

МИНИСТЕРСТВО РАЗВИТИЯ ОБЩИН И ТЕРРИТОРИЙ УКРАИНЫ
МИНИСТЕРСТВО ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ НАН УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ
ВСЕУКРАИНСКАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АСАМБЛЕЯ

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Сборник трудов

*Под редакцией
кандидата технических наук
А. И. Сигала*

КИЕВ
ИПЦ АЛКОН
2020

УДК 504.03+620.9
ББК 28я43+31.19я43
П 78

Редакционная коллегия:

*канд. тех. наук А. И. Сигал,
канд. физ.-мат. наук Д. Ю. Падерно,
канд. тех. наук Н. Ю. Павлюк*

Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики :

П 78 Сборник трудов / Институт промышленной экологии. – К. : ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2020. – 192 с.
ISBN 978-966-8449-66-6

В сборнике опубликованы труды участников XXIX Международной конференции «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики» (г. Черноморск Одесской области, 10–14 июня 2019 г.), а также другие материалы по теме, поданные в оргкомитет специалистами отрасли.

Материалы посвящены общим проблемам сокращения потребления природного газа и замещения его другими видами топлива в коммунальной теплоэнергетике, эксплуатации объектов промышленной и муниципальной энергетики, современным экологически чистым и энергосберегающим технологиям сжигания топлив, энергосбережению в муниципальной теплоэнергетике, экологическим проблемам энергетики, вопросам уменьшения загрязнения окружающей среды и снижения выбросов парниковых газов энергообъектами в соответствии с требованиями Директив ЕС, разработке планов мониторинга и отчетности выбросов парниковых газов предприятиями, процессам обращения с твердыми бытовыми отходами.

**УДК 504.03+620.9
ББК 28я43+31.19я43**

ISBN 978-966-8449-66-6

© Институт промышленной экологии, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Сігал О. І. СТАН ТА ПРОБЛЕМИ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ	7
Басок Б. И., Базеев Е. Т. АНТРОПОГЕННЫЕ И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ ФАКТОРЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ	12
Сігал О. І., Падерно Д. Ю. КОНЦЕПТУАЛЬНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КИЄВА	20
Сігал О. І., Падерно Д. Ю. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КИЄВА.....	27
Сігал О. І., Падерно Д. Ю. АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ м. КИЄВА	35
Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Ніжник Н. А. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ОЦІНКИ ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ ПОТРЕБ СПОЖИВАЧІВ МІСТА КИЄВА У ТЕПЛОВІЙ ЕНЕРГІЇ	40
Сігал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Домбровська Е. П., Лавренцов Є. М. ДОСВІД ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ СПАЛЮВАННІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В КОТЛАХ	43
Седнин В. А., Седнин А. В., Абразовский А. А. РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЙ «POWER TO GAS» В УМОВАХ РЕСПУБЛІКИ БЕЛАРУСЬ.....	48
Тарадай А. М., Бугай В. С., Яременко М. А. ПУТИ ЕКОНОМІЧЕСКОГО СТИМУЛІРОВАНИЯ ВЛАДЕЛЬЦЕВ КВАРТИР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ.....	54
Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Гнедаш Г. О., Пресіч Г. О., Шевчук С. І. ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ГАЗСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЛОАГРЕГАТІВ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ	61
Фіалко Н. М., Степанова А. И., Навродская Р. А. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	64

Фиалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О., Алёшко С. А., Полозенко Н. П., Малецкая О. Е., Рокитько К. В., Юрчук В. Л., Абдулин М. З. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ СТАБИЛИЗАТОРНЫХ ГОРЕЛОК С АСИММЕТРИЧНОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА	68
Плашихін С. В., Бикоріз Є. Й., Ніжник Н. А. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ І УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СОПЛОВОЇ СЕКЦІЇ МОДЕРНІЗОВАНОГО ПАЛЬНИКА	72
Фиалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О., Алёшко С. А., Полозенко Н. П., Малецкая О. Е., Рокитько К. В., Юрчук В. Л. МИКРОФАКЕЛЬНЫЕ ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ИЗБЫТКОВ ОКИСЛИТЕЛЯ	76
Канигін О. В., Бикоріз Є. Й., Пузанов І. В., Ніжник Н. А. ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ БАГАТОСОПЛОВОГО ПОДОВОГО ПАЛЬНИКА	79
Кобзар С. Г. ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРОДУКТАМИ ПІРОЛІЗУ БІОМАСИ.....	83
Кобзар С. Г., Борисов І. І. МОДЕЛЮВАННЯ КОРОЗІЇ ЛОПАТОК ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО ПОДОВЖЕННЮ РЕСУРСУ ЗАВИХРЮВАЧА ПАЛЬНИКА КОТЛА ТПП-312	87
Седнин В. А., Власюк Д. И., Шкляр И. В., Познякова М. И. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОИСТОЧНИКОВ.....	91
Фиалко Н. М., Дінжос Р. В., Степанова А. І., Новаківський М. О., Дашковська І. Л. РОЗРОБКА НАНОКОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДИМОВИХ ТРУБ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК	95
Фиалко Н. М., Навродская Р. А., Шевчук С. И., Пресич Г. А., Гнедаш Г. А. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЫМОВЫХ ТРУБ	97

Фиалко Н. М., Степанова А. И., Навродская Р. А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДОГРЕВА И УВЛАЖНЕНИЯ ДУТЬЕВОГО ВОЗДУХА	100
Буйнявичус К., Янчаускас А. СЕЛЕКТИВНОЕ НЕКАТАЛИТИЧЕСКОЕ СНИЖЕНИЕ NO _x В КОТЛАХ, СЖИГАЮЩИХ БИОМАССУ	105
Корінчук Д. М., Бунецький В. О. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ АКТИВАЦІЇ БІОМАСИ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА	109
Павлюк Н. Ю. ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗДІЛЬНОГО ЗБИРАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ В ЄВРОПІ НА ПРИКЛАДІ ФІНЛЯНДІЇ	114
Павлюк Н. Ю., Сігал О. І. ЕТАПИ І РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ «СМІТТЄВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ» В ПОЛЬЩІ	119
Павлюк Н. Ю., Сігал О. І. ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗДІЛЬНОГО ЗБИРАННЯ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ В ЄВРОПІ НА ПРИКЛАДІ ПОЛЬЩІ	123
Сігал О. І., Плашихін С. В., Бикоріз Є. Й., Ніжник Н. А. ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПРИ СПАЛЮВАННІ ТВЕРДОГО ПАЛИВА ТА ТПВ	126
Сігал О. І., Плашихін С. В., Бикоріз Є. Й., Пузанов І. В. ЧИСЕЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ ДІАМЕТРА ТРУБИ ДО ДІАМЕТРА КЛАПАНА РЕЦІРКУЛЯЦІЙНОГО КАНАЛУ	130
Арсирий В. А., Рябоконе П. М. ОГРАНИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ КОТЛОВ – ПРОБЛЕМА, КОТОРАЯ МОЖЕТ БЫТЬ РЕШЕНА	133
Абдулін М. З., Куник А. А., Кобилянська О. О. НОВІ ВИДИ РЕЗЕРВНОГО ТА АВАРІЙНОГО ПАЛИВА	137
Данильченко Ю. В. ГІДРОННІ ГАЗОВІ КОТЛИ – ПОТУЖНА АЛЬТЕРНАТИВА ЖАРОТРУБНИМ	143
Куруленко С. С. ОКРЕМІ ПИТАННЯ РЕФОРМУВАННЯ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ УГОДИ ПРО АСОЦІАЦІЮ МІЖ УКРАЇНОЮ ТА ЄС	146
Седнин В. А., Кузьмич К. А. К ВЫБОРУ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЯНОГО КОКСА	151

Седнин В. А., Абразовский А. А. РЕСТРУКТИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	154
---	-----

Луньова О. В., Єрмаков В. М. ДО ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ГРНИЧОВИДОБУВНИХ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ	159
--	-----

