічним способом, а саме це стосується водню. Проте для отримання водню необхідні інші енергоносії: електрика, газ та нафта і таке виробництво є вибухонебезпечним. Водень з високим коефіцієнтом тепловіддачі дозволяють отримувати сучасні технології водневої енергетики. У яких є проблема зі створенням специфічного обладнання для отримання водню. Тому метою даної роботи є експериментальне дослідження та вивчення поведінки матеріалів, які будуть допомагати отримувати водень для водневої енергетики, при різних умовах. При взаємодії матеріалів з воднем в них виникають внутрішні напруження, які індуковані воднем: воднево-фазові та воднево-концентраційні, а це в свою чергу може призводити до виходу з ладу теплоенергетичного обладнання. Проте за допомогою водневого впливу можливо покращувати структуру та властивості матеріалів, створювати нові матеріали з різноманітними фізичними властивостями. При взаємодії матеріалів з воднем в матеріалах виникають напруження, які індуковані воднем: воднево-фазові та воднево-концентраційні. Ці напруження викликають зміну фізичних властивостей матеріалу, мікрота наноструктури, зміну форми металевих виробів.

В результаті проведених експериментальних досліджень в умовах зміни концентрації технічно чистого водню (n) на $\Delta n = \text{const}$, дослідили поведінку та особливості взаємодії водню з матеріалами для отримання водню, а саме паладієм при підвищених температурах та тисках.

Фізична природа досліджуваного нами явища полягає в тому, що в процесі насичення воднем в металі формується і «працює» на вигин тимчасовий когерентний пружно напружений градієнтний однофазний сплав $\alpha\text{-PdH}_n$, де n - це змінна величина вмісту водню по глибині (h) проникнення водню. Тому, модуль градієнта концентрації водню dH_n/dh для градієнтного сплаву $\alpha\text{-PdH}_n$, утворюється і постійно змінюється в процесі насичення воднем та викликає формозмінення матеріалу та визначається закономірностями процесу проникнення водню (швидкістю проникнення, коефіцієнтом дифузії, концентрацією водню та часом досягнення максимальних воднево-концентраційних напружень в пластині) в даних експериментальних умовах.

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ В УКРАЇНІ

Павлюк Нонна Юріївна, Сігал О.І.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, тел. 050 387 9070, e-mail: nonna.ipe@gmail.com

Сталий розвиток задля досягнення кліматичної нейтральності на планеті неможливий без економіки замкнутого циклу. Європейська зелена угода спрямована на скорочення використання первинної вуглецевої сировини і зменшення кількості відходів до 10% в 2035 р. Дорожня карта розвитку глобального енергетичного сектору, яка представлена Міжнародним енергетичним агентством, вказує на необхідність термінового закриття вугільних джерел. Відповідно до Регламенту (ЄС) 2019/943, ринок потужностей ЄС після 1 липня 2025 року не може включати установки, що викидають більше 550 г CO₂ з викопного палива на кВт-год електроенергії.

Використання енергетичного потенціалу залишкових відходів, переробка яких неможлива, - це реальна альтернатива споживанню вугілля. Термічна обробка твердих побутових відходів (ТПВ) з рекуперацією енергії для суспільства є складовою циркулярної економіки, що доповнює переробку, а також скорочує кількість відходів, які вивозяться для захоронення на полігони, що скорочує викиди парникового газу метану і сприяє досягненню вуглецевої нейтральності. Емісія CO₂, SO₂ і NO_x при спалюванні ТПВ нижча за вугілля.

Глибока сегрегація ТПВ потребує наявності технологій переробки та екологічної свідомості суспільства.

В Україні щорічно утворюється 10 млн т ТПВ. Горюча частка змішаних ТПВ складає до 30%. З них можна отримати близько 2 млн. т альтернативного RDF, або до 1,5 млн т SRF для спалювання на смітте-спалювальних заводах з виробництвом теплової та електричної енергії (ТЕЦ-на-ТПВ) або для сумісного спалювання в цементних печах, як добавки до основного палива. Таким чином можна знизити використання вугілля до 20%. Кожні 10% заміщення можуть знижувати викиди CO₂ на 20 кг на тонну цементу.

Необхідно забезпечити в країні у найближчі роки потужності термічної переробки на рівні приблизно 20% -30% від обсягу ТПВ.

Термічне спалювання змішаних ТПВ або RDF на ТЕЦ-на-ТПВ доцільно організувати у всіх крупних містах України з населенням більш, ніж 500 тис. осіб.

ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНА АКТИВАЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОБНИЦТВА ГРАНУЛЬОВАНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО БІОПАЛИВА

Корінчук Дмитро Миколайович

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ,
Україна, тел. +380444249635, e-mail: Korinchuk@nas.gov.ua*

Метою роботи є визначення впливу температурно-вологісної активації сировини перед пресуванням на якісні показники композиційного біопалива та енерговитрати його виробництва.

Залучення активаційних процесів з метою досягнення максимальної реакційної здатності сировини дає змогу розробити енергоефективні режими для вирішення задачі цілеспрямованого регулювання якісних показників біопалива та забезпечення енергоефективного пресування. З аналізу впливу води та парової обробки на процес гранулоутворення можна зробити висновок, що парове зволоження біомаси здатне наситити поверхневі шари часток вологою, яка виступатиме в ролі пластифікатора біополімерів біомаси під час пресування.

Температурно-вологісну активацію сировини деревинного та рослинного походження проведено шляхом оброблення її водяною парою за температури 120–135°C з наступним введенням в пресформу, прогріту до температури не вище 150°C. Витрата пари становила від 50 до 150 г/кг с. р. та визначалася за зміною маси наважки. В суміш також додавалася механічно активована складова з розміром менше ніж 200 мкм.

Проведено дослідження впливу тиску пресування в межах 5–40 МПа та вмісту механічно активованої однорідної сировини, а також активованої деревини в сировині 10–50 % на якісні показники біопалива та енерговитрати пресування. Для сировини без вмісту механічно активованої складової в заданому діапазоні тиску пресування та температури якісні гранули отримати не вдалося. Зі зменшенням вмісту мікрофракції спостерігалось зменшення площі поверхні засклоvanого шару на поверхні гранул, що може свідчити про безпосередній вплив вмісту складової на кількість пластифікованого зв'язуючого та підкреслює важливість наявності в біомасі механічно активованої складової.

Висновки:

1. Метод температурно-вологісної активації при вмісті механічно активованої складової не менше 30% за тиску пресування 5–40 МПа, температури пресформи 130 °C забезпечив отримання гранул з густиною до 1200 кг/м³ та механічною міцністю до 98-99 % при зменшенні витрати енергії на пресування в 5–12 разів.

2. Встановлено, що використання в композиційній суміші активованої складової іншого виду біомаси покращує якісні показники гранул та має визначальну роль, наближаючи показники міцності та густини до показників однорідної суміші з активованою складовою, ідентичній за видом сировини активованій складовій.

POLLUTANTS EMISSION REDUCTION BY BURNING BIOMASS IN STAGED MODE

Giedrius Jomantas (speaker), **Kęstutis Buinevičius**

*Kaunas University of Technology, Department of Energy, tel. +37062513014,
e-mail: giedrius.jomantas@ktu.edu*

Aim.

Food industry generate relatively large amounts of biomass waste, which cannot be incinerated due to the excessive amount of nitrogen or sulfur oxides formed in combustion products, exceeding EU Directive 2015/2193 on the limitation of emissions pollutants into the air from combustion plants. NO_x emission have been reduced to 300 mg/m³ and SO_x to 200 mg/m³. Following the successful reduction of these oxide emissions, biomass waste could be used for energy generation.

Results.

For the experiments, the sunflower husk pellets were chosen, which are the waste of sunflower seed production and generate higher NO_x and SO_x emissions by burning it. In the experimental studies different staged combustion tests were performed by changing the air/recirculated flue gas supply position and stage, the primary/secondary air ratio and the oxygen concentration in the recirculated flue gas and air mixture by reducing the excess air ratio. The impact on emissions in the flue gas have been investigated. In all cases, the primary air was supplied under the grate and the secondary/tertiary air was decomposed or mixed with the recirculated flue gas. The best NO_x emission reduction results were obtained in study group (NO_x = 81 mg/nm³), when the recirculated flue gas and air mixture was supplied above the fuel bed and tertiary air was supplied to the final combustion zone. The highest NO_x=400 mg/nm³ were measured by supplying secondary air above the fuel bed. Furthermore, the concentrations of sulfur dioxide show the opposite dependence to the reduction of NO_x - at the highest NO_x rate, SO₂ were 0 mg/nm³. At the lowest NO_x rates, the SO₂ concentration increased to 76 mg/nm³.

Conclusion.

Studies show that the application of staged combustion of biofuel waste can significantly reduce NO_x emissions by up to 5 times. This can be stated by comparing the measured maximum emissions when the secondary air is supplied above the fuel bed by intensifying. A side effect of this approach is an increase in SO₂ emissions, which increased from 0 to 76 mg/nm³.

АНАЛІЗ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ З КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО З ВІДЧУЖЕННЯМ КУКУРУДЗИННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Драгнєв Семен Васильович

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, Київ
тел. (044) 456-94-62, e-mail: svdragnev@gmail.com*

Мета. Оцінка викидів парникових газів від вирощування кукурудзи на зерно та її переробки у біоетанол з порівнянням двох варіантів використання кукурудзиння: часткове відчуження побічної продукції як біопалива для виробництва теплової енергії або залишання всіх рослинних решток у полі з подальшим заорюванням у ґрунт і опаленням природним газом.

Результати роботи

Із застосуванням методу аналізу життєвого циклу проведено аналіз викидів парникових газів (ПГ) із включенням всіх технологічних процесів вирощування кукурудзи на зерно, її сушіння, транспортування та переробки у біоетанол першого покоління.

Для оцінки викидів ПГ при вирощуванні використано технологічну карту вирощування кукурудзи на зерно за інтенсивною технологією з урожайністю основної продукції 9 т/га на площі 100 га. Вихідні дані: основний обробіток ґрунту оранка; добрива нітрофоска в нормі 500 кг/га, КАС – 150 кг/га; інсектициди 0,5 л/га, гербіциди Харнес 20 л/г та Базагран 2,0 л/га; збирання врожаю прямим комбайнуванням при орієнтовній вологості зерна 25%. При цьому порівнюються два варіанти: з заготівлею 6,71 т/га кукурудзиння (50% від всього обсягу побічної продукції) із базовою вологістю 25% за трипрохідною системою (зернозбиральний комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем для великих прямокутних тюків) і подальшим його використанням для виробництва теплової енергії із заміною вилучених поживних елементів (N, P, K) мінеральними добривами та заорювання всіх рослинних решток кукурудзи у ґрунт і використанням природного газу для опалення. Відстань транспортування кукурудзиння з поля на склад 25 км. Сушіння зерна кукурудзи здійснюється природним газом, відстань його транспортування до заводу виробництва біоетанолу 50 км. Вихід біоетанолу становить 0,32 т з тони зерна кукурудзи.

Висновок. При вирощуванні кукурудзи на зерно із урожайністю 90 ц/га і подальшої її переробки у 2,9 т біоетанолу/га емісія ПГ складе 4095 кг CO_{2екв.}/га. При відчуженні 50% кукурудзиння з полів і заміні поживних елементів еквівалентними дозами мінеральних добрив емісія ПГ виробництва біоетанолу та заготівлі побічної продукції рослинництва становить 4517 кг CO_{2екв.}/га, при цьому додаткова отримана біомаса може забезпечити скорочення емісії парникових газів 5564 г/CO_{2екв.}/га при її використанні для заміни природного газу.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛУЖНОЇ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ НА ДЕЛІГНІФІКАЦІЮ СОЛОМИ ПШЕНИЧНОЇ

Сидоренко Віталій Володимирович, Ободович О.М.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. 044 4249634,
e-mail: vrangel08@i.ua*

Метою роботи було визначення впливу технологічних параметрів попередньої підготовки пшеничної соломи до гідролізу в роторно-пульсаційному апараті на процес видалення лігніну та геміцелюлоз.

В результаті роботи було одержано залежність виходу лігніну від початкової температури суміші для наступних умов: концентрація соломи 12% мас.; швидкість обертання ротора – 47,75 об/с; концентрація луку – 1% мас.; тривалість обробки – 70 хв.

Отримані криві дозволяють зробити висновок, що підвищення температури процесу з 18 до 90 °С за обертання ротора – 47,75 об/с та концентрації луку – 1% мас. підвищує вихід лігніну від 40 до 79 %.

За температури процесу 90°С 84% лігніну вивільняється за 20хв., в той час, як за температури 18°С лише 42,8%.

Залежність виходу лігніну від початкової концентрації луку (NaOH) визначалась для наступних умов : концентрація соломи 12% мас.; швидкість обертання ротора – 47,75 об/с; температура процесу – 90° С.; тривалість обробки – 70 хв.

Визначено, що збільшення концентрації луку від 1 до 4 % збільшує вихід лігніну з 79 до 89%. Зі збільшенням концентрації луку до 4% за 20 хв. обробки вивільняється 89% лігніну.

Висновки

Визначено, що вплив термодинамічних та гідродинамічних процесів, що відбуваються в роторно-пульсаційних апаратах дозволяє підвищити вихід лігніну в порівнянні з традиційними перемішуючими пристроями за однакових технологічних параметрів лужної попередньої підготовки рослинної сировини до зброджування.

ЛІСОРΟΣЛИННИЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ В УКРАЇНІ – ПРОБЛЕМИ КООРДИНАЦІЇ І ІНТЕГРАЦІЇ З ЕНЕРГЕТИКОЮ ТА ІНШИМИ ГАЛУЗЯМИ СУСПІЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Кремньов В'ячеслав Олегович (доповідач), Беляєв Г.В., Беляєва І.П.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1586,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Визначення інтересів ряду галузей суспільного господарства стосовно використання побічних товарних продуктів та відходів лісорослинницької діяльності.

Результати. Проблеми на вирішення яких спрямовані пропозиції:

1. Щодо інтересів розвитку лісорослинницької діяльності – змен-

шення чи повне подолання хронічного недофінансування, від якого на протязі багатьох років потерпає ця важлива галузь.

2. Щодо інтересів інших галузей суспільного господарства:

- енергетика конче зацікавлена в постачанні на постійній основі дешевого деревного палива, використання якого досить толерантне по відношенню до локальної екології і сприятиме зниженню негативного впливу на глобальну екологію;

- мешканці сільської місцевості, володарі дач і садоводи вкрай зацікавлені у зменшенні витрат на опалення, навіть, якщо їхні господарства газифіковані;

- об'єкти бюджетної сфери у сільській місцевості (школи, лікарні, санаторії, готелі, будинки відпочинку, турбази, інтернати, будинки культури, пансіонати для літніх людей, дошкільні заклади тощо) потребують зниження витрат на опалення; те саме стосується аналогічних об'єктів, розташованих на околицях урбанізованих територій, що дозволяє доставляти до них деревне паливо.

Для реалізації способу забезпечення деревинним паливом об'єктів комунальної та промислової теплоенергетики у найближчих до підприємств лісового господарства (ПЛГ) населених пунктах необхідною передумовою є утворення партнерства між ПЛГ і споживачами тепла – відповідальними об'єктами теплопостачання: органами комунальної теплоенергетики або промисловими підприємствами. Основою такого партнерства є юридично зобов'язуючі договори, термін дії яких не менший строку експлуатації встановленого теплогенеруючого обладнання.

Висновок. Пропонується системний комплекс заходів, спрямованих на синергійне стале співробітництво лісогосподарських підприємств з енергетикою, соціальною сферою, виробництвом біодобрив, тощо, на основі взаємодії наукових установ з органами місцевого самоврядування. При цьому враховується значне підвищення попиту газифікованих індивідуальних домогосподарств на паливні дрова в зв'язку зі сталою тенденцією підвищення ціни на природний газ.

СКООРДИНОВАНІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА – ПОСТАЧАЛЬНИКАХ І ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ ОБ'ЄКТАХ-КОРИСТУВАЧАХ ДЕРЕВНОГО ПАЛИВА

Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Жуков Костянтин Леонідович (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1156,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Розробка технічних вимог і проектних рішень щодо організації системи сталого енергетичного використання відновлювальних деревних ресурсів.

Результати. Доповідь належить до одного з традиційних напрямів діяльності лабораторії тепломасообмінних технологічних процесів та уста-

ткування – кардинального зниження питомих витрат на паливно-енергетичну складову в системах опалення та виробничо-технологічних процесах шляхом системної інтенсифікації теплових технологій та широким залученням вторинних енергетичних та матеріальних ресурсів.

В основу роботи покладені наступні концептуальні положення.

1. Переведення теплогенеруючих об'єктів територіально наближених до лісогосподарського підприємства на паливо у вигляді попередньо висушених до вологості $W \leq 20\%$ паливної тріски чи дров обов'язково потребує проведення ряду організаційно-технічних заходів, як на теплогенеруючих об'єктах, так і у лісогосподарському підприємстві, які супроводжуються відчутними капітальними вкладеннями.

2. Заходи згідно з п. 1 повинні проводитись одночасно.

3. Взаємовідносини між сторонами повинні мати юридично зобов'язуючий і довгостроковий характер.

4. Окрім діючого чинного законодавства гарантом дотримання взаємних зобов'язань по договору повинні виступати, також, місцеві органи самоврядування з одної сторони, а з другої – обласне управління лісового господарства, якому підпорядковане лісогосподарське підприємство-поставник деревного палива.

5. Крім заходів по п. 1 на лісогосподарському підприємстві-поставнику необхідно внести певні зміни у номенклатурі товарної продукції.

6. Забезпечення п.п. 1-5 обов'язково потребує розробки і затвердження цільової науково-технічної програми, спрямованої на інтеграцію місцевих лісогосподарських підприємств у енергетичне використання побічних продуктів лісорослинницької діяльності.

Висновок. Розроблені технічні вимоги, проектні рішення та «дорожня карта» поступового залучення лісорослинницьких підприємств до сталої взаємодії з об'єктами енергетики.

ВИКОРИСТАННЯ ФАКТОРІВ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ РІШЕНЬ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІКВІДНОГО ТОНКОМІРУ ДЕРЕВИНИ

Стецюк Валентина Григорівна (доповідач), Корбут Н.С., Шпільберг Л.Ю.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1156,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Доповідь присвячена вирішенню логістичних проблем, які стоять на заваді створення сталої системи енергетичного використання відходів лісорослинницької діяльності в Україні.

Результати. Саме ці проблеми мають ключове значення, принаймні, на початковому етапі співробітництва лісівництва з теплоенергетикою.

До складових вирішення зазначеної проблеми можна віднести:

- визначення теплогенеруючих об'єктів, які розташовані в радіусах $\leq 10, 20$ і 30 км і, відповідно, віднести їх до 3-х категорій економічної доці-

льності співробітництва; відстань > 30 км пропонуємо вважати заборонаю до участі у проєкті;

- проведення заявочної компанії щодо потреби у паливній трісці з боку зазначених теплогенеруючих об'єктів поквартально протягом календарного року;

- проектно-технічні рішення щодо організації складування паливної сировини на території лісгосподарських підприємств доцільно базувати на модульному принципі, а відповідні модулі необхідно дослідити у реальному масштабі.

Саме такі дослідження були проведені в рамках відомчої тематики.

Доцільність використання різних альтернативних методів зберігання пояснюється наступним:

- зберігання цільної деревини у окремих купах можливе з огляду на протипожежні вимоги лише на ділянках рубань головного користування, де є вільний простір і потребує повернення персоналу (згодом) на ці ділянки, для вивезення деревини. До переваг такого способу належить відсутність необхідності відведення спеціальної території для зберігання;

- зберігання у цільному вигляді у подовжених штабелях на спеціально відведеній території вважається пожежобезпечним і є досить перспективним. Недоліки цього способу – додаткові операції по формуванню штабелів. Зберігання у подрібненому вигляді вважається найбільш технологічним, але й найбільш небезпечним щодо самозаймання.

Одержані дані і запропоновані рекомендації щодо можливостей довгострокового зберігання деревини зазначеними способами.

Висновок. Всі випробувані альтернативні способи довготривалого зберігання та попереднього сушіння неліквідної деревини слід вважати придатними для практичного використання у лісгоспах, а доцільність застосування того чи іншого способу залежить від конкретного виду рубань (догляду за лісом, санітарні рубання, головне користування).

ДОСЛІДЖЕННЯ СУШІННЯ ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ ЗА РАХУНОК ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Беляєв Г.В., Корбут Наталя Степанівна (доповідач), Стецюк В.Г.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1156,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Дослідження спрямовані на розробку техніко-технологічних засобів виробництва деревного палива у вигляді попередньо висушеної тріски.

Результати. Використання сушіння паливної тріски за рахунок енергії сонячного випромінювання планується, у першу чергу, на території лісгосподарських підприємств.

При цьому до уваги були взяті наступні міркування:

- на відміну від теплогенеруючих об'єктів у лісгосподарському підприємстві значно більші можливості розміщення досить габаритних спо-

руд (сонячних сушарок) без окремого землевідведення. Це має принципове значення для переведення наявних котелень на паливну трасу. Котельні, здебільшого, майже не мають вільної території, а переведення на трасу обов'язково вимагає проміжного складу на 2 ÷ 3 доби і встановлення іншого додаткового обладнання. В таких умовах на склад бажано доставляти попередньо висушену трасу, придатну до безпосереднього використання.

Отже, саме на території лісгосподарського підприємства доцільно також зосередити і логістичні споруди: склади сировини і готової висушеної траси.

Створена нова експериментальна установка комбінованого сушіння твердих дисперсних матеріалів з використанням енергії сонця та низькопотенційної теплоти.

Середньодобова питома продуктивність, щодо маси вологи, яка випарувалась протягом доби становила:

За весняно-осінній період – $1,2 \text{ кг/м}^2$ добу.

Мається на увазі: на весні – травень + друга половина квітня, восени – вересень + перша половина жовтня.

За літній період: $1,76 \text{ кг/м}^2$ добу.

Всередньому за 6 місяців – $1,48 \text{ кг/м}^2$ добу. Тобто, при експлуатації протягом 6 місяців (частина року поза межами опалювального сезону для умов м.Києва).

Середньорічна питома продуктивність становить $\sim 0,74 \text{ кг/м}^2$ добу чи $\sim 270 \text{ кг/м}^2$ рік (для умов м. Києва).

Висновок. Результати досліджень були використані при розробці основних технічних рішень та проектної документації модуля сушки твердих дисперсних матеріалів з використанням енергії сонця.

МОДУЛЬНИЙ КОМПЛЕКС З УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ БІОМАСИ ОРІЄНТОВАНИЙ НА УМОВИ М. КИЄВА ТА КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Кремньов В.О., Жуков Костянтин Леонідович (доповідач), Беляєва І.П.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1586,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Покращення екологічного, санітарного та естетичного стану міста; зменшення витрат міського бюджету на транспортування, зберігання та знищення відходів біомаси.

Результати.

Призначення модуля. Виробництво біодобрив, біопалива, теплової та електричної енергії за гнучкими тепло- і біотехнологіями.

Сировинні ресурси (річний обсяг): осаді очисних споруд каналізації – 30000 т; опале листя і скошена трава – $8\,000 \text{ м}^3$; неліквідна деревина приміських лісгоспів підприємств Зеленбудів, підприємств деревообробки – $12\,000 \text{ м}^3$ щільн.; відходи овочесховищ, харчові відходи – 5 000 т; ґрунт від риття котлованів – 70 000 т; мінеральні добрива (NPK) – 500т.

Диверсифікована продукція.

Вид продукції	Річний об'єм	Призначення
Грунтові суміші з заданими властивостями	90 000 т	Рекультивація земель Озеленення територій
Гуміфікований компост	20 000 т	Паркове господарство Підвищення урожайності у рослинництві, овочівництві, садівництві та покращення родючості ґрунтів
Органо-мінеральні добрива за рецептурою замовника: - компост з мін.добавками	10 000 т	
- компост гранульований	5 000 т	
Тріска паливна, суха	5 000 т	Власні потреби та реалізація
Брикети, пелети	4 000 т	Реалізація на ринку
Електрична енергія	3 900 000 кВт*год	Реалізація за «зеленим» тарифом
Теплова енергія	7150 Гкал	Власні потреби

Учасники Проекту та їх роль у виконанні: розроблення наукових засад, основних технічних рішень та супровід Проекту (ІТТФ НАН України); замовник виконання робіт (ТОВ «ВЕЙСІТІ»); впровадження виробництва генераторного газу та одержання електроенергії, розробка та девелопмент Проекту, закупівля та технічне обслуговування (Науково-промисловий консорціум «Інтенсифікація теплових технологій»); постачальники сировини/відходів («Київводоканал», «Київзеленбуд», Київське облуправління лісового господарства, овочесховища та ін.).

Висновок. Супутні результати Проекту: можливість широкого промислового впровадження аналогічних промислових комплексів в Україні.

АДСОРБЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСТАРІЛИХ МУЛОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ, ТОРФУ, ТИРСИ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ ГРАНУЛ З НИХ

Самойленко Катерина Миколаївна (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-39,
e-mail: SamoilenkoKM@nas.gov.ua*

Мета. Визначення адсорбційних властивостей торфу, мулових відкладень, тирси та композиційних матеріалів на їх основі з метою визначення умов зберігання композиційних гранул.

Результати роботи. Екологічна безпека є важливою ланкою національної безпеки України, яка передбачає підтримання та поліпшення стану навколишнього середовища та повинна мати комплекс розроблених заходів щодо запобігання виникнення катастрофи для населення. Однією із гострих питань екологічної безпеки в Україні є нагромадження застарілих мулових відкладень після очистки стічних вод на станціях аерації. Значення рівноважної вологості композиційних гранул є одним із основних етапів при розробці технології переробки застарілих мулових осадів. Для визначення рівноважної вологості досліджуваних зразків залежно від відносної

вологості повітря застосовувався тензометричний метод Ван Бамелена. Досліджувані зразки, з визначеним вологовмістом, витримували в ексикаторах над водними розчинами сірчаної кислоти. Відомій концентрації розчинів відповідає при даній температурі певний парціальний тиск пари, тобто відповідне значення відносного тиску p/p_s . Потенціалом перенесення в процесі адсорбції, є парціальний тиск пари. Рівновага в системі настає, коли парціальний тиск пари повітря $p_{n\text{ пов}}$ і пари в тонкому шарі над матеріалом $p_{n\text{ мат}}$ вирівнюються, тобто при $p_{n\text{ пов}} = p_{n\text{ мат}}$, при рівності температур повітря і матеріалу. У цих умовах матеріал приймає сталу вологість W_p , яку називають рівноважною. Відповідно до методики було підготовлено 4 розчини для 4 різних ϕ в діапазоні від 0,4 до 0,9. Експерименти проводились при температурі навколишнього повітря 18-20 °С на протязі 34 діб. Були отримані кінетичні криві адсорбції водяної пари над торфом, муловими відкладеннями, тирсою, двокомпонентною композицією на основі мулових відкладень та торфу, трьохкомпонентною композицією на основі мулових відкладень, торфу та тирси. При відносній вологості повітря $\phi = 0,6$ рівноважна вологість торфу складає близько 12 %; мулових відкладень – 2 %, тирси – 8 %, двокомпонентної композиції на основі мулу і торфу – 5,5 %, трьохкомпонентної композиції на основі торфу, мулових відкладень та тирси – 6,5 %.

Висновок. Досліджуючи адсорбційні характеристики застарілих мулових відкладень, торфу, тирси та композицій з них, було виявлено, що отримана рівноважна вологість композицій не перевищує стандартну вологість для паливних гранул та становить 6-7 %, тому вони можуть бути використані для спалювання в котлах на біомасі.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА АКТИВНОСТІ ВОДИ ДВОКОМПОНЕНТНИХ ГРАНУЛ НА ОСНОВІ МУЛОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ ТА ТОРФУ

Новікова Юлія Петрівна (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-39,
e-mail: yuliiyanovikova3@gmail.com*

Мета роботи. Дослідження показника активності води для композиційних гранул на основі застарілих мулових відкладень та торфу.

Результати роботи. Визначення показників композиційних гранул на основі застарілих мулових відкладень та торфу досліджували на приладі Нугролаб-2. Мікроскопічне дослідження сорбційної ємності гранул здійснювали за йодом та індикатором метиленовим блакитним. Мікроскопічне вимірювання проведено за допомогою мікроскопу Delta Optimal Genetic Pro.

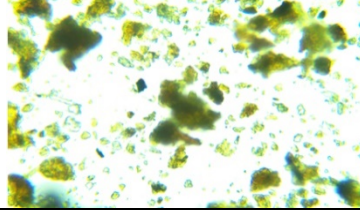
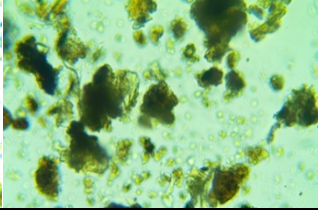
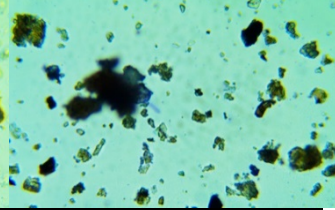
В результаті було отримано термодинамічні характеристики, що дорівнюють: ентальпія – 26,33 Дж/кг; питомий вологовміст – 3,01 г/кг; концентрація парів при насиченні – 3,58 г/м³; активність води 0,225.

Дослідження з сорбційної ємності та зміну структури зразків компо-

зиційних двокомпонентних гранул представлено в таблиці 1. Отримані гранули погано вибирають вологу, що видно по часточках подрібнених зразків, які не набрякли і зберегли власну структуру.

Укрупнення частинок на мікрофотографіях подрібнених зразків гранул в розчині йоду та робочому розчині метиленового блакитного свідчать про збільшення парового простору гранул та здатність до вбирання сполук, наприклад, сажі за спалювання гранул тощо. Як видно з фото у гранулах присутні вкраплення пластику.

Таблиця 1 – Мікрофотографії подрібнених зразків композиційних гранул (100×40)

	у воді	у воді з йодом	у воді з метиленовим блакитним
Двокомпонентні гранули на основі торфу та мулу			

Висновок. Вперше визначено показник активності води для композиційних двокомпонентних гранул, який становить 0,224. Мікрофотографії зразків гранул показують значний поровий простір та високу сорбційну площу, яка може адсорбувати сполуки як на поверхні гранул так і в мікро і мезопорах, що впливає на умови їх зберігання.

ПІРОГЕНЕТИЧНА ОБРОБКА КОРДУ ТА КОКСОВОГО ЗАЛИШКУ ПІРОЛІЗУ ШИН

Чмель Валерій Миколайович (доповідач), **Новікова І.П.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України Україна, Київ,
тел. (044) 453-28-65, e-mail: chmel_v@i.com.ua; chmel.valerii@gmail.com*

Мета роботи. Утилізація відходів виробництва шин з метою використання в якості джерела енергії.

Результати.

При проведенні пірогенетичної обробки корду та коксового залишку піролізу шин, яка включала піроліз та конверсію водяної пари коксовим залишком, був виконаний технічний аналіз вихідної сировини, склад якої: поліефірне волокно – капрон $[-NH-(CH_2)_5-CO-]_n$, гума, метал – сталевий дріт, на підставі якого, для проведення пірогенетичної обробки, вибирались температурний режим та співвідношення реагентів: коксового залишку та пари

Стосовно технології спалювання корду та коксового залишку піролізу шини в затисненому шарі були визначені його паливні характеристики.

Початок процесу горіння корду супроводжується виходом пари. З моменту виходу летких над затисненим шаром виникає газовий факел. Дрібнодисперсні частки коксу, які виносяться з шару, після досягнення

фронту полум'я, згоряють. Після спалювання корду зола містить: мінеральна частка - 68,47, метал - 31,53.

Пірогенетична обробка корду здійснювалась в установці, побудованій на базі муфельних печей, включала до свого складу реактор, парогенератор.

Піроліз. В реактор завантажуються корд і піднімається температура в реакторі до 900⁰С. Початок піролізу фіксується по виходу горючих газів, кінець – по їх відсутності.

Конверсія. Включається парогенератор, з якого перегріта пара подається в розжарений реактор, в якому знаходиться коксовий залишок. Початок і кінець конверсії визначається виходом горючих газів. З ростом температури збільшується вихід газів: водню, оксиду вуглецю та метану.

При суміщенні процесів піролізу та конверсії, вихід газів збільшується. Склад синтез газу, %: Н₂ – 42,5- 48,2; СО- 46,0 -50,0; невизначений залишок 31,8 – 35,0. Склад золи той самий що і при спалюванні.

На підставі цього можна зробити висновок, що при суміщенні процесів піролізу та конверсії в одній установці збільшується вихід оксиду вуглецю

Отриманий склад синтез газу може бути використаний для виробництва рідкого палива.

Висновки: При суміщенні процесів піролізу та конверсії в одній установці збільшується вихід синтез газу, який може бути використаний для виробництва рідкого палива.

АНАЛІЗ РОБОТИ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ЩОДО НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ

Парамонова Тетяна Миколаївна¹ (доповідач), **Котульська О.В.¹**, **Літвінова Ю.С.²**

1 – Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, тел. (057) 349-48-09, e-mail: tatpar53@gmail.com

2 – Національний технічний університет «ХПІ»

Для збереження світової екосистеми важливим методом боротьби зі зміною клімату немає іншого виходу окрім розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Україна в останні роки досягла певного прогресу в галузі використання ВДЕ, і планує збільшити до 2030 року в десять разів їх використання, що складе 870 ПДж (петаджоулей) від загального обсягу відновлюваної енергії. Однак, відновлювані джерела енергії (вітрова та сонячна) при виробництві електроенергії не забезпечують сезонну і добову рівномірність її подачі в енергомережу. При цьому істотно збільшується нерівномірність роботи енергомережі.

Мета роботи полягає у розгляді можливостей для створення надійних компенсуючих потужностей, які будуть спроможні працювати сумісно з ВДЕ. У якості компенсуючих потужностей, здатних працювати спільно з

ВДЕ, можуть застосовуватися такі способи зберігання електроенергії як механічні, термічні, хімічні, електрохімічні та електричні системи.

В результаті на підставі оглядово-аналітичного аналізу роботи вітро- і сонячних станцій проведено оцінку обсягів необхідної балансучої потужності, визначено типи і маневреність додаткового генеруючого обладнання. Проведено аналітичний огляд пропонованих схемних рішень компенсуючих потужностей в Україні та світі, досліджено режими їх роботи з урахуванням термодинамічних параметрів впливу навколишнього середовища, а також вперше на підставі розрахункового дослідження запропоновано застосування необхідних обсягів генеруючого обладнання з метою забезпечення безперервної роботи СЕС і ВЕС України. Результати розрахунків дозволили розглянути можливість компенсації виробництва електроенергії безпосередньо на СЕС і ВЕС за рахунок встановленої потужності газотурбінних установок різної потужності, газомоторних двигунів внутрішнього згоряння та електричних накопичувачів (акумуляторів) різної ємності.

Висновок: в результаті проведеного аналізу можна зробити наступні висновки: в даний час в Україні необхідно створити мінімум від 2 ГВт до 2,5 ГВт маневрених балансуючих потужностей і від 2,5 МВт до 3 МВт акумуляторних (високоманеврених) потужностей. Проведений аналітичний огляд схемних рішень і розрахункове дослідження дозволили визначити необхідну кількість генеруючого обладнання для безперервної роботи СЕС і ВЕС.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТВОРНОЇ ЗДАТНОСТІ ОСУШЕНОЇ ПІСЛЯСПИРТОВОЇ БАРДИ

Івашук Олександр Сергійович (доповідач), **Атаманюк В.М., Чижевич Р.А., Кузьмінчук Т.А., Кіяєва С.С., Жеребецький Р.Р.**

Національний університет «Львівська політехніка», кафедра хімічної інженерії, тел. (032) 258-26-57, e-mail: oleksandr.s.ivashchuk@lpnu.ua

Мета. У роботі було визначено теплотворні характеристики побічного продукту виробництва харчового етилового спирту – післяспиртової барди зернового походження, з метою використання її як сировини для виробництва твердого палива.

Результати роботи. Об'єктом досліджень була кукурудзяна післяспиртова барда після процесу центрифугування, одержана на виробничій лінії ДП «Вузьківський спиртовий завод» (с. Вузькове, Львівська область).

Зважаючи на те, що вторинне використання післяспиртової барди утруднене через малий час її зберігання, для збільшення часу придатності післяспиртова барда піддавалась сушінню фільтраційним способом.

Дослідження зразків післяспиртової барди в оригінальному вигляді проводили за вимогами ДСТУ EN 14774-2:2013. Біопаливо тверде. Визначення вмісту вологи. Метод висушування у сушильній шафі. Загальна волога; ДСТУ ISO 18122:2017 Біопаливо тверде. Метод визначення вмісту

золи; ДСТУ EN 14918:2016 (EN 14918:2009, IDT). Біопаливо тверде. Метод визначення теплотворної здатності. Для визначення проводили 7 паралельних дослідів (табл. 1).

Таблиця 1. Усереднені значення результатів дослідження зразків кукурудзяної післяспиртової барди.

Вміст вологи, W, % мас.	3,14±0,06
Зольність, % мас.	2,1
Вища теплотворна здатність, кДж/кг	19545

Висновок. Отримане значення теплотворної здатності досліджуваного матеріалу дещо перевищує значення аналогів (наприклад, міскантусу ≈ 17500 кДж/кг, енергетичної верби ≈ 17600 кДж/кг). Результати вимірювання теплотворної здатності висушеної кукурудзяної післяспиртової барди показали перспективність та ефективність її використання для виготовлення твердого палива. Додатково вторинне використання післяспиртової барди як твердого палива вирішує проблему з утилізацією великих об'ємів її промислових відходів.

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ НА БАЗІ ҐРУНТОВОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСУ В АКТИВНОМУ ТА ПАСИВНОМУ РЕЖИМАХ

Ословський Сергій Олексійович (доповідач), Безродний М.К.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, тел. (067) 650-78-91, e-mail: work.oslovskiy@gmail.com

Мета: визначення впливу зовнішніх факторів на енергетичну ефективність роботи системи кондиціювання на базі теплового насосу та пошук шляхів покращення умов роботи системи.

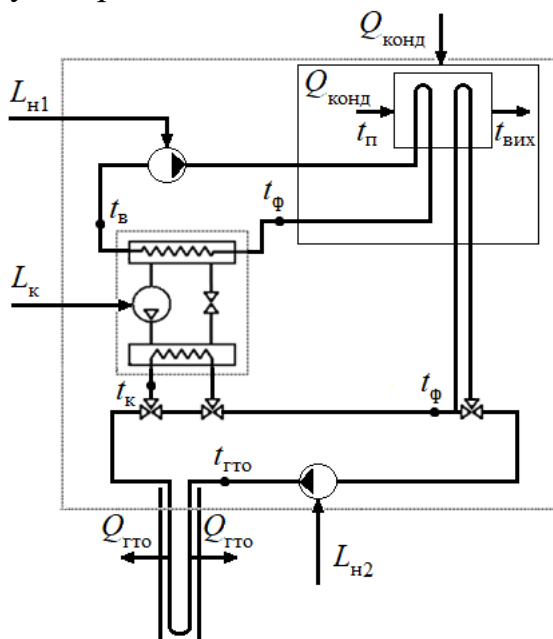


Рисунок 1. Принципова схема системи кондиціювання на базі ґрунтового теплового насосу

Результати роботи: було розроблено схему кондиціонування повітря (рис. 1) на базі ґрунтового ТН та проведено теоретичний аналіз ефективності її роботи, який може бути використаний для системи будь-якої конфігурації та потужності.

Розглянуто два режими роботи системи кондиціонування: пасивний і активний; показано значення критичних параметрів, при яких має місце найбільш ефективний перехід між цими режимами. Визначені основні показники роботи схеми для різних типів ґрунту. Побудовано залежності коефіцієнта перетворення (холодильного коефіцієнта) від температури навколишнього середовища при використанні ґрунтового теплового насосу. Показано основний ефект від експлуатації схеми як в пасивному так і в активному режимах.

Висновок

1. Найбільш ефективно розглянута система може бути використана в країнах зі схожим до України кліматом. Завдяки цьому теплота буде найбільш вдало використана взимку та повернена в ґрунт влітку.
2. Для найбільш раціонального вирішення задач проектування подібних систем на стадії проектних робіт необхідно розглядати залежність двох показників від параметрів роботи системи: холодильного коефіцієнта та питомого навантаження на ґрунтовий теплообмінник.
3. Використання ґрунтового теплового насосу для кондиціювання повітря в активному та пасивному режимі має позитивний екологічний, енергетичний та експлуатаційний ефекти.

ВПЛИВ СЕЗОННИХ ФАКТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ТИПУ ВОДА-ВОДА

Зур'ян Олексій Володимирович (доповідач), Олійниченко В.Г.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України, вул. Гната Хоткевича 20-а, м. Київ, тел. +38 (044) 206-28-09, geotherm@ukr.net

Мета роботи.. Дослідити вплив сезонних факторів та добової зміни температури повітря на ефективність роботи теплового насосу типу вода-вода при роботі з різним типами систем забору низькопотенційної відновлюваної енергії.

Результати. Для проведення досліджень теплових і гідродинамічних процесів, що відбуваються в продуктивному водоносному пласті під час освоєння низькопотенційної енергії підземних вод верхніх водоносних горизонтів, в Інституті відновлюваної енергетики НАН України було створено Експериментальну систему видобування геотермальних джерел енергії типу ГЦС (геотермальна циркуляційна система). Для вивчення природного режиму полтавського водоносного горизонту в св. №1 і в св. № 10 проводяться спостережні виміри температури підземних вод і рівня у водоносному горизонті. Для визначення ефективності роботи гідротермальної теплонасосної системи типу ГЦС в порівнянні з аналогічною геотермальною

теплонасосною системою, де теплоносієм циркулює по замкненому колу, в якості системи аналога була використана експериментальна гідротермальна теплонасосна система спроектована та змонтована в Українському державному геологорозвідувальному інституті (УкрДГРІ). Вимірювальні прилади, до складу яких входять датчики температури, і датчики витрат теплоносія були встановлені як в наземній, так і підземній частини комплексу. В процесі проведення дослідження на обох експериментальних установках були отримані дані річних змін температур в водоймі і в свердловині на різних глибинах, а так само температури на вході і виході з випарника і конденсатора теплового насосу типу вода-вода.

Висновки. Аналітично обґрунтовано і експериментально підтверджено, що перевагою гідротермальної теплонасосної системи де в якості теплоносія використовується підземні води (типу ГЦС) є стабільна робота протягом року за рахунок малої девіації температури теплоносія на вході у випарник теплового насосу, крім того дана гідротермальна теплонасосна система в порівнянні з аналогічними гідротермальними системами вимагають невеликих початкових інвестицій, і при цьому мають найбільший коефіцієнт перетворення теплової енергії.

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПОВІТРЯНО-ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Басок Б.І., Новіцька Марина Павлівна (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-98-80,
e-mail: mmarina@ukr.net*

В науковій літературі можна зустріти статті, які використовують штучні нейронні мережі (ШНМ) як інструмент для прогнозування в багатьох галузях науки, в тому числі у відновлювальній енергетиці, наприклад для прогнозування сонячного випромінювання, вітру та інш. ШНМ можуть бути застосовані в широкому спектрі галузей для моделювання та прогнозування в енергетичних інженерних системах.

Мета. В цій роботі зроблено спробу використати техніку штучної нейронної мережі для прогнозування температури на виході із повітряно-грунтового теплообмінника.

Результати роботи

Аналізувався масив даних вимірювання температури на вході та виході із повітряно-грунтового теплообмінника (із інтервалом 10 хвилин) між 11 вересня та 21 листопада 2018 року.

Моделювання, валідація та тестування експериментальних даних виконувались за допомогою програмного пакету MATLAB. А саме Neural Network Toolbox, що містить інструменти MATLAB для проектування, впровадження, візуалізації та імітації нейронних мереж. У цій роботі MATLAB (R2016a) та модель Левенберга-Маркватта використовувалась в розрахунках. В моделі був присутній один прихований шар та 10 нейронів

Масив даних, що аналізувалися розбивався у пропорції 70%, 15%, 15% для навчання нейронної мережі, її валідації та тестування відповідно.

Прогнозування за допомогою ШНМ відбувається із прийнятною точністю. Коефіцієнти кореляції, варіюються від 0,881 до 0,889. Максимальна різниця між фактичною (експериментальною) та прогнозованою температурою – 4,39°C. Ці результати доводять, що штучні нейронні мережі можна використовувати для цього типу прогнозування.

Висновки

- Навчання та тестування запропонованої мережі є достатньо задовільним, щоб передбачити температуру із врахуванням впливу погодних умов.
- Штучні нейронні мережі можна використовувати для цього типу прогнозування.
- Штучні нейронні мережі, як і всі інші методи наближення, мають відносні переваги та недоліки.

ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ ГРАНУЛЬОВАНОГО ТЕРМООБРОБЛЕНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО ПАЛИВА

Михайлик Вячеслав Аврамович (доповідач), **Корінчевська Т.В.**

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-12-26,

e-mail: mhlk45@gmail.com

Мета. Визначити оптимальні параметри процесу торрефікації гранульованого композиційного палива на основі деревини та торфу.

Результати роботи. Низька енергетична щільність, нестабільність гранулометричного складу і фізичних властивостей, а також біологічна активність і розосередження по території є головними проблемами при енергетичному і технологічному використанні біопалива та торфу. Більш ефективно їх використання в якості джерела енергії можливе при їх гранулюванні та торрефікації. Торрефікація – м'який процес піролізу в інертному середовищі, в діапазоні температур 200–300 °C, який дозволяє підвищити теплоту згорання палива шляхом зменшення в ньому процентного вмісту кисню і збільшення вмісту водню та вуглецю. При дослідженні процесу торрефікації намагаються знайти оптимальний режим, який дозволяє домогтися найвищої теплотворної здатності при найменшій втраті вихідної енергії.

Гранули з суміші (1:1) деревини та торфу діаметром 8 мм завантажували в сталі негерметичні контейнери і піддавали термічній обробці в муфельній печі у атмосфері власного газового середовища протягом 60 хв. при 250, 260, 270 та 290 °C.

Вихідне та торрефіковане паливо аналізували в дериватографі «Q-1000» при швидкості нагрівання 7,4 К/хв. в діапазоні 20–1000 °C. Аналіз дериватограм показав, що температура початку термічного розкладання в торрефікованому паливі в порівнянні з неторрефікованим зміщується в

сторону більш високих температур і чим вища температура торрефікації тим більший зсув. Зростання термічної стійкості торрефікованого палива є наслідком руйнації термолабільних компонентів палив і в першу чергу геміцелюлоз. Торрефіковане паливо має більш широкий температурний діапазон термічного розкладання. Термообробка викликає зростання гідрофобності палива, що проявилось в зменшенні рівноважної вологості. Питома теплота термічного розкладання торрефікованого палива в порівнянні з необробленим зростає на 15,4 та 31,2% відповідно за температур термообробки при 250 та 290 °С.

Висновок. Дослідження способу торрефікації композиційного палива на основі торфу та деревини при атмосферному тиску в умовах газоподібного середовища, що утворюється в обмеженому просторі при термічному розкладанні органічних речовин палива, показали його ефективність та можливість застосування без використання інертних газів.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

Чмель Валерій Миколайович (доповідач), **Новікова І.П.**

Інститут технічної теплофізики НАН України Україна, Київ

тел. (044) 453-28-65, e-mail: chmel_v@i.com.ua; chmel.valerii@gmail.com

Мета роботи. Метою роботи є розробка технології спалювання твердого палива: низькоякісного вугілля, відходів біомаси та штучного палива з відходів біомаси – брикетів.

Результати. Визначені паливні характеристики твердого палива низькоякісного вугілля, відходів біомаси та штучного палива з відходів біомаси – брикетів.

При застосуванні біомаси в якості палива, необхідно враховувати її особливості: низьку теплоту згоряння, різний вміст води та мінеральної речовини, полідисперсність.

При визначенні кінетичних характеристик твердого палива: деревини, лузги круп'яних (гречки, проса та вівса), костриці льону, газетного паперу, торфу, кам'яного вугілля та антрациту: було з'ясовано, що температура самозаймання залежить від ступеню метаморфізму палива та вмісту летких і, в умовах безкінечного простору, не залежить від розміру часток палива та температури окислювача і є константою. При збільшенні ступеню метаморфізму та зменшенню вмісту летких, температура самозаймання зростає. Так у деревини температура самозаймання від 290⁰С, а у антрациту до 810⁰С.

На підставі аналізу паливних та кінетичних характеристик різних видів твердого палива, був створений двостадійний процес горіння твердого палива, який включає в себе процес спалювання в затисненому шарі твердого палива та допалювання викидових горючих газів та твердого дрібнодисперсного виносу твердого палива в системі пласко-паралельних струменів окислювача та горючого при самозайманні.

При проведенні дослідів по спалюванню твердого палива в затисне-

ному шарі визначено вплив на висоту кисневої зони вмісту летких. З їх збільшенням висота кисневої зони зростає.

При двостадійному процесі швидкість горіння твердого палива в межах одного його виду залежить від його густини. Причому швидкість горіння брикетів значно нижча швидкості горіння вихідної біомаси. Пояснюється це зменшенням поверхні реактування та їх ущільненням при пресуванні вихідної сировини.

Проведений порівняльний аналіз результатів експериментів двостадійного процесу та його розрахунку показав, що вони добре співпадають.

Висновки. Створений двостадійний процес горіння твердого палива, ефективність якого не залежить від паливних характеристик палива.

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АКТИВОВАНИХ ТЕПЛОТОЮ СКЛАДНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ, ПІДВИЩУВАЛЬНІ ЧАСТИНИ ЯКИХ Є ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ

Горпинко Юрій Іванович (доповідач)

Інститут проблем машинобудування НАН України ім. М.А. Підгорного
тел. (044)-543-28-93, e-mail: yugorpinko@ukr.net

На даний момент для складних термотрансформаторів що мають силовий і охолоджувальний споживацькі ефекти, створено уніфіковану аналітичну методику представлення ефективності за 1^{-м} та 2^{-м} Законами, побудовану на порівнянні коефіцієнта перетворення (*COP*) реальної системи з теоретичним *COP* еквівалентного циклу Карно-Карно.

Мета роботи – створити аналогічну методику для активованих теплою (АТ) систем, що мають силовий і нагрівний споживацькі ефекти, побудовану на порівнянні цих складних термотрансформаторів з циклами Карно-Карно, підвищувальні частини яких використовуються в режимі теплового насоса.

В результаті отримано дві взаємопов'язані розрахункові формули. Перша з них визначає коефіцієнт перетворення АТ системи в цілому (*COP_S*) як суму теплопродуктивності Q_h^e та механічної потужності W_{Σ} , віднесену до потоку компенсаційної теплоти Q_k . Особливістю визначення є зміна знаку W_{Σ} при переході АТ системи з режиму генерації механічної потужності до її споживання. Показано, що такий спосіб розрахунку *COP_S* дозволяє універсалізувати розрахунок ефективності за 2^{-м} Законом при зміні знаку W_{Σ} . Оскільки споживацькі ефекти порівнюваних реальної та ідеальної систем є однаковими, то ефективність за 2^{-м} Законом η_{II}^s можна визначати як співвідношення теоретичного і реального потоків компенсаційної теплоти. Друга формула, виведена аналітично, має вид:

$$\eta_{II}^s = W_{\Sigma} T_k / \{Q_k (T_k - T_e)\} + Q_h^e T_k (T_h - T_e) / \{Q_k T_h (T_k - T_e)\},$$

де T_k , T_e , T_h – середні температури джерела компенсаційної теплоти, довідника і приймача теплопродуктивності АТ системи, відповідно. Найбільш

точними є середні термодинамічні значення температури процесів теплової взаємодії складного термотрансформатора з джерелами теплоти. Допустиме осереднення за способом середнього арифметичного.

Показано, що зміна знаку η_{II}^s відбувається тоді, коли активована і теплою і механічною потужністю реальна нагрівна система в теорії має бути теплогенерувальною на двох різних рівнях температури – T_{kom} та T_{heat} .

Висновок: Створено єдину аналітичну методику представлення ефективності за 1^м та 2^м Законами когенераційних систем, абсорбційних теплових насосів і таких нагрівників, активація яких теплою дозволяє зменшити споживання механічної потужності; методика базується на порівнянні COP_s реальних систем та еквівалентних циклів Карно-Карно.

Секція №3 Енергоефективні теплотехнології та обладнання

ТЕПЛО-АЕРОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА СПОСОБИ УДОСКОНАЛЕННЯ КАМЕРНИХ АМЕРИКАНСЬКИХ ЗЕРНОСУШАРОК DELUXE

Гапонюк Ігор Іванович (доповідач)

*Національний університет харчових технологій, тел. (099) 261-4-339,
e-mail: zenidtar@gmail.com*

Мета: зменшення енергоємності та інтенсифікація міжфазової взаємодії управлінням потенціалу робочих газів та зменшення опору внутрішньокапілярної дифузії вологи.

Результати роботи. Інтерес до прогресивних технологій і техніки сушіння зерна завжди пов'язують із встановленням їх особливостей, можливістю використання цих відмінностей для удосконалення вітчизняних аналогів та покращення іноземних сушарок. Найбільший інтерес щодо удосконалення технологій сушіння зерна стосується питань інтенсифікації й якості сушіння, енергоекономії та зменшення рівня забруднення довкілля.

Способи приведення зерна зібраного урожаю в стійкий стан зберігання у США подібні європейським. Для цього застосовують різноманітні способи зневоднення та конструкції зерносушарок. Подібно європейським технологіям, у США найпоширенішим способом сушіння є конвективний спосіб із застосуванням нагрітих до заданої температури сушильних газів. Нижче розглянемо особливості тепло-масообміну в поширених зерносушарках модельного ряду Deluxe модульного типу.

За конструкцією зерносушарки модельного ряду Deluxe є прямотечійними, із одним контуром та кількома камерами. Товщина шару зерна в камерах на 38% більша вітчизняних шахтних, стан його рухомості, подібно як і більшості європейських агрегатів, малорухомий. Швидкість руху зерна в шахтах регулюють об'ємним випускним механізмом перемінної швидкості обертів трьох-секційного ротора.

Додаткове збільшення потенціалу робочих газів до 7% фактично за

різних режимів по зерну кукурудзи (однак розрахунково за відомими формулами лише до 2%) досягають змінням їх градієнту в зонах охолодження і сушіння. Зменшення питомих витрат енергії сушіння до 15% здійснюють традиційним способом рекуперацією теплоти робочих газів зони охолодження в сушильній.

Висновки: 1. Способи сушіння зерна та конструкція шахтних зерносушарок США та вітчизняного виробництва є подібними. 2. Зазначені в технічній характеристиці показники роботи зерносушарки відповідають розрахунковим та експериментальним даним. 3. Конструктивні елементи газорозподільних каналів американських сушарок порівняно із вітчизняними аналогами обумовлюють менші втрати енергії.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ, ТЕПЛО-АЕРОДИНАМІКИ ТА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ВІТЧИЗНЯНИХ І ЗАКОРДОННИХ ЗЕРНОСУШАРОК

Гапонюк Ігор Іванович (доповідач)

*Національний університет харчових технологій, тел. (099) 261-4-339,
e-mail: zenidtar@gmail.com*

Мета: удосконалення технології зневоднення малорухомого шару капілярно-пористих колоїдних тіл управлінням потенціалу робочих газів та зменшенням опору внутрішньокапілярної дифузії вологи.

На показники питомих витрат теплоносія суттєво впливає траєкторія руху робочих газів в шарі зерна, яка обумовлена товщиною його шару і опосередковано може характеризуватися коефіцієнтом κ_v . Цей коефіцієнт отримують відношенням об'єму газорозподільчих коробів до об'єму тепловологообмінної камери. Він характеризує тривалість міжфазової взаємодії та впливає на потенціал використання робочих газів.

На рівномірність пошарового тепло-масообміну, в свою чергу, істотно впливає також аеродинамічний опір шару зерна, як перемінний фактор рушійного потенціалу робочих газів і власне його таких складових, як фактична густина, вологовміст, енергія пари. Для спрощення розрахунків введемо узагальнений для різних груп зернових коефіцієнт κ_{ar} .

Товщина шару зерна в сушильних шахтах іноземних сушарок перевищує подібні значення вітчизняних на 40 – 60 %. А коефіцієнт κ_v американських шахтних сушарок модельного ряду *GH* вдвічі менший від аналогічного показника українських сушарок типу *ДСП* ($\kappa_v=24,4$ %) і становить лише $\kappa_v=10,0$ %. Тому тривалість між фазової взаємодії та потенціал використання сушильних газів в американських сушарках значно більший від вітчизняних. В європейських шахтних сушарках більш новіших моделей коефіцієнт κ_v ще більше відрізняється від вітчизняних аналогів, а отже потенціал їх використання ще вищий.

Характер подачі вологого зерна в сушильну шахту та виведення із неї сухого більшості іноземних сушарок – неперервний. Такий стан рухомості шару зерна, порівняно із періодичним більшості вітчизняних анало-

гів, обумовлює менший рівень забруднення довкілля. Проте неперервний характер руху шару зерна в теплообмінній камері може спричиняти утворення «застійних» зон і цим самим погіршувати пожежобезпечний стан роботи зерносушарки.

Висновки: 1. Способи сушіння зерна та конструкція іноземних і вітчизняних шахтних зерносушарок є подібними;

2. Зменшити енерговитрати вітчизняних зерносушарок збільшенням потенціалу використання робочих газів можна збільшивши площу поперечного перетину газорозподільних коробів в 1,7...1,8 разів та вдвічі зменшивши коефіцієнт об'єму газорозподільних каналів k_v .

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК В ЗЕРНОСУШИЛЬНИХ КОМПЛЕКСАХ

Пазюк Вадим Михайлович

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-38,
e-mail: vadim_pazuk@ukr.net*

Мета: створення енергоефективних зерносушильних комплексів із використанням теплового насосу.

Результати роботи. Фактором, що може вплинути на інтенсивність процесу масопереносу при низькотемпературному сушінні є вологість теплоносія, що особливо ефективно в області малого вологовмісту. Згідно отриманим результатам при зниженні вологовмісту повітря з 15 до 10 г/кг сухого повітря при температурі матеріалу 45-50°C інтенсивність процесу сушіння підвищується на 20 – 25%, подальше зниження вологовмісту до 8г/кг сухого повітря забезпечує інтенсивність процесу до 35%.

Зниження вологовмісту і ефективне регулювання температури теплоносія з одночасною утилізацією теплоти конденсації парів видаленої води можливо проводити при застосуванні теплонасосних циклів в процесі підготовки теплоносія в конвективних зерносушарках.

Запропоновані комплекси забезпечують цілодобове необхідне споживання електричної і теплової енергії для потреб виробництва, а також сезонну потребу в енергоносіях для тепловологої обробки зерна. Когенераційний комплекс на основі теплового насосу забезпечують коефіцієнт використання палива 0,86 – 0,88 і знижує собівартість електроенергії в 3 рази в порівнянні з її виробництвом на дизельгенераторах. Питомі капітальні витрати на 1 кВт встановленої потужності знаходяться в межах 300 – 400 доларів США при строковій окупності 2 – 4 роки.

В теплонасосній зерносушарці на базі газового двигуна генератора ДвГА -315 відбувається виробництво електричної енергії, яка в свою чергу необхідна для роботи компресора теплового насоса. Відведення теплової енергії на процес сушіння відбувається за трьома напрямками: від утилізації теплоти димових газів, охолодження двигуна та конденсатора теплового насоса. Охолодження та зневоднення теплоносія для сушіння зерна мо-

жливо за допомогою випарника теплового насосу.

Схема зерносушарки з тепловим насосом передбачає також проміжне відведення електричної та теплової енергії в разі необхідності на технічні потреби.

Висновок. В теплонасосній зерносушарці на базі газового двигуна генератора ДвГА – 315 забезпечує ефективний технологічний процес сушіння зернових культур з перерозподілом електричної і теплової енергії по зонах сушіння.

РОЗРОБКА ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОГО МОДУЛЯ СУШКИ ТВЕРДИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА РАХУНОК ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ

Беляєв Г.В., Беляєва І.П., Тимощенко Андрій Володимирович (доповідач), Шпільберг Л.Ю.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1586,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Розробка спрямована на технологічне та апаратурне забезпечення сушіння паливної тріски у лісгоспах, осадів комунальних очисних споруд урбанізованих територій та інших твердих дисперсних матеріалів.

Результати. Модуль розроблено на основі результатів експериментальних досліджень сушіння деревної паливної тріски, виробленої шляхом подрібнення тонкомірної деревини листяних порід, а також мулових відкладень осадів комунальних очисних споруд.

Технічні характеристики машини для перемішування компосту, яка застосована у проекті: ширина каналу 8000 мм, ширина 8670 мм, довжина 2120 мм, висота з рамою гідравлічного підйомника 2920 мм, максимальна висота підйому вала перемішувального пристрою 800 мм, діаметр осі робочого валу 100 мм, довжина лопатей 600 мм, швидкість максимальна без завантаження 100 м/хв., максимальна робоча швидкість при завантаженні 50 м/хв., максимальне число обертів двигунів 2200 об/хв. Встановлена потужність двигунів: двигун привода перемішувального пристрою 37 КВт, двигун переміщення машини по рейках 5,5 КВт. Висота опорних стінок для встановлення рейок пересування задля машин 650 мм.

Ця машина призначена для забезпечення перемішування компосту у періодичному процесі; тобто застосовується без істотного пересування матеріалу в напрямі довжини споруди. Втім, за необхідності, за допомогою цієї машини існує технічна можливість пересування матеріалу.

При розробці модуля застосовані інноваційні технічні рішення щодо його розміщення по відношенню до сторін світу, теплової ізоляції і видалення вторинної пари та інших газів, які надходять із матеріалу.

Висновок. Розроблений модуль є перспективним технічним рішенням в області сушки завдяки енергозаощадженню та екологічності.

Можливе як автономне використання одного чи декількох модулів

так і у технологічних системах комбінованої сушки сумісно з тепловими сушарками. Модуль може, також, суміщувати функції сушіння та складування (логістичні).

ДОСЛІДЖЕННЯ СУШІННЯ ЛІСОРОСЛИННИЦЬКИХ ВІДХОДІВ (ТРІСКИ ПАЛИВНОЇ З ТОНКОМІРУ) У ЩІЛЬНОМУ ШАРІ І РОЗРОБЛЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ КОНВЕЄРНОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШІННЯ ТВЕРДИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ У СЕРЕДОВИЩІ ВИСОКОВОЛОГОЇ ПАРОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ

**Кремньов В'ячеслав Олегович (доповідач), Шпільберг Л.Ю.,
Жуков К.Л.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1586,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Розроблення типоряду одноярусних енергоефективних конвеєрних сушарок різної продуктивності, які складатимуться з необхідної кількості уніфікованих умовних зон сушки.

Результати. Стенд складається з ізольованого повітропроводу, сушильної камери, нагрівальних елементів, приладів для вимірювання величин, що характеризують кінетику процесу сушіння матеріалу.

Характеристики стенду: об'єм камери - 0,02 м³; діаметр камери - 0,14 м; висота - 1 м; перфорована решітка з отворами - 0,001 м (1•10⁻⁴ м² 5х5 шт.); вентилятор: потужність - 1,2 кВт; продуктивність - 800 м³/год; електрокалорифер - 3,6 кВт; регулятор температури ЕТС 442 - 0 ÷ 300 °С.

Експерименти проведені при температурах агента 90°С, 120 °С 150°С та його швидкостях - 1 м/с та 2 м/с.

Був проведений комплекс НД ДКР, в результаті створена зонна установка з наступними основними характеристиками. Тип установки - однострічковий конвеєр; довжина - 27 м; ширина сушильного коридору - 4 м; кількість сушильних зон – 6. Напрямок потоку повітря до шару матеріалу - перпендикулярно шару, знизу-вгору, зверху-вниз; температура повітря, що подається в сушильні зони, 120 - 60°С; швидкість – 0,5 м/с.

Розділення на зони є умовним. Зона, завдовжки 3000 мм, включає 2 напівзони довжиною 1500 мм; напрям сушильного агента в напівзонах взаємно протилежний.

Розміри соплової розподільчої решітки в плані: довжина (у напрямі руху конвеєра) 1500 мм, ширина 2000 мм. Решітки розташовані паралельно стрічці конвеєра і забезпечують вертикальний рух повітря.

Висновок. Типоряд, що розробляється призначений для сушіння твердих дисперсних матеріалів таких як деревна паливна тріска, гранульовані біопаливо та біодобрива на об'єктах оснащених технологічними паровими котельнями. Сушарки дозволяють мінімізувати питомі витрати теплової енергії на процес сушіння завдяки зниженню рекуперативних тепловтрат крізь огорожуючі конструкції і кардинальному зменшенню, як

організованого так неорганізованого повітрообміну.

Нові сушарки дозволяють організувати ефективну утилізацію ВЕР (теплоти вторинної пари, що надходить із матеріалу і перегрітому конденсату гострої пари, яка надходить із котельні).

ДОСЛІДЖЕННЯ СУШІННЯ ЛІСОРОСЛИННИЦЬКИХ ВІДХОДІВ (ТРІСКИ ПАЛИВНОЇ З ТОНКОМІРУ) У «ПСЕВДОКИПЛЯЧОМУ» ШАРІ ТА У ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІЙ РОТОРНО-ВИХРОВІЙ УСТАНОВЦІ І РОЗРОБКА НА ЦІЙ ОСНОВІ ДОСЛІДНО- ПРОМИСЛОВОЇ РОТОРНО-ВИХРОВОЇ СУШАРКИ ДЛЯ ТВЕРДИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Тимощенко Андрій Володимирович (доповідач), **Корбут Н.С.,
Стецюк В.Г.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1586,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета. Перевірка придатності сушарок «псевдокиплячого» шару та роторно-вихрових для зневоднення паливної тріски з тонкоміру деревини.

Результати. Дослідження проводились за допомогою наявних експериментальних стендів.

Стенд призначений для дослідження сушки в «псевдокиплячому» шарі і дозволяє знімати криві сушки, вивчати режими сушки продукту.

Технічні дані сушильної камери «псевдокиплячого» шару: об'єм – 5700 см³; діаметр – 140 мм; висота – 370 мм; перфорована решітка з отворами – 1 мм (1 см² 5х5); вентилятор до 800 м³/год, ел. дв. Q – 1,2 кВт; електрокалорифер – 3 тені Q – 1,2 кВт – 1 шт. (1 тен регулюється через регулятор температури).

Лабораторний стенд сумісних процесів диспергування та сушки призначений для дослідження і відпрацювання технологічних режимів.

Технічні дані: об'єм камери сушарки – 0,6 м³; виробність шнекового живильника – до 200 кг/год; діапазон температур теплоносія від 30 до 350°C; швидкість теплоносія від 0 до 10 м/сек; електричне обслуговування експериментальної установки 3 ф 380 В; встановлена електрична потужність установки до 100 кВт; режим роботи – циклічно-безперервний.

Область застосування результатів: розробка компактних сушарок для апаратурного оснащення димогазових енерготехнологічних комплексів виробництва попередньо висушеної деревини паливної тріски в умовах лісогосподарських підприємств чи теплогенеруючих об'єктів промисловості та соціальної сфери.

Висновки:

- сушарки «киплячого шару» і роторно-вихрові є технічно придатними для зневоднення деревної паливної тріски із тонкоміру і можуть скласти успішну конкуренцію по відношенню до широко розповсюджених барабанних сушарок;

- процеси сушіння у випробуваних сушарках є подібними щодо інтен-

сивності;

- збільшення температури сушильного агента на вході до сушарки забезпечує зниження питомих витрат енергії; максимально припустиме значення – 300°C;

- розроблена роторно-вихрова сушарка з об'ємом робочої камери 2 м³

ДИМОГАЗОВИЙ ЕНЕРГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС З РОТОРНО-ВИХРОВОЮ СУШАРКОЮ ТА ГАЗОГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ СУШІННЯ ТВЕРДИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Тимощенко А.В., Корбут Наталя Степанівна (доповідач), Стецюк В.Г.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1586,

e-mail: kremnev@ukr.net

Мета роботи. Створити уніфікований комплекс одержання генераторного газу і його застосування для організації процесу сушіння твердих дисперсних матеріалів (як паливної тріски так і цільової продукції).

Результати. Розробка виконана в результаті сумісної діяльності учасників консорціуму ІТТ (інтенсифікація теплових технологій) і призначена для оснащення виробництв деревної паливної тріски, біодобрив та інших технологій зневоднення твердих дисперсних матеріалів, які допускають безпосередній контакт з продуктами згоряння генераторного газу.

При розробці комплексу застосовані інноваційні технічні рішення щодо:

- одержання генераторного газу із деревної паливної, попередньо висушеної тріски, з підвищенням вмісту кисню у окислину за допомогою мембрани;

- методу і пристрою вологого очищення генераторного газу;

- утилізації теплоти охолодження робочої камери газогенератора;

- сушіння твердих дисперсних матеріалів у роторно-вихрових сушарках засобами трансформації проточної частини для оптимізації технологічного процесу (швидкість ротору, змінні перегородки, перепускні вікна, тощо);

- система автоматичного керування сумісною роботою газогенератора і сушарки.

До техніко-економічних переваг комплексу належать:

- висока заводська готовність;

- автономність;

- компактність;

- енергоефективність.

Висновок. Розроблений комплекс дозволяє компонувати застосування модульного принципу енергоефективні підприємства будь-якої необхідної продуктивності на основі уніфікованого устаткування з високою заводською готовністю. Крім того розроблені комплекси можливо застосовувати у комбінованих технологічних системах сушки.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

Корінчевська Тетяна Володимирівна (доповідач), **Михайлик В. А.**

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-12-26,

e-mail: tvkorin@gmail.com

Мета. Овочі є важливим продуктом харчування, зокрема у висушеному вигляді. Термічну стійкість матеріалів визначає температура, після досягнення якої починається процес термічної деструкції. Визначення цієї температури є важливим при виборі режиму зневоднення, який забезпечить якість висушених матеріалів.

Результати роботи. Термічну стійкість визначали методом термічного аналізу в дериватографі «Q-1000». Подрібнені до однорідної структури зразки піддавали програмованому нагріванню зі швидкістю 3,6 К/хв. в діапазоні 20...270 °С. В процесі нагрівання реєстрували зміну температури та маси зразка, швидкість зміни маси та тепловий ефект.

Всі досліджені матеріали (зокрема картопля, морква, столовий буряк, гарбуз, капуста білокачанна, корені петрушки та селери, цибуля ріпчаста і часник) є високовологими продуктами. Їхнє нагрівання від температури зовнішнього середовища до 164...210 °С (залежить від виду продукту), супроводжується видаленням води. Визначена вологість зразків варіюється від 61,51 % для часнику до 92,45 % для капусти. Середня швидкість зневоднення становить 1,36...2,00 %/хв. і прямо залежить від вихідної вологості матеріалу.

Після видалення води відбувається поступова втрата маси, яка свідчить про термічну деструкцію певних компонентів овочевих культур. Для досліджених овочів, окрім картоплі та капусти, в інтервалі температур 172...240 °С зміна маси супроводжується помітним виділенням теплоти. Даний метод дослідження не дозволяє встановити, який саме компонент матеріалу першим зазнає деструкції. Температура початку деструкції знаходиться в інтервалі від 164 °С для кореню петрушки до 210 °С для картоплі.

Для порівняння витрат теплоти на видалення води, було визначено умовний питомий тепловий ефект, який в залежності від виду продукту становить 91,2...103,3 мВ·с·мг⁻¹. Найбільше теплоти витрачається при зневодненні столового буряку, а найменше – картоплі, що може бути пов'язано з різним співвідношенням вільної та зв'язаної води у зразках.

Висновок. За результатами дослідження визначено вологість, термічну стійкість, середню швидкість зневоднення та оцінено витрати теплоти на зневоднення овочевих культур.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ, КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА ОСУШЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ З УТИЛІЗАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ПОВІТРЯ

Місюра Тимофій Олексійович (доповідач), Безродний М.К.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, тел. (097) 371-50-72, e-mail: Sconosciuto.T@gmail.com

Мета: дослідження ефективності роботи припливно-витяжної установки з контуром теплового насоса (ТН) та рекуператором для вентиляції, кондиціювання та осушення приміщення цеха з внутрішніми тепло- та вологовиділеннями.