НА ПРАВАХ РЕКЛАМЫ

• РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ИНСТИТУТОМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ	165
• КОТЕЛ ВОДОГРЕЙНЫЙ ВОДОТРУБНЫЙ, РАБОТАЮЩИЙ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ, ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 2,0 МВт (КВВ-2,0 Гн)	168
• КОТЕЛ ВОДОГРЕЙНЫЙ ВОДОТРУБНО-ДЫМОГАРНЫЙ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 0,63 МВт (КВВД-0,63 Гн)	169
• УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА КОТЛАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТАКТНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ	171
• МОДЕРНИЗИРОВАННЫЕ ПОДОВЫЕ ГОРЕЛКИ ТИПА МПИГ ДЛЯ КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ДО 10 Гкал/час	173
• ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТОПОЧНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КОТЛАХ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ (ВТОРИЧНЫХ) ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ	175
• РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ	177
• МОДЕРНІЗАЦІЯ КОТЛІВ ПТВМ-50	178
• ЭКОНОМИЯ ГАЗА И ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА КОТЛОВ ТВГ-8, ТВГ-8М, КВГ-7,56	180
• ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГОРЕЛОК КОТЛОВ ТИПА ДЕ И ДКВР С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА (ОСОБЕННО В ОСЕННЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД)	181
• КОНДЕНСАЦІЙНИЙ ТЕПЛОУТИЛІЗАТОР УТКП-0,7. КОНТАКТНА КОМБІНОВАНА ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНА УСТАНОВКА ...	182
• СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ КОТЕЛЬНОЙ ЗА СЧЕТ ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ	184
• ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ФИЛЬТР	185
• ЦИКЛОФИЛЬТР	187
• ЦИКЛОННЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ	189
• ВИПРОБУВАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ІТТФ НАН УКРАЇНИ	191

СТАН ТА ПРОБЛЕМИ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

На тлі енергетичної революції, що відбувається у світі, та декларованого «зеленого переходу», проблеми екологічного сектору стали більш помітні.

Про ситуацію:

- Збільшується виробництво електричної енергії за рахунок відновлюваних джерел – сонця і вітру, незважаючи на проблеми з акумулюванням, піковими потужностями і балансуванням енергоринку.
- Утворення нової галузі: акумулювання енергії шляхом розкладання H_2O і додавання водню в метан, розкладання CO_2 і допалювання CO з виділенням 3000 ккал/м^3 ; акумулятори І. Маска для домогосподарств і проекту в Австралії.
- Розуміння країнами ОПЕК і Росією, що ринок продажу нафти і газу скорочується і після глобального переходу енергетики на відновлювані джерела станеться «схлопування» ринку традиційних енергоресурсів (нафти і газу) призвело до демпінгу на ринку, покликаному загальмувати темпи розвитку альтернативної енергетики.
- Європа скорочує споживання газу і нафтопродуктів, паралельно диверсифікуючи джерела. Так, через Україну в хороші часи прокачувалось 90 млрд м^3 природного газу, 40 з яких споживала Україна. Зараз близько 60 млрд м^3 , з яких Україна споживає 30 млрд м^3 . За ці роки Європа отримала норвезький газ, американський зріджений газ, азербайджанський газ через Туреччину і чекає близько 40 млрд м^3 ізраїльського газу через Кіпр до Греції, тобто без «Північного» і «Південного» потоків можна спрогнозувати деяке перевищення пропозиції над попитом.
- В Україні в 2019 р. виробництво електричної енергії поновлюваними джерелами збільшилося вдвічі і досягло $3,6\%$ від загального енерговиробництва $5542 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ (всього $153\,964,8 \text{ млн кВт} \cdot \text{год}$).

Цікаво, що за рахунок заходів енергозбереження потреба по відношенню до 2018 р. впала на $3,4\%$, тобто на величину в 2 рази більшу, ніж 100% приросту альтернативної енергетики.

Слід зазначити, що атомними електростанціями вироблено 83 002,6 млн кВт·год, що на 1,7% менше, ніж у 2018 р., тобто зростання на 1,8% альтернативної енергетики призвело в першу чергу до заміщення потужностей «дешевої» електричної енергії від джерел, які працюють в базі, тобто атомних електростанцій, що знизило можливості компенсації зеленого тарифу.

ТЕС генеруючих компаній виробили 44 914,9 млн кВт·год і це на 6% менше ніж у попередньому році, а гідроелектростанції всього 7869 млн кВт·год, тобто майже на 35% менше в порівнянні з 2018 р., очевидно, що в основному вони працювали в балансуєчому режимі, тобто фактично в збиток.

В цілому, АЕС дали 54% електричної енергії; ТЕС і ТЕЦ на органічному паливі близько 36%; гідроенергетика більше 5%.

Відповідно, блок-станції та інші когенераційні установки виробили близько 1,5% електричної енергії, що досить багато.

Україна, як член Європейського Енергетичного співтовариства з 01.02.2011, взяла на себе зобов'язання дотримуватись умов Договору про створення Енергетичного співтовариства. Згідно Договору, всі великі спалювальні установки (ВСУ) встановленою тепловою потужністю не менше 50 МВт повинні після 31.12.2017 відповідати вимогам Директиви 2001/80/ЄС про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин в повітря від ВСУ. ЄС обновило Директиву 2001/80/ЄС замінивши її Директивою 2010/75/ЄС.

Згідно рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства від 14.08.2015 вимоги Директиви 2010/75/ЄС для існуючих ВСУ набувають чинності в Енергетичному Співтоваристві 01.01.2028.

В розпорядженні Кабінету Міністрів України 2015 р. «Про імплементацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» закладено імплементацію положень Директиви 2010/75/ЄС в законодавство України.

Для дотримання вимог цієї Директиви на вугільних котлах слід зменшити концентрацію пилу в 17–200 разів, діоксиду сірки – в 4–45 разів, оксидів азоту – в 2,5–8 разів (таблиця).

Це необхідно зробити на котлах майже 90 вугільних енергоблоків загальною потужністю близько 20 тис. МВт.

Для існуючих газомазутних котлів ТЕС та більш як 200 котлів комунальної теплоенергетики необхідно зменшити викиди оксидів азоту у 3–9 разів.

Викиди основних забруднюючих речовин від об'єктів енергетики України та норми ЄС у відповідності до Директиви 2010/75/ЄС

Забруднююча речовина	Нормативи по Директиві 2010/75/ЄС, мг/нм ³	Показники ТЕС України, мг/нм ³	Перевищення, разів
Робота ТЕС/ТЕЦ від 500 МВт (теплових) на твердому паливі, O ₂ = 6%			
Тверді частини	20	1500–4000*	75–200
		350–1000**	17–50
SO _x	200	800–9000	4–45
NO _x	200	500–1600	2,5–8
Робота ТЕС/ТЕЦ від 50 МВт (теплових) на природному газі, O ₂ = 3%			
NO _x	100	200–500	2–5

* – скруббер;

** – електрофільтр.

Інститут промислової екології, Інститут технічної теплофізики, Інститут вугільних енерготехнологій, Інститут газу, що працюють у цій галузі, мають великий доробок з розробки та апробації вітчизняних технологій, направлених на вирішення вищезначених проблем.

Основними методами зниження утворення оксидів азоту є модернізація пальникових пристроїв, топкові методи – рециркуляція газів, стадійне спалювання, впорскування води чи пари тощо.

Методи сіркоочищення та газоочищення базуються на додаванні у процес горіння вапняку та встановленні фільтрів з сорбентами (активоване вугілля та інше).

Розроблені в Україні системи пилоочищення на базі центробіжних фільтрів та циклофільтрів є одними з найкращих в Європі.

Основними заходами зі зниження викидів NO_x від енергетичних, парових та водогрійних котлів до європейських норм (менше 100 мг/нм³ при P = 101,325 кПа та 3% O₂) є застосування стадійного поярусного спалювання газу, інтенсифікація впливу газів рециркуляції, заміна або реконструкція пальників.