Результати роботи: було розроблено принципову схему (рис. 1) та проведено її термодинамічний аналіз, результати якого можна використати при проектуванні подібних систем різної продуктивності.

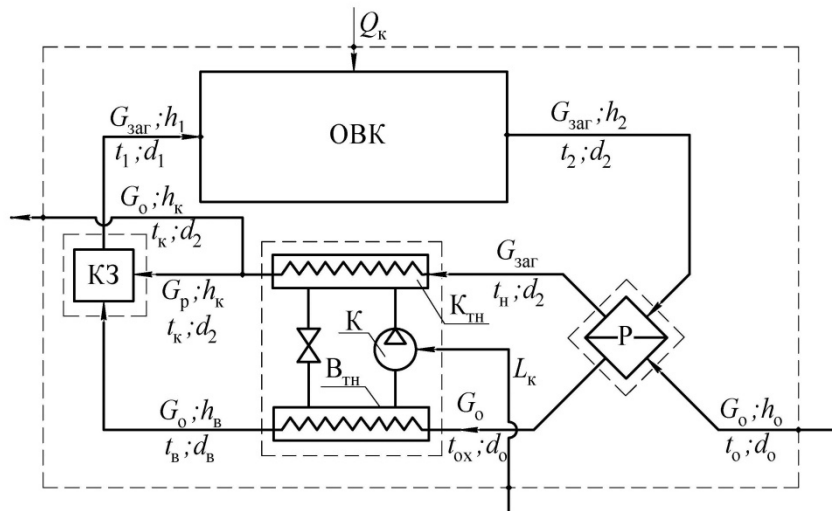


Рисунок 1. Принципова теплонасосна схема вентиляції, кондиціювання та осушення повітря в приміщенні з рекуперацією вентиляційного повітря: К_{ТН} – конденсатор ТН; В_{ТН} – випарник ТН; К – компресор; КЗ – камера змішування; Р – рекуператор; ОВК – об’єкт вентиляції та кондиціювання повітря.

Установка має контур ТН в якості єдиного джерела зовнішньої енергії, а також рекуператор і камеру змішування для ефективної утилізації енергії вентиляційного повітря. Визначено умови роботи установки для підтримання технологічного режиму всередині приміщення в теплий період року в залежності від характеру процесів, що там відбуваються, характеристик приміщення, температури та вологості зовнішнього повітря. Показано ефективність застосування рекуператора. Побудовано залежності питомих затрат енергії при різних значеннях вологовиділення всередині приміщення.

Висновок

- Дана схема є найбільш ефективною для використання у країнах з помірним континентальним кліматом, якому притаманні низькі відносні вологості повітря (40 %) та невисокі розрахункові значення температур

(34 °C).

5. Проектування установок вентиляції та кондиціювання повітря з ТН має здійснюватися за умови змінного надходження свіжого повітря, оскільки в іншому випадку система не забезпечить заданого технологічного режиму всередині приміщення за зміни параметрів навколишнього середовища.
6. Застосування ТН для осушення приміщень, де наявні виділення вологи, є енергоефективним та екологічним заходом, який дозволяє економити первинні енергоресурси.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТИТОКУ В ПЛІВКОВИХ КОНТАКТНИХ АПАРАТАХ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ГІДРОДИНАМІКИ

Кузьменко Ігор Миколайович (доповідач)

*Національний технічний університет України «КПІ», тел. (068) 375-79-43,
e-mail: ozirno@ukr.net*

Мета підвищити ефективність тепло і масообміну в плівкових контактних апаратах наприклад: контактних економайзерах, градирнях з регулярними насадками. Для цього вивчено режими руху приплівкового граничного шару за протитокового руху теплоносіїв - плівка рідини/потік повітря і встановлено напрямок руху в приплівковому граничному шарі.

Результати роботи В роботі розглянуто три гідродинамічних моделі протитокового руху потоку повітря (повітря подається знизу) та плівки рідини (подається зверху), проведено їх аналіз. Моделі ґрунтуються на рівняннях нерозривності та руху, записаних для стаціонарних умов. Граничні умови на межі поділу фаз описують умовою спряження – рівність сил в'язкості. Одновимірною моделлю тестувалася експериментально. Середні швидкості, отримані із одновимірної моделі підтверджені власними експериментальними даними з відхиленням близько 23%.

Двовимірні моделі описують рух потоків у кільцевому каналі та у щілинному каналі за умови ламінарного та турбулентного руху потоків повітря та плівки рідини.

В результаті моделювання отримано поле швидкостей, зокрема і в приплівковому граничному шарі за протитокового руху теплоносіїв- плівка рідини/потік повітря. Кожна з названих вище моделей однозначно показує існування співнаправлених потоків у приплівковому граничному шарі. Тобто, за протитокового руху теплоносіїв у плівкових контактних апаратах існує кілька різних напрямків руху у межах приплівковому граничному шарі на межі поділу теплоносіїв. І одним з них є прямоточний рух. Зокрема, прямоточний рух повітря у приплівковому граничному шарі, що співнаправлений з плівкою води. Моделюванням встановлено, що зміна швидкості потоків та геометрії апарату змінює кількісні параметри в приплівковому граничному шарі, але якісно картина не змінюється.

Висновок Встановлення співнаправлених потоків у приплівковому граничному шарі у в плівкових контактних апаратах, дозволяє підібрати

гідродинамічний режим для підвищення ефективності теплообміну.

Встановлення співнаправлених потоків у приплівковому граничному шарі в плівкових контактних апаратах пояснює карту режимів [1] у мультифазних потоках як існування ламінарності\турбулентності.

Література

1. E.B. Christopher Fundamentals of Multiphase Flows, Cambridge University Press, ISBN 0521 848040, 2005, 410 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕГАЗАЦІЇ РІДИНИ ПІД ВПЛИВОМ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ СПОСОБУ ДИСКРЕТНО- ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ

**Целень Богдан Ярославович, Іваницький Г.К., Радченко Н.Л.,
Гоженко Л.П.**

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, e-mail: itt_fds@ukr.net

Метою дослідження є апробація розробленого на базі наукового напрямку дискретно-імпульсного введення енергії в гетерогенні системи (ДІВЕ) кавітаційного способу дегазації рідини і порівняння ефективності застосування як кавітаційного реактора роторно-пульсаційного апарата (РПА) і сопла Вентурі з заданими геометричними параметрами.

Результати роботи. Для дослідження перебігу процесу створено математичну модель, що описує процес десорбції газу з води способом ДІВЕ. Потік води з відомою початковою концентрацією діоксиду вуглецю з завантажувальної камери за допомогою відцентрового насоса, під тиском вище атмосферного, подається через сопло Вентурі у вакуумну камеру. В горловині сопла тиск рідини різко знижується до величини нижчої за тиск насиченої пари води, що призводить до утворення та інтенсивного зростання великої сукупності парогазових бульбашок в яких початковий вміст діоксиду вуглецю практично відсутній. Завдяки великій площі поверхні контакту фаз і високому потенціалу масопереносу розчинений в рідині діоксид вуглецю шляхом молекулярної дифузії інтенсивно мігрує в ці вакуумні бульбашки. В дифузорі сопла, внаслідок коагуляції бульбашок при їх розширенні, відбувається інверсія фаз з утворенням газорідного потоку краплинної структури. У вакуумній камері під тиском приблизно рівним тиску насиченої пари води відбувається розділення фаз внаслідок чого діоксид вуглецю разом з парою води та іншими газами вакуум-насосом вилучається з ємності, а рідина відцентровим насосом повертається в завантажувальну камеру для проходження наступної стадії дегазації або відводиться з апарата при досягненні заданої кінцевої концентрації діоксиду вуглецю.

Аналіз результатів досліджень, виконаних з використанням методу математичного моделювання, показав, що швидкість вилучення діоксиду вуглецю і супутні енергетичні витрати суттєво залежать від геометрії сопла Вентурі і величини тиску рідини на вході в сопло. Встановлено, що для

ефективної дегазації рідини даним способом потрібно створювати в ній максимальні розтягуючі зусилля (негативний тиск) за короткий проміжок часу (до 150 мкс). Розраховано зміну радіуса бульбашок в процесі швидкого скидання зовнішнього тиску і характер підвищення газовмісту рідини в процесі її кавітаційного кипіння.

Висновок. Результати даного дослідження можуть бути використані при виборі і обґрунтуванні раціональної конструкції кавітаційного дегазатора і оптимальних режимів його роботи.

ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТА ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАГУВАННЯ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

**Гоженко Л.П., Іваницький Г.К., Целень Б.Я., Радченко Н.,
Недбайло А.Є.**

Інститут технічної теплофізики НАН України, м.Київ, e-mail: ittf_tds@ukr.net

Процес екстрагування біологічно активних речовин (БАР) з рослинної сировини є широко поширеною технологічною операцією в хімічній, фармацевтичній, харчовій галузях промисловості та в АПК. Пошуки нових шляхів інтенсифікації процесу екстрагування і створення відповідного інноваційного обладнання із забезпеченням мінімізації непродуктивних енерговитрат є важливою і актуальною задачею.

Для підвищення енергоефективності процесу екстрагування в ІТТФ НАНУ на основі модифікації пульсаційного апарата з активною мембраною створено новий тип кавітаційного реактора пульсаційного типу з посиленням кавітаційним впливом на оброблюване середовище з можливістю керування потужністю кавітаційної дії. Модифікація полягає у включенні в схему апарата, в якості кавітаційного елемента, сопла Вентурі із змінною геометрією, що дозволяє ефективно використовувати цей апарат при проведенні операцій перемішування, диспергування, гомогенізації екстрагування тощо з мінімальними непродуктивними витратами енергії.

Дана робота виконувалась з метою порівняльного аналізу кінетики екстрагування БАР з різних видів рослинної сировини, проведеного на кавітаційному екстракторі, додатково оснащеному соплом Вентурі, і на традиційних пульсаційних екстракторах ударного типу тієї ж конструкції.

Результати досліджень підтверджують суттєвий кавітаційний вплив на процес екстракції. За рахунок періодичної зміни швидкості в трубі за величиною і напрямком відбувається різка зміна тиску, що приводить до потужної динамічної дії на сировину, зокрема, до її подрібнення.. В сукупності всі проявлені динамічні ефекти прискорюють конвективне перенесення цільових речовин через пори, капіляри, клітини рослинної сировини, що сприяє максимальному вилученню цільової речовини з рослинної сировини, скорочуючи при цьому тривалість процесу екстракції.

Висновки. Встановлено, що використання новітньої модифікації ка-

вітаційного реактора пульсаційного типу для інтенсифікації процесів екстрагування є перспективним з точки зору підвищення енергетичної ефективності і забезпечення високої продуктивності. Застосування в кавітаційному екстракторі сопла Вентурі забезпечує максимальний вихід цільових компонентів за більш короткий час у порівнянні з існуючими типами екстракторів. Питомі енерговитрати у порівнянні з пульсаційним екстрактором ударного типу знижуються від 2 до 8 разів залежно від виду та структури рослинної сировини.

ДІЄТИЧНІ БЕЗГЛЮТЕНОВІ СУМІШІ НА ОСНОВІ ЕКСТРУДОВАНОГО ГОЛОЗЕРНОГО ВІВСА

Радченко Н.Л., Іваницький Г.К., Целень Б.Я., Ганзенко В.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, e-mail: ittf_tds@ukr.net

Щорічне зростання популярності дієтичного харчування, зокрема, на продукти, які не містять у своєму складі білок глютен, привело до їх системного дефіциту на вітчизняному ринку дієтичних продуктів. Ситуація склалась через залежність від імпортерів та обмежений асортимент продукції вітчизняних виробників. У зв'язку з цим, головне завдання полягає у збільшенні обсягів власного виробництва за рахунок пошуку нових видів сировини та нових енергоефективних методів її обробки, що й стало метою даної роботи.

В ході досліджень проаналізована різноманітна рослинна сировина, яка не має у своєму складі білок глютен. Для експериментального порівняння було обрано зерно: зеленої гречки, коричневого рису, кукурудзи, голозерного вівса, нуту, амаранту, льону. Для обробки зернових вибрано екструзійний метод обробки оскільки він дозволяє сумістити в одному апараті процеси подрібнення, перемішування та термічної обробки, що скорочує енерговитрати та дозволяє віднести його до енергоефективного обладнання. Крім цього, в каналі екструдера та на виході з нього створюються умови при яких змінюється мікроструктура, фізико-хімічний склад сировини та видаляється надлишкова волога, що є безумовною перевагою для виробництва сухих сумішей. В ході експериментів режими екструзії обрано на основі рекомендованих [1].

Результати показали, що всі зразки за виключенням льону і амаранту піддаються обробці в екструдері та можуть в подальшому використовуватись в складі сухих безглютенових сумішей. Експериментально встановлено, що екструдовані зразки в ході обробки зазнали значні структурні перетворення, які полягали у руйнуванні структури зерна до клітинного рівня, желатинізації крохмалю, виділенні жиру та утворенні пористої структури на виході з екструдера, яка мала вигляд спученого стренгу. Однак, в подальшому при виробництві сухих сумішей необхідне додаткове подрібнення екструдату до консистенції борошна (40...80мкм). Встановлено, що з усіх досліджених зразків найбільш перспективним є голозерний овес.

Література

1. В. М. Ковбаса, А. М. Дорохович, Б. І. Хіврич. (1995). Застосування екструзії у виробництві нових харчових продуктів.
URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11714/1/Extrusion.pdf>

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ДИСПЕГАТОРІ З СОПЛОМ ВЕНТУРІ

Іваницький Г.К., Гоженко Л.П. Целень Б.Я., Радченко Н.Л.

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, e-mail: ittf_tds@ukr.net

В ІТТФ НАНУ на протязі років розробляються ефективні пульсаційні апарати з активною мембраною різної модифікації, які використовуються у різних галузях виробництва в якості гомогенізаторів, емульгаторів та екстракторів [1]. Апарати цього типу відрізняються високою зносостійкістю що дозволяє обробляти грубодисперсні рідинні суміші з твердими частинками, незалежно від їх форми, розміру та абразивних властивостей. Останнім часом модифікація цих апаратів спрямована на ініціювання в них кавітаційних явищ для підвищення ступеня диспергування, прискорення внутрішніх процесів всередині дисперсій при обробці органічних, біологічних матеріалів та клітинних структур мікроорганізмів [2]. В рамках цього напрямку за участю авторів створено кавітаційний пульсаційний апарат на основі сопла Вентурі, яке в сучасних кавітаційних технологіях широко використовується в якості ефективного кавітаційного реактора.

Представлена робота виконувалася з **метою** наукового обґрунтування раціональної конструкції кавітаційного пульсаційного апарата з активною діафрагмою та оптимальних режимів його роботи для найбільш ефективного застосування кавітаційних ефектів при обробці гетерогенних рідинних сумішей. Для досягнення цієї мети проведено теоретичний аналіз гідродинамічних процесів, що відбуваються в рідинному тракту апарата із змінним поперечним перерізом – в трубі, оснащеної соплом Вентурі.

В результаті проведеного дослідження вперше розглянуто одномірний нестационарний рух рідини через сопло Вентурі з періодичною змінною напругою течії з умовою переходу від ламінарного до турбулентного режиму.

Апробацію моделі проведено шляхом експериментального дослідження на даному кавітаційному пульсаторі екстракції БАР з рослинної сировини різного виду та при різних робочих режимах.

Висновки. Створено математичну модель яка описує нестационарну течію рідини через сопло Вентурі. За результатами проведених аналітичних досліджень удосконалено конструкцію кавітаційного пульсаційного реактора, визначено раціональні геометричні розміри та підібрані оптимальні режими для максимального ініціювання кавітаційних явищ.

Література

1. Иваницкий. Г.К., Корчинский А.А., Матюшкин М.В. Математическое моделирование процессов в пульсационном диспергаторе ударного типа // Пром. теплотехника.–

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В ДЕЯКИХ ПРОЦЕСАХ З РУХОМИМ ПОВІТРЯМ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЦИХ ПРОЦЕСІВ

Кшевецький О.С.^{1,2}

1 – Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна;

2 – Інститут термоелектрики НАН і МОН України, вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна

Ця робота є продовженням дослідження частинного випадку процесів, в яких має місце тепловий контакт (ТК) рухомої речовини (РР) з теплопоглинальною і тепловиділяючою теплообмінними частинами (ТЧ) принаймні двох теплових насосів [1]. Безпосереднім *об'єктом дослідження* цієї роботи є відповідні процеси за участю РР (повітря) та двох термоелектричних теплових насосів (ТТН) згідно з рис. 1 (далі по тексті – *досліджувані процеси*). **Метою роботи** є експериментальна оцінка впливу застосування різних ТТН в досліджуваних процесах на енергоефективність цих процесів.

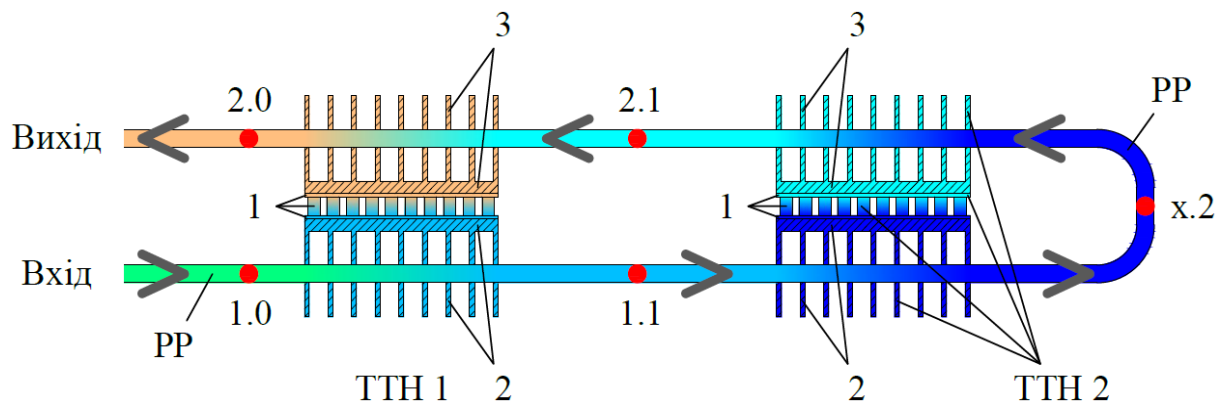


Рис. 1. Спрощена схема досліджуваних процесів: напрям руху РР – вказаний стрілками; різні температури РР та ТТН відображені різними кольорами; 1 – модулі Пельтьє ТТН; 2 – теплопоглинальні ТЧ ТТН; 3 – тепловиділяючі ТЧ ТТН; 1.0, 1.1, x.2, 2.1, 2.0 – послідовні положення РР у процесі її руху (наприклад, 2.1 – після ТК РР з тепловиділяючою ТЧ ТТН 2 та перед ТК РР з тепловиділяючою ТЧ ТТН 1).

Результати. Для вказаних досліджуваних процесів здійснена експериментальна оцінка впливу різних ТТН (на основі різних модулів Пельтьє) на енергоефективність цих процесів.

Висновки.

1. Завдяки підбору за параметрами модулів Пельтьє ТТН можна підвищити енергоефективність досліджуваних процесів.
2. На енергоефективність досліджуваних процесів впливає термо-

електрична добротність модулів Пельтьє, а також інші їх параметри.

Література

1. Kshevetsky O.S., Orletskyi O.V. (2019). Estimation of the efficiency of partial case of heat and mass transfer processes between heat pumps and moving substance, part 3. *J. Thermoelectricity*, №4, 40–53.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ПОРОШКОВОЇ ФОРМИ ГРИБА ШИЇТАКЕ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ЛІКУВАЛЬНОГО ПОЛІСАХАРИДНОГО КОМПЛЕКСУ

Декуша Ганна Валеріївна (доповідач), Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, тел.: 453 28 44,
e-mail: tbds_ittf@ukr.net*

В умовах погіршення екологічної і техногенної обстановки у світі різко зріс попит на продукти, що здатні стимулювати та активізувати захисні сили організму людини на боротьбу з вірусними інфекціями, інтоксикаціями різної етіології, онкологічними та ін. важкими хворобами. До таких продуктів з унікальними протипухлинними та імуностимулюючими властивостями належить традиційний японський базидіальний гриб шиїтаке, лікувальний полісахаридний комплекс якого міститься у надміцних хітин-глюканових структурах клітин і лише 3% перебуває у біодоступній формі.

З метою підвищення доступності біологічно активного комплексу полісахаридів онкостатичної та імуностимулюючої дії та одержання його у порошковій формі були досліджені спеціальні методи обробки складних хітин-глюканових структурних систем гриба шиїтаке.

Проведений в ІТТФ НАН України комплекс експериментальних досліджень показав, що при гідродинамічній обробці суспензії з гриба шиїтаке з введеною декстринвмісною структуруючою добавкою у роторно-пульсаційному апараті циліндричного типу, де реалізуються принципи дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), на стадії підготовки її до розпилювального сушіння покращуються умови для вилучення лікувальних полісахаридів з надміцних структур клітинних оболонок гриба і переходу їх у розчинний стан. Використання виключно шапинок гриба шиїтаке сприяє більшій ефективності цього процесу та забезпечує однорідність дисперсного складу крапель у факелі розпилу, рівномірність їх висушування і збільшення виходу порошку з камери сушарки до 92%.

За результатами досліджень кінетики сушіння крапель грибної суспензії у потоці нагрітого теплоносія у системі «крапля-парогазове середовище» та апробації її сушіння на експериментальній розпилювальній установці РЦ-1,3 встановлено раціональні теплотехнологічні параметри одержання високоякісного сипкого порошку гриба шиїтаке з терміном зберігання до 1 року. За хімічним аналізом в отриманому порошку гриба шиїтаке вміст біодоступного полісахаридного комплексу онкостатичної та імуностимулюючої дії збільшився у 6 разів у порівнянні з плодовим тілом

гриба.

Висновки. Проведений комплекс експериментальних досліджень дозволив розробити ресурсозбрігаючу технологію одержання порошкової дієтичної добавки з гриба шийтаке з підвищеним вмістом біодоступного полісахаридного комплексу онкостатичної та імуностимулюючої дії.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПАКТНИХ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ В СХЕМАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Ганжа Микола Григорович¹ (доповідач), Кузнецов М.О.¹, Ганжа А.М.²

1 – Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

2 – Національний технічний університет «ХПІ», тел. (+380 50 712 95 81),
e-mail: childeric1975@gmail.com

Зменшення розмірів і металоємності теплообмінних апаратів є однією із актуальних задач при створенні потужних енергетичних установок (регенераторів, повітрянагрівачів і т.п.). Особливо це актуально для енергетичних установок де є обмеження на втрати тиску в трактах робочого тіла і теплоносіїв, що може значно впливати на ККД установок в цілому.

Мета цієї роботи полягає в розробці методики розрахунку енергоефективних компактних теплообмінників, що виконані на базі теплообмінних елементів різної геометрії поперечного перерізу з розвиненою поверхнею теплообміну.

Основою методики є пошук умов, при яких визначений в результаті розрахунку розподіл сумарної енергії, яка витрачається на переміщення теплоносіїв по двом різним трактам теплообмінника, забезпечує мінімізацію його масогабаритних показників (об'єму чи поверхні теплообміну) з забезпеченням високої енергоефективності установки.

В результаті отримано функціональні залежності і визначено, що при одному і тому ж режимі руху теплоносіїв теплоенергетична ефективність теплообмінника Φ є функцією від співвідношення швидкостей по зовнішньому та внутрішньому його тракту $\phi = w_{\text{зов}} / w_{\text{вн}}$. З врахуванням цього була отримана цільова функція $\Phi = f(\phi)$, та визначені умови, при яких вона досягає максимуму. Залежності для визначення оптимальних значень ϕ для газоподібних теплоносіїв дозволяють виконувати порівняльний аналіз варіантів теплообмінників при різних умовах. Наприклад, при заданих сумарних витратах енергії на переміщення теплоносіїв за рахунок оптимального перерозподілу її в трактах можливо провести наступне порівняння: при однакових теплообмінних елементах із умов мінімальних поверхні теплообміну F_{min} і об'єму V_{min} ; при різних профілях поперечного перерізу теплообмінних елементів за умови F_{min} або V_{min} і за цих двох умов.

Висновки: розроблена методика дозволяє визначати умови, при яких теплообмінний апарат буде мати мінімальний об'єм або поверхню теплообміну, що важливо в процесі вибору і проектування регенеративних схем ГТУ, а також комбінованих енергетичних установок.

РОЗВИТОК ГАЛУЗІ ВИРОБНИЦТВА СУХИХ ПРОДУКТІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ РОЗРОБОК ІТТФ НАН УКРАЇНИ

Малецкая К.Д., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, тел.: 453 28 44,
e-mail: tbds_ittf@ukr.net*

В Україні з її багатим сировинним потенціалом фруктів, овочів, ягід, зернових культур і проблемами комплексного використання продукції сільськогосподарського виробництва одержання порошкової форми продуктів лікувально-профілактичної або оздоровчої дії методом розпилювального сушіння є доцільним, раціональним, актуальним і перспективним завданням для розвитку вітчизняної галузі продуктів функціонального призначення.

Мета – аналіз результатів досліджень процесів внутрішнього тепловологопереносу для підвищення інтенсивності зневоднення, отримання необхідних структурно-механічних характеристик готового продукту і збереження цінних компонентів сировини.

Складні процеси при розпилювальному сушінні, такі як рух парогазового потоку і дисперсної частинки, випарювання і сушіння, виділення твердої фази і структуроутворення, які відбуваються практично одночасно не дозволяють виявити конкретні універсальні теплотехнологічні залежності. При цьому, актуальним є раціональна організація процесу розпилювального сушіння, що включає найбільш повне використання теплоти нагрітого теплоносія, удосконалення обладнання для зменшення втрат сухого порошкового продукту і зниження загальних енерговитрат. Багаторічний досвід досліджень Інституту технічної теплофізики НАН України дозволив виявити фактори, які впливають на інтенсивність міжфазного тепловологообміну для одержання заданих кінцевих якісних характеристик готових порошкових систем: сипучості, злежування, злипання, гігроскопічності, органолептичних показників та ін. Науково обгрунтований вибір раціональних теплотехнологічних параметрів нагрітого теплоносія (повітря), оптимальна організація його взаємодії з диспергованим до мікрокрапельного стану потоком складних рідких гетерогенних систем надають значні можливості для управління кінетикою сушіння і прогнозування властивостей готового порошкового продукту. Надзвичайно важливим фактором впливу на фізико-хімічні властивості вихідного продукту є використання біо- і нанотехнологічних прийомів його обробки. Такий комплексний підхід дозволив перейти на мікро- та наномасштабний рівень обробки сировини.

Висновки. В Інституті технічної теплофізики НАН України накопичений великий обсяг досліджень застосування розпилювального способу сушіння складних дисперсних систем із значною площею розвиненої міжфазної поверхні для підвищення енергетичної ефективності нових сушильних технологій, обладнання і промислового виробництва лікувальних, лікувально-профілактичних продуктів і продуктів оздоровчої дії.

МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ СУШІННЯ КАПУСТИ БІЛОКАЧАННОЇ

Вишнівський В.М.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-38,
e-mail: vit.vishnevsky@i.ua*

Мета: інтенсифікація сушіння капусти білокачанної методом інфрачервоного випромінювання та комбінованим інфрачервоно-конвективним методом.

Результати роботи: Спосіб виробництва сушеної капусти включає миття, очищення, бланшування, нарізання стружкою, сушіння капусти при температурі 65...70°C протягом 12...24 год, охолодження. Всі запропоновані методи сушіння мають рекомендаційний характер і не показують процес кінетики сушіння. Експериментальні дослідження кінетики сушіння капусти білокачанної проводили на конвективному сушильному стенді із автоматичною програмою збору та обробки інформації.

Нарізана капуста на стружку накладається в сітчасту корзину і встановлюється на ваги в сушильній камері. Камера має прозоре скло, через яке можна спостерігати за станом матеріалу в процесі сушіння. В камері встановлений блок інфрачервоних ламп потужністю 1 кВт з можливістю регулювання потужності на регуляторі. Підвищення температури теплоносія від 50 до 80°C зменшує тривалість сушіння в 3,23 рази та знижує якість матеріалу і набуває коричнюватого відтінку, що візуально можна оцінити за кольором білокачанної капусти.

Сушіння білокачанної капусти при інфрачервоному випромінюванні істотно впливає на якість матеріалу, матеріал підгорає, тому доцільно використовувати комбінований метод інфрачервоного випромінювання та конвективного сушіння. Для інтенсифікації процесу застосовуємо комбіновану дію конвективного та інфрачервоного випромінювання при температурі теплоносія 60°C, та тепловому потоці 2600-3000 Вт/м² що прискорює процес на 80 хв при збереженні якості матеріалу.

Висновок: Комбінований інфрачервоно-конвективний метод інтенсифікує процес і покращує якість білокачанної капусти в порівнянні з чистим інфрачервоним випромінюванням.

ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ АНАЛІЗ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВІКОН З ЕЛЕКТРОПІДГРІВОМ

**Смольченко Дмитро Андрійович (доповідач), Дейнеко А.І.,
Хуторний В.М.**

*Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (096) 103-05-88,
e-mail: dima-smolchenko@rambler.ru*

Скло з електрообігрівом практично не відрізняється візуально від звичайного віконного склопакета, незважаючи на наявність всередині спеціального струмопровідного шару. Завдяки включенню в конструкцію

регулятора температури, таке скло може бути встановлено в будинках, виконуючи функцію основної, а також додаткової системи опалення.

Метою роботи є теплофізичний аналіз опалювальної здатності вікон з електропідігрівом як єдиної системи опалення типового житлового приміщення. Результати дослідження опалювальної здатності дозволять проектувати як нові будівлі з системою опалювання лише такими склопакетами, так і заміну старих вікон і склопакетів на опалювальні.

Результати роботи. Була отримана залежність тепловиділення від температури навколишнього середовища так, щоб температура в приміщенні складала 20 °С. Саме така залежність відповідає на питання чи достатньо певної віконної конструкції з електропідігрівом для опалення певного приміщення при максимальному тепловиділенні на такому склі не більше для різних відносин площі вікна N до площі не прозорої зовнішньої огорожувальної конструкції M .

Також була отримана залежність температури на поверхні скла від температури оточуючого середовища для різних відносин площі вікна N до площі не прозорої зовнішньої огорожувальної конструкції M . Результати показують, що для всіх відношень площі i при всіх тепловиділеннях максимальне значення 60 °С не перевищується, що також підтверджує достатню опалювальну здатність вікон з підігрівом.

Висновок. При дослідженні шляхом моделювання опалювальної здатності вікон з електропідігрівом була розроблена модель, яка дозволила розраховувати опалювальну здатність таких вікон для будь яких приміщень. Робота показала, що опалювальної здатності вікна з підігрівом достатньо для підтримання комфортних умов 20°С при зовнішніх температурах до -25°С для всіх відношень площі вікна N до площі зовнішньої огорожувальної конструкції M при тепловиділеннях, що не перевищують максимальне значення 450 Вт/м² та температури на склі 60°С. Такий позитивний висновок одержано для сучасних приміщень з термічним опором зовнішньої огорожувальної конструкції на рівні 2-3,3 (м²·К)/Вт і може бути негативним для будівель з меншими термічними опорами зовнішньої огорожувальної конструкції.

ТЕРМОГІДРАВЛІЧНИЙ АНАЛІЗ І ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРМОВАКУУМНОЇ КАМЕРИ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ОРБІТАЛЬНИХ СУПУТНИКІВ

**Смольченко Дмитро Андрійович (доповідач), Дядюшко Є.В.,
Дейнеко А.І.**

*Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (096) 103-05-88,
e-mail: dima-smolchenko@rambler.ru*

Термовакуумні камери для випробувань орбітальних супутників в теплових умовах, наближених до умов космосу мають певне використання. Конструкції ТВК проектуються і перевіряються на відповідність технічному завданню за допомогою розрахунків, виконаних шляхом розроб-

лених моделей теплового та гідравлічного стану ТВК. В роботі розглядаються ряд концептів конструкції кріоекранів і термовакуумної камери для випробувань орбітальних супутників в теплових умовах, наближених до умов космосу при максимальному тепловому навантаженні до 3 кВт.

Метою роботи є термогідравлічний аналіз та проектування оптимізаційних параметрів термовакуумної камери для тестування орбітальних супутників.

Результати роботи. Розрахунки дозволили визначити необхідну кількість каналів охолодження. В роботі представлено концептуальні вибори трьох конструктивів кріоекранів термовакуумної камери для випробувань орбітальних супутників в теплових умовах, наближених до умов космосу при максимальному тепловому навантаженні до 3-х кВт. Концепти КЕ принципово відрізнялись між собою конструктивом каналів охолодження з плавниками і марками алюмінієвих сплавів. Вибрані конструктиви перевірялись на відповідність технічному завданню за допомогою теплових розрахунків КЕ і ТВК, виконаних шляхом розроблених тривимірних моделей радіаційних екранів між КЕ і корпусом ТВК, неізотермічності КЕ і вплив на неї якості зварних швів, температуру зовнішньої поверхні ТВК при заданих параметрах мікроклімату в приміщенні, а також місця розташування сенсорів температури для контролю неізотермічності КЕ, інтенсивності випаровування азоту в каналах охолодження і керування витратами азоту.

Висновок. За результатами роботи з термовакуумної камери для тестування орбітальних супутників остаточно обраний 3-тій конструктив кріоекранів, на основі якого були проведені термогідравлічні розрахунки та проектування оптимізаційних параметрів.

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ТЕХНОЛОГІЯХ ОТРИМАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ РІДИННИХ СИСТЕМ

Долінський А.А., Грабова Т.Л., Посунько Дмитро Вікторович (доповідач), Базєєв Р.Е.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, Київ, тел.: (044) 424-98-86,
e-mail: htplab@ukr.net*

З **метою** розробки нових та оптимізації традиційних технологічних процесів і обладнання для отримання широкого спектру функціональних продуктів на основі нанодисперсних систем створено дослідно-промислова експериментальна установка для дослідження багатфакторного впливу на такі рідинні системи. Об'єктами дослідження є запропоновані роторно-пульсаційні апарати дисково-циліндричного типу (РПА). Предметом досліджень є процеси і гідродинамічні, гідроакустичні та вібраційні ефекти, що виникають при обробці модельних середовищ в апаратах.

За **результатами** експериментальних досліджень встановлено залежності впливу зміни кутової швидкості обертання роторів апарату на гідродинамічні параметри потоку у точках моніторингу (швидкості, тиску),

теплових ефектів (швидкість нагріву рідини), амплітудно-частотних характеристик акустичних ефектів і вібраційних ефектів у нанорідині та базовій рідині.

Встановлено, що невелика концентрація наночастинок у базовій рідині (до 2 М%) не впливає на характер акустичних коливань і їх кількісні показники, але істотно впливає на виникнення дисипативних ефектів за рахунок в'язкого тертя і турбулізації потоку у апаратах типу ДЦД и АР-3000.

Запропоновано оптимальні режимні параметри з точки зору ефективності процесів змочування і змішування високодисперсної фази у базовій рідині з кутовою швидкістю роторів апарата типу ЛДЦД-850 у вертикальному виконанні в діапазоні 470...575 рад/с, при яких виникають ефекти псевдозрідження або псевдокипіння.

Висновки. Проведене фахівцями ІТТФ НАНУ фізичне моделювання процесів в запропонованих оригінальних конструкціях РПА дозволяє здійснити трансфер технології при розробці нових функціональних продуктів. Запропоновано режимні і конструктивні рішення для реалізації технологій отримання нанодисперсних систем для модифікування поверхонь матриць-носіїв для каталітичних фільтрів, мастильно-охолоджуючих технологічних засобів, лікувально-профілактичних засобів пролонгованої дії.