Ці методи підходять для котлів ТГМП-314А (ТГМП-344А); ТГМ-96А (ТГМ-85Б); КВГМ-180; ПТВМ-180; ПТВ-100; ПТВМ-100; ПТВМ-50; ПТВМ-30; КВГМ-100, КВГМ-50; КВГМ-30; КВГМ-20; ГМ-50-14; ДЕ-22-14.

Орієнтовні необхідні капіталовкладення від 5 млн € для ТГМП-314А; 3 млн € для ТГМ-96А; 1,5 млн € для КВГМ-180 і до 0,5 млн € для ПТВМ-50.

Щодо пріоритетів у виконанні робіт з імплементації Директиви 2010/75/ЄС для існуючих ВСУ, то слід відзначити, що досягнути вкладених у Директиві нормативів можливо за рахунок:

- впровадження нового котельного обладнання замість застарілого, що використовується зараз;
- впровадження систем сірко-, азото- та пилоочищення;
- впровадження технологій та обладнання зниження утворення токсичних сполук у процесах горіння.

Зважаючи на те, що вартість цих трьох підходів відрізняється майже на порядок, тобто нове обладнання майже в 10 разів дорожче за системи очищення та майже в 100 разів дорожче за системи зниження утворення забруднень, починати потрібно, відповідно, з третьої групи методів.

Останнім роком в Україні фактично з'явився механізм завою з закордонну штучного пального на основі промислових відходів, що значно знизило попит на спалення вітчизняного ТПВ як енергоресурсу, а даремно. Так тільки аналіз за 2018–2019 рр. у м. Києві показав потенційну можливість отримати з ТПВ біля 1,8 млн Гкал/рік теплової енергії, чи 600 ГВт/год/рік електроенергії та біля 1 млн Гкал/рік теплоти при тому, що зараз єдиний завод «Енергія», що працює у складі КП «Київтеплоенерго», як відокремлений підрозділ, виробляє лише біля 250 тис. Гкал/рік теплоти.

Зважаючи на критичне зношення наявної інфраструктури систем теплопостачання у всіх трьох її частинах: генерації, транспортуванні та у споживанні, спостерігається три підходи до вирішення проблеми. Це ліквідація систем централізованого теплопостачання та перехід на локально-індивідуальні системи; намагання реанімувати діючу систему, модернізувати та розвивати її; спроби максимально зменшити долю централізованого теплопостачання; та відновити цю частину, здавши її в оренду або концесію приватному бізнесу, з частковим переходом на альтернативні джерела енергії, а все інше скинути з проблем міського бюджету, шляхом переведення на індивідуальні системи.

Пропонуємо ретельно розглянути арсенал наявних можливостей власників майна – міської громади та управлінської адміністрації для виведення системи ТКЕ з кризи.

По-перше, треба скласти енергетичний баланс міста та з'ясувати обсяг усіх видів палива, включно з місцевими та альтернативними дже-

релами електроенергії, ТПВ та інші, що використовуються чи можуть бути використані для теплопостачання.

Вивчити існуючу схему теплопостачання міста та з'ясувати, що пропонувалося зробити, чому це досі не зроблено та чи варто у ситуації сьогодні це все ж зробити повністю чи частково.

Зважаючи на критичну зношеність трубопроводів, по-перше, треба розвантажити труби найбільших діаметрів, зменшивши тиск в них. Це дозволить виграти час та заощадити гроші. Зазвичай системи теплопостачання міст, що зараз використовуються є закритими та залежними. Пропонується хоча б частково перейти до незалежних участків з мінімальним тиском в системі із передачею теплоти через проміжний теплообмінник до іншого контуру. Звісно при цьому знижується обсяг теплоносія у первісному контурі та виникають додаткові тепловитрати в теплообмінному обладнанні, але в невеликих містах останніми роками збільшується обсяг абонентів, що відключилися від ЦТ, а також кількість будинків, де проведено утеплення. Разом з підвищенням середніх температур опалювального періоду в останні дві зими, це дає можливість скористатися пропонованими рекомендаціями.

Ще одна можливість зменшити тиск в залежній системі – це встановлення ІТП та всіх без виключення, і це принципово, висотних будівлях, що розташовані на одній гілці руху теплоносія.

Слушною пропозицією може стати і перехід на двохтрубну систему у будинку з прокладанням додаткової труби вздовж сходів та встановлення індивідуальних лічильників теплоти на кожную квартиру окремо.

Зазвичай існує ще велика кількість відпрацьованих технічних рішень, здатних суттєво зменшити витрати на теплопостачання. Всі вони ретельно розглядаються фаховою організацією, що розробляє схему теплопостачання міста та затверджуються як концепція депутатами місцевої ради, щоб потім стати переліком заходів, що будуть покладені в основу інвестиційного проекту розвитку міста.

Такий шлях дозволить заощадити 30–50% теплової енергії, і хоча гроші повернуться за 3–7 років, це реальний шлях до успішних зрушень в модернізації міської системи теплопостачання.

Б. И. Басок, Е. Т. Базеев

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

АНТРОПОГЕННЫЕ И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ ФАКТОРЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Энергетика, как одна из отраслей экономики и жизнеобеспечения, была и остается базовой основой развития общества. С увеличением численности населения планеты возрастает и потребление энергоресурсов. Одновременно преобразование энергоресурсов в различные, удобные для использования виды энергоносителей, не обходится без негативных последствий для окружающей среды. К одному из таких последствий с тревожными прогнозами было отнесено заметное изменение климата.

С середины XX столетия усилился тренд повышения глобальной приземной температуры – одного из показателей климатической системы нашей планеты. Это явление (глобальное потепление) было пояснено наличием парникового эффекта – следствием повышения концентрации в атмосфере Земли парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 и др.), вызывающих такой эффект (рис. 1, 2) [1].

Многочисленные публикации в СМИ и научных изданиях с драматическими для Земли и отдельных регионов следствиями, программы адаптации и борьбы с глобальным потеплением, с обсуждением систем торговли квотами на выброс парниковых газов поро-

ждают в обществе социально-значимые тревоги, протесты «зеленых» и влияют на политику и экономику стран и регионов.

Глобальное потепление и климат стали рассматриваться как предмет физики и геополитики. ООН и научные институты и сообщества выступили с рядом инициатив в области климата:

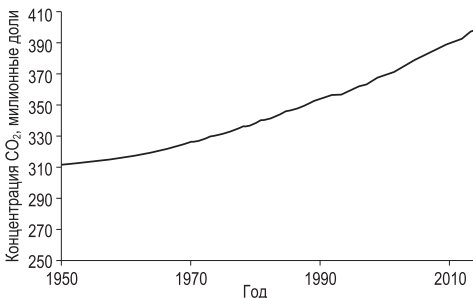


Рис. 1. Рост концентрации диоксида углерода в атмосфере [1].

1979 г. – Первая всемирная конференция по климату;

1988 г. – Резолюция ГА ООН № 43/53 призывающая к «... охране глобального климата в интересах нынешнего и будущего поколений человечества». Создание Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) – с целью сбора и оценки научной информации о климате;

1990 г. – Первый оценочный доклад МГЭИК. Резолюция ГА ООН № 45/212 с призывом к разработке и подписанию глобального договора в сфере климата;

1992 г. – На Саммите Земли принята Рамочная Конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН) – вступила в силу в 1994 году;

1997 г. – Подписан Киотский протокол (приложение к РКИК ООН) с количественными национальными обязательствами по снижению выбросов – в действии с 2004 года (первая фаза 2008–2012 гг. и вторая фаза – до 2017 года);

2015 г. – Парижская конференция – новое соглашение по совместным усилиям по сдерживанию климатических изменений и роста температуры.