KINETICS OF THE PROCESS OF EVAPORATION OF MULTI-COMPONENT SOLUTIONS OF AMMONIUM SULPHATE ON THE SURFACE

Hotskyi Y.H., Stepaniuk A.R

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

The creation of granules based on ammonium sulfate with the addition of impurities of components in the form of multilayer granular composite materials is the most energy efficient due to the layered granulation mechanism. This mechanism consists in the multi-cyclic process of irrigation of the solution on the heated particle, the retention the thin liquid film by adhesive-sorption forces on the surface of the solid particle and the subsequent evaporation and crystallization of the solid microcrystalline layer. As a result, there is a gradual increase of the diameter of the granules with each new cycle [1].

Intensification of heat and mass transfer processes during evaporation and crystallization of a multicomponent solution will increase the efficiency of the process of obtaining granules with specified properties, such as porosity, strength and distribution of impurities. One of the options to increase the energy efficiency of the process is to increase the dry matter content in the solution, including due to organic and inorganic impurities. The main purpose of this work is to determine the effect of changes in the composition of the solution and the main technological parameters on the morphological structure of the obtained crystalline microlayer.

The process of evaporation of droplets placed on the surface occurs in three periods: periods of heating, equilibrium evaporation and decreasing drying rate. In the first period of the evaporation process there is a process of heating the droplet to equilibrium temperature, the duration of this period generally takes no more than 2-5%. In the second period, there is an intensive evaporation of the solvent resulting in a concentration close to the saturation concentration. Increasing the concentration of insoluble impurities from 40 to 50% (wt.) the duration of the period of equilibrium evaporation is reduced.

Conclusions. Increasing the energy efficiency of the granulation process during dehydration is possible with an increase in the dry matter content in the working solution over 40% (wt.). The kinetics of the process of evaporation of the droplet on the surface consists of three periods, increasing the content of insoluble impurities has a significant effect on evaporation.

References:

1. Kornienko Ya., Hayday S., Liubeka A., Martynyuk A. Kinetic laws of the process of obtaining complex humicorganic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator. Ukrainian Food Journal. 2016. Vol. 5 (1), pp.144–154.

THE RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF PILOT INDUSTRIAL SAMPLES OF EQUIPMENT FOR COMBINED DRYING AND GRINDING PROCESSES IN ONE CHAMBER

Liashenko Andrii (speaker)

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 03057, Kyiv, st. M. Kapnist – 2a. A.Lyashenko@ukr.net

Purpose of exploration. Justification of the choice of the method of combined drying and grinding processes in a cell with a mechanical rotor during processing of high-heat-sensitive materials.

Results. Literature review and analysis showed the prospect of application systems that operate with simultaneous drying and grinding in one working chamber. They are large areas of heat and mass transfer is increased as compared for example with a drum set specific productivity, reduced capital costs and energy consumption for the evaporation of moisture.

The results of experimental studies with changes in moisture content and temperature of the coolant along the length of the working chamber installation at various modes of drying heat-labile materials (chicken manure).

The author experiment brought the possibility of reaching the next thermal variables: initial coolant temperature within 600 – 800 °C; heat transfer coefficient in the range 900 – 1200 W/(m² • deg); the average amount of heat for vaporization of moisture within the 3500 – 4000 kJ/kg of evaporated water; medium voltage chamber of the evaporated moisture 350 – 400 kg/(m³ • hour).

The result of the processing and synthesis of the results was the development of a technique of engineering calculation of the installation, select equipment for forming production line of complex fertilizers based on chicken manure.

Conclusions. 1. Author experimentally proved that the grinding elements on the small size, which is organized in the same cell allows artificially maintain the temperature of the surface of the material close to the wet bulb temperature, thus reducing finding material in the second period to a minimum.

2. These tentative thermodynamic indicators point to the prospect of the use of cameras simultaneously drying and grinding in the processing of heat-sensitive materials.

3. The results of the author's work can be used in the design of energy efficient drying equipment for the production lines for processing organic heat-sensitive materials.

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст 2а, Київ 03057,
e-mail: tbds_itf@ukr.net*

Створення нових екологічно-чистих, високопродуктивних і неенергоємних технологій залишається актуальною метою науково-практичних досліджень упродовж кількох останніх десятиліть для всіх галузей промисловості. Успішний розвиток будь-якого промислового виробництва пов'язаний з постійною інтенсифікацією технологічних процесів. Найчастіше для проведення інтенсифікації використовують вирішення комплексних науково-технічних проблем, спрямованих на вилучення або модифікацію морально застарілих енергоємних технологічних процесів і обладнання, а також збільшення його продуктивності.

Мета – дослідження і аналіз ефективності використання кавітаційних технологій у промисловості.

Практично всі процеси, пов'язані з обробкою рідких гетерогенних дисперсних систем є енерговитратними. До таких відносяться: перемішування, диспергування, емульгування, гомогенізація, екстрагування та ін. Інтенсифікація цих процесів вимагає створення умов для вимушеного відносного руху фаз, забезпечення диспергування однієї з фаз, збільшення площі поверхні контакту, сприянню рівномірному розподілу дисперсної фази в середовищі і зниженні опору кожної з фаз. При цьому основним критерієм ефективності і практичної доцільності застосування методу інтенсифікації є підвищення питомої продуктивності апарату або технологічної лінії при зниженні енерговитрат. Одним з можливих рішень завдання інтенсифікації хіміко-технологічних процесів є створення високоефективних технологічних апаратів з оптимальними питомими енерговитратами і високим ступенем впливу на оброблюване середовище. До таких апаратів відносяться проточні гідродинамічні (статичні) кавітатори. Їх широке застосування обумовлене високою інтенсивністю впливу, можливістю обробки великих об'ємів рідких багатокомпонентних систем в потоці, економічною і енергетичною ефективністю. Дія таких апаратів побудована на практичному використанні первинних і вторинних кавітаційних ефектів,

пов'язаних з пульсаціями і зхлопуванням кавітаційних бульбашок. В результаті кавітаційного впливу суттєво змінюються на молекулярному рівні фізичні і хімічні властивості рідин, що дозволяє отримувати більш якісні екстракти, емульсії, суспензії, піни, тощо.

Висновки. Використання кавітаційних технологій при обробці рідких багатокомпонентних систем дозволяє досягати підвищення ефективності обробки рідких середовищ, зменшення енерговитрат і посилення екологічної безпечності процесів в різних галузях промисловості.

ВПЛИВ ВИДУ СИРОВИНИ ПІД ЧАС ОДЕРЖАННЯ ПРОДУКТІВ СНЕКОВОЇ ГРУПИ

Гусарова Олена Віталіївна (доповідач), Шапар Р. О.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел: +(380-44) 424 47 31,
e-mail: o.v.husarova@nas.gov.ua*

Мета. Зростаючою популярністю серед населення користуються натуральні продукти здорового харчування снекової групи, зокрема фруктово-овочеві чипси. На процес сушіння, який є основним у технологічному циклі отримання снеків, впливають хімічний склад рослинної сировини, її теплофізичні та структурно-механічні характеристики. Тому для обґрунтування раціональних параметрів зневоднення необхідний ретельний аналіз кінетики процесу.

Робота присвячена вивченню тепломасообмінних процесів під час конвективного зневоднення залежно від виду рослинної сировини з метою інтенсифікації процесу при одержанні продуктів снекової групи. Як об'єкти дослідження використано плоди айви, хурми та яблук.

Результати. Наявність в плодах айви, хурми та яблук цукрів, органічних кислот і підвищений вміст пектинових речовин, яким властива здатність зв'язувати та утримувати вологу ускладнює процес сушіння, лімітує температуру матеріалу і тривалість термічного зневоднення.

Нами встановлено, що перед сушінням необхідно здійснювати паротермічну обробку плодів в діапазоні температур 75...95°C з витримкою протягом 12...120 с залежно від виду сировини. Інтенсифікація тепломасообміну досягається за рахунок збільшення клітинної проникності. Окрім цього, паротермічна обробка сприяє гідролізу протопектину в розчинну форму, стабілізує колір та інактивує ферментну систему, усуває терпкість плодів айви та хурми.

Експериментально визначено, що сушіння обраних об'єктів дослідження доцільно проводити у режимі двостадійного зневоднення, на першій стадії при температурі теплоносія 65...95 °C, на другій – 50...60 °C. Зазначений температурний діапазон запобігає виникненню таких негативних явищ і незворотних процесів як карамелізація цукрів та утворення меланоїдинових сполук, що здатні призвести до погіршення якості сушеного продукту.

Порівняльний аналіз кривих кінетики сушіння плодів у межах дослі-

джених параметрів показує скорочення тривалості процесу в режимах двостадійного зневоднення від 10 до 25% порівняно з одностадійним незалежно від виду сировини.

Висновки. На підставі узагальнення закономірностей сушіння плодів, встановлено оптимальні параметри паротермічної обробки та енергоефективні двостадійні режими під час одержання снєків, які скорочують тривалість, знижують енерговитрати на зневоднення та забезпечують збереження корисних речовин вихідної сировини.

ПАРАМЕТРИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РОЗПЛАВУ В ПРОЦЕСІ ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРІВ

Новодворський В.В., Швед М.П., Швед Д.М.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", e-mail: qwertyqwerty641@ukr.net, npchved46@gmail.com

Метою роботи є встановлення параметрів для контролю якості розплаву в процесі екструзії полімерів.

Енергоефективність процесу екструзії – це здатність екструдера до переробки полімеру з заданою температурною та механічною однорідністю при мінімальних витратах енергії для заданої продуктивності. Оскільки однорідність розплаву полімеру залежить від якості його змішування, то необхідно визначитись, як оцінювати якість змішування [1].

Для більш чіткого розуміння забезпечення якості змішування пропонується ввести взаємопов'язані, в даному випадку, поняття ефективності та інтенсивності змішування. Ефективність змішування відповідає за рівень температурної однорідності розплаву полімеру. Інтенсивність змішування (І) – це кількість енергії, що витрачається на перемішування одиниці маси розплаву при відповідній ефективності, кВт/(кг/год).

Пропонується використати багатоточкові гребінчасті термопари, де в одному модулі об'єднуються 8-16 термопар, які, практично, одночасно вимірюють весь спектр температурного поля в перерізі потоку розплаву. Середня температура визначається як відношення суми показів всіх термопар до їх кількості, а далі порівнюється середня температура із показами кожної термопари. Найбільша різниця температур є показником ефективності перемішування, яка в випадку якісного змішування не повинна перевищувати певного, експериментально визначеного, значення. При переробці багатотоннажних полімерів (поліолефіни, полістирол, полівінілхлорид) в труби, плівки, листи така різниця має бути не більшою двох градусів [2].

Таким чином, визначення по температурній неоднорідності ефективності процесу екструзії в залежності від інтенсивності дає змогу оцінювати якість розплаву, а, відповідно, і придатність обладнання, яке для цього використовується.

Перелік посилань:

1. А. Тор-Святек, В.В. Красінський, Л. Дулебова, (2014), Аналіз ефективності процесу екструзії пористого поліетилену, 434-440

2. Krzysztof Wilczynski, (1988), A Method for estimation of polymer melt temperature fluctuation in a single screw extrusion process, Polymer engineering and science, vol. 28, No. 7, 429-433

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУШІННЯ ОКРЕМИХ КРАПЕЛЬ БІОСУСПЕНЗІЙ В УМОВАХ РОЗПИЛЮВАЛЬНОЇ КАМЕРИ

Переяславцева О.О., Іваницький Г.К., Сильнягіна Н.Б.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, тел.: (044) 424-96-40,
e-mail: alena_p11@ukr.net*

Мета роботи. Розробити удосконалену математичну модель, що адекватно описує процеси тепломасообміну та структурні перетворення в окремій краплині біосуспензії під час її переміщення в камері розпилювальної сушарки в умовах безперервної зміни термо-вологісного стану теплоносія.

Результати. Експериментальне дослідження закономірностей тепломасопереносу і структурних перетворень всередині одиничної краплі (частки) продукту при її зневодненні в сушильній камері є складним завданням. Це пов'язано з малими розмірами частинок, коротким часом їх перебування в камері, а також наявністю великої кількості сусідніх крапель. Крім того, в процесі переміщення краплі в камері, безперервно змінюються параметри, що визначають інтенсивність зневоднення: температура і вологість теплоносія навколо краплі, відносна швидкість і напрямок її руху. Сукупність цих факторів важко відтворити на лабораторних стендах.

Необхідну інформацію про температуру, вологовміст та інтенсивність зневоднення краплі на різних етапах її перебування в сушильній камері можна отримати за допомогою методів математичного моделювання.

Біосуспензія є високовологою, термолабільною, багатокомпонентною системою, в якій точний склад і кількісний вміст кожного з компонентів важко визначити. Це суттєво ускладнює створення надійної моделі. У цих випадках необхідний обсяг інформації можуть забезпечити експериментальні дані з кінетики зневоднення крапель на лабораторному стенді, які дозволяють встановити загальні закономірності тепломасопереносу для даного продукту.

Розроблена математична модель базується на загальних положеннях моделі сушіння крапель з поглибленням зони випаровування і складається з 6 диференціальних рівнянь: зміни радіусу краплі, її температури, руху в камері та рівнянь, що описують тепло- та масообмін між краплею (частиною) та оточуючим газовим середовищем з урахуванням експериментальних даних по кінетиці сушіння.

Висновки. Розроблена модель дозволяє в залежності від режиму сушіння отримати інформацію про зміну температури та вологовмісту крапель на всіх стадіях процесу зневоднення, а також аналізувати траєкторію руху крапель різних розмірів в камері. Сукупність цих даних дає можли-

вість оцінити ступень можливих відкладень продукту на стінках камери та науково обґрунтовано підходити до вибору температурного режиму сушіння біосуспензій.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НАГРІВАННЯ ТА ПЛАВЛЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ

Переяславцева О.О., Іваницький Г.К., Степанова О.Є.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, Київ, тел.: (044) 424-98-86,
e-mail: super-olesya2807@ukr.net*

Процеси нагрівання і плавлення органічних речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності, насамперед вуглеводнів (вазелін, парафін, церезин, віск, нафтопродукти, тверді жири тощо) широко розповсюджені в фармацевтичній, нафтопереробній, харчовій та інших галузях промисловості. Кожен з таких продуктів є складною сумішшю твердих, рідких та напіврідких вуглеводнів із різною молекулярною масою і тому не має визначеної температури переходу з одного агрегатного стану в інший.

Аналіз публікацій, присвячених нагріванню та плавленню речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності засвідчує потребу в розробці сучасних методів та новітнього обладнання для більш ефективної реалізації цих технологічних процесів із зменшенням енергетичних витрат.

Метою даного дослідження є розвиток теорії та методів моделювання процесів нагрівання та плавлення цих речовин на основі результатів експериментальних досліджень на лабораторному стенді як першого етапу розробки математичної моделі перебігу цих процесів. Для теоретичного аналізу результатів експерименту створено математичну модель, яка описує особливості гідродинаміки, тепло- та масообміну в процесі нагрівання та плавлення.

З математичної точки зору задача плавлення шляхом теплопровідності з примусовим видаленням розплаву є більш складною ніж звичайна задача плавлення оскільки необхідно шукати спільне вирішення рівняння кількості руху та рівняння енергій. Задача ще більш ускладнюється неозначеністю агрегатного та реологічного стану речовини в процесі плавлення в залежності від температур та необхідністю врахування її неньютонівських властивостей.

Розроблене моделювання течії розплаву в кільцевому зазорі, що описує ламінарну течію під дією перепаду тиску і швидкістю руху стінки ємності відносно нагрівача дало можливість розрахувати середню швидкість розплаву через зазор. В результаті моделювання течії розплаву під нагрівачем, що безпосередньо пов'язане з моделюванням течії розплаву через кільцевий зазор, бо розплав переходить із дискового в кільцевий зазор як одна нерозривна течія, було визначено тиск на вході в кільцевий зазор між стінкою і нагрівачем.

Математична модель процесів нагрівання та плавлення з примусовим видаленням розплаву дає можливість провести розрахунки для різно-

манітних вуглеводневих сумішей, оптимізувати та розрахувати параметри процесів для розробки установки.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО ПЕРЕХРЕСНОТІЧНОГО ТЕПЛООБМІННИКА «ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ»

Дабіжа Наталія Олександрівна (доповідач), **Малашук Н.С.,**
Чалаєв Д.М., Базєєв Р.Є.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, тел. (044) 424-57-03,
e-mail: dabizha.nataliia@gmail.com*

Мета. Визначення теплових характеристик і аеродинамічного опору полімерного перехреснотічного теплообмінника «повітря-повітря» та виявлення його експлуатаційних особливостей при застосуванні як рекуператора теплоти відпрацьованого теплоносія в технологіях конвективного сушіння.

Результати роботи. В теперішній час в промисловому сушінні найчастіше використовуються сушильні установки тунельного, конвеєрного і стрічкового типів, завдяки простоті конструкцій та експлуатації, доступній вартості обладнання. Однак, конвективні сушарки відрізняються низькою енергетичною ефективністю, яка обумовлена великими втратами теплоти, що складають в середньому більш ніж 30% від загальних витрат на процес зневоднення. При цьому найбільші втрати тепла пов'язані з відпрацьованим сушильним агентом. Одним із шляхів підвищення ефективності роботи сушильних установок, що спрямований на зменшення зазначених вище витрат теплоти, є повернення в процес сушіння частини теплоти відпрацьованого теплоносія за допомогою різного типу рекупераційних установок. Найпростішим теплоутилізатором (рекуператором) є повітро-повітряний пластинчастий теплообмінник, в якому атмосферне повітря, що подається в сушарку, перед нагріванням в теплогенераторі попередньо підігрівається вологим відпрацьованим повітрям, що йде з сушарки.

Розроблена технологія виготовлення полімерного перехреснотічного пластинчастого теплообмінника «повітря-повітря» з листового стільникового полікарбонату, виготовлений та випробуваний експериментальний зразок теплообмінника. У процесі проведення випробувань моделювалися умови його роботи в складі конвективної сушарки і фіксувалися витрата, вологовміст, температури повітря, аеродинамічний опір теплообмінного блоку при різних витратах повітря, електроспоживання вентилятора. В результаті узагальнення дослідних даних визначені величини коефіцієнта теплопередачі, отримані дані щодо залежності ефективності теплообмінника від швидкості потоків повітря, що видаляється і притікає.

Висновок. Проведені дослідження експериментального зразка полімерного перехреснотічного теплообмінника «повітря-повітря» показали, що оснащення конвективних сушарок теплоутилізатором такого типу дозволяє при порівняно невеликих капітальних вкладеннях знизити витрату теплоти на нагрівання теплоносія на 30-40%.

ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕВОДНЕННЯ ЛІКАРСЬКИХ ТА ПРЯНО-АРОМАТИЧНИХ РОСЛИН

Малашук Наталія Савівна (доповідач), Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, тел. (044) 424-57-03,
e-mail: malashchuk-n@ukr.net*

Мета. Дослідження процесів зневоднення лікарських та пряно-ароматичних рослин з метою визначення енергоефективних режимів сушіння, які забезпечують максимальне збереження біологічно активних речовин і ефірних олій.

Результати роботи. З давніх часів пряно-ароматичні рослини використовувались для багатьох цілей як лікувальні засоби, приправи, ароматизатори, барвники тощо. Динаміка розвитку світового ринку продуктів рослинного походження демонструє підвищений попит на лікарську та пряно-ароматичну сировину, що є складовим компонентом продукції фармацевтичного, парфюмерно-косметичного, харчового виробництв тощо.

Важливим етапом в процесі заготівлі лікарської та пряно-ароматичної сировини є сушіння. Свіжозібрана сировина містить 85-90% вологи, для забезпечення тривалого зберігання необхідно висушити її до 8-15%. Для визначення гранично допустимої температури сушіння пряно-ароматичної сировини, яка містить ефірні олії, проаналізовані експериментальні дані щодо впливу температури на вміст ароматичних речовин. Так, при підвищенні температури сушіння різко знижується вміст ефірної олії, також змінюється їхній склад. Наприклад, дослідження впливу сушіння на вміст ефірної олії в листях меліси показали, що втрати ефірної олії пропорційні температурі сушіння (16%, 23% та 65% при 30, 45 та 60°C відповідно), а виражені зміни основних компонентів ефірної олії відбуваються при 60 °C. Тому температура сушіння пряно-ароматичної сировини не повинна перевищувати 30–45 °C.

Досліджений вплив температури, швидкості та вологовмісту сушильного агента на кінетику зневоднення трави м'яти та базиліку. Виявлена суттєва залежність тривалості процесу сушіння від тепловологісних параметрів атмосферного повітря. Для створення контрольованих тепловологісних умов сушіння запропоновано зневоднювати пряно-ароматичні рослини в сушарках з замкненим циркуляційним контуром з застосуванням теплогенеруючого осушуючого теплонасосного агрегату.

Висновок. Розроблені енергоефективні режими сушіння лікарських та пряно-ароматичних рослин з перемінним ступенем осушення сушильного агента, при яких температура матеріалу не перевищує гранично допустиму для даного виду сировини, а втрати аромату не перевищують 20-25 % від вихідної сировини. Застосування теплового насоса дозволяє знизити питомі витрати енергії на сушіння в 1,5-2 рази.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ БЫТОВОГО АБСОРБЦИОННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ПРИБОРА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И ГАЗОВОМ ИСТОЧНИКЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Титлов А.С., Адамбаев Д.Б.

*Одесская национальная академия пищевых технологий, e-mail: titlov1959@gmail.com,
adambayev90@gmail.com*

Одной из проблем систем холодильной техники является ее перевод на экологически безопасные хладагенты. Это привлекает внимание разработчиков бытовой холодильной техники к абсорбционным холодильным приборам (АХП), в состав которых входит абсорбционный холодильный агрегат (АХА). Рабочее тело АХА состоит из природных компонентов – водоаммиачного раствора с добавкой инертного газа (водорода). Поэтому применение АХП может рассматриваться как один из вариантов перевода на экологически безопасные хладагенты. В последние годы в связи с бурно развивающейся газификацией населения Европы возникла альтернатива – работа бытового АХП на природном газе. Природный газ может стать альтернативой электрической энергии в стационарных условиях эксплуатации бытовых холодильных приборов.

Целью исследования было сравнение тепловых режимов работы и затрат на эксплуатацию бытового АХП на электрической энергии и природном газе. Для решения чего необходимо было определить температуры в характерных точках холодильного аппарата и в камере, а также величины энергопотребления аппаратов абсорбционного типа согласно нормативным документам, при различных величинах тепловой нагрузки на термосифоне и различных температурах окружающей среды.

Исследования проводились при повышенных температурах наружного воздуха: 28–33 °С. Диапазон тепловых нагрузок на электронагревателе термосифона АХА составил 50–130 Вт. Диапазон численных значений расхода природного газа в горелочном устройстве составил $(2,8–8,8) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. В процессе проведения экспериментальных исследований бытового АХП были получены результаты, показывающие экономическую перспективность работы в стационарных условиях на природном газе.

Наибольшие перспективы при этом имеют АХП повышенного полезного объема (200 дм³ и выше). Суточные эксплуатационные затраты в них составляют 0,078...0,084 \$ USA, что ниже случая использования электричества на 23...27 %. При встраивании в систему отопления и горячего водоснабжения термосифона АХА появляется возможность использовать температурный потенциал отходящих продуктов сгорания и полностью исключить эксплуатационные затраты.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ГРАНУЛ

Петрова Жанна Олександрівна (доповідач)

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-39,
e-mail: bergelzhanna@ukr.net

Мета роботи. Дослідження впливу температури на кінетику сушіння композиційних гранул на основі застарілих мулових відкладень та торфу.

Результати роботи. Створені композиції на основі застарілих мулових відкладень, торфу гранулювали на шнековому механічному пристрої. Дослідження кінетики сушіння сформованих гранул проводили на конвективному сушильному стенді з автоматичним збором інформації.

На рис. 1 представлені температурні криві та кінетика сушіння мулоторф'яних гранул на конвективному сушильному стенді при температурах 80°C та 120°C у пропорції 50% мулу/50% торфу.

Тривалість сушіння мулоторф'яних гранул з підвищенням температури теплоносія від 80 до 120°C зменшується на 29,5% (рис. 1). Нагрівання гранул при температурі теплоносія 80°C проходить рівномірно і при вологості гранул 10% складає 72°C, при температурі 120°C нагрівання гранул йде інтенсивніше і при відповідній вологості складає 115°C.

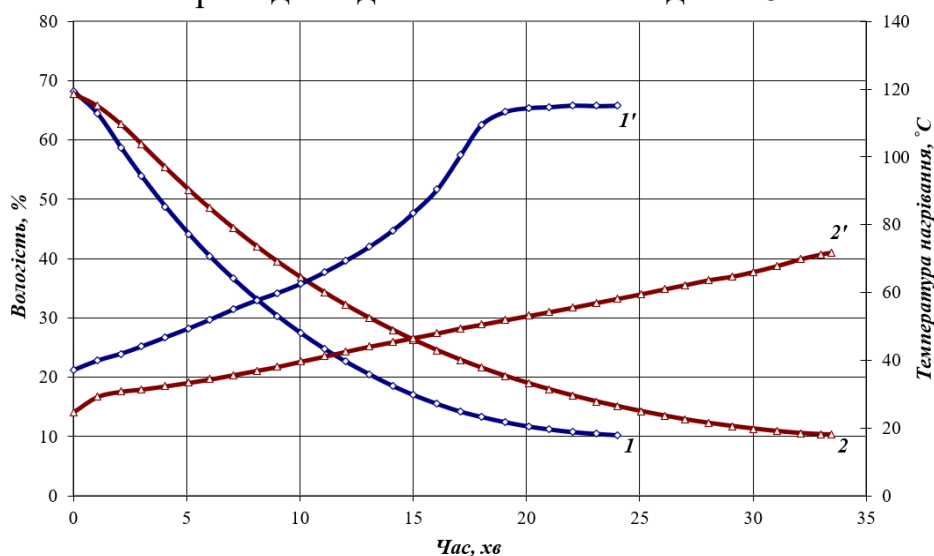


Рис. 1. Зміна вологовмісту мулоторф'яних гранул (1, 2) та температури в середині шару (1', 2') у пропорції 50% мулу/50% торфу при $V = 2$ м/с, $d = 6$ мм: 1, 1' – 120 °C; 2, 2' – 80°C

Висновок. Дослідження впливу температури на кінетику сушіння композиційних гранул на основі мулових відкладень та торфу показали, що при температурі 120 °C процес іде швидше, приблизно у 1,4 рази, та гранули нагріваються інтенсивніше ніж при температурі 80 °C. Тому доцільно проводити процес при 120 °C.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА ТЕПЛОНАСОСНА СУШАРКА ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНОЇ СИРОВИНИ

Малащук Наталія Савівна (доповідач), Снежкін Ю.Ф., Дабіжа Н.О.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, тел. (044) 424-57-03,
e-mail: malashchuk-n@ukr.net*

Мета. Процес конвективного сушіння лікарських та пряно-ароматичних рослин до низького залишкового вологовмісту.

Результати роботи. Традиційні конвективні сушильні установки вирізняються низькою енергетичною ефективністю, що пов'язана з великими (до 30 %) втратами теплоти. Основна частина (до 70 %) теплоти втрачається з відпрацьованим сушильним агентом, що йде з сушарки. При цьому в оточуюче середовище викидається значна кількість водяної пари, що відноситься до парникових газів.

В той же час традиційні конвективні сушарки за своїми конструктивними особливостям є найбільш пристосованими для інтеграції в сушильний цикл теплового насоса. А відпрацьований сушильний агент є тим видом вторинних енергетичних ресурсів, що слугує низькотемпературним джерелом енергії для теплового насоса.

Інтеграція теплового насоса в цикл конвективної сушарки дозволяє за рахунок примусового осушення повітря незалежно від умов навколишнього середовища підтримувати необхідні тепловологісні параметри сушильного агента та створювати керовані умови технологічного процесу зневоднення, що гарантує високу якість готового продукту. Під час роботи сушарки за замкненим циклом з повним поверненням відпрацьованого сушильного агента не відбувається викиду водяної пари або інших розчинників в атмосферу, відсутнє забруднення оточуючого середовища частинками матеріалу, а також «забруднення» теплотою низького потенціалу.

Застосування теплових насосів в процесах конвективного сушіння дозволяє значно знизити питоме споживання первинної енергії на вилучення вологи з матеріалу. При використанні теплонасосного обладнання для сушіння різноманітних матеріалів волога або розчинник, що вилучається з матеріалу, конденсується на холодній поверхні випарника теплового насоса і вилучається в скрапленому вигляді. Таким чином теплота конденсації утилізується і повертається в процес сушіння на більш високому температурному рівні, що суттєво впливає на енергоспоживання сушарки.

Висновок. Оснащення конвективної сушильної установки тепловим насосом дозволяє: створити контрольовані тепловологісні умови сушіння; за рахунок утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія знизити в 1,5-2,5 рази величину питомих енерговитрат на видалення вологи з матеріалу; забезпечити екологічну чистоту технологічного процесу і обладнання та виключити викиди парникових газів у навколишнє середовище.

ВПЛИВ СПОСОБУ ТА РЕЖИМУ СУШІННЯ ЦУКРОВМІСНОЇ СИРОВИНИ НА КРИСТАЛІЧНІСТЬ ПРОДУКТУ

Михайлик Вячеслав Аврамович (доповідач), Корінчевська Т.В.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-12-26,

e-mail: mhlk45@gmail.com

Мета. Дослідити вплив режимів конвективного та сублімаційного сушіння на ступінь кристалічності отримуваних цукровмісних продуктів.

Результати роботи. Висушені до низької вологості цукровмісні плоди являють концентрований природний комплекс речовин в якому цукри можуть знаходитись як кристалічному так і аморфному стані. Співвідношення між кристалічними і аморфними фазами в продукті відіграє важливу роль в технологіях подальшої переробки та зберігання. Аморфний стан є менш стійким, ніж кристалічний. Цукри в аморфному стані мають більш високу адсорбційну здатність та зумовлюють при певній температурі та вологості до склування. З огляду на негативну роль аморфних цукрів сушіння бажано здійснювати в умовах отримання продукту з більшим ступенем кристалічності.

Методами ТГ і ДТА визначена кристалічність продуктів, отриманих конвективним та сублімаційним сушінням. Ступінь кристалічності тканин цукрових буряків і яблук, отриманих конвективним способом при температурі сушильного агента 60, 80 та 100 °С, виявилася залежною від температури. Підвищення температури сушіння знижує кристалічність продукту. У тканин цукрових буряків ступінь кристалічності змінилася з 34,0 (60 °С) до 20,3% (100 °С), відповідно у яблук - з 11,1 до 7,7%.

Попередня обробка сировини перед сушінням впливає на кристалічність продукту. Так ступінь кристалічності паренхімних тканин яблук, оброблених перед сублімаційним сушінням при 40 °С та тиску 102 Па імпульсним електричним полем (PEF) з напруженістю 1,07 кВ / см, склала 35,5%, не оброблених тканин – 11,0%. Завдяки обробці PEF клітинна мембрана стає проникною, сік рівномірно розподіляється в рослинній тканині, що забезпечує вільне переміщення фронту кристалізації.

Висновок. Сухі цукровмісні продукти необхідно розглядати як аморфно-кристалічні матеріали. Утворення кристалічних фаз цукрів в концентрованому соку залежить від температури сушіння, яка впливає на швидкість зневоднення. Зі збільшенням швидкості сушіння ступінь кристалічності висушеного продукту зменшується. Частка кристалічних фаз може досягати 35 ... 40% сухих речовин, тому тепловий ефект кристалізації слід враховувати в тепловому балансі процесу сушіння, а сам процес утворення кристалічних фаз вважати одним із важливих етапів тепломасообміну при сушінні цукровмісної сировини.

Секція 4. Моніторинг і автоматизація в теплоенергетиці

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ

Бабак Віталій Павлович, Єременко Володимир Станіславович

*Інститут технічної теплофізики НАН України, НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
тел. 067-209-07-69, e-mail: vdoe@ukr.net, e-mail: nau_307@ukr.net*

Мета. На теперішній час не існує єдиної відпрацьованої універсальної системи засобів та методів, які б дозволили вирішувати комплекс завдань діагностики та моніторингу стану обладнання з високою достовірністю. Недостатньо розроблені теоретичні та методологічні основи проектування і практичного використання комп'ютеризованих систем моніторингу та діагностики. Таким чином виникає проблема, яка полягає у розвитку теоретичних засад побудови, розробці та практичному застосуванні комп'ютеризованих систем діагностування та моніторингу обладнання, які забезпечують підвищення вірогідності діагностування та розширення номенклатури дефектів, що виявляються.

Результати роботи. В доповіді розглядається узагальнена структура методології побудови систем моніторингу і діагностики. Методологія базується на трьох основних напрямках – це розвиток теоретичного забезпечення, розвиток інформаційного забезпечення, розвиток апаратно-програмного забезпечення. Теоретичне забезпечення складається з фізичного механізму формування інформаційного поля, математичної моделі цього поля, фізичних основ методів діагностування, що застосовуються, характеристик інформаційних сигналів, методів опрацювання реалізацій інформаційних сигналів. Інформаційне забезпечення включає алгоритмічне забезпечення, методи побудови та оптимізації вектора діагностичних ознак, методи статистичного опрацювання діагностичних ознак, синтез еталонних сигналів, методи побудови правил прийняття рішень. Апаратно-програмне забезпечення це – методи проектування первинних перетворювачів фізичних величин, синтез вимірювальних каналів діагностичних систем, методи розробки спеціалізованого програмного забезпечення, методи побудови комп'ютеризованих систем діагностики. Кожний з цих напрямків передбачає вирішення конкретних задач діагностування, що визначаються характеристиками досліджуваних об'єктів, застосованими фізичними методами діагностування, характеристиками, типам і розподілами дефектів, що виявляються. Ці задачі обумовлюють структуру апаратних засобів, що використовуються в системі та її програмно-алгоритмічного забезпечення. Аналіз цієї узагальненої методології побудови моніторингових та діагностичних систем дозволив сформулювати основні перспективні напрямки, які визначають розвиток таких систем.

У кожному конкретному випадку загальне формулювання задач моніторингу та діагностування чіткого фізичного змісту і відображає наступне: предметну область процесу досліджень, його специфіку і характерні особливості; мету, об'єкт, предмет і завдання досліджень; фізичні та мате-

матичні моделі досліджуваних об'єктів та інформаційних полів; методи, способи, дії та операції вирішення поставлених завдань діагностування; апіорне і апостеріорне інформаційне забезпечення вирішення завдань; бази даних результатів опрацювання даних випробувань, експлуатації апаратних і програмних засобів систем; оцінки результатів досліджень, прийняття рішення про досягнення мети дослідження і формування вихідної інформації.

Запропоновано структуру інформаційних процесів моніторингу та діагностування, яка дозволила конкретизувати основні напрямки досліджень, методи опрацювання інформації та технічні рішення, що можуть бути використані при побудові комп'ютеризованих систем діагностики. Інформаційні процеси діагностування охоплюють формування інформаційно-сигнального поля, виділення та опрацювання інформаційних сигналів та побудову векторів ознак, яка ґрунтується на визначенні їх діагностичної цінності і значною мірою обумовлює структуру алгоритмів прийняття рішень.

ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ У ВИМІРЮВАЛЬНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ

Куц Юрій Васильович^{1,2} (доповідач), Щербак Л.М.¹, Лисенко Ю.Ю.²

1 – Інститут технічної теплофізики НАН України,

2 – Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
тел.: (044) 453-28-64, e-mail: y.kuts@ukr.net

Мета роботи полягає в аналізі особливостей застосування перетворення Гільберта (ПГ) сигналів вимірювальних перетворювачів в системах контролю та діагностики теплотехнічного обладнання.

Результати роботи. Перетворення Гільберта (ПГ) знакозмінних числових функцій $u(x) \in L_2$ добре відомо в математиці як інтегральне перетворення з ядром $1/\pi x$. Воно дає змогу однозначно визначати характеристики таких функцій: амплітудну $A(x)$, фазову $\Phi(x)$ та частотну $F(x)$. В якості аргументу x найчастіше виступає час t . Застосування математичного апарату ПГ до результатів фізичних експериментів потребує врахування того факту, що вихідні сигнали сенсорів мають розмірність. Такі сигнали можна представити добутком числової функції $u(t)$ на одиницю вимірювання $[U]$. Найчастіше на виході сенсорів існують електричні сигнали напруги чи струму.

В доповіді розглянуто застосування ПГ в аналізі фізичних сигналів, які формуються сенсорами вимірювальних систем різного призначення. Оскільки ПГ має властивість лінійності, формування гільберт-образу сигналів $\hat{u}(t) \cdot [U]$ відбувається без спотворення міри, за допомогою якої вимірюються значення $u(t)$. Нижче в таблиці 1 наведено узагальнені відомості

мості щодо вимірюваних характеристик сигналів, які отримують через ПГ, їх розмірності та необхідності використання мір відповідних величин.

Табл.1

Функція	Розмірність	Наявність фізичної міри
$u(t) [U], \hat{u}(t) [U], A(t) [U]$	$[U]$ (вольти чи ампери)	міра величини U
$\Phi(t)$	радіан	-
$F(t)$	Герц	міра часу t

Висновки: 1) формування гільберт-образу сигналів та визначення їх амплітудної характеристики відбувається без спотворення міри, яка використовується для вимірювання вихідного сигналу сенсора; 2) значення фазової характеристики в радіанах є величинами з розмірністю одиниця, які визначаються через відношення двох величин одного роду – $\hat{u}(t) \cdot [U]$ та $u(t) \cdot [U]$ без будь-якого використання окремої міри вимірювання фазового зсуву; 3) оцінювання значень частотної характеристики з функції $\Phi(t)$ в Герцах вимагає використання додаткової міри часу.

ПРО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТЕПЛОВОГО ФРОНТУ В ПЛАСТІ

Фуртат Ірина Едуардівна¹, Фуртат Юрій Олегович² (доповідач)

1 – НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», e-mail: i.e.furtrat@gmail.com;

2 – ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАНУ, e-mail: saodhar@gmail.com

Динаміка об'єктів з розподіленими параметрами описується диференціальними рівняннями в частинних похідних параболічного типу, які із крайовими умовами є математичними моделями багатьох нестационарних нелінійних процесів. Математичними моделями тепломасопереносу є системи рівнянь параболічного типу з такими ж граничними умовами.

Всі реальні процеси, як правило, є нелінійними. Вибір оптимального методу розв'язку тієї або іншого завдання теорії поля технічного засобу для його реалізації є складним питанням.

Якщо вважати, що час роботи циркуляційної системи обмежений часом досягнення температурним фронтом експлуатаційної свердловини. Проведеними дослідженнями встановлене [1], що теплоприток від гірського масиву, що оточує шар, у реальних пластових умовах не виявляє істотного впливу на час роботи циркуляційної системи в постійному температурному режимі. Тому в розрахунках теплопритоком нехтуємо. При добуванні геотермальної енергії має місце напірна фільтрація, при якій величина μ має значення порядку 10^{-6} м^{-2} . У зв'язку із цим система виходить на стаціонарний режим за час, малий в порівнянні з часом її роботи.

Якщо припустити, що температура рідини змінюється стрибкоподібно від $T_{\text{гар}}$ – температури гарячої води до $T_{\text{хол}}$ – температури холодної води, то границя Γ переходу від однієї температури до іншої являє собою температурний фронт. Коефіцієнт фільтрації (у загальному випадку може бути

кусочно-постійним, тобто залежати від координат) при переході через границю Γ змінюється від $K_{\text{гар}}$ – коефіцієнта фільтрації гарячої води до $K_{\text{хол}}$ – коефіцієнта фільтрації холодної води.

Пропонується наступний метод моделювання руху температурного фронту, заснований на нерозривності потоку рідини на границі Γ

$$-K_{\text{хол}} \frac{\partial H_{\text{хол}}}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = -K_{\text{гар}} \frac{\partial H_{\text{гар}}}{\partial n} \Big|_{\Gamma}.$$

Література

1. Лялько В.И., Митник М.М, Исследование процессов переноса тепла и вещества в земной коре. К.: «Наукова думка», 1976. 152 с.

КОНТРОЛЬ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОЛІЧИЛЬНИКІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Зайцева Олена Олександрівна (доповідач), **Чередниченко С.В.,**
Грищенко Є.М., Яцюта О.І.

Державне підприємство «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», тел. (044) 526-53-89,
e-mail: ezaytseva@ukrcsm.kiev.ua

Мета Метою цієї статті є розгляд особливості повірки єдиних теплолічильників під час експлуатації.

Результати роботи Теплолічильники належать до сфери законодавчо регульованої метрології, так як їх результати вимірювань використовуються при розрахунках між споживачами і постачальниками теплоти на опалення і гаряче водопостачання, тому вони підлягають періодичній повірці під час експлуатації та після ремонту. Широкого впровадження при обладнанні індивідуальних вузлів обліку споживання теплоти на опалення приміщень знайшли так звані єдині теплолічильники. Особливістю єдиних теплолічильників є те, що для них нормується і експериментально визначається похибка при вимірюванні кількості теплоти без розділення її на похибки складових частин. Відтворюються фізичні величини, що поступають на входи теплолічильника — витрата теплоносія та температура теплоносія. При цьому температура води в проливній установці відповідає температурі навколишнього повітря, а температури в термостатах температурам в подавальному та зворотному потоках. Однак для теплолічильників заснованих на ультразвуковому методі вимірювання витрати теплоносія з компенсацією зміни швидкості ультразвуку від температури теплоносія така методика повірки не може бути застосована через виникнення методичної помилки від заміни змінної швидкості ультразвуку постійним значенням. Для забезпечення достовірності результатів повірки було розроблено методику, за якою повірка здійснюється у два етапи. На першому етапі визначається похибка теплолічильника при вимірюванні витрати теплоносія як різниця показів теплолічильника і еталонного значення витрати, відтвореного проливною установкою. При цьому перетворювач темпера-

тури теплолічильника поміщають в термостат з температурою, що дорівнює температурі води в проливній установці. Цим самим виключається методична похибка від невідповідності температури в термостаті і в проливній установці. На другому етапі визначається похибка теплолічильника при вимірюванні температури та розрахунку кількості теплоти. При цьому за еталонні значення відтворюваних величин приймаються температури в термостатах та покази теплолічильника при вимірюванні витрати теплоносія. Загальна похибка єдиного теплолічильника визначається як сума похибок, отриманих під час першого та другого етапів перевірки.

Висновок Перевірка теплолічильників під час експлуатації сприяє отриманню достовірних результатів вимірювань кількості теплоти, що споживається в житловому фонді, і розробці на підставі цих результатів заходів, направлених на раціональне використання енергетичних ресурсів.

МАЛОГАБАРИТНИЙ ЗОНД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Воробйов Леонід Йосипович (доповідач), **Декуша Л.В.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-42,
e-mail: teplomer@ukr.net*

Мета роботи – створення нового засобу теплофізичних вимірювань - малогабаритного зонду для вимірювання теплопровідності сипких матеріалів та його випробування.

Результати роботи. Метод полягає у занурюванні зонду у вигляді сфери або короткого циліндру у сипучий матеріал, розігріванні зонду відомою постійною потужністю та вимірюванні стаціонарної різниці температур між поверхнею зонда та температурою матеріалу на достатньо великій відстані, де відсутнє температурне збурення. Коефіцієнт теплопровідності зразка λ визначають за формулою:

$$\lambda = KQ/\Delta t - A,$$

де Q - постійна потужність, що нагріває зонд, Вт; Δt - різниця температур між поверхнею зонда та температурою матеріалу на відстані, де відсутнє температурне збурення; K і A – константи приладу.

Константи K і A визначаються при градуюванні приладу по порожкам з відомим коефіцієнтом теплопровідності. Розміри зонду повинні значно перевищувати розміри частинок порошку, а розміри масиву контрольованої речовини повинні бути достатніми для імітації нескінченного простору. Для цього глибина занурення зонду, розміри посудини з речовиною та відстань між зондом та точкою, в якій вимірюється температура матеріалу, повинні бути не менш як в 10 разів більші за відповідні розміри зонду.

Дослідження проведені за допомогою зонду з діаметром 3 мм і довжиною 6 мм. Зонд має вбудований електричний нагрівач з електричним опором 1,8 кОм, живлення до якого підводиться проводами діаметром 0,1 мм з манганіну. Різниця температур вимірюється за допомогою дифере-

нційної манганін-константової термопари та крім того використовується додаткова термопара для визначення середньої температури речовини. Зонд з термопарами розміщується у посудині відповідних розмірів, що заповнена досліджуваною речовиною. Посудину встановлюють у лабораторну піч та задають потрібну температуру досліду. Задають таку електричну потужність на нагрівач, щоб температура зонду перевищувала температуру речовини в незбуреній зоні на $5 \div 6$ К. Після досягнення стаціонарного теплового режиму реєструють покази приладів, та обчислюють за наведеною вище формулою коефіцієнт теплопровідності речовини.

Висновок. Запропоновано та експериментально досліджено новий малогабаритний зонд для вимірювання теплопровідності сипких матеріалів.

ЗАХИСНІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Щепетов Віталій Володимирович

Інститут технічної теплофізики НАН України, e-mail: vvs2020a@ukr.net

Мета роботи - розроблення нанокомпозиційних матеріалів та технології нанесення захисних покриттів для пальників котлоагрегатів, моделювання процесів теплопереносу в пальникових пристроях із захисними нанокомпозиційними покриттями.

Результати роботи. Ефективність роботи пальникових пристроїв котлоагрегатів визначається передусім надійністю, тривалістю їх експлуатації та їх складових, які працюють в екстремальних умовах – за високих температур, агресивних середовищ, інтенсивного зносу тощо. Перспективними наноструктурними покриттями які можуть використовуватись в теплоенергетиці, зокрема в пальникових пристроях котлоагрегатів є жаростійкі покриття що містять скло.

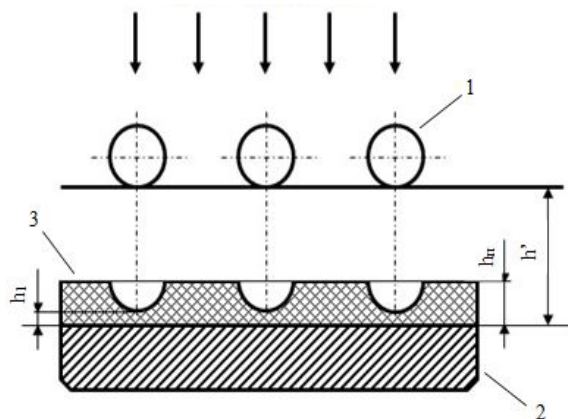


Рис.1. Шаблон-сітка: 1-сітка, 2-матеріал основи, 3-покриття.

Для формування жаростійких покриттів з вмістом скла застосовується газотермічне плазмове напилення нанесене по шаблон-сітці (рис.1.). Покриття системи $\text{Fe-Al-Ti-Si-Na}_4\text{SiO}_4$ захищає основу від окислення в діапа-

зоні температур 1100-1200°C. В діапазоні 1200...1400°C найбільш ефективно покриття системи Ni-Al-Na₄SiO₄. Багатокомпонентне композиційне покриття в заданому діапазоні температур зберігає високу стійкість до окислення і забезпечує жаростійкість та пластичність.

Висновки: Для підвищення довговічності і термомеханічних характеристик ніобієвих сплавів в окислювальному середовищі найбільш ефективним є використання методики багатофакторного експерименту з багатокритеріальною оптимізацією, яка відображає різноманітність, взаємозалежність фізико-хімічних та механічних явищ, що чинять вплив на термозахисні властивості.

СУЧАСНІ НАНОСТРУКТУРНІ ТЕПЛОЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ

Харченко Сергій Дмитрович

Інститут технічної теплофізики НАН України, e-mail: nanoavia@ukr.net

Мета роботи - аналізі композиційних матеріалів для формування наноструктурних теплозахисних покриттів.

Результати роботи. В якості тугоплавких сполук широкого застосування набули високоентропійні сплави на основі нітридів, карбідів. При цьому властивості металевих високоентропійних сплавів сильно змінюються при переході до нітридних і карбідних сплавів. Проте високих показників жаростійкості покриттів на основі тугоплавких сполук можливо досягнути, не лише завдяки високоентропійному фактору, шляхом використання традиційного підходу щодо легування та наноструктурування.

Вплив подвійних і градієнтних структур продемонстровані на прикладі моделі: наноструктури можуть мати високі показники міцності і електропровідності; розмір зерен еквівалентний міцності, їх зменшення пропорційно збільшенню міцності і пластичності; плівки з подвійною структурою мають більшу термічну стабільність у порівнянні зі звичайними наноматеріалами (рис.1).

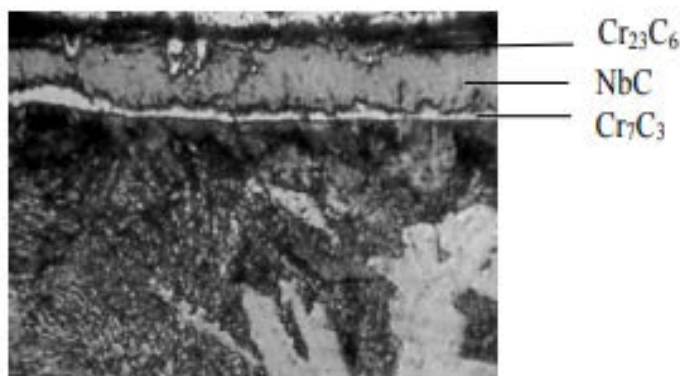


Рис. 1. Мікроструктура карбідного покриття отриманого на сталі У10А при комплексному насиченні ніобієм та хромом х 450. Температура нанесення $T = 1050^{\circ}\text{C}$, час, $\tau = 4$ год.

Запропоновані жаростійкі карбідні покриття на основі ніобію і хрому

поряд з підвищеною жаростійкістю, мають високі показники зносу та корозійної стійкості.

Висновки: Важливим методом підвищення якості жаростійких покриттів є оптимізація товщини керамічного шару і формування бар'єрного мікрошару на границі розподілу.

Формування багатошарової структури керамічного шару і створення додаткових включень в проміжних шарах дозволяє понизити коефіцієнт теплопровідності на 60%.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОГЕТЕРОГЕННИХ МАТЕРІАЛІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ЖАРОСТІЙКІСТЮ

Ковтун Світлана Іванівна (доповідач), Бабак В.П.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-64,
e-mail: kovtunsi@nas.gov.ua*

В сучасних умовах актуальною складовою загальної проблеми підвищення ефективності та надійності наявного парку енергетичного обладнання є розроблення та застосування нових матеріалів, зокрема, із підвищеною жаростійкістю. Такі матеріали повинні мати низьку теплопровідність аби забезпечити достатній теплових захист. Як відомо, теплопровідність може змінюватися в залежності від температури, а також зі станом наноструктури. Іншими словами, теплофізичні характеристики за кімнатної температури можуть суттєво відрізнятися від таких в умовах експлуатації. З цих причин важливим аспектом для розробки та оцінки ефективності цих матеріалів є вимірювання коефіцієнта теплопровідності у температурному діапазоні, наближеному до робочих умов.

Мета роботи полягає у встановленні підходів до вимірювання теплопровідності наногетерогенних матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями за умов високих температур, що використовуються для захисту елементів енергетичного обладнання.

Результати роботи. В роботі проведено аналіз особливостей застосування стаціонарних і динамічних методів вимірювання теплопровідності жаростійких матеріалів. Методи вимірювання розглядалися за такими основними аспектами: інформація про зразок, теплофізичні властивості якого мають бути визначені, включаючи геометрію та розмір зразка, а також метод підготовки матеріалу; основи і процедури методики випробування, наприклад, деякі методики обмежуються зразками з певною геометрією, інші – певним діапазоном теплофізичних властивостей, а деякі передбачають аналіз як у часовій, так і в частотній областях; оцінка потенційних джерел похибок, які можуть вплинути на кінцевий результат, наприклад, конвекційні та радіаційні тепловтрати.

В ході дослідження встановлено, що на сьогодні не існує універсального методу вимірювання теплопровідності, що дозволив би проводити дослідження наногетерогенних жаростійких матеріалів за високих темпе-

ратур. Враховуючи це для реалізації вимірювання теплопровідності таких матеріалів перспективним є комбінований підхід до експериментального визначення коефіцієнту теплопровідності та розроблення відповідного методу дослідження.

Висновки. Застосування запропонованого підходу до вимірювання коефіцієнту теплопровідності наногетерогенних матеріалів з підвищеною жаростійкістю дозволить проводити оцінку ефективності їхніх теплозахисних властивостей.

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ

Декуша Олег Леонідович (доповідач), Бурова З.А.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-42,
e-mail: teplomer@ukr.net*

Мета роботи – створення інформаційно-вимірювальної системи комплексного визначення теплофізичних характеристик матеріалів та виробів з метрологічними характеристиками, які відповідають кращим світовим аналогам, що сприятиме широкому впровадженню енергоефективних заходів в енергетичній, житлово-комунальній та будівельній галузях.

Результати роботи. В результаті аналізу схем вимірювання коефіцієнта теплопровідності твердих матеріалів у вигляді пластини, обраний теплометричний метод з використанням двох ідентичних сенсорів теплового потоку, що розташовуються зверху і знизу зразка (симетрична схема). З метою забезпечення рівномірного теплового поля застосовано термостатування крайових зон нагрівника і холодильника за допомогою охоронних периферійних нагрівників.

Обґрунтовано метод вимірювання коефіцієнту емісії енергоощадного скла та інших покриттів, що наносяться на тонкі пласкі пластини. Метод вимірювання полягає в наступному. Два однакові зразки скла або матеріалу з покриттям збирають у пакет, який має прошарок повітря відомої товщини між двома досліджуваними поверхнями. Цей пакет розміщують у вимірювальній комірці системи та визначають його тепловий опір, який залежить від кондуктивно-конвективного та радіаційного теплообміну в пакеті. На підставі отриманих результатів розрахунковим шляхом визначають коефіцієнт емісії покриття.

Обґрунтовано метод вимірювання теплофізичних характеристик матеріалів при наявності тепловиділення в зразку, як це відбувається, наприклад, в процесі гідратації бетонних сумішей, а також при дослідженні термолабільних матеріалів. У вимірювальну комірку системи вставляють спеціальну кювету з підготовленим зразком рідкого бетону та реєструють за сигналами сенсорів теплового потоку значення інтенсивності його тепловиділення під час гідратації.

Висновок. Запропоновано інформаційно-вимірювальну систему комплексного визначення теплофізичних характеристик матеріалів та ви-

робів, особливістю якої є наявність калориметричних модулів, що дозволятиме розширити номенклатуру теплофізичних характеристик, та розроблено методики виконання, що сприятиме впровадженню заходів з енерго- і ресурсозбереження в рамках реалізації національної стратегії розвитку економіки та суспільства.

Данна робота виконується в рамках виконання науково-технічного проєкту № 19 1.7.1.902

МОДЕЛИ НЕГАУССОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ С НУЛЕВЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ АСИММЕТРИИ И ЭКСЦЕССА

Красильников Александр Иванович

*Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев, Украина,
тел. (044) 453-28-57, e-mail: tangorov@ukr.net*

Цель работы. Достоверность мониторинга теплоэнергетического оборудования базируется на измерениях информативных параметров. В настоящее время для выбора аппроксимирующего распределения результатов измерений используются, как правило, коэффициенты асимметрии γ_3 и эксцесса γ_4 без учета остальных кумулянтных коэффициентов. В частности, при выполнении условия $\gamma_3 = \gamma_4 = 0$ распределение считается гауссовым, что в ряде случаев является ошибочным выводом. Целью работы является построение моделей плотностей вероятностей $p(x)$ негауссовых распределений с нулевыми коэффициентами асимметрии и эксцесса.

Результаты. Обоснованы следующие классы моделей негауссовых распределений с нулевыми коэффициентами асимметрии и эксцесса.

Класс 1. Смеси симметричных плотностей вероятностей $p_1(x)$, $p_2(x)$

$$p(x) = d_1 p_1(x) + d_2 p_2(x),$$

где d_1, d_2 – весовые коэффициенты смеси, $d_k \in (0,1)$, $k=1,2$; $d_1 + d_2 = 1$.

Класс 2. Смеси сопряженных плотностей вероятностей $p_0(x)$, $p_0(-x)$ с параметром формы s и равными весовыми коэффициентами

$$p(x) = 0,5[p_0(x) + p_0(-x)].$$

Класс 3. Смеси сдвинутых симметричных плотностей вероятностей $p_0(x)$ с равными весовыми коэффициентами

$$p(x) = 0,5[p_0(x+a) + p_0(x-a)],$$

где $a > 0$ – параметр сдвига.

Класс 4. Смеси сдвинутых симметричных функций распределения распределений $F_0(x)$ с равномерным распределением величины сдвига

$$p(x) = \frac{F_0(x+a) - F_0(x-a)}{2a},$$

где $a > 0$ – параметр сдвига.

Выводы. Для избежания ошибочных решений при выборе аппроксимирующих распределений результатов измерений и, как следствие, для получения достоверных результатов мониторинга теплоэнергетического оборудования необходимо помимо коэффициентов асимметрии и эксцесса использовать кумулянтные коэффициенты высших порядков.

ВИКОРИСТАННЯ КУМУЛЯНТІВ ДРУГОГО І ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗРІЗНЕННЯ СИМЕТРИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ФОНІ ЗАВАДИ

Берегун Віктор Сергійович¹ (доповідач), Красильніков О.І.²

1 – КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна, тел. (044) 204-90-72,
e-mail: viktorbergun@i.ua

2 – Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна,
e-mail: tangorov@ukr.net

Мета. Одними з основних задач шумової діагностики об'єктів теплоенергетики є виявлення та розрізнення шумових сигналів на фоні шумової завади, на основі чого здійснюється контроль та діагностика цих об'єктів. Перспективним напрямком шумової діагностики є кумулянтні методи, які базуються на аналізі кумулянтів і кумулянтних коефіцієнтів діагностичних сигналів.

Задачі виявлення та розрізнення розв'язуються на основі статистичної перевірки гіпотез. Однак у відомій літературі відсутні результати щодо характеристик виявлення та розрізнення сигналів в суміші з завадою за допомогою використання кумулянтних методів. Необхідно розрахувати порогові значення та об'єми вибірки, при яких забезпечуються задані значення ймовірностей помилок першого та другого роду.

Результати роботи. В дослідженнях розглядалась адитивна суміш стаціонарних шумових сигналу та завади, в якій завада мала нормальний розподіл, а для корисного сигналу використано розподіл Стюдента. При цьому задавались значення співвідношення сигнал/завада через відношення їх дисперсій.

Для виявлення сигналів на фоні завади розраховано порогові значення для використання кумулянтів другого та четвертого порядків як функції від об'єму вибірки. Отримано ймовірності правильного виявлення сигналів як функції від об'єму вибірки при заданій ймовірності помилки першого роду.

Для розрізнення виявлених сигналів на фоні завади досліджено використання кумулянта четвертого порядку та коефіцієнта ексцесу. В обох випадках отримано порогові значення та об'єми вибірки, при яких забезпечуються задані ймовірності помилок першого та другого роду.

Висновок. Показано, що для розв'язання задачі виявлення необхідно використовувати кумулянт другого порядку діагностичного сигналу, оскільки це потребує значно менших об'ємів вибірки для забезпечення заданої

імовірності правильного виявлення, ніж при використанні кумулянта четвертого порядку. Необхідний об'єм вибірки зменшується при збільшенні співвідношення сигнал/завада.

Встановлено, що для розв'язання задачі розпізнавання двох виявлених сигналів при однакових співвідношеннях сигнал/завада використання кумулянта четвертого порядку та коефіцієнта ексцесу діагностичного сигналу потребують об'ємів вибірки одного порядку.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КУМУЛЯНТНОЙ МЕТРИКИ ДЛЯ СИММЕТРИЧНЫХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Полобюк Татьяна Анатольевна

*Институт технической теплофизики НАН Украины, тел. (044) 453-28-57,
e-mail: polobyuk@gmail.com*

Цель. При применении кумулянтного метода шумовой диагностики используются оценки числовых характеристик, полученные по реализациям реальных шумовых сигналов. Для определения чувствительности кумулянтного метода диагностирования технического состояния объекта следует найти характеристики оценки кумулянтной метрики, что позволит установить ее границы для конкретного закона распределения.

Результаты работы. В работе рассмотрена кумулянтная метрика

$$\hat{d}_s = \rho(\hat{\gamma}, \gamma) = \sum_{s=3}^n |\hat{\gamma}_s - \gamma_s|, \quad (1)$$

где $\hat{\gamma} = (\hat{\gamma}_3, \hat{\gamma}_4, \dots, \hat{\gamma}_n)$ – вектор оценок кумулянтных коэффициентов, полученный по смоделированной случайной выборке $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_N)$; $\gamma = (\gamma_3, \gamma_4, \dots, \gamma_n)$ – вектор кумулянтных коэффициентов известного закона распределения случайных величин.

Проведены исследования характеристик метрики $\hat{d}_s$ для следующих случаев: 1) по одному кумулянтному коэффициенту; 2) для двух кумулянтных коэффициентов; в случаях, когда исходная случайная величина имеет гауссовский и равномерный законы распределения. Вычислены математическое ожидание и дисперсия метрики для кумулянтных коэффициентов по шестой порядок и в различной комбинации порядков этих коэффициентов (в случае двух слагаемых) при объемах выборки $N = 10^4; 10^6$.

Плотность вероятности метрики $\hat{d}_s$ оценена экспериментально. Для этого моделировались выборки случайных величин $\xi_1, \dots, \xi_N$ с симметричными распределениями, в частности, с равномерным законом распределения на интервале $[0, 1]$.

Выводы. По оценкам закона распределения и числовым характеристикам метрики абсолютных значений оценок коэффициентов асимметрии и эксцесса выборки равномерных случайных величин можно заключить,

что закон распределения метрики не гауссовский, а сами коэффициенты считать некоррелированными. Увеличение числа слагаемых в формуле (1) увеличивает чувствительность кумулянтного метода диагностирования.

КВАЗИДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ КОНДУКТИВНИЙ КАЛОРИМЕТР З МУЛЬТИРЕФЕРЕНТНИМ ІМІТАТОРОМ

Сергієнко Р.В. (доповідач), Воробйов Л.Й.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, Київ, Марії Капніст 2а,
тел.: (044)456-93-81, e-mail: Serhiienko@nas.gov.ua*

Для ефективного використання палива актуальним залишається визначення його якості – теплоти згоряння (калорійності). В практиці калориметрії широкого розповсюдження набули кондуктивні калориметри на базі перетворювачів теплового потоку виду допоміжної стінки, які мають низку переваг перед іншими типами калориметрів, основна з яких – висока чутливість. В Інституті технічної теплофізики розроблено новий кондуктивний калориметр згоряння з реалізацією квазидиференціальної схеми вимірювань, суть якої полягає у наявності двох комірок (основна робоча з необхідними розмірами для розміщення реакційної посудини і компенсаційна комірка значно меншого розміру), а також корекції сигналу чутливого елемента компенсаційної комірки з заданою передавальною функцією і суматор сигналів.

Мета. Можливість забезпечення подібності частотних характеристик робочої та компенсаційної комірок за допомогою імітатора обмежені тим, що сталі часу в складних імітаторах пов'язані між собою і не дозволяють проводити їх незалежне регулювання.

Результати. Для досягнення подібності частотних характеристик комірок і забезпечення можливості їх незалежного регулювання запропоновано метод *мультиреферентної квазидиференціальної калориметрії*. Ідея цього методу полягає в заміні комірки-референту з єдиним складним імітатором мультиреферентною коміркою з кількома чутливими елементами, які є інерційними елементами першого порядку, сталі часу яких відповідають кореням знаменника передаточної функції робочої комірки. При цьому інерційні елементи включаються у ланцюги паралельної корекції для компенсації реакції на зовнішні завади та збурення. При вимірюваннях вихідний сигнал калориметру формується як різниця сигналу чутливого елемента основної комірки і суми добутків коефіцієнтів пропорційності на сигнали чутливих елементів незалежних референтів компенсаційної комірки.

Висновок. Застосування мультиреферентного квазидиференціального методу дає можливість незалежного встановлення та регулювання сталих часу і вагових коефіцієнтів складників розкладення і відповідних сигналів незалежних інерційних ланок, що дозволяє більш точно відтворювати необхідну передаточну функцію у порівнянні з квазидиференціальним методом з використанням імітатора комірки. Експериментальна пере-

вірка показала, що застосування мультиреферентного квазідиференціального методу дозволяє знизити вплив зовнішніх збурень приблизно на порядок у порівнянні з однокомірковим калориметром.

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНА КАЛОРИМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОЛОГИ В МАТЕРІАЛАХ

Іванов Сергій Олександрович (доповідач), **Декуша Л.В., Воробйов Л.Й.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-42,
e-mail: teplomer@ukr.net*

Мета роботи – створення спеціалізованого засобу дослідження стану вологи в неоднорідних матеріалах в широкому температурному діапазоні.

Результати роботи. Запропоновано метод скануючої калориметрії, який адаптовано до дослідження фазових переходів вологи та органічних рідин в зразках неоднорідних матеріалів за криогенних температур, а також створено засіб вимірювання, що здатний реалізувати даний метод на практиці.

В основі методу лежить охолодження зразка до криогенних температур, з подальшим підвищенням його температури із заданою швидкістю. Кількість вологи, яка здійснила фазовий перехід у зразку пропорційна кількості виділеної теплоти, а форма зв'язку вологи з матеріалом оцінюється за температурою фазового переходу. Адаптація пов'язана з використанням трьохкоміркової калориметричної системи, що дає можливість розміщувати в зоні вимірювання не тільки досліджувану речовину, а й еталонний матеріал та баластну комірку, що не тільки скорочує час вимірювання, а й знижує похибку результатів вимірювання, оскільки температурні умови у трьох комірках ідентичні.

Розроблений засіб вимірювання складається з калориметричного ядра з трьома комірками високої місткості, в одному з яких розміщується репрезентативний зразок досліджуваного матеріалу відомої маси, в другій – еталонна речовина, а третя лишається порожньою для контролю базової лінії теплоємності комірок. Ядро оснащено електронагрівником для відтворення температурного режиму дослідження, а також сенсорами для вимірювання температури та теплового потоку. Ядро зі зразком розміщують в колбі термостатованого корпусу системи, що заповнена рідким азотом, і після повного охолодження ядра та випаровування залишків рідкого азоту розпочинають нагрівання ядра калориметра з постійною швидкістю. При цьому реєструють кількість теплоти, що поглинається кожною коміркою та зміну температури ядра в часі, порівнюючи з даними еталонної речовини та порожньої комірки.

Експериментальним шляхом встановлено, що межі допустимої відносної похибки вимірювання теплоємності розробленої низькотемпературної калориметричної системи становлять $\pm 5\%$, що відповідає світовим аналогам.

Висновок. Запропоновано метод та засіб дослідження стану вологи в неоднорідних матеріалах в широкому температурному діапазоні.

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ

Хайдуров Владислав Владимирович

*Институт технической теплофизики НАН Украины, тел.: +38(063) 021-06-79,
e-mail: allif0111@gmail.com*

Цель. Рассмотреть и проанализировать основные предназначения обратных задач теплопроводности энергетических объектов и систем разного предназначения в науке и технике для изучения функциональности и их работы в целом.

Результаты работы. Большинство современных процессов в науке и технике описываются нелинейными математическими моделями. Примером сложных процессов можно назвать физико-технические процессы, которые описываются математическими моделями математической физики в обратной (оптимизационной) постановке.

Наиболее простой и актуальной постановкой задачи идентификации параметров и/или режимов работы разных объектов и систем есть оптимизационная постановка, в которой требуется найти глобальный минимум некоторой функции или функционала такого вида:

$$J(c_1, c_2, \dots, c_n) = F(U(c_1, c_2, \dots, c_n)) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где U – искомая функция, которая дает минимум функционала; n – это количество идентифицируемых параметров и/или режимов работы исследуемого объекта; $c_1, c_2, \dots, c_n$ – сами параметры и/или режимы работы исследуемого объекта от которых зависит функция U .

На функцию / функционал вида (1) накладываются ограничения в виде функциональных зависимостей, к примеру, уравнения вида:

$$\{L_j(U(c_1, c_2, \dots, c_n)) = 0\}, j = \overline{1, m} \quad (2)$$

и неравенства вида

$$\{S_k(U(c_1, c_2, \dots, c_n)) \leq 0\}, k = \overline{1, p}, \quad (3)$$

где $L_j, j = \overline{1, m}$ – некоторые дифференциальные операторы, которые описывают некоторый процесс в объекте, а S_k – функциональные зависимости, которые являются ограничениями на функцию U . Краевые, граничные, внутренние условия в (2) задаются в зависимости от рассматриваемого процесса. Они могут быть заданы на части области рассматриваемого процесса или на всей области. Они также могут выступать в виде искомым параметров $c_i, i = \overline{1, n}$.

Выводы. В постановках задач вида (1)–(3) предполагается, что ограничением на функционал выступает уравнение распространения самого

процесса. Такие задачи дает возможность модернизировать реальные динамических объектов и систем и их процессы.

УЛЬТРАЗВУКОВА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА БАЗІ МАЛОАПЕРТУРНИХ МАГНІТОСТРИКЦІЙНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Богачев І.В.¹, Мислович М.В.², Хайдуров В.В.¹

1 – Інститут технічної теплофізики НАН України, тел.: +38(063) 822-14-37,
e-mail: biv_vdoe@ukr.net

2 – Інститут електродинаміки НАН України

Ціль: розробка методу, методики та системи контролю елементів будівельних машин і металевих конструкцій з використанням малоапертурних магнітострикційних ультразвукових сенсорів.

Результати роботи. Розроблено принципи побудови ультразвукових малоапертурних сенсорів і системи контролю параметрів акустичного поля у твердих тілах з використанням запропонованих сенсорів. Удосконалено аналітичні методи розрахунку і конструкторські технологічні рішення для поліпшення метрологічних характеристик магнітострикційних перетворювачів. Розроблено метод контролю характеристик акустичного поля у твердих тілах з використанням магнітострикційного ефекту зі сферичною діаграмою направленості малоапертурних сенсорів, що дозволило підвищити у два рази просторову роздільну здатність і точність засобів вимірювання. Розроблено математичні моделі ультразвукового контролю об'єктів, які мають дефекти у вигляді тріщин.

Система дозволяє забезпечити контроль поверхонь виробів складної геометричної форми. Зразок малоапертурного ширококутового магнітострикційного випромінювача підвищеної потужності дозволяє збільшити глибину виявлення дефектів в 2–4 рази. Розроблено систему, яка в порівнянні з існуючими аналогами систем ультразвукового контролю з п'єзоелектричними перетворювачами збільшує роздільну здатність і забезпечує ефективний контроль об'єктів складної геометричної форми. Серед потенційних об'єктів застосування: тонкостінні елементи несучих конструкцій; об'єкти складної форми; лопатки газотурбінних двигунів; лонжерони лопаток літальних апаратів; клепані з'єднання несучих конструкцій і інші.

Висновки. Використання при постійному контролі й діагностуванні одиночного малоапертурного сенсора дозволяє визначити факт наявності або відсутності дефекту в контрольованому об'єкті. Для визначення розмірів і місцезнаходження дефекту необхідно виконувати механічне сканування поверхні контрольованого зразка і застосовувати складні алгоритми розрахунку. При відомій відстані між випромінювачем і приймачем ультразвукових коливань (при розташуванні двох перетворювачів в одному корпусі) можна визначити швидкість поширення ультразвукової хвилі в кон-

трольованому зразку, що в подальшому можна використовувати для обчислення розмірів тріщини і її розташування.

ПОКРАЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ З МАЛОАПЕРТУРНИМИ МАГНІОСТРИКЦІЙНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

Богачев Ігор Володимирович

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, тел. (044) 456-94-82,
e-mail: biv_vdoe@ukr.net*

Мета. Модернізація конструкції перетворювачів та розробка алгоритму опрацювання результатів вимірювання амплітуди та фази ультразвукової хвилі для підвищення вірогідності контролю елементів теплотехнічного обладнання.