Современный взгляд на глобальное потепление сводится к следующим положениям:

1. Основная причина глобального потепления – монотонное возрастание концентрации парниковых газов (в основном углекислого газа) в атмосфере Земли.
2. Тренд повышения концентрации парниковых газов определяется увеличением их антропогенной эмиссии при сжигании углеводородных энергоресурсов.
3. Глобальное потепление грозит негативными последствиями для окружающей среды и экономики.
4. Необходимо совершенствовать политику сокращения антропогенной эмиссии парниковых газов.

Для прогнозов глобального изменения климата в настоящее время в качестве научной базы используются результаты научных исследова-

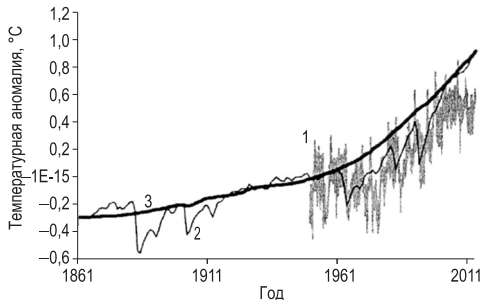


Рис. 2. Сравнение наблюдений (1 – колебания) и расчетов (2 – ансамбль моделей, 3 – упрощенная модель) глобальной приповерхностной температуры [2].

ний Межправительственной группы экспертов по проблеме изменения климата (МГЭИК), созданной в 1988 году Международной метеорологической организацией и ООН (в группу входило около 2500 исследователей и экспертов со всего мира). Начиная с 1990 года, МГЭИК периодически готовит научные обзорные доклады с прогнозами оценок роста концентрации диоксида углерода в атмосфере и глобальной температуры до конца XXI столетия. Опубликованы доклады 1990, 1995, 2001, 2007 и 2014 годов.

МГЭИК исходит из антропогенной концепции глобального повышения приземной температуры и рассматривает сценарии динамики и атмосферных концентраций антропогенных эмиссий. Обзоры группы показывают, что количество антропогенных выбросов, концентрация атмосферных парниковых газов и средняя глобальная температура зависят от социально-экономических сценариев развития будущего мира. На реализацию сценариев свою очередь влияет целый ряд неопределенностей (численность населения, темпы экономического роста, внедрение новых ресурсоэффективных и энергосберегающих технологий, альтернативных направлений технологических изменений в энергетике: интенсивное использование ископаемых видов топлива или сбалансированное использование всех энергоресурсов. Учет такого рода ключевых неопределенностей в модельных исследованиях МГЭИК приводит к тому, что возможные прогнозируемые оценки повышения атмосферной концентрации парниковых газов и глобальной температуры к концу XXI века варьируются в достаточно широких пределах.

В зависимости от сценариев развития мировой энергетики прогнозировалось к 2100 году по сравнению с концом XX века увеличение концентрации CO_2 от 400 до 790 млн⁻¹ и температуры на 1–4 °C [2]. Были и более тревожные прогнозы – повышение концентрации CO_2 от 540 до 970 млн⁻¹ и температуры на 1,4–5,8 °C [3]. (Относительно безопасным считается повышение концентрации CO_2 до 470 млн⁻¹ [4], и глобальной температуры на 1,7 [4], 1,5–1,7 °C [5], на 2 °C [6]). Допускается значительный разброс и в оценке такого важного показателя как чувствительность к изменению содержания парниковых газов в атмосфере при удвоении концентрации CO_2 – (1,5–5,5 °C) [7], (1,5–4,5 °C) [1].

Такие размытые показатели прогнозов изменения концентрации диоксида углерода и глобальной приземной температуры определяются ограниченностью научных знаний о механизмах сложных, недостаточно изученных естественных процессов в природе, трудно прогнозируемых трендов развития мировой экономики, энергетики в условиях

неопределенности ряда факторов. Это обстоятельство отмечено и в Климатической конвенции, один из ключевых пунктов которой гласит: «отметить наличие ряда неопределенностей в предсказаниях климатических изменений, в частности в отношении временных, амплитудных и региональных особенностей» [2]. Рекомендовалось усилить научные исследования, усовершенствовать модели углеродного цикла и климата, уточнить неопределенности по глобальному потеплению [2]. По мере развития науки ранее выдвинутые теории подвергались все большей критике и многие из них в дальнейшем были отвергнуты.

Не все специалисты и научные коллективы разделяют такой драматический подход и выводы МГЭИК. Часть из них, не относя себя к противникам реальности антропогенного влияния на повышение температуры, оценивает тревожные прогнозы этой группы по увеличению концентрации диоксида углерода в атмосфере повышению температуры к концу XXI века как явно завышенные, не учитывающие появившиеся в последние десятилетия тенденции мирового энергопотребления, а предложение о необходимости принять уже сейчас превентивные меры по ограничению выбросов как недостаточно аргументированные. По разным сценариям и моделям к концу века глобальное среднегодовое потепление составит 1,2–2,6 °C и 0,9–1,2 °C [8], а чувствительность глобальной климатической системы – 1,9 °C [7].

Наряду с антропогенной концепцией глобального потепления (подход МГЭИК) рассматривается и естественная концепция потепления климата. Не отрицая влияния антропогенных выбросов на увеличение глобальной температуры, сторонники естественной концепции потепления климата считают, что все же определяющими факторами повышения приземной температуры являются природные, связанные с космогенными циклическими процессами, с солнечно-земным взаимодействием (вращение Земли вокруг Солнца, прецессия оси вращения Земли, циклы солнечной активности и др.) [9–14]. Есть и подходы, меняющие местами причины и следствия глобального потепления, а именно: изменения атмосферной концентрации диоксида углерода – следствие глобальных изменений температуры планеты, а не их причина. Прогрев Мирового океана должен приводить к уменьшению растворимости CO₂ в морской воде и выбросу излишка в атмосферу [9, 15].

Не разделяются и подходы МГЭИК относительно характера долговременной глобальной температурной динамики [1]. В моделях МГЭИК демонстрируется непрерывный рост антропогенного парникового воздействия (рис. 1) и непрерывный рост глобальной приповерхностной

температуры (рис. 2). С использованием недавно предложенного подхода к анализу пространственно-временной динамики глобальной температуры показано, что «климатическая система демонстрирует поведение иного рода, чем предполагаемое парадигмой МГЭИК» [1]. Несмотря на растущую концентрацию парниковых газов, наблюдения показывают более сложную структуру временной динамики глобальной температуры, а именно: обнаруживаются постоянные короткие флуктуации температуры, в частности, квазистационарное состояние температуры, начиная с 1998 года (рис. 3) [1]. Такие паузы в динамике среднелобальной температуры приземного слоя можно заметить и при внимательном взгляде на инструментальные измерения температуры с середины XIX века до настоящего времени (рис. 4) [7]. Ступенчатая динамика глобальной температуры показывает обязательное присутствие в климатической системе термостабилизирующих механизмов. Эксперты МГЭИК объясняют это случайными обстоятельствами. Но случайный характер сразу трех пауз представляется сомнительным. Пока нельзя достоверно указать причины скачков температуры, можно лишь описать произошедшие изменения. Скорее всего действует некий термостабилизирующий фактор. Как отмечается в [1], выявление механизма природы такого фактора может потребовать тщательного анализа

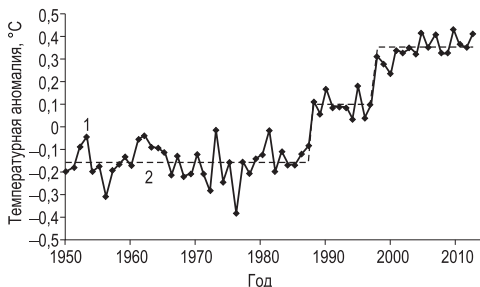


Рис. 3. Среднегодовые вариации температуры:

1 – средняя за год глобальная температурная аномалия; 2 – аппроксимация модельной ступенчатой функцией [1].