Результати роботи. В роботі показано, що найбільш ефективними в якості малоапертурних перетворювачів є одношарові двосекційні котушки збудження, розташовані безпосередньо на магніострикційному стрижні. При такій конструкції перетворювачів обвідна прийнятого радіоімпульсного електричного сигналу на котушці приймаючого перетворювача буде мати не прямокутний вигляд, а ступеневий. В цьому випадку вимірювання амплітуди і фазового зсуву корисного сигналу доцільно проводити в межах третього або четвертого півперіодів прийнятого сигналу. В цьому часовому проміжку співвідношення сигнал – завада має найбільше значення. Для збудження випромінюючого перетворювача доцільно використовувати радіоімпульсний сигнал з двома періодами заповнюючого коливання. Збільшення кількості періодів заповнюючого коливання імпульса, що випромінюється, призводить до зменшення поздовжньої розрізняювальної здатності системи ультразвукового контролю, а зменшення до одного періоду заповнюючого коливання – до збільшення похибки вимірювання і в наслідок цього до зменшення вірогідності контролю.

Суттєво зменшити похибку вимірювання амплітуди і фази прийнятого сигналу можна при застосуванні статистичних методів опрацювання отриманих даних при багаторазових вимірюваннях, а також при проведенні багаторазових обчислень фазового зсуву і амплітуди в межах одного півперіода.

Висновок. Малоапертурні магніострикційні перетворювачі мають малу площу поверхні, що випромінює. Це дозволяє отримати діаграму напрямленості практично кругової форми для поверхневих хвиль та у вигляді півсфери для поздовжніх хвиль. Поверхневі хвилі мають малу глибину проникнення, що зручно для виявлення поверхневих тріщин. Поздовжні хвилі доцільно використовувати для пошуку дефектів у товщі об'єкту, що контролюється.

ТЕРМОХІМІЧНИЙ МЕТОД - СКЛАДОВА РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Скляренко Є.В.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а 03057, Київ,
тел. (068)510-99-02; e-mail: SklyarenkoEV@Nas.gov.ua*

Мета роботи - висвітлення можливостей термохімічного методу для виробництва водню при паровій конверсії кам'яного вугілля.

Результати роботи. Сьогодні, в якості одного з найбільш перспективних енергоносіїв розглядається водень, як енергоносіє з високою теплою згоряння (142,8 кДж/г), що легко транспортується і акумулюється в різних фазових станах, та може з високою ефективністю бути використаним в різних енергетичних пристроях (котли, ГТУ, ДВЗ і ін.). Крім того, одним з головних достоїнств водню є його екологічна безпека, оскільки продуктом його згоряння є вода.

Перспектива розвитку водневої енергетики бачиться на основі значних запасів прісної та морської води.

Для отримання водню з води використовують технології електролізу, термохімії, фотолізу, радіолізу, термічного розкладу та ін.

Виробництво водню з використанням цих процесів в різному ступені є поки технологічно складними, дорогими і низької продуктивності. Так, по деяким оцінкам вартість електролізного водню більш ніж в 2,5 рази вища від виробництва з природного газу.

Зважаючи на значні запаси кам'яного вугілля в Україні, одним з шляхів здешевлення виробництва водню бачиться в застосуванні термохімічного методу розкладу води при паровій конверсії вугілля, з використанням теплової енергії термохімічного процесу і електричної енергії. Основні положення такої технології, на прикладі створення паливно – енергетичного модуля, приведені автором в роботі (Скляренко Є. В., Воробйов Л.Й. Модуль енергетичного комплексу. Modern engineering and innovative technologies. 2020, №14)

Висновок. Реалізація запропонованої схеми паливно–енергетичного модуля дозволяє:

1. Акумулювати електричну енергію (наприклад, АЕС) в режимах мінімальних пікових навантажень енергетичної системи і досягти стабільної, ефективної, та безпечної роботи АЕС.

2. Досягти стабільної роботи вугільної шахти, з гарантованою реалізацією видобутого вугілля.

3. Скоротити витрати традиційних палив та зменшити забруднення довкілля продуктами згоряння, шлаковими і золовими відходами.

4. Шлакові відходи з термохімічного перетворювача енергії підлягають захороненню, шляхом забутування відробленого простору шахти, що зменшує земельні площі під складування таких відходів і відповідно зменшує забруднення довкілля.

ДІАГНОСТУВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Свердлова Анастасія Дмитрівна (доповідач), Запорожець А.О.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2А, Київ, Україна,
e-mail: science.sverdlova@gmail.com, a.o.zaporozhets@nas.gov.ua*

Сучасні технічні об'єкти, у тому числі об'єкти теплоенергетики, є складними технічними об'єктами (СТО), побудованими з різних вузлів – механічних, електричних, електронних тощо, об'єднаних спільними завданнями контролю деякого технологічного процесу. Відмінними особливостями функціонування об'єктів теплоенергетики є їх робота в умовах нерегулярних динамічних навантажень, прикладених практично до всіх елементів конструкції. Ці навантаження виникають як внаслідок внутрішніх чинників, так і зовнішніх (наприклад, працююче поруч обладнання).

Мета роботи – удосконалення процесу діагностування та прогнозування технічного стану СТО за допомогою розроблених моделей, методів та інформаційно-вимірювальної системи діагностування стану теплоенергетичних об'єктів із використанням поточної/ретроспективної інформації та нейронних мереж.

Результати. Розроблено ієрархічну структуру системи технічного діагностування СТО, що дало змогу проводити: первинний відбір та підготовку діагностичних сигналів; первинне математичне опрацювання, прийняття первинних діагностичних рішень, сигналізацію про можливі дефекти; накопичення, опрацювання та глибокий аналіз даних, швидке реагування на аварійні сигнали з нижчого рівня, прийняття діагностичних рішень по об'єкту загалом, архівацію статистичних даних.

Розроблено структуру нейронної мережі на основі стекінку алгоритмів рекурентної нейронної мережі з архітектурою довгої короткочасної пам'яті та автокодувальника в складі системи технічного діагностування СТО, що дозволило прогнозувати відмови обладнання в умовах невеликої кількості аномальних прецедентів. Використання нейронної мережі в системі діагностування підвищує достовірність прогнозування аномальних станів на 9%.

Висновки. В ході досліджень вирішено актуальне науково-прикладне завдання з удосконалення процесу діагностування технічного стану СТО за допомогою розроблених моделей, методів та інформаційно-вимірювальної системи діагностування стану теплоенергетичних об'єктів, що забезпечують дистанційне прогнозування його аномального стану з урахуванням поточної та ретроспективної інформації та використанням нейронних мереж.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ ГІДРАВЛІЧНОГО СТАНУ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

Старовіт І.С. (доповідач), Дядюшко Є.В.

Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (050) 611-82-95,

e-mail: ivanstarovit@gmail.com

При проведенні робіт по утилізації радіоактивних матеріалів зі зруйнованого блоку ЧАЕС критичною задачею є захист оточуючого середовища (ОС) та персоналу від негативного впливу радіоактивних частинок. Проблема погіршується тим, що реальні площі протічок Нового Безпечного Конфайнменту (НБК) – спеціально зведеної над блоком захисної споруди, значно перевищують проектні значення. Відповідно площам пропорційно зростає величина витоків радіоактивного пилю, котру необхідно мінімізувати, зокрема шляхом оптимальної роботи вентиляційних установок. Найбільш точним шляхом вирішення аналогічних проблем є розробка складних моделей гідравлічного стану об'єкту, недоліком яких є значний розрахунковий час, що обмежує їх використання в режимі реального часу.

Метою роботи є створення спрощеної моделі гідравлічного стану НБК ЧАЕС, яка ґрунтується на технології нейронних мереж (НМ) та дозволяє моделювати неорганізований повітрообмін основного об'єму та кільцевого простору НБК з ОС.

Результати роботи. 1) Для обчислення об'ємних витрат через східний та західний зазори НБК при різних граничних умовах розроблено модель на основі нейронної мережі, яка складається з трьох шарів, що мають наступні конфігурації: 8 вхідних, 8 прихованих та один вихідний нейрон, відповідно. Вхідними даними моделі були розподіли зовнішніх тисків в критичних точках та витрати вентиляційних установок, вихідні дані: масові витрати з основного об'єму та кільцевого простору НБК в ОС.

2) Модель «навчалась» та перевірялась на даних отриманих з іншої моделі гідравлічного стану НБК, яка налаштовувалась на експлуатаційних даних безпосередньо з НБК. В результаті порівняння результатів моделі з НМ з гідравлічною моделлю на виборці розміром в 350 вимірювань отримано такі середньоквадратичні похибки об'ємних витрат через східний та західний зазори: 1.05 та 1.27 відповідно.

Висновок. Розроблена модель на основі НМ показала достатню кореляцію з гідравлічною моделлю, але вона має більші можливості при обчисленні викидів з НБК в режимі реального часу, також можливе використання моделі для задач прогнозування та контролю вентиляційними установками. Планується покращення точності моделі за рахунок сумісного використання НМ та гідравлічної моделі, застосуванні більшої кількості даних, зокрема з реального об'єкту, інтеграція моделей в систему контролю об'єкту.

МЕТОДИКА ТЕРМОЦИКЛУВАННЯ GaN HEMT ТРАНЗИСТОРІВ ТА ОЦІНКА ТЕРМІЧНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ

Олійник Владислав Сергійович (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (044) 453-28-60,
e-mail: Vladyslav.oliinyk94@gmail.com*

Система температурного контролю супутників повинна бути спроектована так, щоб підтримувати температуру на компонентах в заданих межах протягом всього терміну служби, оскільки обладнання, яке вийшло за межі рекомендованого діапазону температур, може бути пошкоджене, а місія супутника стане під загрозу. Електронні компоненти, зокрема GaN HEMT транзистори, що широко використовуються в SAR супутниках в якості компонента блоку передавача, серед основних місць виникнення пошкодження Корисного навантаження супутників. При проектуванні системи температурного контролю важливим для успіху місії супутника є визначення вразливих до термічної деградації електронних компонентів, вибір прекурсорів, аналіз динаміки деградації, що використовується в визначенні оптимальних температурних умов роботи.

Метою роботи є розробка та верифікація методології оцінки термоциклічної деградації GaN HEMT транзисторів на основі непрямого вимірювання температури зони переходу транзистора.

Результати роботи.

1) Запропоновано методологію оцінки деградації компонента в результаті термоциклів на основі відслідковування зміни прекурсора деградації – температури зони переходу.

2) Проведено аналіз робочих параметрів GaN HEMT транзисторів, які залежать від температури і здатні при певних умовах оцінювати температуру зони переходу кристалу.

3) Запропоновано методологію непрямої оцінки температури переходу з динамічних характеристик транзистора – на основі швидкості зміни струму через колектор, що дозволяє визначати температуру переходу в робочих умовах.

4) Запропоновано методологію непрямої оцінки температури переходу зі статичних характеристик транзистора – на основі відстеження зміни струму через колектор при певних лабораторних умовах роботи транзистора.

Висновок. Розроблені методології оцінки температури переходу GaN HEMT в поєднанні з термоциклами дозволяють визначити динаміку деградації компонента при роботі в даних температурних умовах. Це допоможе оптимізувати тепловий дизайн супутника, а також продовжити термін служби та завчасно попередити вихід з ладу компонента шляхом моніторингу прекурсора деградації та внесення змін у режим роботи блоку передавача.

Секція 5. Комунальна і промислова теплоенергетика

ФАКТОРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФІКА ВІДПУСКУ ТЕПЛОТИ В СИСТЕМАХ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Колієнко А.Г.¹(доповідач), Супрун Т.Т.², Шеліманова О.В.³

*1 – Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка»
тел. (050) 94 55 897, e-mail: agkolienko@gmail.com*

2 – Інститут технічної теплофізики НАН України

3 – Національний університет біоресурсів та природокористування України

Мета роботи - виконати дослідження факторів впливу на вибір температурного графіку відпуску теплоти в системах централізованого теплопостачання (СЦТ).

Вибір температури теплоносія і способу регулювання відпуску теплоти в СЦТ є важливим параметром, який визначає не лише величину витрат теплоносія у мережі, а й ефективність системи у цілому. Факторами впливу на температурний графік у світлі сучасних вимог до СЦТ є наступне:

- конструктивні характеристики мережі, кількість і характеристики компенсаторів температурного видовження і опор, як об'єктів експлуатаційного нагляду, обслуговування і ремонту;
- можливість інтеграції в СЦТ низькотемпературних джерел чистої енергії;
- втрати теплоти з поверхні трубопроводів СЦТ і втрат з витокami води;
- ефективність роботи конденсаційних котлів і теплообмінників утилізаторів на джерелах теплоти;
- теплова і гідравлічна стійкість роботи СЦТ і абонентських систем споживачів;
- конфігурація індивідуальних теплових пунктів у споживачів теплоти;
- ефективність регулювання відпуску теплоти в умовах різноманітного теплового навантаження;
- ефективність роботи теплообмінних установок, що використовують гріючий теплоносій із СЦТ;
- витрати електричної енергії на транспортування теплоносія.

Значна кількість факторів визначає неоднозначність вибору температурного режиму роботи СЦТ. В роботі зроблено спробу оцінити вплив різних факторів і вибору оптимального температурного графіка. Виконана оцінка непродуктивних втрат теплоти на усіх етапах трансформації енергії. Зроблено висновок про переваги і енергетичну ефективність низькотемпературного графіку відпуску теплоти і наведено рекомендації щодо вибору способу регулювання відпуску теплоти за умови різноманітного теплового навантаження в системі.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЇ В КОМУНАЛЬНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

Степанов Микола Васильович¹ (доповідач), **Клименко В.М.**

1 – ТОВ «Інноваційне будівництво», тел. (097) 976-30-81,

e-mail: stepanovmykola@gmail.com

2 – Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (067) 743-22-20,

e-mail: vnklimenko@gmail.com

Розвиок комунальної енергетики України буде зорієнтовано на вимоги директиви ЄС з енергоефективності 2012/27/ЄС, прийнятої в 2009 році і спрямованої на підвищення енергоефективності на 30% до 2030 року. Вимога директиви направлена на підвищення частки когенерації до 75% або широкого використання відновлюваних видів енергії.

У зв'язку з бурхливим зростанням ціни газу в останній рік, вкрай актуальним стає пошук нових технологічних аспектів застосування природного газу в когенераційних проектах. І тут на зміну традиційним технологіям приходять технології маневреної когенерації на базі газопоршневих двигунів з ККД 45-49% і акумуляцією теплової енергії. Принципи вибору потужності когенераційної станції подібного типу ґрунтуються на очікуваних добових графіках електричних навантажень та не перевищують 2-5 годин роботи на добу. Таким чином маневрена станція забезпечує продаж пікової електричної енергії і навантаження ГВП.

У той же час широке поширення набула когенераційна технологія з використанням в якості палива відновлюваних видів енергії. Поряд з використанням традиційної паротурбінної технології, при використанні деревних відходів, слід звернути увагу на технології газифікації твердого палива і використання органічного циклу Ренкіна.

У доповіді будуть проаналізовані економічні параметри впровадження когенераційних технологій на прикладі системи теплопостачання м.Рівне та м.Києва.

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЦ НА ОСНОВІ ТЕРМОДИНАМІЧНОГО МЕТОДУ ПОДІЛУ ВИТРАТ

Бабін М.Є., Дубовський С.В.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст (Желябова), 2а,
м.Київ, 03057, Україна, тел.: (067) 5876781, e-mail: s.w.dubovskoy@gmail.com*

Мета роботи. Основна мета роботи полягає у розробленні прикладної методики укрупненої оцінки термодинамічно обумовлених показників ефективності виробництва електричної енергії і теплоти на ТЕС та проведенні ретроспективного аналізу змін ефективності деяких ТЕС і ТЕЦ України за тривалий період часу у порівнянні із динамікою звітних показників ефективності, визначених за галузевими методиками, чинними у різні періоди експлуатації цих станцій.

Результати роботи

У роботі представлено методику укрупненої оцінки термодинамічно обумовлених показників ефективності ТЕС комбінованого виробництва, побудовану згідно положень ДСТУ 7674:2014 «Енергозбереження. Енергоємність технологічного процесу вироблення електричної та теплової енергії, відпущеної тепловою електростанцією». Методика передбачає використання статистичних даних щодо обсягів виробленої енергетичної продукції, спожитого палива на ТЕС та номінальних або перемаркованих значень початкових параметрів пари. Наведені також оцінки похибок, обумовлених невизначеністю фактичних початкових параметрів пари від номінальних значень у межах технологічних допусків і фактичного складу використовуваного енергетичного обладнання різних ступенів тиску.

Представлені результати зіставного аналізу еволюційних рядів показників питомих витрат палива на відпуск електричної енергії і теплоти, визначених за галузевими методиками та основі термодинамічного підходу з використанням даних офіційної статистики для 4 ТЕС генеруючих компаній та 9 ТЕЦ України різних форм власності на різні початкові тиски за період 20 років, виконаного.

Встановлено, що звітні показники ефективності окремих станцій за розглянутий період часу потерпали значних зміни, пов'язаних як із змінами методик їх обчислення, так із впливом економічної кон'юнктури і частково втратили роль показників, що відображують вплив технологічних чинників.

Термодинамічно обумовлені показники ефективності дозволяють нівелювати цей недолік, забезпечуючи об'єктивне порівняння різних станцій у різні періоди експлуатації саме за рівнем технологічної досконалості.

Висновки

Показники ефективності роботи ТЕС комбінованого виробництва, а саме питомі витрати палива на відпуск електричної енергії і теплоти, визначені згідно чинних методик електроенергетичної галузі, піддані впливу економічних чинників, специфічних для кожної станції, а також змінам методичних підходів до їх обчислення.

Це суттєво ускладнює аналіз впливу технологічних чинників (модернізація або старіння обладнання, оптимізація експлуатації, перехід на інші види палива тощо) на енергетичну ефективність роботи ТЕС, оцінку собівартості та фактичної рентабельності на ринках електричної і теплової енергії, оцінку шкідливих викидів, пов'язаних із діяльністю з виробництва електроенергії і теплоти тощо.

Термодинамічні методи оцінювання дозволяють нівелювати ці недоліки, забезпечуючи об'єктивне порівняння між собою різних станцій як комбінованого, так і роздільного виробництва, а також неперервність аналізу динаміки показників ефективності кожної станції у різні періоди часу.

СТРАТЕГІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ: КОМУНАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

Басок Б.І., Базєєв Є.Т. (доповідач)

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-47, (044) 424-96-47, e-mail: basok@ittf.kiev.ua, ittfbazeev@gmail.com

Мета. Розробка індикаторів, критеріїв та їх порогових значень для дорожньої карти заходів із виконання стратегії енергетичної безпеки в сфері комунальної теплоенергетики.

Результати. 14 вересня 2020 року Президент України підписав Указ “Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року, № 392 “Про стратегію національної безпеки України””. У Стратегії враховані останні зміни ситуації в сфері національної безпеки і оборони, що пов'язано з кризовими явищами у світовій економіці, появою нових факторів, що впливають на стан міжнародної сфери безпеки, поширення пандемії COVID-19, викликані коронавірусом SARS-CoV-2, а також підвищенням небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Стратегія національної безпеки України є основою для розробки інших дванадцяти документів стратегічного планування, що будуть визначати шляхи та інструменти її реалізації. У числі документів означена Стратегія енергетичної безпеки і Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату. При розробці цих регуляторних документів повинні бути враховані насамперед досягнення і сучасні тенденції розвитку в науці і технології в області економіки, енергетики і екології. На виконання вищезначеного документу розпорядженням Кабінету Міністрів України влітку 2021 р. схвалено Стратегію енергетичної безпеки.

Основні положення цієї Стратегії включають: ціль Стратегії; значення термінів щодо Стратегії (8 термінів); характеристику сучасного стану паливно-енергетичного комплексу; визначення факторів-загроз енергетичної безпеки національного рівня (24 загрози); принципи забезпечення енергетичної безпеки; ймовірні прогностичні сценарії змін в енергетичній сфері (3 сценарії); організаційне та фінансове забезпечення реалізації Стратегії.

Порівняльний аналіз 3-х сценаріїв – “без змін”, “недружнього впливу”, “позитивної трансформації” – показав, що необхідними є системні дії суб’єктів забезпечення енергетичної безпеки, спрямовані на реалізацію сценарію “позитивної трансформації”. Саме для цього сценарію визначені стратегічні цілі забезпечення енергетичної безпеки (8 стратегічних цілей) і пріоритетні завдання з досягнення відповідних цілей. Для реалізації Стратегії повинні бути розроблені план заходів, визначені критерії оцінки та створена система оцінки та моніторингу рівня енергетичної безпеки.

КМ України за поданням Міненерго затверджує план заходів з реалізації стратегії (протягом шести місяців з дня прийняття Стратегії) і методу оцінки рівня та загроз енергетичної безпеки України (протягом року з дня прийняття Стратегії). Міненерго також забезпечує внесення пропози-

цій щодо уточнення Стратегії, готує звіт щодо стану і оцінку рівня енергетичної безпеки України.

Найважливішою складовою ПЕК країни є комунальна (муніципальна) і індивідуально-побутова енергетика, основу яких становить теплове господарство, зі своїми потребами в паливі, устаткуванні, інвестиціях та ін. Ця галузь ПЕК має свої регіональні проблеми і загрози для енергетичної безпеки.

На основі літературного огляду і результатів експертного анкетування організаційним комітетом учасників 8-ї міжнародної конференції "Енергетична безпека Європи XXI століття. Євразійські енергетичні коридори "в рамках шостої міжнародної виставки" Енергофорум Україна-2005 ("Нафта. Газ. Вугілля. Енергетика") в якості ілюстрації в доповіді буде представлено перелік об'єктів індикативного аналізу та індикаторів, в т.ч. їх порогові значення для енергетичної безпеки об'єктів моніторингу комунальної енергетики, включаючи системи теплопостачання. Оцінка ступеня забезпеченості порогових значень передбачає подальшу розробку заходів і механізмів, спрямованих на досягнення енергетичної безпеки в теплоенергетиці.

ВИБІР СХЕМИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕЦ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ПАРОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Голощاپов Володимир Миколайович (доповідач), Костіков А.О., Тарасова В.О.

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,
тел. (057) 349-47-96, e-mail: tarasova@ipmach.kharkov.ua*

Стан енергоблоків теплової енергетики, що експлуатуються на українських ТЕЦ, показує, що до енергоблоків з меншим відпрацьованим ресурсом відносяться блоки ТЕЦ потужністю 100 МВт та 250 МВт. Так енергоблоки Харківської ТЕЦ-5 згідно з терміном їх вводу в експлуатацію та меншому спрацьованому ресурсу можливо розглянути як приклад для реконструкції.

Метою дослідження є оцінка показників підвищення теплової ефективності роботи енергоблоків № 1 та № 2 Харківської ТЕЦ-5 з теплофікаційними турбінами Т-110/120-130-3 при їх реконструкції за технологією переводу в парогазову установку (ПГУ) скидного типу.

В результаті дослідження визначено, що для реконструкції енергоблоків ТЕЦ-5 в скидну ПГУ за балансом масової витрати відхідних газів газотурбінної установки (ГТУ) можна обрати наступні варіанти:

1. Надбудова ПТУ двома ГТУ UGT-25000 виробництва ДП НВК «Зоря-Машпроект», м. Миколаїв. В цьому варіанті сумарна витрата відхідних газів з температурою 485 °С складає 175 кг/с, що достатньо для заміщення необхідної витрати повітря (146,2 кг/с) для спалювання палива в ко-

тлоагрегаті з врахуванням зниження кисню при його вигорянні в камері спалювання ГТУ з 21 % до 17 %;

2. Надбудова ПТУ ГТУ ГТЕ-60 (ДП НВК «Зоря-Машпроект»), у якій витрата відхідних газів з температурою 517 °С складає 173,4 кг/с, що, як і в першому варіанті, вистачає для спалювання палива у котлоагрегаті.

Висновки: 1) реконструкція енергоблоків ТЕЦ за технологією парогазової установки дозволить збільшити електричний ККД майже на 9 % при відносному підвищенні потужності ПГУ до базового енергоблоку рівному 1,7; 2) при реконструкції енергоблоку в ПГУ виключаються з схеми системи підігріву повітря перед його подачею у котлоагрегат. Це дозволяє використовувати скидний гарячий газ за економайзером для підігріву мережевої води, або для одержання додаткової електроенергії за рахунок включення у схему додаткової ПТУ потужністю 15,8 МВт. Вибір варіанту надбудови повинен бути обумовлений техніко-економічними розрахунками.

Подяка: Роботу виконано за бюджетної темою «Розробка методів підвищення ефективності енергоблоків ТЕЦ за рахунок впровадження парогазових технологій» КПКВК 6541230.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ТЕЦ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

**Тарасова Вікторія Олександрівна (доповідач), Соловей В.В.,
Зіпунніков М.М., Кузнецов М.О.**

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
тел. (+380 68 888 34 59), e-mail: tarasova@ipmach.kharkov.ua*

Плановані темпи збільшення генерації електроенергії згідно з Енергетичною стратегією України до 2030 р. істотно вище в порівнянні з темпами збільшення обсягів теплопостачання, тому пріоритет повинен бути відданий модернізації електричної складової ТЕЦ.

Мета дослідження полягає у розробці принципів впровадження газотурбінного циклу та технології твердооксидних паливних елементів (ТОПЕ) як надбудови до існуючих потужних паротурбінних установок (ПТУ). У роботі розглянуто шляхи комплексної модернізації енергоблоків ТЕЦ-5 м. Харкова з турбінами Т-110/120-130. Як надбудову запропоновано використання газотурбінної установки (ГТУ) ГТЕ-60 потужністю 60 МВт, що виробляється на підприємстві ДП НВК «Зоря-Машпроект», м. Миколаїв. Також розглянуто інтеграцію у парогазову схему «Т-110/120-130 – ГТЕ-60» модульної установки ТОПЕ з внутрішнім риформінгом сумарною потужністю 20 МВт, яку скомпоновано з 40 трубчастих паливних елементів потужністю 500 кВт.

В результаті дослідження конденсаційного режиму роботи ПТУ отримано наступні результати: електричний ККД стандартної схеми паралельного підключення ГТУ до ПТУ з підведенням виробленої у котлі-

утилізаторі пари до частини середнього тиску ПТУ становить 42 %, сумарна електрична потужність установки – 170 МВт; при паралельному підключенні ГТУ до ПТУ з підведенням виробленої у котлі-утилізаторі пари до частини високого тиску (ЧВТ) електричний ККД сягає 44,75 %, сумарна електрична потужність становить 170 МВт. При роботі такої схеми у котлі-утилізаторі здійснюється перегрів пари за рахунок допалення газу; скидна схема підключення ГТУ до ПТУ з ТОПЕ та заміщенням регенерації забезпечує електричний ККД 46 %, та потужність 190 МВт; у схемі паралельного підключення ГТУ та ТОПЕ до ПТУ з підведенням виробленої пари до ЧВТ та заміщенням регенерації електричний ККД складає 49,4 % при сумарній потужності 190 МВт.

Висновки: за термодинамічною ефективністю схеми ГТУ-ПТУ-ТОПЕ мають перевагу перед комбінуванням ГТУ та ПТУ.

Подяка: Роботу виконано за бюджетної теми «Розробка методів підвищення ефективності енергоблоків ТЕЦ за рахунок впровадження парогазових технологій» КПКВК 6541230.

АЕРОДИНАМІКА ТА ТЕПЛООБМІН КОНІЧНОЇ ТРУБИ ТЕС З УРАХУВАННЯМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Чиркова А.П.¹ (доповідач), **Халатов А.А.^{1,2}**, **Шіхабутінова О.В.¹**,
Олійник В.С.¹

1 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, тел. (066)1479976, e-mail: zipers@i.ua

2 – Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2А, Київ, 03057

Мета роботи. Безпека сучасних ТЕС суттєво залежить від надійної роботи всього комплексу обладнання, тому на діючих об'єктах теплової енергетики України відбувається періодична його заміна чи модернізація. Це призводить до того, що в даний час димові труби працюють з параметрами, на які вони не були спроектовані. Для надійного проектування та модернізації димових труб необхідно брати до уваги умови обтікання та інфраструктуру об'єктів, що знаходяться на території ТЕС та навколо неї, але ці факти практично не враховуються при розрахунках. Робота присвячена дослідженню аеродинаміки та теплообміну при обтіканні повітрям одиночної конічної димової труби з врахуванням інфраструктури навколишнього середовища. Такі дослідження дають можливість вивченню раніше не розглянутих особливостей експлуатації димових труб для отримання повної картини аеродинаміки та теплообміну, що максимально наближені до реальних умов експлуатації промислових димових труб.

Результати дослідження. В роботі використовувався метод комп'ютерного моделювання. Для цього у програмі ANSYS2020-R1 була створена комп'ютерна модель вертикальної конічної труби висотою 40 м, діаметром в основі 1,7 м, в усті – 0,85 м. Модель розроблена в однорідній області, а за середовище було взято повітря. В якості моделі турбулентнос-

ті обрана традиційна для задач даного класу *RNG k-ε* модель. Попередні дослідження показали, що при відстані першого вузла від стінки циліндра та області, яка нас цікавить, більше 8 мм починає з'являтися нестабільність і відхилення більше 20% отриманих даних від значень середнього коефіцієнту тепловіддачі за загальноприйнятою формулою $\alpha = 7.3 \cdot w_x^{0.66}$. При розрахунках розглянуті три типи навколишньої місцевості: відкриті місцевості, місцевості з перешкодами висотою не більше 10 м, місцевості зі щільною забудовою заввишки більше 25 м.

Висновки. Розрахунки показали значний вплив інфраструктури навколишнього простору на зовнішню аеродинаміку та теплообмін конічної димової труби. Зокрема, виявлено періодична зміна тиску та тепловіддачі по висоті труби. Середня тепловіддача по контуру труби задовільно описується рівнянням $\alpha = 7.3 \cdot w_x^{0.66}$, однак локальні значення перевищують середні значення. Відмічені деякі нові особливості формування зони зворотних течій за конічною трубою, відмінні від обтікання труби постійного перетину.

ГРАДИРНЯ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ АТОМНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Ступак О.С. (доповідач), Халатов А.А.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-53, (044) 453-28-53, e-mail: stupakalewka@gmail.com, artem.khalatov1942@gmail.com

Метою роботи є визначення ефективності тепломасообміну градирень нового покоління з попереднім охолодженням повітря тепломасообмінним апаратом непрямого випарного типу за М-циклом при високих температурах атмосферного повітря.

Теоретичною межею охолодження води в градирнях є температура мокрого термометра атмосферного повітря, але при використанні принципів градирні нового покоління можливе досягнення температур води нижче температури мокрого термометра.

Особливість даного способу охолодження води полягає в продуванні градирні повітрям з температурою нижче температури мокрого термометра. Це можливе завдяки попередньому охолодженню атмосферного повітря до температур близьких до температури точки роси тепломасообмінним апаратом за М-циклом, який представляє собою системою сухих каналів і каналів з водяною плівкою на їх поверхні та неадіабатному протіканню процесу випаровування водяної плівки з поверхні стінки вологого каналу. Також для модернізації існуючих градирень не потрібна жодна зміна конструктиву градирні, а лише встановлення додаткового модулю тепломасообмінного апарату за М-циклом.

В результаті проведеного розрахункового дослідження градирні нового покоління, на основі традиційної градирні та тепломасообмінного апарату за М-циклом отримано зниження температури охолоджуваної води

на виході з градирні до 5 °С, зниження витрати підживлюваної води градирні до 15% та підвищення теплової ефективності градирні на 40%.

УСЛОВИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ОДЕССЫ НА ОСНОВЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА МОРСКОЙ ВОДЫ

Петраш В.Д.¹, Родин Б.А.², Петухов С.А.²

1 – ОГАСА, e-mail: petrant@ukr.net,

2 – СК «Будова»

В условиях современного состояния энерготехнологического комплекса г. Одессы весьма актуальной является проблема перспективного развития теплоснабжения. Одним из рациональных путей решения поставленной задачи является опыт совершенствования системы теплоснабжения на примере г. Стокгольма. Теплонасосные модули расположены на баржах в заливе моря. Используется опыт развития не только системы централизованного теплоснабжения, но и совмещение ее с системой централизованного охлаждения зданий в летний период в единый производственный комплекс. Целью настоящей работы явилось обоснование исходных параметров и последующее аналитическое исследование в поиске энергоэффективных теплотехнологических режимов работы предложенных систем теплоснабжения на основе парокомпрессионной трансформации энергии температурного потенциала морской воды. Температурный режим воды в прибрежной зоне северо-западной части Черного моря детально проанализирован на основе результатов более 115-летних сезонных и месячных измерений. Из сопоставительного анализа соответствующих климатических условий и регионального температурного уровня воды в близлежащем бассейне Балтийского моря до г. Стокгольма и северо-западной акватории Черного моря следует, что морская вода Одесского залива на глубине до 3–5 м по энерготехнологическим показателям и температурному уровню существенно отличается повышенным потенциалом и возможностями низкотемпературной теплоты, благодаря чему может более эффективно использоваться в парокомпрессионных системах теплоснабжения в условиях Одессы.

Выводы

1. Обоснованы исходные параметры и определены рациональные режимы работы теплонасосных систем теплоснабжения с центральным либо децентрализованным и локальным догревом абонентского энергоносителя в предельных условиях бивалентного режима при температуре наружного воздуха ниже $t_n < -10$ °С.

2. Обоснованы условия высокой энергетической эффективности работы теплонасосной системы теплоснабжения, при которых действительный коэффициент преобразования превышает сезонное нормированное расчетное и минимальное значения при рациональной температуре наружного воздуха $t_n = -10$ °С в моноэнергетическом режиме ее работы (соответ-

ственно $\varphi_{\min} = 3,8$ и $\varphi_p = 4,2$). Указанные результаты существенно превышают аналогичные показатели систем теплоснабжения г. Стокгольм. Удельные затраты приводной энергии компрессора и циркуляционного насоса находятся в диапазоне общепринятых значений ($\bar{w} = 0,28-0,34$).

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ ПРИ НЕДОТРИМАННІ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФІКА ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

**Басок Б.І., Лисенко Оксана Миколаївна (доповідач), Андрейчук С.В.,
Приємченко В.П.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-96-44,
e-mail: lisenko_oks@ukr.net*

Мета роботи. Дослідження теплоспоживання будівлі при недотриманні температурного графіка теплової мережі та відповідно впровадження заходів стосовно покращення опалення адміністративної будівлі для забезпечення комфортних умов перебування працівників.

Результати. Як відомо, в енергетиці України є невирішені проблеми, що пов'язані з низькою ефективністю керування та споживання теплової енергії. Однією з них є невідповідність нормативного температурного графіка теплових мереж фактичному, що в свою чергу призводить до зниження комфортних теплових умов перебування людини у приміщеннях будівлі. Для вирішення цієї проблеми були проведені експериментальні дослідження теплоспоживання в будівлях Інституту технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України (корпуси №1, №2) по вул. Булаховського, 2, які тривали з 01.12.2020 по 15.12.2020 рр. З отриманих графічних залежностей основних параметрів теплоспоживання ІТТФ НАН України від температури зовнішнього повітря видно, що період з 01.12.2020 по 08.12.2020 рр. відповідає роботі нерегульованого елеваторного теплового пункту з дуже низькою температурою подавального теплоносія з тепломережі, яка не відповідає температурному графіку (близько 40,0 °С при нормативі 56,0 °С при температурі зовнішнього повітря 0 °С), що призводить до недостатнього опалення приміщень Інституту. Тому в таких температурних умовах було прийнято рішення перейти на роботу індивідуального теплового пункту (ІТП) з гідравлічною стрілкою (корпус №1) та ІТП з електричними котлами (корпус №2). Як видно з графіків, після запуску ІТП (08.12.2020 р.) збільшилась витрата теплоносія у 2 рази (з 150,0 м³/добу до 307,0 м³/добу) в результаті роботи циркуляційних насосів, що входять до складу ІТП, і це в свою чергу дало можливість підвищити температуру в приміщеннях. Слід зазначити, що витрата теплової енергії при цьому майже не збільшилась.

Висновок. Таким чином, навіть при недостатній температурі подавального теплоносія з теплової мережі, за допомогою збільшення його циркуляції у 2 рази вдалося забезпечити мінімальні комфортні умови роботи працівників в приміщеннях ІТТФ НАН України.

ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНІ СИСТЕМИ З ПОГЛИБЛЕНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Навродська Раїса Олександрівна (доповідач), Фіалко Н.М., Шевчук С.І.,
Гнедаш Г.О., Сбродова Г.О.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-58,

e-mail: navrodska-ittf@ukr.net

Мета – Підвищення ефективності використання теплоти палива (КВТП) газоспоживальних опалювальних котельних установок шляхом застосування теплоутилізаційних технологій з нагріванням теплоносіїв різного призначення.

Результати роботи

Дефіцит власних ресурсів природного газу в Україні та значне зростання вартості придбаного газу спонукає до розроблення та впровадження новітніх енергоощадних технологій для енергетичних установок. Ефективність цих технологій, зокрема для газоспоживальних котельних установок комунальної теплоенергетики, визначається глибиною охолодження вихідних газів, а саме рівнем зниження температури цих газів нижче точки роси водяної пари, що міститься в газах. Даний рівень залежить від виду і температури застосовуваних теплоносіїв для використання утилізованої теплоти та ефективного компонування в теплоутилізаційних системах відповідного теплообмінного устаткування.

Дана робота присвячена розробленню і дослідженню для опалювальних котельних установок новітніх вискоелективних теплоутилізаційних систем, призначених для нагрівання зворотної тепломережної води, дутьового повітря і холодної води системи хімічного водоочищення (ХВО). Дослідження виконувались для двох варіантів послідовності компонування теплообмінників-теплоутилізаторів в різних режимах роботи опалювального котла згідно з температурою навколишнього середовища протягом опалювального періоду.

За результатами досліджень показано, що сумісне застосування двох водогрійних теплоутилізаторів та одного повітрогрійного для опалювального котла забезпечує протягом опалювального періоду приріст його КВТП $\Delta\eta$ на 6,8...8,3 %, тоді як при традиційному нагріванні зворотної тепломережної води підвищення ККД котла становить лише 3,2...6,1 %. При цьому для даних комбінованих систем збільшуються у порівнянні з традиційними системами і значення теплопродуктивності Q та обсяг G утвореного конденсату в 1,8...2.0 та 2.2...4.4 рази відповідно.

Висновок

Застосування теплоутилізаційних технологій з нагріванням трьох теплоносіїв дозволяє суттєво підвищити теплову ефективність котельних установок.

ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОВИХ КОТЛІВ ШЛЯХОМ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ

Гнедаш Георгій Олександрович (доповідач), Фіалко Н.М., Пресіч Г.О.,
Новаківський М.О.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, тел. (044) 456-91-71,
e-mail: nmfialko@ukr.net*

Метою роботи є створення для газоспоживальних парових котлів малої та середньої теплопродуктивності удосконаленої теплоутилізаційної технології з комплексним використанням утилізованої теплоти та з системою антикорозійного захисту газовідвідного тракту.

Результати роботи. Запропоновано та запатентовано модернізовану контактну-поверхневу теплоутилізаційну установку, призначену для підігрівання і зволоження дуттьового повітря з розширеним колом інших нагріваних теплоносіїв різного температурного потенціалу та використанням повітряного методу запобігання конденсатоутворенню в газовідвідному тракті. Розроблена теплоутилізаційна установка слугує для нагрівання дуттьового повітря та його зволоження, нагрівання холодної води на хімводоочищення (ХВО), очищеної води для деаерації, повітря для реалізації повітряного методу захисту газовідвідних трактів. Підігрівання дуттьового повітря та води системи ХВО призначене підвищити коефіцієнт використання теплоти палива (КВТП) котлоагрегата, а зволоження повітря на горіння – забезпечити зменшення рівня утворення оксидів азоту завдяки зниженню температури в топковому просторі котла.

Основними перевагами запропонованої модернізованої теплоутилізаційної системи у порівнянні з традиційними теплоутилізаторами для підігрівання і зволоження дуттьового повітря є підвищення рівня коефіцієнта використання теплоти палива до 4 % (завдяки розширенню кола нагріваних теплоносіїв) та використання додаткового заходу щодо захисту газовідвідного тракту котельної установки від конденсатоутворення. Таким додатковим заходом слугує додавання до вологих димових газів після теплоутилізаторів попередньо підігрітого відносно сухого атмосферного повітря, що забезпечує зниження загального вологовмісту отриманої суміші перед димососом та запобігає випадінню вологи у відвідному газоході котельної установки, димососі та у димовій трубі у всіх режимах роботи котла.

Висновок.

Застосування запропонованої технології для парових котлів дозволяє суттєво підвищити їхню теплову та екологічну ефективність, а також забезпечити надійний антикорозійний газовідвідного тракту.

ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК З СИСТЕМАМИ ГЛИБОКОЇ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЇ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ

Фіалко Н.М., Навродська Р.О., Шевчук Світлана Іванівна (доповідач),
Пресіч Г.О., Степанова А.І.

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, тел. (044) 456-91-71,
e-mail: nmfialko@ukr.net*

Мета. Аналіз ефективності використання для газоспоживальних котельних установок з системами теплоутилізації методів тепловологісної обробки димових газів для покращення умов довкілля.

Результати. Досліджено ефективність використання запропонованих методів для підвищення екологічних показників димових труб газоспоживальних котельних установок, оснащених системами глибокої утилізації теплоти відхідних димових газів. Це методи часткового байпасування відхідних газів котла повз теплоутилізаційне устаткування, підсушування охолоджених у цьому устаткуванні димових газів у теплообміннику-газопідігрівачі та підмішування до охолоджених газів нагрітого повітря. Визначено відносне зменшення максимальної приземної концентрації шкідливих викидів котельних установок, таких як оксиди азоту та окис вуглецю при використанні вказаних теплових методів. Виконано порівняльний аналіз ефективності застосування пропонуваніх методів для цегляних та металевих димових труб в різних режимах експлуатації опалювальних котельних установок.

За результатами досліджень встановлено, що пропонувані методи, засновані на використанні низки способів тепловологісної обробки димових газів при використанні сучасних теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням газів, сприяють підвищенню (до 32 %) екологічності димових труб. Пропонувані методи ранжуються так: найефективнішим є метод підігрівання газів у газопідігрівачі, відносне значення зменшення максимальної приземної концентрації шкідливих викидів $C_{\text{від}}^{\text{CO}}$ і $C_{\text{від}}^{\text{NOx}}$ досягає для металевої димової труби 32 %; поступається йому в ефективності повітряний метод, максимальне значення $C_{\text{від}}^{\text{CO}}$ і $C_{\text{від}}^{\text{NOx}}$ становить приблизно 26 %, а ще дещо менш ефективним є метод байпасування, значення $C_{\text{від}}^{\text{CO}}$ і $C_{\text{від}}^{\text{NOx}}$ не перевищує 24 %.

Висновок.

Пропонувані методи тепловологісної обробки димових газів дозволяють при використанні теплоутилізаційних технологій, що забезпечують скорочення на 5...8 % обсягів використання палива в котлах, покращити до 32 % показники екологічної ефективності димових труб.

ANALYSIS OF TEMPERATURE REGIMES OF MICROJET BURNERS WITH MULTI-LAYER COATING

**Fialko N.M., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Ju.V., Meranova N.O.,
Aleshko S.A., Maletskaya O.E., Hanzha M.V., Babak V.P., Shepetov V.V.,
Kharchenko S.D.**

*Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 03680,
MSP, Kyiv-03057, st. M. Kapnist, 2a, tel. +38(044)456-91-71, nmfialko@ukr.net*

Purpose of work. Analysis of the influence effects on the temperature conditions of the walls of microjet burners of the heat conductivity coefficients of multilayer coatings on their outer surfaces.

Results. Based on CFD modeling, data on the heat state of microjet burners with a protective coating applied to their heat-stressed areas were obtained. The investigation was carried out on the situation corresponding to the use of these coatings in combination with burner cooling systems. At the same time, a cooling system was considered, in which a special refrigerant is not used, but its role is played by natural gas before it enters the combustion.

The results of computational studies of the temperature fields of the walls of a flame stabilizer with a four-layer protective coating applied to the butt end of the stabilizer and a part of its lateral surface are presented. At the same time, the results are presented for coatings, the thermophysical properties of which differ depending on the technological modes of their application. The initial material for the deposition of coatings in the implementation of different modes remained unchanged. The values of the maximum and minimum equivalent coefficient of heat conductivity of the four-layer coating differed by about 17%.

Based on the results of the studies performed, it was shown that the highest wall temperatures of the flame stabilizer occurring on its blunt trailing edge do not exceed the permissible value of 550 °C when applying coatings with both the minimum and maximum coefficient of heat conductivity of the coating layers. In this case, the temperature level on the outer surface of the flame stabilizer is slightly higher for the maximum values of the heat conductivity coefficient of the coating layers λ , and on the outer surface of the coating itself, on the contrary, the temperature is higher at the minimum values of the coating λ .

Conclusions. The regularities of the influence on the heat state of microjet burners with a multilayer protective coating of the value of the coefficient of heat conductivity of coating are established when this value varies depending on the technological modes of application.

WORKING PROCESSES OF MICROJET BURNERS WITH CYLINDRICAL FLAME STABILIZERS IN THE PRESENCE OF NICHE CAVITIES

Fialko N.M.¹, Sherenkovskiy Ju.V.¹, Meranova N.O.¹, Aleshko S.O.¹,
Yurchuk V.L.¹, Polozenko N.P.¹, Timoshchenko O.B.¹, Abdulin M.Z.^{1,2},
Regragui A.¹, Kutnyak O.M.¹

1 – Institute of Engineering Thermophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-57, 2a Maria Kapnist st. tel. +38(044)456-91-71, nmfialko@ukr.net

2 – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 37 Peremogy av.

Purpose of work. To establish the regularities of the influence of niche cavities on the working processes of a series of burners with cylindrical flame stabilizers in the presence of annular rectangular niches on their lateral surfaces.

Results. In this work, based on CFD modeling, a comparison was made of the main characteristics of working processes for a series of investigated burners with a capacity of 30 ... 200 kW in the presence and absence of niche cavities on their lateral surfaces. Regarding the flow pattern in the compared situations, the data obtained show that the presence of a niche leads to a noticeable increase in the intensity of turbulence near the outer surface of the flame stabilizer. So, for a burner with a power of $N_b = 110$ kW in the section corresponding to the rear wall of the niche, the turbulence intensity is approximately twice the corresponding values in the absence of a niche and is 34%. The data obtained also indicate that the pressure loss in the burner associated with the presence of annular niches is relatively insignificant and does not exceed 13% of the corresponding losses in the absence of a niche.

According to the results of studies of the picture of fuel and oxidizer mixture formation, it was shown that with an increase in the power of the burner device, the intensity of mixture formation in the area astern the flame stabilizer significantly decreases. However, in the presence of niche cavities, this reduction is less significant than in burners without niches.

Regarding the combustion pattern in burners with annular niches, it begins in the niche cavity proper, propagates along the outer surface of the stabilizer, and then continues in its aft area. In the absence of an annular niche, the beginning of combustion corresponds to the breakaway edge of the stabilizer. This nature of the combustion process leads to a higher rate of fuel burnout and a somewhat greater uniformity of the temperature field in the cross sections of the torch for burners with annular rectangular niches. According to the results of the studies performed, the presence of niche cavities leads to an improvement in the stabilization properties of burners.

Conclusions. For the modification of burners with cylindrical flame stabilizers and rectangular annular niches on their lateral surfaces, the regularities of aerodynamics, mixture formation of fuel and oxidizer, and fuel burnout were investigated.

TRADITIONAL DISTRICT HEATING SYSTEMS VS 4 AND 5 G-DH IN THE CONTEXT OF MODERN LEGISLATION OF UKRAINE AND THE EU

Tymchenko M.P. (speaker), **Fialko N.M.**

ITTF NASU, tel. (044) 458-93-45, e-mail: tnp_books@ukr.net

The **objective** of the work is a comparative analysis of district heating systems (DHS) of Ukraine and innovative DHS (4G-, 5G-DH types), which have been extended in the EU, including such northern countries as Denmark, Sweden, Finland. Particular attention is paid to the means of legislative incentives for the Energy Transition (EnT) and the Green Transition (GrT).

Results. Preliminary results of the implementation of the "3 × 20" plan as the first EU energy and climate strategy are considered. Although its official results have not yet been summarized, it is expected that two (increasing efficiency and reducing GHG emissions) of the three objectives have been successfully met. Were it not for the consequences of the COVID 19 pandemic, the third goal ("share of RES in gross final energy consumption") would have been achieved hardly. None (except Italy) of the leading EU economies (Germany, Great Britain, France, Spain, Poland, etc.) in the penultimate (2019) year of implementation of the "3 × 20" plan reached the rate of annual growth of the share of RES, which would provide 20% growth in 2020. This fact, as well as Ukraine's own experience in 2018-2020, indicate the presence of significant problems encountered in large-scale implementation of RES. However, the "3 × 20" plan, Directive 2009/28 / EU, is being replaced by even more ambitious plans (in particular, the EU's Fourth Energy Package, the European Green Agreement), the targets of which are drastically intensifying. The tasks outline to reduce CO₂ emissions by 2030 (that is 9 years from now) not by 30% and not by 32.5%, as planned by previous decisions, but by 55% (EU Regulation 2018/1999, the draft "European Climate Law", the plan "Fit for 55", etc.).

The legislative, normative-legal and object-subject contexts of modern development of DHS in the process of EnT and GrT are generalized. The key role of the DHS as a powerful tool for achieving the GrT, its targets for 2030 and 2050, building an energy-efficient and climate-neutral economy is shown. The inefficiency of the thermal monopoly in housing and communal services is discussed.

On the example of apartment in an multifamily residential (Kyiv) it is shown that the difference between tariffs for thermal energy (TE) and electricity (EE) for the services of KP KTE is insignificant – 16,5% (1,42 ₴ / kWh TE against 1,68 ₴ / kWh EE). Given this and the priority of carbon-free energy, there are a lot of questions about the optimization of the type of DHS of Ukraine.

Conclusion. Although innovative DHW technologies are key in decarbonizing Ukraine's economy, they need some adjustment to increase efficiency,

reduce GHG emissions and significantly increase the share of RES in final energy consumption.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ РЕГУЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВИХ ПАЛЬНИКІВ З АСИМЕТРИЧНИМ ПАЛИВОРОЗПОДІЛОМ

Фіалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковський Ю.В., Меранова Н.О.,
Альошко С.О., Рокитько К.В., Полозенко Н.П., Юрчук В.Л.,
Малецька О.Є., Абдулін М.З.

1 – Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, вул. М. Капніст, 2а,
тел. +38(044)456-91-71, nmfialko@ukr.net

2 – НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, 03056 м. Київ, пр. Перемоги, 37

Мета роботи. Аналіз ефективності різних способів впливу на характеристики мікрофакельних пальників з асиметричним паливорозподілом, орієнтованих на експлуатацію при відносно високих значеннях коефіцієнтів надлишку повітря.

Результати. Розглядалися різні способи впливу на основні характеристики досліджуваних пальників, а саме, співвідношення витрат первинного і вторинного повітря, місце подачі вторинного повітря, геометричні параметри системи паливорозподілу тощо. Особлива увага приділялася аналізу характеристик робочих процесів даних пальників за умови варіювання значень коефіцієнта надлишку повітря.

За результатами досліджень здійснено вибір раціональної величини співвідношення витрат первинного і вторинного повітря, яке відповідає покращеним енергоекологічним характеристикам пальників. Вказане співвідношення регулювалося відповідним співвідношенням ширини пристіночних і міжстабілізаторного каналів H_1/H_2 . Показано, що за умов, які розглядаються, вказані співвідношення є однаковими при всіх величинах коефіцієнта надлишку повітря і відповідають значенню H_1/H_2 , що дорівнює 0,8.

Виконано порівняльний аналіз характеристик робочого процесу досліджуваних пальників при варіюванні місця подачі вторинного повітря в зону горіння. Останнє регулювалося шляхом зміни довжини закріпка L3, встановленого на торцевій поверхні стабілізатора полум'я. Показано, що координата місця подачі у полум'я вторинного повітря має перевищувати певну величину, яка за даних умов становить $60 \cdot 10^{-3}$ м.

Встановлено залежність основних характеристик досліджуваних пальникових пристроїв від параметра системи паливорозподілу L_1 , яким визначається розташування газоподавальних отворів відносно зривної кромки стабілізатора полум'я. Показано, що для забезпечення високої ефективності пальників величина L_1 має становити $(20 \dots 30) \cdot 10^{-3}$ м у досліджуваному діапазоні зміни загального коефіцієнта надлишку повітря.

Висновки. Встановлено залежність характеристик робочих процесів пальників з асиметричним паливорозподілом від співвідношення витрат

первинного і вторинного повітря, місця подачі вторинного повітря та параметра, яким визначається розташування газоподавальних отворів.

ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛООБМІННОЇ ПОВЕРХНІ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

Фіалко Н.М., Степанова А.І. (доповідач), Навродська Р.О., Шевчук С.І., Сбродова Г.А.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-58, nmfialko@ukr.net

Мета роботи. Провести аналіз алгоритмів оптимізації, що застосовуються в теорії планування експерименту, встановити можливість їх використання для оптимізації геометричних параметрів поверхні теплообміну водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів скловарних печей і визначити оптимальні значення геометричних параметрів.

Результати. Розглядалися теплоутилізатори, що використовують теплоту відхідних газів скловарних печей для нагріву води систем опалення та підігріву холодного повітря перед надходженням його в регенератори печі. Для оптимізації геометричних параметрів теплообмінної поверхні теплоутилізаторів розроблена комплексна методика з використанням алгоритмів оптимізації, що застосовуються в теорії планування експерименту. Отримано рівняння регресії в кодових і фізичних змінних для водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів з шаховим та коридорним розтошуванням труб. Розглянуто можливість використання для оптимізації геометричних параметрів поверхні теплообміну теплоутилізаторів алгоритмів теорії планування експерименту: методу крутого сходження Бокса-Уїлсона і методу канонічних перетворень. Для оптимізації геометричних параметрів теплообмінної поверхні повітрогрійного теплоутилізатора використано метод крутого сходження Бокса-Уїлсона, водогрійного – метод канонічних перетворень. Для водогрійного теплоутилізатора отримано відповідні рівняння регресії в канонічній формі, побудовано і проаналізовано контурні криві в області оптимуму. Визначено оптимальні значення геометричних параметрів поверхні теплообміну водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів.

Висновки. Проведено аналіз алгоритмів оптимізації, що застосовуються в теорії планування експерименту, і показано можливість використання методу крутого сходження Бокса-Уїлсона для оптимізації повітрогрійного теплоутилізатора і методу канонічних перетворень – для оптимізації водогрійного теплоутилізатора. Визначено оптимальні значення геометричних параметрів поверхні теплообміну водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів.

АНАЛІЗ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОРІВ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

Фіалко Н.М., Степанова А.І. (доповідач), Навродська Р.О.,
Шевчук С.І., Новаковський М.О.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-58, nmfialko@ukr.net

Мета роботи. Визначити оптимальні області зміни геометричних параметрів поверхні теплообміну водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів скловарних печей і провести порівняльний аналіз їх ефективності.

Результати. Проведено дослідження ексергетичної ефективності водогрійного і повітрогрійного панельних теплоутилізаторів, що входять в теплоутилізаційні системи скловарних печей. Водогрійний теплоутилізатор використовується в схемах для нагріву води систем тепlopостачання, повітрогрійний – в схемах для попереднього нагріву дуттєвого повітря, що надходить в регенератори печі. Для визначення оптимальних областей геометричних параметрів поверхні теплообміну теплоутилізаторів та аналізу їх ексергетичної ефективності розроблено комплексну методику, яка включає балансові методи ексергетичного аналізу, статистичні методи теорії планування експерименту і комплексні мультиплікативні критерії оцінки ефективності. За результатами досліджень рекомендовано для використання в теплоутилізаційних схемах теплоутилізатори, для яких оптимальна область зміни відстані між панелями при шаховому і коридорному розташуванні труб в пучку становить 58,0-62,0мм. Для водогрійного теплоутилізатора при коридорному розташуванні труб в пучку рекомендовано оптимальну область зміни діаметра труб 41,0-43,0мм, а для повітрогрійного теплоутилізатора при шаховому і коридорному розташуванні труб – 29,0-31,0мм. Оптимальні області зміни інших параметрів встановлюються з урахуванням додаткових технологічних факторів. Встановлено, що ексергетична ефективність водогрійного теплоутилізатора вище за ексергетичну ефективність повітрогрійного. Так для водогрійного теплоутилізатора значення всіх використовуваних ексергетичних критеріїв оцінки ефективності нижче, ніж для повітрогрійного: k – в 2,0 рази, ε – на 7,5%, m_0 – в 1,9 рази. Застосування повітрогрійного теплоутилізатора в теплоутилізаційних схемах скловарних печей може бути доцільним при наявності додаткових технологічних факторів.

Висновки. Визначено оптимальні області зміни геометричних параметрів поверхні теплообміну водогрійного та повітрогрійного теплоутилізаторів скловарної печі та відповідні критерії оцінки ефективності. Проведено порівняльний аналіз ефективності теплоутилізаторів. Встановлено доцільність застосування досліджуваних теплоутилізаторів в теплоутилізаційних схемах скловарних печей з урахуванням отриманих результатів і додаткових технологічних факторів.

ТЕХНОЛОГІЇ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Демченко Володимир Володимирович (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України,
тел. (044) 453-28-89, e-mail: vladimirdemcenko71@gmail.com*

Мета роботи — оцінити відомі технології накопичення теплової енергії, дослідити техніко-економічні характеристики та особливості експлуатації систем накопичення енергії.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що скорочення ресурсів викопного палива ведуть до бурхливого розвитку відновлюваної генерації — на 32% зростання у всьому світі до 2040 року. Одночасно включення в паливний баланс відновлюваних джерел енергії має проблеми з точки зору стабільності, надійності та задовільної роботи енергосистеми. Одним із можливих шляхів розв'язання цих проблем є використання технологій накопичення теплової енергії, в першу чергу для управління нестабільними навантаженнями джерела енергії. Технології зберігання в основному поділяються на механічні, хімічні, термічні, електромагнітні та їх поєднання. Впровадження технології накопичення енергії залежить від її розташування, джерела енергії, пов'язаних з цим витрат та впливу на навколишнє середовище. Зберігання енергії допомагає роз'єднати виробництво та попит на енергію скорочення зусиль постійного моніторингу попиту на навантаження. Зберігання пропонує економічні вигоди від скорочення генерації теплової енергії, щоб задовольнити середній попит, а не пікові навантаження. Якісними показниками технології зберігання теплоти є вартість енергії, щільність потужності, питома потужність, ефективність, тривалість циклу зберігання, капітальні витрати, вплив на навколишнє середовище тощо. Головним параметром залишається можливість підвищеної надійності та довговічності системи теплопостачання.

Висновки. Системи зберігання теплової енергії є основними напрямками підвищення ефективності та покращення існуючих систем теплової генерації, а також для системи відновлюваних джерел енергії. Впровадження технологій зберігання теплоти забезпечує чітке управління та якісне регулювання потужності тепломережі. Найбільш розповсюджені наразі термічні технології прямого та латентного зберігання енергії. Застосування інших системи зберігання, а саме — накопичення енергії біомаси, гравітаційне зберігання, хімічні та термохімічні акумулятори, ще належить вивчати. Для розвитку зберігання енергії необхідно докладати постійних зусиль для вдосконалення наявних та розроблення нових технологій. Здобутки систем накопичення енергії значною мірою обумовлені вимогами до застосування, а також політикою, стандартами та правилами, які мусять бути адаптовані для їх використання в Україні.

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В МОБІЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРАХ

Демченко Володимир Георгійович, Коник Аліна Василівна (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-89,
e-mail: Alina_tds@ukr.net*

Метою роботи є створити нові композиції матеріалів з низькотемпературним фазовим переходом, з наступним застосуванням їх в мобільних та стаціонарних теплових акумуляторах.

За результатами попередніх досліджень колективом лабораторії «Процесів та технологій теплозабезпечення» було створено дослідний зразок мобільного теплового акумулятора (МТА) тепловою продуктивністю 0,5 МВт. МТА представляє собою огорожувальну конструкцію контейнерного типу, що розділена на дві секції:

I секція – гідравлічна, в якій встановлено індивідуальний тепловий пункт, систему автоматизації та диспетчеризації процесів, а також додаткове технологічне обладнання;

II секція – теплоакumuляційна, яка складається з ємнісних теплових акумуляторів непрямого нагріву спеціальної конструкції. В МТА теплопродуктивністю 0,5 МВт встановлено 8 ємностей, але їх кількість може змінюватись в залежності від потреби.

Тепловий акумулятор ємнісного типу – це ємність, що має вмотований всередині змієвиковий теплообмінний апарат та встановлену по центру трубу типу «триплекс», що заповнена матеріалом з фазовим переходом. Особливістю даної конструкції є здатність нівелювати температурні розшарування, що виникають по висоті ємності, та подовжувати час акумуляції за рахунок прихованої теплоти, що вивільняється при фазовому переході. Такі ефекти досягаються за рахунок теплових характеристик матеріалу з фазовим переходом, яким заповнено центральну трубу. В лабораторії було проведено комплексні дослідження з вибору відповідного матеріалу. Основними критеріями є – висока теплоємність, незначна вага, здійснення фазового переходу в межах температурного режиму, що відповідає нормам ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», вибухо- та пожежобезпечність, екологічність та доступність придбання. Окремим важливим параметром є збереження теплових характеристик при термоциклуванні.

Висновки. В результаті аналітичних та практичних експериментальних досліджень було обрано – суміш твердих вуглеводнів метанового ряду C36–C55, що має температуру плавлення в межах 65-88°C та питому теплоємність до 4900 Дж/кг·К. В результаті досліджень питомої теплоємності ТАМ при термоциклуванні зміни відбулись в межах від 2 % до 9 %, що свідчить про стабільно високі теплові показники в процесі нагріву та охолодження.

СТВОРЕННЯ БІНАРНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ

Коник Аліна Василівна, Фалько Володимир Юрійович(доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-89,
e-mail: Alina_tds@ukr.net*

Метою роботи є створення нових екологічних композиційних матеріалів з низькотемпературним фазовим переходом, для подальшого їх застосування в мобільних та стаціонарних теплових акумуляторах.

Актуальність. На сьогоднішній день у світі активно розвиваються технології, що дозволяють акумулювати й зберігати теплову енергію. Це пов'язано з розвитком та широким впровадженням відновлювальної енергетики, переформатуванням і подальшим розвитком систем централізованого теплопостачання, та загалом, позитивними змінами що відбуваються в ставленні людства до природи. Широке застосування отримали теплові акумулятори (ТА), принцип роботи яких ґрунтується на широкому використанні теплоаккумуляційних матеріалів (ТАМ) з фазовим переходом, а також на використанні технологій прихованого зберігання теплоти (latent heat storage, LHS). Створення ТАМ – це окрема, галузь промислової енергетики, що активно розвивається. Проводяться комплексні роботи з створення нових композицій з особливими властивостями, розроблюються нові технології отримання цих композицій та конструкції теплообмінних апаратів для їх застосування. Важливі параметри для ТАМ, які потрібно знати для нормальної роботи обладнання – це теплова інерція, корозійна активність, хімічна та термічна стабільність при термоциклуванні, стійкість до нагрівання і переохолодження, густина, діапазон температур застосування, питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності, в'язкість, здатність до спінювання, поверхневий натяг та змочуваність, а також питому щільність енергії, що запасується.

Колективом лабораторії «Процесів та технологій теплозабезпечення» проведено експериментальні дослідження на лабораторному обладнанні при створенні ТАМ з низькотемпературним фазовим переходом. В результаті досліджень було створено композицію гідрогелей з речовин природнього походження, що в процесі термоциклування зберігають свої властивості на протязі більше 6500 годин роботи. Одержана композиція пройшла натурні випробування в лабораторних умовах та на дослідному зразку мобільного ТА, що знаходиться за адресою м. Київ, М. Капніст 2а.

Висновки. В результаті проведених пошукових робіт отримано бінарну композицію гідрогелей, яка дозволяє підвищити інтенсивність теплообміну, зменшити енергетичні витрати на перенесення теплоти (холоду) та значно підвищити теплоаккумулявальну здатність при зберіганні енергії. В ході експериментальних досліджень зафіксовано зменшення розходу палива та витрат електричної енергії на виробництво та зберігання 1,0 Гкал теплоти на 14 % у порівнянні зі звичайною водою.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОПАЛЕННЯ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ХОЛОДНОЇ ЕНЕРГІЇ

Макаренко Людмила Андріївна (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-89,
e-mail: mala62@i.ua*

Мета роботи – обґрунтування можливості застосування систем централізованого опалення для постачання холоду споживачам.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що протягом останніх років централізоване охолодження широко використовується як енергоефективне рішення в районах з високою щільністю забудови. Охолодження повітря є одним із основних факторів, що сприяють споживанню електроенергії. У всьому світі швидко зростаючий попит на охолодження повітря стане головним фактором майбутнього зростання попиту на електроенергію в будівлях з 10% у 2018 році до 37% до 2050 року. У сценарії ефективного охолодження попит на енергію від охолодження можна скоротити на 45%, що дозволяє економити енергію та зменшити викиди вуглецю.

У системі центрального охолодження холод (найчастіше у формі охолодженої води), виробляється на централізованому заводі і розподіляється по кількох будинках через трубопровідну мережу. Це позбавляє від необхідності в холодильних установках та градирнях у кожній будівлі, а отже, знижує вартість будівництва та економить більше місця для комерційного або промислового використання. Зберігання холодної енергії, як правило, включається в централізоване охолодження, щоб скористатися недорогою непіковою електроенергією та пом'якшити часовий дисбаланс охолоджуючого навантаження.

В результаті аналітичних досліджень було встановлено, що лід є найпоширенішим середовищем для зберігання холодної енергії, яке використовується за рахунок перекачування талої води безпосередньо в розподільну мережу або обміну теплом із зворотною охолодженою водою. Матеріали з фазовим переходом (PCM) на водній основі можуть ефективно застосовуватися для заміни охолодженої води. Вони мають високу ефективність виробництва холоду, добре контрольовану тверду фракцію та регульовану температуру зміни фаз у широкому діапазоні.

Висновки. Системи зберігання можуть суттєво зменшити розмір установки та збільшити охолоджувальну здатність порівняно зі сховищем охолодженої води. Система розподілу холоду на основі суспензії PCM може бути легко адаптована до існуючого контуру циркуляції за допомогою теплообмінного обладнання, розташованого у кожній будівлі. У нових будівлях циркуляція суспензії PCM через систему кондиціонування повітря приводить до зменшення розмірів трубопроводів та витрат електроенергії на перекачування теплоносія в будівлі.

ПРОЦЕС ПЛАВЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ В СИСТЕМІ ЗБЕРІГАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Погорєлова Наталія Дмитрівна (доповідач)

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-89,

e-mail: n.pogorelova@i.ua

Метою роботи є проведення досліджень з оптимізації акумуляційного теплового обладнання та вибору найбільш раціональних композицій матеріалів для зберігання теплової енергії.

За результатами проведених досліджень приходимо до висновку, що розвиток систем накопичення теплової енергії є можливим рішенням у пошуку зменшення різниці між попитом та пропозицією енергії. У цьому контексті перевірено здатність деяких матеріалів, так званих матеріалів із фазовою зміною (PCM), поглинати та виділяти велику кількість енергії за певний період та умов експлуатації. Однак, слід зазначити, що застосування цих матеріалів є обмеженим через низьку теплопровідність. Отже, необхідно асоціювати їх з матеріалами з високою теплопровідністю, такими, як метали. Це зробить можливим контроль часу поглинання та видачі теплоти. Маючи це на увазі, у роботі проведений чисельний аналіз процесу плавлення PCM у міжтрубному просторі теплообміннику з оребреною металевією трубою, що дозволяє передавати тепло між нагрівальною рідиною (водою) та матеріалом з фазовим переходом.

Виконано аналіз температурних полів, фракцій рідини та швидкостей, а також фазового переходу, який дав можливість описати процес заряджання акумуляційного матеріалу. Результати порівнювалися з експериментальними даними, отриманими на стенді №5 лабораторії «Процесів та технологій теплозабезпечення» ІТТФ НАНУ із середньою похибкою менше ніж 10%. Загальний необхідний час для повного розплавлення PCM становив близько 105,5 хв при введенні теплоносія і швидкості потоку 6,3 л/хв і температурі 90 °С. Було помічено, що прихована енергія, що накопичилася в процесі плавлення, становила 1330 кДж, тоді як накопичена чутлива енергія становила 835 кДж.

Висновки. На підставі проведених аналітичних та практичних експериментальних досліджень трьох різних парафінів природного походження було обрано суміш твердих вуглеводнів церезин, яка має температуру плавлення 58 °С та питому теплоємність до 4900 Дж/кг·К в діапазоні температур 45-55 °С, 4000 Дж/кг·К в діапазоні 55-80 °С, при подальшому нагріві вона знижується до 2000 Дж/кг·К. Після проведених 132 циклів нагріву/охолодження питома теплоємність змінилася на 2 %, що знаходиться в межах допустимої похибки приладу вимірювання, це свідчить про стабільно високі показники обраного PCM.

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ БУНКЕРУ ЦИКЛОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Хоменко Марина Василівна

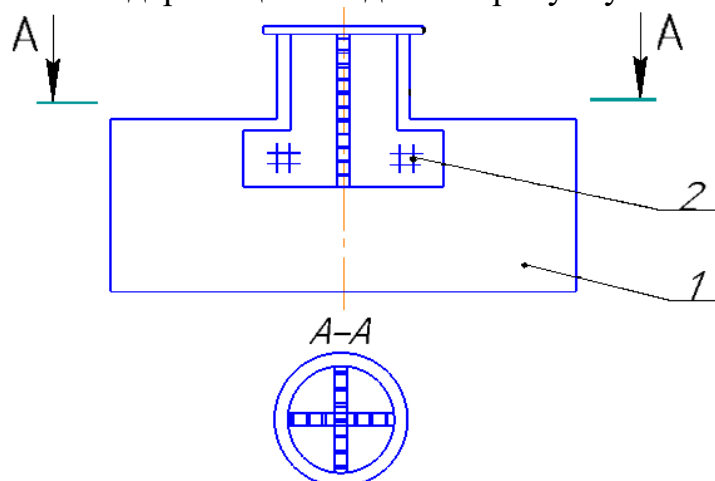
Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-89,

e-mail: kh_maryna@ukr.net

Метою роботи є розроблення модернізації для вже відомих конструкцій бункерів для циклонного обладнання, щоб збільшити ефективність їх роботи.

За результатами попередніх досліджень було визначено, що мало важливий вплив на результат роботи циклону має конструкція бункеру. Оскільки внаслідок закрученого потоку, що спускається до низу циклону та його частини, що потрапляє до бункера, відбувається виніс частинок з нього та повернення їх в потік вже очищеного повітря. Від цього зменшуються показники очищення на виході й таким чином зменшується ефективності роботи циклонного обладнання.

Тому було запропоновано модернізувати конструкцію бункеру для циклону шляхом встановлення двох решіток перпендикулярно одна відносно одної в штуцері та бункері так, щоб вони не діставали до стінок та днища бункеру. Схема модернізації наведена на рисунку 1.



1 – конструкція бункеру; 2 – встановлені сітки
Рисунок 1 – Схема модернізації конструкції бункеру

Внаслідок модернізації закручений потік повітря, що спускатиметься до вниз буде гальмуватися об сітки, тобто зменшуватиметься турбулізація процесу і кількість винесених частинок з бункера стане менша. Осадженню частинок в бункері сітки заважати не будуть.

Висновки. В результаті запропонованої модернізації збільшиться показник очищення потоку повітря на 20%, що в свою чергу показує збільшення ефективності роботи циклону. Відповідні слова підтверджені патентним бюро України у вигляді виданого сертифікату про затвердження патенту.