динамики среднелобальной температуры и при внимательном взгляде на инструментальные измерения температуры с середины XIX века до настоящего времени (рис. 4) [7]. Ступенчатая динамика глобальной температуры показывает обязательное присутствие в климатической системе термостабилизирующих механизмов. Эксперты МГЭИК объясняют это случайными обстоятельствами. Но случайный характер сразу трех пауз представляется сомнительным. Пока нельзя достоверно указать причины скачков температуры, можно лишь описать произошедшие изменения. Скорее всего действует некий термостабилизирующий фактор. Как отмечается в [1], выявление механизма природы такого фактора может потребовать тщательного анализа

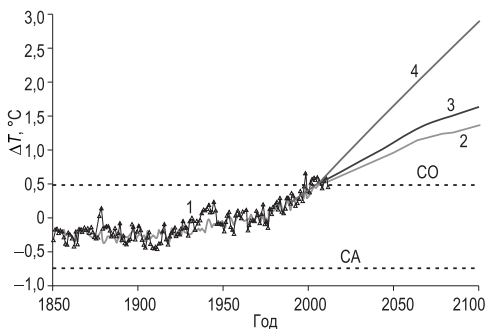


Рис. 4. Изменения среднелобальной температуры приземного слоя воздуха (по сравнению с уровнем 1950–1980 гг.):

1 – данные измерений, сценарии: 2 – экологический; 3 – исторический; 4 – прогноз Киотского протокола. СА и СО – температурные уровни субатлантической эпохи и средневекового оптимума [6].

сложных моделей по анализу климатической системы. Вполне возможно, что с повышением приповерхностной температуры, синхронно скачкообразно изменяются и будущие параметры климата, проявляют себя сложные обратные связи.

Если удастся раскрыть термостабилизирующий механизм появления отмеченных выше пауз повышения температуры, то появится возможность оценивать вероятность перехода в сторону повышения или, наоборот, в сторону понижения глобальной температуры. Нет сомнений в существовании парникового эффекта, но его влияние может быть не монотонным на динамику изменения глобальной температуры, а более сложным [1].

Нет единого мнения специалистов и о природе парникового эффекта. Как известно, МГЭИК объясняет повышение глобальной температуры монотонным возрастанием концентрации в атмосфере парниковых газов, главным образом, диоксида углерода, вследствие их антропогенных выбросов. Не все в научном сообществе разделяют подход МГЭИК об определяющей роли антропогенных выбросов в повышении глобальной температуры. Наличие парникового эффекта никто не отрицает, но по иному определяют природу такого эффекта. Например, специалисты по физической оптике нижней атмосферы [16] объясняют природу современного глобального потепления воздействием факторов солнечно-магнитной активности (вспышки на Солнце, магнитные бури). Поток микроволн из ионосферы образует в тропосфере из кластеров водяного пара конденсационно-кластерную дымку, переходящую в оптически тонкую облачность (в виде «молодых» перистых облаков), которая экранирует поток тепла в космос из нижней тропосферы и подстилающей поверхности. Происходит разогрев приземного воздуха и поверхности Мирового океана [9]. Пары воды – основной парниковый газ в тропосфере и его содержание намного больше (до 36–70%) по сравнению (9–26%) для CO₂, (4–9%) метана или (3–7%) озона [16]. Таким образом, кластерообразование из паров воды, приводящее к созданию оптически тонкой облачности, становится основной причиной современного глобального потепления в эпоху прохождения в конце XX – начале XXI столетия как солнечной так и геомагнитной активности. Выброс парниковых газов антропогенного происхождения (главным образом диоксида углерода, метана), может усиливать эффект глобального потепления.

Как отмечается в [16] (см. рис. 5), развиваемые исследования солнечно-геомагнитной активности и техногенного электромагнитного шума (в том числе передающих устройств мобильной связи) позволяют

лучше понять механизм влияния сравнительно слабых воздействий на биосферу и окружающую среду, в частности, и на погодно-климатические характеристики.

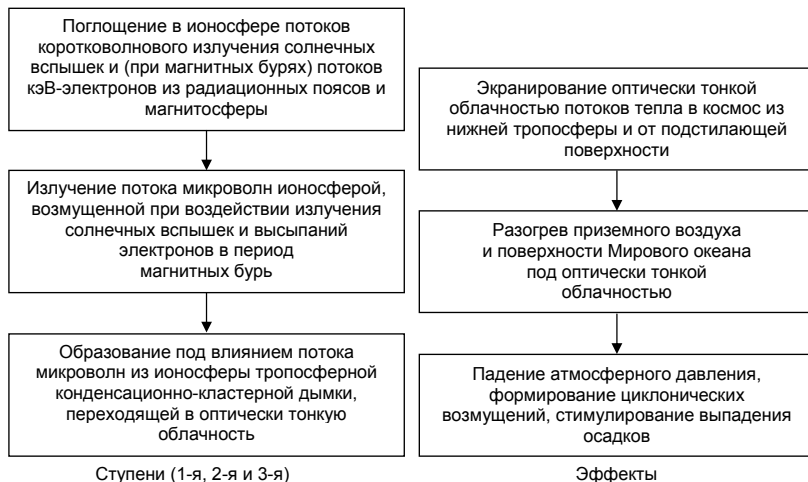


Рис. 5. Схема воздействия солнечно-геомагнитной активности на тропосферные метеопараметры под влиянием радиооптического трехступенчатого триггерного механизма [16].

Есть и другие исследования о связи потепления с увеличением облачности [17]. На основе анализа метеорологических и аэрологических данных, полученных на ст. Восток (Антарктида), были выявлены значительные вариации уровня облачного покрова и температуры воздуха, связанные с вариациями уровня галактических космических лучей и межпланетного магнитного поля. «Усиление облачности на высотах ниже 8 км вызывает потепление приземной температуры атмосферы, вероятно, за счет парникового эффекта, отсутствия выхолаживания поверхности Земли» [17].

Если говорить о прогнозах развития энергетики, то согласно «опыту генетических прогнозов мировой энергетики» в ближайшие десятилетия будут проявлять себя тенденции [18]:

- 1) стабилизация национального удельного энергопотребления на душу населения на уровне, который в основном определяется климато-географическими факторами;
- 2) неуклонное и практически линейное снижение со временем углеродной интенсивности мировой энергетики (количество диок-

сида углерода на единицу потребления энергии) в результате изменений структуры топливно-энергетического баланса, наблюдающихся уже более ста лет (переход от угля к нефти газу и в последнее время – к увеличенным объемам возобновляемых энергоресурсов).

Последняя тенденция приводит, как отмечено в [18], к снижению темпов роста антропогенного воздействия на климатическую систему и следует ожидать весьма умеренных изменений состава атмосферы и климата планеты.

Список использованной литературы

1. Барцев С. И., Белолипецкий П. В., Дегерменджи А. Г. и др. Новый взгляд на динамику климата Земли // Вестник РАН. – 2016. – Т. 86, № 3. – С. 244–251.
2. Мировая энергетика будущего – время действовать. Документы МИРЭС 2000. Мировой энергетический Совет. Справочный перевод, 2000. – 175 с.
3. Стан світу 2002 / К. Флавін та ін. Пер. з англійської: ВГО «Україна. Порядок денний на ХХІ століття та інститут сталого розвитку». – К.: Інтелсфера, 2002. – 289 с.
4. Терешин А. Г., Клименко А. В., Клименко В. В. Золотой век газа и его влияние на мировую энергетику, глобальный цикл углерода и климат // Теплоэнергетика. – 2015. – № 5. – С. 3–13.
5. Демерчян К. К., Демерчян К. С., Кондратьев К. Я. Темп роста концентрации CO_2 и уточнение его прогнозных оценок // Изв. РАН. Энергетика. – 2001. – № 1. – С. 3–35.
6. Елисеев А. В. Глобальный цикл CO_2 // Eliseev_A_V_theses_26042017. Pdf
7. Клименко В. В., Терешин А. Г. Мировая энергетика и глобальный климат в ХХІ веке в контексте исторических тенденций: Пределы роста // Универсальная и глобальная история. Эволюция Вселенной, Земли, жизни, общества / Под ред. Л. Е. Гринина, И. В. Ильина, А. В. Коротаяева. – Волгоград: Учитель, 2012. – С. 608–621. – 688 с. – (Библиотека факультета глобальных процессов МГУ).
8. Аржанов М. М. и др. Оценка климатических изменений в Северном полушарии в ХХІ веке при альтернативных сценариях антропогенного воздействия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 48, № 6. – С. 643–654.
9. Монин А. С., Шишков Ю. А. Климат как проблема физики // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170, № 4. – С. 419–445.
10. Иванов В., Богуславский С., Совга О., Жоров В. Світовий океан як стабілізатор клімату Землі // Вісн. НАН України. – 2004. – № 3. – С. 32–37.
11. Лосев К. С. Парадоксы борьбы с глобальным потеплением // Вестник РАН. – Т. 79, № 1. – 2009. – С. 36–40.
12. Большаков В. А., Капица А. П. Уроки развития орбитальной теории климата // Вестник РАН. – 2011. – Т. 81, № 7. – С. 603–612.
13. Замолодчиков Д. Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления // Вестник РАН. – 2013. – Т. 83, № 3. – С. 227–235.

14. Кораблёв О. И. Марс и Венера: разные судьбы планет земной группы // Вестник РАН. – 2016. – Т. 86, № 7. – С. 587–599.
15. Сорохтин О. Г. Эволюция климата Земли и происхождение ледовых эпох // Вестник РАН. – 2006. – Т. 76, № 8. – С. 699–706.
16. Авакян С. В. Супрамолекулярная физика окружающей среды: климатические и биофизические эффекты // Вестник РАН. – 2017. – Т. 87, № 5. – С. 458–466.
17. Вовк В. В., Егорова Л. В., Трошичев О. А. Связь атмосферных характеристик в Антарктиде с факторами космической погоды // Геомагнитизм и аэрономия. – 2008. – Т. 48, № 4. – С. 561–565.
18. Клименко В. В. Опыт генетических прогнозов мировой энергетики: можем ли мы предвидеть далекое будущее // Доклады академии наук. Энергетика. – 2014. – Т. 458, № 4. – С. 415–418.

УДК 697.34

О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно

Інститут промислової екології, м. Київ

КОНЦЕПТУАЛЬНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КИЄВА

В кінці 2019 року розпочата робота з розроблення нової Схеми теплопостачання міста Києва на період до 2030 року, метою якої є оптимізація системи централізованого теплопостачання міста Києва на цей розрахунковий період. Для досягнення цієї мети, розроблені пропозиції щодо основних концептуальних напрямків розвитку системи централізованого теплопостачання міста Києва.

1. Система теплопостачання (в цілому):

• Комплексний підхід.

Вся система теплопостачання міста розглядається як єдиний цілісний комплекс, спрямований на безпечне, надійне та якісне забезпечення споживачів міста теплової енергією; при цьому кожний з елементів системи взаємопов'язаний з іншими цією загальною метою. Додатковою метою є підвищення загальної енергоефективності системи теплопостачання з відповідним зниженням собівартості теплової енергії.

• Закладення основ для відкриття ринку теплової енергії міста.

Закладення основ для надання споживачам можливості самостійно вибирати, в якого виробника теплової енергії її купувати. Першим кроком має стати відокремлення діяльності з виробництва теплоенергії від діяльності з її транспортування – так званий «анбандлінг», аналогічний відокремленню діяльності з транспортування природного газу від діяльності з його видобутку та постачання.

На цей час в країнах-членах ЄС існують дві базові моделі національного ринку централізованого тепlopостачання:

- Модель «єдиного покупця», згідно з якою постачальник/оператор мережі купує теплову енергію у всіх виробників і продає її споживачам одного типу на рівних умовах та за однаковою ціною. При цьому у різних ділянок теплової мережі можуть бути різні власники. Функціонування такої моделі обумовлює загальну відповідальність за продаж теплової енергії кінцевому споживачу однієї компанії, зокрема, оператора теплової мережі. За умовами цієї моделі, оператор тепломережі має надавати всім виробникам доступ до мережі на рівних умовах. Ця модель «єдиного покупця» є найбільш дієвою у системах ЦТ країн-членів ЄС.
- Модель «відкритих теплових мереж», за якої виробник має гарантований доступ до мережі за умови, що він напряму продає теплову енергію своїм клієнтам в повному обсязі. Ця модель застосовується обмежено через її складність, прикладами практичної реалізації є кілька великих міст Польщі.

У будь-якому разі, ринок теплової енергії має працювати на конкурентній основі, при цьому обов'язковою умовою має бути забезпечення виробником теплоенергії робочих параметрів тепломережі, в тому числі по температурі та тиску теплоносія. Виконання цієї умови на цей час створює складності, зокрема, для виробників теплоенергії з використанням біомаси як палива.

• Підвищення екологічної безпеки шляхом створення трьох умовних територіальних зон екологічного впливу системи тепlopостачання для поліпшення екологічної ситуації в місті Києві.

З метою забезпечення зменшення забруднення навколишнього природного середовища та зниження екологічного тиску на населення, особливо у перевантаженій транспортом та скупченістю людей центральній частині міста, зі складним рельєфом місцевості, передбачається формування трьох екологічних зон розташування об'єктів системи тепlopостачання міста.

Перша зона теплопостачання – пропонується уникнути будь-якого спалювання палива, тобто виключити теплову генерацію і забезпечити теплопостачання лише шляхом подачі теплоносія через систему трубопроводів централізованого теплопостачання. Заборонити будівництво нових теплоджерел, в тому числі автономних, а існуючі теплоджерела централізованої системи перевести в стан консервації як резервні, або ліквідувати.

До споживачів, які отримують теплову енергію від вже існуючих автономних, здебільшого дахових, котельень та топкових передбачається підвести теплоносій від централізованої системи, з залишенням можливості експлуатації цих теплоджерел обмежений час, в період відсутності централізованого теплопостачання (початок та/або закінчення опалювального періоду) та як резервні.

Ця зона формується на території старого міста, умовно обмежена вулицями В'ячеслава Чорновола, Жилинська, Залізничне шосе, Наддніпрянське шосе, Набережне шосе, Набережно-Лугова вулиця, Глибочицька вулиця, Кирилівська вулиця.

Друга зона теплопостачання – пропонується дозволити спалювання для потреб теплопостачання лише найменш екологічно шкідливого палива – природного газу, з укрупненням джерел генерації теплової енергії, з жорстким контролем викидів в атмосферу та забезпеченням належного очищення димових газів до нормативів.

Ця зона формується навколо першої на центральній території міста в межах забудови станом на 1980–1990-ті роки, умовно (орієнтовно) обмежена вулицями бульвар Вацлава Гавела, вулиця Радищева, Дегтярівська, Олени Теліги, просп. Степана Бандери, просп. Романа Шухевича, бульв. Перова, вул. Будівельників, Харківське шосе, вул. Ревуцького, просп. Миколи Бажана, Столичне шосе, просп. Науки, вул. Блакитного, Героїв Оборони, просп. Академіка Глушкова, Кільцева дорожка, просп. Відрадний.

Третя зона теплопостачання – пропонується дозволити використання всіх видів палива на потреби теплопостачання, розташовувати потужні джерела великої генерації (ТЕЦ), біомасові котельні, ТЕЦ-на-ТПВ, за потреби локальні котельні тощо, з жорстким контролем викидів в атмосферу та забезпеченням належного очищення димових газів до нормативів.

Ця зона формується навколо другої в існуючих межах міста Києва.

• **Збереження системи централізованого гарячого водопостачання (ГВП).**

З метою забезпечення комфортних умов мешканцям міста, а також належної ефективності роботи когенераційних джерел генерації теплової енергії, пропонується зберегти та за потребою відновити надання послуг з централізованого гарячого водопостачання.