ВПЛИВ ЗАМІЩЕННЯ ЧАСТИНИ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ ПІРОЛІЗНИМИ ГАЗАМИ НА ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ КОТЛА ТПП 312 ПРИ ЙОГО РОБОТІ НА ПОНИЖЕНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Кобзар Сергій Григорович

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 453-28-53,

e-mail: skobzar@ukr.net

Мета роботи – оцінити вплив на екологічні та технологічні показники котла ТПП 312 сумісного спалювання вугільного пилу та продуктів піролізу біомаси при роботі котла на понижених навантаженнях.

Результати роботи. Розрахунки полів температури та концентрацій в середині котла ТПП 312 при подачі продуктів піролізу біомаси з первинним повітрям рівномірно крізь всі пальники, що знаходяться в роботі показали що спостерігається збільшення теплового потоку крізь дно топки і існує можливість розширити нижню межу роботи котла до навантаження у 170 МВт_е.

Заміщення частки вугілля на продукти піролізу біомаси не призводить до зменшення генерації оксидів азоту. Навпаки спостерігається незначне зростання емісії оксидів азоту зі збільшенням частки піролізних газів для навантажень 210 – 170 МВт_е. Цей факт пояснюється тим що при зменшенні утворення оксидів азоту за паливним механізмом, в наслідок заміни частини вугілля газами, що не містять в собі паливного азоту спостерігається збільшення утворення частки оксидів азоту за термічним та швидким механізмами. Збільшення утворення оксидів азоту за термічним механізмом пояснюється збільшенням зони температурного вікна 1100 – 1500К в об'ємі топки котла в наслідок затягування горіння оксиду вуглецю, що міститься у піролізних газах та потребує більшого часу перебування для повного згоряння. Даний факт також пояснює збільшення втрат палива.

Збільшення генерації оксидів азоту при заміщенні частини вугілля на продукти піролізу біомаси певною мірою пов'язано з присутністю водню в піролізних газах. Водень має високу реакційну спроможність, що веде до миттєвого згоряння при потраплянні в топку котла з локальним підвищенням температур в зонах, що збагачені киснем.

Висновок. Заміна частини вугілля продуктами піролізу біомаси при роботі котла ТПП 312 на понижених навантаженнях дозволяє забезпечити стабільну роботу котла при зниженні навантаження до 170 МВт_е, але разом з цим погіршує його екологічні та економічні характеристики.

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ОСУШЕННЯ ТУНЕЛЬНОГО ПОВІТРЯ КП «КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»

Дейнеко Андрій Іванович (доповідач), Дядюшко Є.В., Захаров С.М.

Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (044) 453-28-60, e-mail: kruk_2@ukr.net

Фактичне значення пасажиропотоку КП «Київський метрополітен» (1,7 млн. осіб за добу) більше проектного майже в два рази, крім того, додаткові джерела вологи (миття підлоги станцій, тунелів і т.п.) є причинами зростання вологості повітря тунелів глибокого залягання (ТЗГ) вище нормованого значення 75%. Внаслідок чого, значно пришвидшуються процеси руйнування оправи стінок тунелів, корозії дорогого обладнання системи електропостачання, погіршення електричних властивостей ізоляційних матеріалів контактної рейси.

Метою роботи є аналіз шляхів зниження вологості повітря в ТЗГ метрополітену, обґрунтування і вибір для практичної реалізації шляху з меншою витратою електричної енергії при його експлуатації.

Результати роботи. Шлях 1 – зниження відносної вологості тунельного повітря способом збільшення кратності вентиляції тунелів повітрям з меншою абсолютною вологістю за рахунок встановлення додаткового вентиляційного агрегату Zitron 146 та засобів спрямування повітряного потоку в тунель у напрямку ст. м. Хрещатик призведе до збільшення витрати потоку тунельного повітря, стане 30 кг/с і відносна вологість знизиться на 5 %. Для реалізації даного способу необхідна додаткова електрична потужність 40 кВт. Встановлено, що навіть значне збільшення витрати потоку тунельного повітря від 21 кг/с до 40 кг/с на ділянці в напрямку до ст. м. Хрещатик призведе до зниження вологості повітря лише від 2,5 до 5 %.

Шлях 2 - при способі осушення тунельного повітря додатковою машиною осушування повітря, можна знизити відносну вологість на (12...14) % та забезпечувати дотримання нормованої вологості 75 %. Проте, реалізація даного способу є енергозатратною у порівнянні з реалізацією способу збільшенням повітрообміну, оскільки для осушення необхідна затрата електричної потужності становить близько 212 кВт·год.

Висновок. За результатами дослідження для КП «Київський метрополітен» рекомендовано шлях 3 - спосіб нагрівання тунельного повітря додатково встановленою тепловою гарматою з нагрівачем потужністю 40 кВт на базі електричних ТЕНів, що призведе до нагрівання тунельного повітря з одночасним зниженням відносної вологості на (7...11) %, підтриманню 17°C в ґрунті навколо тунелю та уникнення його охолодження в майбутньому. Практична реалізація способу нагрівання тунельного повітря потребує затрати електричної потужності близько 60 кВт·год.

РОЗГЛЯД МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ УСТАНОВКИ З ПЕРЕРОБКИ СМІТТЯ ПІРОЛІЗОМ

Волошина Ірина Вікторівна

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. М. Капніст 2а, Київ, 03680, Україна, тел. (044) 453-29-93

Установки зі спалювання сміття піролізом повинні мати функції зміни витрат вихідних матеріалів, регулювання температури та тиску в камері, де проходить реакція окислення ТПВ. Зміною цих параметрів треба добиватися повноти згоряння ТПВ, а також щоб гази, що відходять з такої установки містили якомога менше шкідливих для довкілля компонентів. Це перед усім діоксини (NO_2 , CO_2 , SO_2 та деякі інші), а також складні вуглеводи.

Також необхідне попереднє сортування сміття, що містить пластики, тому що далеко не всі пластики можна і достатньо переробляти піролізом, а також важливим є те, з чим саме спалюватиметься пластик.

Далі для кожної такої установки з врахуванням особливостей її будови та функціонування потрібно мати діаграми режимів її роботи в залежності від вище зазначених параметрів. В залежності від даних, отриманих з їх допомогою, вибирати оптимальні режими роботи на тому чи іншому виді сміття, що підлягає утилізації. Такі діаграми розраховуються теоретично та перевіряються експериментально перед запуском установки. Всі ці розрахунки можна автоматизувати.

Для таких розрахунків складається перелік основних реакцій, що в основному проходять в камері з урахуванням констант їх швидкостей. Далі розраховуються концентрації основних складових в залежності від тиску в камері та їх зміни в процесі піролізу. На основі цих даних і складаються можливі діаграми процесів згоряння. Вибір оптимального режиму піролізу ТПВ, це вже результат якості автоматизації.

Секція №6 Енергоефективність будівель

ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОВІТРЯ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

**Гончаров Павло Васильович (доповідач)¹, Міходуй О.Л.¹,
Гончарова О.М., Набок Т.М.¹, Чалаєв Д.М.², Грабова Т.Л.²,
Базєєв Р.Є.², Ковальов В.І.², Посунько Д.В.²**

*1 – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03150, Україна, тел. +38(044)205-21-17,
e-mail: goncharov.pavlo@gmail.com;*

2 – Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. М. Капніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна, тел. +38(044) 424-98-86, e-mail: htplab@ukr.net

Мета роботи. Розроблення устаткування для очищення повітря від аеродисперсної патогенної мікрофлори в системах централізованої вентиляції і кондиціонування громадських будівель.

Результати. Загальносвітова ситуація з коронавірусом SARS-CoV-2 показала, що в умовах пандемії централізовані припливно-витяжні вентиляційні системи повітряного опалення, вентиляції та кондиціонування не тільки не захищають від зараження, але і сприяють поширенню патогенних мікрофлори. Так потрапляння в вентиляційний канал вірусу з одного приміщення призводить до зараження всього обсягу повітря, яке циркулює в будівлі.

Ефективним методом знезараження повітря є деструкція аеродисперсної патогенної мікрофлори за допомогою плазмохімічних і фотокаталітичних фільтрів, але існуючі знезаражувачі цього типу не можуть бути використані в діючих системах централізованої вентиляції і кондиціонування будівель, тому що застосовувана в них система фільтрації має великий аеродинамічний опір проходу повітря.

В роботі на основі фізичного моделювання процесів плазмової і фотокаталітичної обробки повітря оптимізовано геометрію каталітичних фільтрів з високорозвиненою поверхнею і малим аеродинамічним опором. Відпрацьовано методики нанесення нанорозмірного каталізатора на різні матриці-носії і дослідження їх фотокаталітичної активності і стабільності в умовах іонізації і ультрафіолетового опромінювання.

На даний час проводяться тестові випробування на експериментальному стенді з проточно-циркуляційними реакторами плазмохімічної і фотокаталітичної обробки повітря для дослідження кінетики процесу дезактивації санітарно-показових мікроорганізмів в різних аеродинамічних умовах.

Висновки. Запропоновано технічне рішення апаратів фотокаталітичного і плазмохімічного знезараження повітря з низьким аеродинамічним опором системи фільтрації, що дозволить встановлювати такі очисники в центральні вентиляційні канали діючих систем кондиціонування без реконструкції системи. Питомі енерговитрати на знезараження повітря не перевищують $0,5 \text{ Вт/м}^3$.

РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ В БЕТОННІЙ ФАСАДНІЙ СТІНІ БУДИНКУ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД РОКУ

Басок Б.І., Давиденко Б.В. (доповідач), Новіков В.Г., Лисенко О.М.

Інститут технічної теплофізики НАН України, тел.: (044) 424-96-47, (044) 424-96-44; e-mail: basok@ittf.kiev.ua, bdavydenko@ukr.net, nvg52@i.ua, lisenko_oks@ukr.net

Мета роботи полягає у визначенні впливу температурного режиму стінової конструкції будівлі на її механічні деформації і напружений стан. Під впливом зовнішніх та внутрішніх кліматичних умов, температурний режим будівлі змінюється у часі, що призводить до виникнення механічних деформацій стін і утворення температурних напружень. Їх наслідком може бути пошкодження зовнішніх поверхонь огорож, що мають вигляд тріщин, які не тільки псують зовнішній вигляд будівлі, але можуть знижувати конструктивну надійність і стійкість будівлі.

Результати роботи. Для визначення впливу температурного режиму стінової конструкції будівлі на її напружений стан виконується чисельне моделювання процесів теплоперенесення через стінову конструкцію. За результатами визначення розподілів температури в об'ємі стіни розв'язується задача щодо визначення температурних деформацій та механічних напружень в стіновій конструкції в залежності від кліматичних умов. В результаті одержуються розподіли температури в стіновій фасадній панелі, а також нормальні і дотикові механічні напруження, що в ній виникають. За результатами чисельних досліджень визначено, що на внутрішній поверхні стіни нормальні напруження мають як негативні (стискаючі), так і позитивні (розтягуючі) значення. На зовнішній поверхні стіни нормальні напруження переважно позитивні. Максимальних значень ці напруження досягають в області кутових точок віконного прорізу.

Відомим методом зменшення втрат теплоти через огорожувальні конструкції є нанесення шару теплоізоляційного матеріалу на зовнішню поверхню огорож. Як показують результати чисельних досліджень, теплоізоляційний шар сприяє підвищенню температури стіни в зимовий період року і зменшенню температурних деформацій та напружень.

Висновок. Встановлення теплоізоляційного шару на зовнішній поверхні огорожувальних конструкцій сприяє зменшенню позитивних термічних напружень на зовнішній поверхні стіни. Значення нормальних напружень на зовнішній на внутрішній поверхнях стіни не тільки зменшуються, але на ряді ділянок можуть змінюватися з позитивних на негативні.

ЕНЕРГОРЕКОНСТРУКЦІЯ ІСТОРИЧНОЇ ЗАБУДОВИ ОДЕСИ – ЯК МОЖЛИВІСТЬ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНОГО МІСТОБУДІВНОГО СЕРЕДОВИЩА

Постернак І.М.¹, Постернак С.О.², Постернак О.С.¹

1 – Одеська державна академія будівництва та архітектури;

2 – ПП «Композит», м. Одеса

Мета. Управління енергорозвитком організації виробництва на об'єктах історичної забудови Одеси має на меті забезпечити погоджену, безперебійну, ритмічну роботу всіх учасників будівельного процесу, і як результат скорочення термінів енергореконструкції.

У містобудуванні проявляється тенденція до інтеграції, як у сфері матеріального виробництва, так і в сфері управління. Розширене відтворення вимагає подальшого підвищення рівня поділу праці, концентрації й спеціалізації будівельного виробництва, інтенсифікації обміну результатами виробничо-господарської діяльності. У якості однієї з перспективних форм інтеграції виступають у містобудівній структурі різні комплекси. У процесі формування планів соціального й економічного розвитку великих міст всі частіше складається ситуація, коли для підвищення ефективності використовуваних фінансових, матеріальних і трудових ресурсів потрібна не просто концентрація зусиль, але й нові прогресивні форми організації

будівельного виробництва. Нами пропонується створити корпоративні комплекси, що мають різні масштаби, мети, структуру (у містобудівній реконструкції – Корпоративні науково-технічні комплекси містобудівної енергореконструкції "КНТК МЕРек").

Однією з найбільш важливих функцій управління розвитком комплексу містобудівної реконструкції є забезпечення апарата управління науково-технічною енергоефективною інформацією по енергореконструкції (реставрації) історичної забудови. Наявність такої інформації дозволить на кожному етапі (концептуальному, організації фінансування, проектному, організації й проведення будівельно-монтажних і реставраційних робіт) найбільше повно і якісно визначати напрямки розвитку й реалізовувати поставлені цілі.

Висновки. Виділені по підсистемах виробництва функції управління енергорозвитком включають управління технічним, організаційним, економічним і соціальним розвитком. Необхідна комплексна реалізація цих функцій (закон пропорційності). Досвід показує, що однобічний розвиток не дає відчутного ефекту, якщо не супроводжується відповідним розвитком пов'язаних з ним інших підсистем. Розвиток форм організації виробничих підрозділів спрямований на розширення й доцільне сполучення спеціалізації, комбінування й концентрації.

ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ И ТЕПЛООБМЕНА В УЗКОМ КАНАЛЕ МЕЖСТЕКЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА В СОВРЕМЕННЫХ СТЕКЛОПАКЕТАХ

Басок Б.И., Давыденко Б.В., Новиков В.Г.

Институт технической теплофизики НАН Украины

Основная цель работы заключается в том, чтобы посредством численного моделирования провести исследование естественно конвективного движения воздуха в узком канале межстекольного пространства однокамерного стеклопакета и оценить термические характеристики стеклопакета.

Показано, что циклический режим течения воздуха в виде восходящего и нисходящего пограничных слоев при определенных условиях в зависимости от ширины канала, поперечного градиента температуры, угла наклона и высоты канала, теряет устойчивость и переходит в вихревой режим. Исследования позволили установить критические значения числа Рэлея (Ra), при которых наступает изменение режима течения воздуха в межстекольном пространстве стеклопакета. В ходе моделирования установлены значения термического сопротивления центральной части однокамерного стеклопакета в зависимости от ширины, угла наклона и поперечного градиента температуры стеклопакета.

В результате двухмерного численного моделирования определена зависимость изменения режима естественно конвективного движения возду-

ха в узком канале межстекольного пространства центральной части однокамерного стеклопакета. Показано, что циклический режим течения воздуха в виде восходящего и нисходящего пограничных слоев при определенных условиях в зависимости от ширины канала, поперечного градиента температуры, угла наклона и высоты канала, теряет устойчивость и переходит в вихревой режим.

Исследования передачи теплоты через стеклопакет позволили установить критические значения числа Рэлея (Ra), при которых наступает изменение режима течения воздуха в межстекольном пространстве стеклопакета. В данном случае, речь идет об определенном интервале значений числа Рэлея: $6.07 \cdot 10^3 < Ra < 6.7 \cdot 10^3$.

В ходе моделирования установлены значения термического сопротивления центральной части однокамерного стеклопакета в зависимости от ширины, высоты, угла наклона и поперечного градиента температуры стеклопакета. Показано, что значения термического сопротивления, рассчитанного по одномерным алгоритмам на $8 \div 24\%$, отличаются от соответствующих значений, полученных в двухмерной постановке. Однако, в случае предварительных расчетов одномерные решения вполне приемлемы, так как показывают более низкие значения.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ БУДИНКИ ПАСИВНОГО ТИПУ

Басок Б.І., Беляева Т.Г., Хибина Марина Анатоліївна

Інститут технічної теплофізики НАН України, 03680, Київ 57, вул. М. Канніст, 2а, факс/тел.: 456-60-91/424-96-47, e-mail: basok@ittf.kiev.ua, tatgbel@ukr.net, mkhibina@ukr.net

Найбільш узагальнене означення для терміну пасивний будинок - це енергоефективний будівельний стандарт, який створює комфортні умови проживання, одночасно є економічним і створює мінімальний негативний вплив на довкілля. Тисячі об'єктів пасивного будівництва зводяться у всьому світі. Причина такого успіху полягає в тому, що стандарти пасивного будинку чітко визначені, діють у всіх кліматичних зонах та забезпечують мінімальне споживання енергії. Проте, хоча принципи пасивного будинку універсальні, але деталі мають бути адаптовані до конкретного клімату. Витрати енергії на опалення та охолодження пасивного будинку на 80 відсотків нижче, ніж у звичайних будівлях. В умовах зростання цін на енергоносії це робить пасивний будинок економічно привабливим варіантом будівництва. Стандарт будівлі пасивного типу є основою для інших типів енергоефективного будівництва, таких як будинки типу «нуль енергії», екологічні будинки, зелені будинки, «розумні» будинки та ін.

З часів розробки стандарту пасивного будинку (1988 р.) [1] Інститут пасивного будинку (м. Дармштадт, Німеччина) започаткував нові категорії для сертифікації енергоефективних будівель пасивного типу: «Passive House Classic» («Класичний пасивний будинок»), «Passive House Plus» («Пасивний будинок плюс») та «Passive House Premium» («Пасивний бу-

динок преміум»), зосередивши увагу на критерії відновлюваної первинної енергії. Споживання енергії на опалення пасивного будинку, як і раніше, не може перевищувати 15 кВт·год/(м² на рік). Цей критерій залишається незмінним для застосування. Але замість обсягу спожитої первинної енергії використовується обсяг енергії від відновлюваних джерел енергії: для категорії класичний пасивний будинок це значення становить 60 кВт·год/(м² на рік), для пасивного будинку плюс – 45 кВт·год/(м² на рік), пасивний будинок преміум – 30 кВт·год/(м² на рік).

Щороку зростає кількість сертифікованих будинків, у інтернет-мережі функціонує база даних для пасивних будинків, яка є спільним проектом Інституту пасивного будинку, Passive House Services GmbH, IG Passive House Germany і Міжнародної асоціації пасивних будинків (IPHA). У базу даних включені проекти готових пасивних будинків та будинків що будуються [2], проводяться дні відкритих дверей [3], коли всі бажаючі можуть завітати до будинків пасивного типу та з перших рук отримати інформацію про досвід проживання, рівень комфорту, про витрати на опалення та про особливості функціонування інших систем будинку (в умовах пандемії заходи проходять онлайн).

ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИ РОЗРАХУНКАХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

Поклонський Віктор Григорович (доповідач), Новак С.В.

*Інститут технічної теплофізики НАНУ, тел. (050) 183-53-09,
e-mail: v.poklonsky@ukr.net*

Розрахунок конструкцій на вогнестійкість повинен відображати їх реальну роботу при спільній дії статичного навантаження і високотемпературних впливів пожежі. Для забезпечення встановлених вимог пожежної безпеки при проектуванні будівельних конструкцій, в частині розрахунків на вогнестійкість, розроблено Єврокоди і відповідні їм національні стандарти. У цих документах наведені методи оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій.

При оцінці вогнестійкості конструкцій уточненими методами розрахунку враховуються всі фактори, які справляють істотний вплив на напружено-деформований стан конструкції при пожежі. Визначають підвищення і поширення температури в конструкції в заданий момент часу (теплотехнічний розрахунок) і механічну поведінку конструкції (статичний розрахунок), при цьому враховується відповідний сценарій пожежі.

Мета роботи. Проведене дослідження мало на меті розробку методики застосування уточненого методу розрахунку на вогнестійкість будівельних конструкцій в програмному комплексі ANSYS, що працюють в умовах стандартного температурного режиму та режиму впливу реального пожежі, з урахуванням реальних властивостей матеріалів, отриманих шляхом аналізу наявних в літературі експериментальних даних і характеристик матеріалів, наведених в Єврокодах.

Результати роботи. Розроблено методику чисельного дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій з урахуванням нестаціонарних полів температур в арматурі і бетоні за стандартним температурним режимом і температурному режимі реального пожежі. На прикладі розрахунку на вогнестійкість залізобетонної плити перекриття проведені розрахунки з реалізацією завдань в програмному комплексі ANSYS. За результатами порівняння теплотехнічних розрахунків в ANSYS з експериментами різниця між ними не перевищує 6%.

Висновок. Моделювання нестаціонарних високотемпературних впливів за стандартним температурним режимом і температурному режимі реальної пожежі будівельних конструкцій шляхом нелінійного кінцево-елементного розрахунку на вогнестійкість за допомогою програмного комплексу ANSYS дає можливість чисельно відтворити результати експерименту і дозволяє досить точно оцінити вогнестійкість будівельних конструкцій.

АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОЇ ВОДЯНОЇ ПІДЛОГИ СУХОГО СПОСОБУ УКЛАДАННЯ НА ОСНОВІ ТЕПЛОФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Басок Б.І., Новіцька Марина Павлівна (доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424-98-80,
e-mail: mmarina@ukr.net*

Використання систем підлогового опалення широко поширюється в Україні та світі. В теперішній час існує два типи таких систем, це традиційна система підлогового опалення та система підлогового опалення сухого монтажу. В традиційних системах, труби системи опалення розташовані в прошарку цементно-піщаної стяжки, що лежить на утеплювачі та покривається фінішним покриттям. А в системах сухого монтажу цементно-піщана стяжка не використовується.

Мета. Метою цієї роботи є проведення теоретичних досліджень теплотехнічних параметрів системи теплої водяної підлоги сухого способу укладання.

Результати роботи В роботі виконано числове моделювання процесів теплообміну між теплоносієм (водою) та повітрям над фрагментом системи. Розрахунок проводився на основі системи рівнянь імпульсу і енергії. Система диференціальних рівнянь, що характеризують процес теплообміну і гідродинаміки в системі водяного підлогового опалення, включає в себе рівняння нерозривності, руху і енергії для рідини, а також рівняння теплопровідності для і-го шару підлоги. В роботі аналізується вплив таких параметрів як товщина теплоізоляції, витрата теплоносія, температура теплоносія. Приведено два варіанти типу фінішного покриття керамічна плитка та ламінат.

Висновки

Аналізуючи дані досліджень зроблено наступні висновки: збільшен-

ня вдвічі витрати теплоносія за інших рівних умов збільшує тепловий потік із одиниці поверхні системи підлогового опалення на 13% при використанні керамічної плитки і 10% при використанні ламінату у якості фінішного покриття.

Із збільшенням вдвічі товщини теплоізоляції під системою (з 40мм до 80мм) тепловий потік з поверхні підлоги збільшується на 4% та 1,6% за умови однакової температури на нижній границі області розрахунку.

Алюмінієва теплорозподільна пластина суттєво впливає на теплообмінні процеси в системі. Завдяки алюмінієвим теплорозподільним пластинам відбувається вирівнювання теплового потоку в площині поверхні підлоги, що позитивно впливає на тепловий розподіл та зменшує термічні напруження в фінішному покритті.

ТЕРМОВОЛОГІСНІ ПАРАМЕТРИ ПОВІТРЯ В СИСТЕМІ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Недбайло Олександр Миколайович (доповідач), Басок Б.І.

*Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України,
вул. Булаховського, 2, Київ, Україна, тел. +380633252220, e-mail: nan_sashulya@ukr.net*

Останнім часом велика кількість наукових досліджень присвячена вивченню та вдосконаленню технологій використання теплового потенціалу ґрунту для потреб опалення і кондиціонування приміщень.

Метою роботи є експериментальні дослідження основних теплотехнічних параметрів повітряно – ґрунтового П – подібного теплообмінника (ПГТО) системи геотермальної вентиляції енергоефективного будинку в процесі її цілорічної експлуатації.

Експериментальний стенд із дослідження енергоефективності геотермальної вентиляції складається з приймального пристрою, що розташований в захищеному від прямого впливу інсоляції місці; трубопроводу П-подібної конструкції Ø110 мм, виготовленого з НПВХ, що заглиблений на 2,2 м в ґрунтовому масиві; осьового вентилятора Вентс ТТ200 для прокачування повітря по ПГТО та системі вентиляції будинку, а також вимірної системи: термоанемометра Testo 405-V1, напівпровідникових датчиків ВМЕ280, що реєструють температуру, відносну вологість і тиск повітря із вторинними приладами на основі мікроконтролерів АТМЕГА-328.

Дослідження проводились протягом періоду з 20 березня по 18 квітня 2020 р. Експеримент тривав цілодобово із фіксацією значень температури та відносної вологості повітря кожні 10 хв. Швидкість повітря в ПГТО при цьому складала 5,5 м/с, що відповідала об'ємній витраті 37 дм³/с.

Експериментальні дані показують, що добові коливання температури повітря на вході до ПГТО практично не впливають на значення температури на виході з нього. Це пояснюється тим, що теплообмінник має значну площу теплообмінної поверхні. Це повністю зодовільняє його ефективне призначення.

Конденсатоутворення із зовнішнього повітря мало місце у весняний період експлуатації ПГТО, коли значення середньої добової температури зовнішнього повітря майже співпадали із такими для ґрунтового масиву поблизу теплообмінника. При цьому відносна вологість вентиляційного повітря здебільшого перевищувала (на 20 - 25%) таку зовнішнього повітря, а в окремі інтервали часу відбувалась конденсація водяної пари (100%) на внутрішній поверхні трубопроводу.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОПЕРЕНЕСЕННЯ ЧЕРЕЗ СТІНОВУ ОГОРОДЖУВАЛЬНУ ТЕПЛОІЗОЛЬОВАНУ КОНСТРУКЦІЮ

Басок Б.І., Мороз М.В.(доповідач)

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, вул. Булаховського, 2,
тел. (044)424-96-47*

Світові тенденції у підвищенні енергетичної ефективності будівель спрямовані на поліпшення теплозахисної здатності зовнішніх огорожувальних конструкцій. Рекламна спрямованість багатьох публікацій і неправдива інформація про фактичні теплотехнічні властивості теплоізоляційних матеріалів та теплоізольованих огорожувальних конструкцій внесли нечіткість в процес оцінки обґрунтованості й оптимальності прийнятих рішень по застосовуванні теплоізоляційних матеріалів та структурі огорожувальних конструкцій (ОК).

Мета роботи полягає у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень теплопередачі через утеплені стінові конструкції в реальних кліматичних умовах їх експлуатації. Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені наступні задачі: проведення експериментальних досліджень полів температури та густини теплового потоку на поверхнях стінових огорожувальних конструкцій; дослідження впливу зовнішніх кліматичних факторів на тепловтрати через стінову огорожувальну конструкцію та на повітряно-температурний внутрішній стан будівлі; проведення моніторингу теплового стану огорожувальних конструкцій термомодернізованої будівлі за умов реального клімату. Протягом декількох років в умовах реального клімату м. Києва було проведено серію експериментальних досліджень теплопередачі через стінову ОК. За допомогою створеного експериментального вимірювального комплексу отримано великий масив експериментальних даних по температурних полях, полях теплового потоку та теплопровідності теплоізоляційних.

Висновки. За отриманими експериментальними даними розраховано тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції на кожній ділянці огорож з окремим утеплювачем та визначено коефіцієнти теплопровідності теплоізоляційного шару конструкції, а також відповідне значення термічного опору. Проведення довготривалих експериментальних досліджень тепловтрат, з врахуванням кліматичних факторів, дозволяє встановити, який тип утеплювальних матеріалів є оптимальним при проведенні термомодернізації будівель в частині стінових ОК. Встановлено, що основною при-

чиною поступової деградації експлуатаційних характеристик теплоізоляційних матеріалів являється вплив факторів навколишнього середовища. З експериментальних результатів видно, що при тривалій експлуатації теплоізоляційного шару, поведінка температурних показників змінюється при однаковій температурі зовнішнього повітря. Це пояснюється вологісним режимом всередині теплоізоляційного матеріалу. Встановлення додаткового шару теплоізоляції на зовнішній поверхні ОК запобігає утворенню конденсату як на поверхні, так і всередині огорожувальних конструкцій.

ПІЛОТНИЙ ПРОЕКТ (СТАРТАП) СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДИМОГАЗОВОГО ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ (ІНСТИТУТ ТЕПЛОФІЗИКИ)

**Кремньов В.О., Жуков Костянтин Леонідович (доповідач),
Тимощенко А.В., Шпільберг Л.Ю.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, тел. (044) 424 1586,
e-mail: kremnev@ukr.net*

Мета роботи. Створення і дослідно-промислове освоєння і демонстрація сталої системи опалення всіх споруд, розташованих на території на основі використання вторинних ресурсів від догляду за лісом у територіально наближеному лісогосподарському підприємстві.

Результати. Розробка виконана стосовно технічних умов території Інституту технічної теплофізики НАН України за адресою: вул. академіка Булаховського, 2.

Технічні умови виконання:

- джерела паливних ресурсів – лісогосподарське підприємство Святошинське, розташоване на відстані 5,5 км;
- наявні споруди, задіяні у проекті: окремо розташована, цегляна однопверхова будівля, площею 160 м², мазутної котельні, яка була споруджена у 1976 році, але не вводилась у експлуатацію через підключення до будівель ІТТФ централізованої системи теплопостачання територія, прилегла до котельні.

Замисел проекту.

Майбутній сценарій передбачає:

- збереження існуючої системи опалення;
- експлуатація нової системи на «умовно постійному» базовому режимі експлуатації з додатковим (за необхідності) використанням централізованого теплопостачання, що, на наш погляд, забезпечить максимальну економію коштів на опалення і одночасно дозволить мінімізувати первинні капітальні витрати завдяки відсутності необхідності встановлення резервного устаткування.

На наш погляд, цей проект забезпечить техніко-економічний, екологічний і демонстраційний ефект і сприятиме поширенню утилізації вторинних паливних ресурсів і заміщенню природного газу.

Висновок. Запропонований пілотний проект за умови його реалізації дозволить на практиці відпрацювати наступні складові проблеми застосування альтернативного палива на основі відходів:

- сталу співпрацю з лісгоспами – постачальниками деревини;
- відпрацювання технології і логістики підготовки палива;
- відпрацювання застосування попередньо висушеної тріски для одержання і очищення генераторного газу і його спалювання у водогрійному опалювальному котлі.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ В КОНДЕНСАТОРІ ТЕПЛОНАСОСНОГО ВОДОНАГРІВАЧА

Добровольський М.П. (доповідач), **Сильнягіна Н.Б., Чалаєв Д.М.**

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна, тел. (044) 424-98-86,
e-mail: super-olesya2807@ukr.net*

Мета роботи. Проведення експериментальних досліджень по визначенню ефективності теплообміну в модернізованому трубчастому конденсаторі теплонасосного водонагрівача “повітря-вода”.

Результати. Дослідження проводилися на експериментальному одноступінчатому парокомпресійному тепловому насосі на базі герметичного компресора ФГрВ 1,75. Як робоче тіло використовувався холодоагент R22. Нагрів води в тепловому насосі здійснюється в удосконаленому водяному конденсаторі, який виконаний у вигляді витого теплообмінника “труба в трубі” з профільованою внутрішньою трубою. Холодоагент рухається по внутрішній профільованій трубі, а вода рухається протитечією у міжтрубному просторі. Трубчастий конденсатор має три робочих ділянки по ходу руху холодоагенту. На початковій ділянці відводиться теплота перегріву парів холодоагенту, на середній ділянці – теплота конденсації холодоагенту і на кінцевій ділянці – теплота переохолодження рідкого холодоагенту. Нагрів води до необхідної температури здійснюється за один прохід через конденсатор. В процесі проведення експериментів фіксувалися такі параметри: споживана потужність електродвигуна компресора; витрати води через конденсатор, температури води на вході і виході з конденсатора, тиск кипіння і конденсації холодоагенту, температури холодоагенту на вході і виході з конденсатора.

В результаті узагальнення дослідних даних визначено величини коефіцієнта теплопередачі в трубчастому конденсаторі нової конструкції, а також отримані емпіричні співвідношення для розрахунку енергетичних характеристик теплонасосного водонагрівача при різних температурних режимах його роботи.

Висновки. Використання в теплонасосному водонагрівачі трубчастого конденсатора з профільованою внутрішньою трубою дозволяє збільшити коефіцієнт теплопередачі в апараті на 15-20% в порівнянні з традиційною гладкотрубною конструкцією і зменшити температурний напір в конденсаторі. За рахунок зниження температурного напору в конденсаторі і

корисного використання теплоти переохолодження холодоагенту досягається збільшення коефіцієнта перетворення теплового насоса на 3-4%.

Дослідження проводяться в рамках цільової програми наукових досліджень НАН України “Науково-технічні проблеми моніторингу стану, оцінювання і подовження ресурсу конструкцій, обладнання та споруд тривалої експлуатації” (Ресурс-3) проект Р 5.11-2021.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ СКЛОПАКЕТУ З ЕЛЕКТРООБІГРІВОМ

Гончарук Світлана Михайлівна (доповідач), Басок Б.І.,
Давиденко Б.В., Кужель Л.М.

Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, Київ, тел. (044)424-96-44,
факс: (044) 424-31-77, e-mail: goncharuk-s@ukr.net

Мета роботи. Провести експериментальні дослідження теплопередачі через світлопрозору огорожувальну конструкцію з електрообігрівом (СОКЕ) з використанням датчиків теплового потоку різного типу та цифрових датчиків температури. Визначити параметри ефективної роботи такого типу склопакету.

Результати. Встановлення особливостей теплоперенесення через СОКЕ здійснювалось шляхом оцінки отриманих даних з розподілів густин теплових потоків та температурних характеристик поверхонь склопакету з електрообігрівом, що порівнювались з заданою температурою термостату. Для цього на поверхнях «холодної» та «нагрівальної» сторони зазначеного об'єкту досліджень в певних визначених місцях були встановлені відповідні датчики теплового потоку двох типів (напівпровідникові сенсори та термопарно-батарейного типу) і цифрові датчики температури. Також здійснювалась фіксація температури внутрішнього та зовнішнього повітря.

Відповідні дослідження проводились в лабораторних (а) та реальних (б) умовах експлуатації СОКЕ. Для вимірювання зазначених теплових характеристик використовувався спеціально модифікований переносний блок теплової реєстрації (БТР), зовнішній вид якого представлено на рис. 1в. З використанням датчиків теплового потоку та температури отримані розподіли густин теплового потоку та температур по поверхнях СОКЕ при різній заданій температурі термостату: 20, 25, 30, 35, 40 та 45 оС. Було проведено аналіз телонад-



Рис. 1. Експериментальна установка для дослідження теплопередачі через склопакет з електрообігрівом (а-б) та 48-канальний блок теплової реєстрації на основі напівпровідникових сенсорів теплового потоку (в)

ходжень від склопакету з електрообігрівом при заданих напрузі та силі струму.

Також створена теплофізична математична модель, з використанням якої проводилось верифікація отриманих теоретичних та експериментальних даних.

Висновок. Виконані експериментальні дослідження та проведено теплофізичне моделювання процесу теплоперенесення через СОКЕ. Встановлені режими роботи СОКЕ при різній фіксованій температурі термостату вмонтованого в склопакет, що регулювалася певною заданою напругою та силою струму.

Наукове видання

Матеріали
XII Міжнародної онлайн-конференції
**ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОФІЗИКИ
ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

Тексти друкуються в авторській редакції

Комп'ютерна верстка – В. В. Козлова, Л. В. Плахотня
Відповідальний за випуск – О. І. Симоненко

Підп. до друку 11.10.2021.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 22,5. Наклад 100. Зам. 11.10.2021.

Видавець: ФОП «Симоненко О. І.»
Адреса: м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а, корп. 6
Тел. моб.: +38 067 172-86-37, e-mail: alexbt@ukr.net
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6574 від 17.01.2019.

Віддруковано у друкарні ТОВ «Полосаткот»
м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а.