• Формування балансу виробництва та споживання теплової енергії в місті на основі фактичних потреб споживачів.

Фактичні потреби споживачів можуть бути визначені за фактичним оціночним навантаженням теплових джерел, з урахуванням різнонаправлених факторів впливу, таких як розвиток міста, нове будівництво, термомодернізація будівель, відмова споживачів від централізованого теплопостачання, зміна клімату тощо.

Визначення потрібної корисної та відповідно встановленої потужності генеруючого обладнання теплових джерел передбачається виконувати з урахуванням розподілу навантаження на базове та пікове, перерозподілу навантаження та резервування потужностей між теплоджерелами з прийняттям до уваги їх енергоефективності тощо.

2. Система генерації теплової енергії

• Забезпечення досягнення відповідності системи централізованого теплопостачання міста Києва статусу «Ефективної» відповідно до вимог Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність».

Відповідно до Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність», система централізованого теплопостачання вважається ефективною, якщо вона використовує мінімум 50% відновлюваної енергії, або 50% відпрацьованої (скидної) теплоти, або 75% теплоти від когенерації, або 50% сукупності такої енергії та теплоти.

Впровадження заходів з реконструкції та модернізації системи теплопостачання міста з підвищенням ефективності і надійності її роботи потребує значних коштів, які відсутні в Україні в бюджетах будь-яких рівнів – ані центрального, ані локальних. Залучення зовнішнього фінансування заходів, зокрема відносно дешевих кредитів від міжнародних фінансових інституцій, можливе лише за виконання низки умов, однією з яких є обов'язковість системи централізованого теплопостачання в результаті впровадження заходів відповідати чинним в ЄС критеріям віднесення до «ефективних».

Шляхи досягнення відповідності системи централізованого теплопостачання міста Києва вказаним критеріям:

- максимальне використання теплової енергії, яка виробляється на джерелах з комбінованим виробництвом теплової та електричної

- енергії, в тому числі з встановленням когенераційних машин на великих джерелах теплопостачання – ТЕЦ та РК (вибірково);
- максимальне використання ТПВ для генерації теплової енергії, в тому числі комбінованої генерації з встановленням турбіни на ССЗ «Енергія» та будівництвом нової ТЕЦ-на-ТПВ, з досягненням також зменшення захоронення відходів;
- використання сонячної енергії для генерації теплової енергії, з встановленням сонячних колекторів на дахах будівель бюджетних установ;
- використання низькопотенційної скидної теплоти стічних вод, з встановленням теплових насосів;
- використання відновлювальних та альтернативних видів палива (біомаси міських деревинних відходів, біогазу від стічних вод тощо) для генерації теплової енергії.

• **Перерозподіл навантажень від низькоефективних котелень до потужніших та ефективніших**, з метою підвищення ефективності використання палива та зменшення витрат на утримання персоналу.

• **Впровадження технології гібридного теплопостачання** з використанням профіцитної електроенергії в години нічного провалу добового графіка навантажень (ДГН) об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, коли діють техніко-економічно обумовлені пільгові тарифи на електроенергію, для підігріву теплоносія в електричних котлах, з акумулюванням отриманої теплової енергії безпосередньо в теплових мережах або з використанням баків-акумуляторів (у помірно-децентралізованих СЦТ).

• **Розширення впровадження технології утилізації скидної теплоти димових газів**, з метою підвищення ефективності використання палива та зменшення викидів в атмосферу і теплового забруднення довкілля.

Передбачається встановлення утилізаторів теплоти димових газів за максимально можливою з технічних умов кількістю потужних котлів, при цьому в разі наявності у ТД або за його межами споживачів низькопотенційної теплоти пропонується встановлення найбільш ефективних конденсаційних теплоутилізаторів та за потреби впровадження заходів із захисту або заміни димових труб, в разі відсутності таких споживачів пропонується встановлення неконденсаційних теплоутилізаторів в комбінації з повітряпідігрівачами.

• **Заміна та модернізація теплогенеруючого обладнання**, з урахуванням використання його для покриття базових та пікових навантажень. Котли, які використовуються для забезпечення покриття базово-

вого навантаження, модернізувати або замінити за потребою, для забезпечення ж покриття пікового навантаження – використовувати кращі з існуючих котлів.

З метою підвищення ефективності використання палива малопотужні застаріли котли передбачається замінити на конденсаційні, з впровадженням за потреби заходів із захисту або заміни димових труб.

● **Будівництво нових теплових джерел** для забезпечення в разі потреби покриття перспективних навантажень відповідно до Генерального плану міста, виданих ТУ та затверджених ДПТ, пропонується реалізувати переважно з застосуванням технологій комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, використання альтернативних палив та джерел енергії.

Пропонується передбачати підвищення вимог до видання дозволів на будівництво нових локальних теплогенеруючих джерел та дотримання ними вимог дозволів на викиди, за умови потенційної можливості їх підключення до системи ЦТ.

Пропонується також ввести оплату, пропорційну заявленим в запитих на видання Технічних умов на підключення обсягам потрібної споживачам теплової енергії.

3. Система транспортування теплової енергії

● **Система теплопостачання м. Кисва має бути закритою, з підвищенням частки незалежних ділянок, з метою створення оптимального гідравлічного режиму роботи системи теплопостачання.**

Вироблена на теплоджерелах міста тепла енергія у вигляді гарячої води буде циркулювати лише у «внутрішньому» («первинному») контурі, який охоплюватиме теплогенеруючі потужності теплоджерел, магістральні та розподільчі трубопроводи та теплообмінники у теплових пунктах, без безпосереднього контакту з теплоносієм у «вторинному» контурі. До складу цього «вторинного» контуру входять теплообмінники у центральних та індивідуальних теплових пунктах, розподільчі трубопроводи (при застосуванні ЦТП) та нагрівальні прилади (радіатори тощо) у споживачів.

Вироблена тепла енергія у вигляді пари буде передаватись споживачам, які потребують її у саме такому вигляді, безпосередньо по паровим трубопроводам.

При наявності можливості пропонується переобладнання теплових введів будівель з влаштуванням індивідуальних теплових пунктів в будівлях існуючих споживачів та при будівництві нових.

- **Ліквідація порушень охоронних зон теплових мереж**, які створюють загрозу здоров'ю мешканців міста при аваріях.

Пропонується перекладання мереж, які на цей час проведені з порушеннями охоронних зон, зокрема під проїжджими частинами, під навчальними закладами, дитячими та спортивними майданчиками, мережі під торгово-розважальними комплексами, ринками, місцями відпочинку.

- **Ліквідація критичних тисків теплоносія в теплових мережах.**

З метою зменшення вірогідності аварійних поривів трубопроводів, пропонується ліквідувати понаднормативні тиски в системі теплопостачання, за рахунок встановлення проміжних теплообмінників. Надвисокий тиск в подавальних трубопроводах низки теплогерел (ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, СТ-1, СТ-2, РК «Відрадний», РК «М. Борщагівка», РК «Виноградар», РК «Воскресенка», СТ «Біличі», СТ «Позняки» тощо) призводить до суттєвого збільшення аварійних ситуацій та відповідних втрат.

- **Підвищення надійності теплопостачання за рахунок диверсифікації джерел.**

З метою підвищення надійності теплопостачання, пропонується будівництво перетинок між тими крупними тепловими джерелами, де такі на цей час відсутні, зокрема між районними котельнями: РК «Веркон» – РК «Нивки», СТ «Біличі» – РК «Борщагівка», РК «Теремки» – ТМ4 ТЕЦ-5.

- **Зменшення транспортування ТЕ під мостами через річку Дніпро.**

Система теплопостачання міста Києва на цей час експлуатує три переходи для транспортування теплоносія через р. Дніпро (під мостами ім. Є. О. Патона, Північним та Південним), що є джерелами великих тепловтрат і додатково зменшує надійність всієї системи теплопостачання.

Пропонується розділити системи теплопостачання правобережної та лівобережної частини міста Києва, з забезпеченням тепловою енергією відповідних мікрорайонів окремо по правому та лівому берегах р. Дніпро, шляхом переключення зон постачання на інші джерела генерації теплової енергії, з використанням вказаних «переходів» тільки для забезпечення резервування.

- **Використання сучасних технологій в будівництві теплових мереж.**

При заміні аварійних та зношених теплових мереж, та при прокладанні нових, пропонується використання попередньо ізольованих поліпропіленових труб з індикацією витоків. На ділянках теплових мереж,

де наявне значне зменшення теплового навантаження з відповідним зменшенням обсягів транспортування теплоносія, пропонується використання технологій санації трубопроводів «труба в трубі», шляхом прокладання нової труби зменшеного діаметра всередині існуючої.

Викладені концептуальні напрямки розвитку системи централізованого теплопостачання міста Києва пропонується покласти в основу розроблення нової Схеми теплопостачання міста Києва на період до 2030 року.

УДК 697.34:697.32

О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно

Інститут промислової екології, м. Київ

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА КИЄВА

Задовільнення вимог підвищення як ефективності, так і надійності роботи джерел генерації теплової енергії системи теплопостачання міста Києва здебільшого може бути досягнуто впровадженням одних і тих же заходів, однак для досягнення кожної з цих вимог можуть бути потрібні й окремі заходи, можливо навіть з протилежним впливом на задовільнення іншої вимоги.

Організаційні заходи щодо підвищення ефективності та надійності роботи джерел генерації теплової енергії системи теплопостачання міста Києва

Підвищення ефективності роботи системи теплопостачання міста Києва в цілому, та відповідно в результаті зниження вартості послуг з теплопостачання та централізованого ГВП для споживачів міста, можливо досягнути шляхом впровадження, в рамках належного енергонеуправління в системі теплопостачання міста, заходів за декількома основними напрямками.

Першим напрямком організаційних заходів є коректне визначення необхідної встановленої теплогенераційної потужності джерел теплопостачання та, відповідно, пропускну здатності тепломереж для транспортування теплоносія.

Необхідний обсяг теплової енергії для забезпечення теплопостачання та ГВП визначається в залежності від локальних кліматичних умов; для міст України, в тому числі для м. Києва, норми витрат теплової енергії та розрахункова мінімальна температура для систем опалення визначені у чинному на цей час Керівному технічному матеріалі «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні» КТМ 204 Україна 244-941 [1].

Слід зазначити, що норми «КТМ 204 Україна 244-94» затверджувались Держжитлокомунгоспом України 14.12.1993 року та розроблялись на підставі норм та рекомендацій 1979–1987 років, тобто відповідають кліматичним умовам більш ніж 30-річної давнини.

Саме тут закладений значний потенціал зниження перевитрат коштів на надмірну потужність теплогенеруючого обладнання, та відповідно на його експлуатацію не у оптимальних режимах.

Визначена у «КТМ 204 Україна 244-94» розрахункова температура для систем опалення в м. Києві складає $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$, і вже тривалий час вона не є реальною температурою, що притаманна типовій для Києва погоді протягом зими. Можна рекомендувати ретельно проаналізувати мінімальні усереднені за 5 днів температури протягом останніх 5 опалювальних періодів, і саме на них орієнтувати максимальну встановлену потужність теплоджерел; за нашими оцінками, ця температура не нижче ніж $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Комплексна термосанація (утеплення) будівель зменшує їх теплоспоживання за різними оцінками на 30–50%, в «Комплексній цільовій програмі підвищення енергоефективності та розвитку житлово-комунальної інфраструктури міста Києва на 2016–2020 роки» [2] вказана величина зменшення теплоспоживання будівель на 50%. Відповідно, потреба у встановленій потужності теплоджерел на опалення утеплених будівель може бути зменшена на 20–40%.

Можна рекомендувати застосування комплексного підходу до впровадження такого заходу, тобто забезпечити реновацію спочатку всіх будинків, що підключені до однієї гілки тепломережі, потім – підключених до іншої гілки і т.д. Це дозволить значно зменшити обсяг теплоносія в системі, знизити тиск (за наявності ІТП з власними насо-

сами на будинках) та зекономити при перекладенні тепломережі, за рахунок використання труб з пластику та/або менших діаметрів (за нашими оцінками, це забезпечить зниження втрат не менше ніж на 25%).

Встановлення індивідуальних теплопунктів в будівлях, що за будь-яких обставин потрібно робити задля забезпечення можливості зниження тиску у мережах, дозволяє зекономити близько 25% теплової енергії у громадських будівлях та близько 8% у житлових. Якщо ІТП будуть встановлені у 50% будівель, це додатково забезпечить загальну економію теплоти на рівні 5%. До того ж, при зниженні тиску в мережах зменшаться також і витоки та відповідно обсяги підживлення теплоносія в локальних відокремлених (незалежних) мережах.

Значний потенціал зниження втрат теплової енергії полягає також у зменшенні безпосередніх теплових втрат при транспортуванні теплоносія, з існуючих 22–26% до рівня 10–12% при санації існуючих мереж та до рівня 5–9% при прокладанні нових з використанням попередньо ізольованих труб, тобто ще на приблизно 15%.

Загалом в процесі транспортування та у споживача можна заощадити 50% і навіть більше обсягів теплової енергії.

Таким чином, сумарні можливості зменшення теплової генерації при задовільненні потреб споживачів на належному рівні на цей час можна оцінити у 65%.

Потрібно приділити особливу увагу кількісним значенням того обсягу теплової енергії, який слід прийняти за 100%. Зазвичай рахують від офіційного «підключеного навантаження» згідно договорів між постачальником та споживачем, однак у зв'язку з відсутністю оплати за зарезервовану та невикористану потужність, «підключене навантаження», а тим більш запити у перспективних Технічних умовах на підключення до теплових мереж, у деяких договорах у рази перевищують реальні потреби. За нашими оцінками, реальне максимальне навантаження теплогерел СП «Київські теплові мережі» в середньому приблизно на 40% нижче за номінальне офіційне підключене навантаження, з консервативних міркувань в середньому можна прийняти величину цієї різниці для теплогерел міста Києва у близько 20%.

Таким чином, в разі прийняття за 100% потреби у тепловій енергії міста на цей час величину 80% від номінального підключеного навантаження, та реалізації потенційних можливостей зменшення споживання теплоенергії при задовільненні потреб споживачів на належному рівні на величину близько 45%, то перспективну потребу міста (без

додавання нових споживачів) можна оцінити як близько 44% від номінального підключеного навантаження на цей час.

При заданні коефіцієнта резервування потужності $\sim 1,5$, потреба у встановленій потужності теплоджерел протягом опалювального періоду складатиме близько 65% від офіційного підключеного навантаження.

Для реального щоденного постачання гарячої води може бути використано менше 30% потужності, а враховуючи, що в м. Києві значна кількість абонентів централізованого теплопостачання, особливо після відключення опалення, централізоване ГВП не використовує, а переходить на електричні бойлери (до 40% від кількості абонентів), на неопалювальний період залишається лише порядку 20% від необхідної визимку потужності, тобто близько 12–15%.

Другим основним напрямком організаційних заходів з підвищення ефективності роботи системи теплопостачання міста Києва в цілому є визначення типів теплових джерел, за рахунок яких доцільно забезпечувати централізоване теплопостачання протягом найближчих 10 років, з огляду на мету досягнення системою централізованого теплопостачання міста Києва відповідності статусу «ефективної» в розумінні Директиви 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» [3], тобто потребу використовувати мінімум 50% відновлюваної енергії, або 50% відпрацьованої (скидної) теплоти, або 75% теплоти від когенерації, або 50% сукупності такої енергії та теплоти.

При цьому слід враховувати, що реалізація заходів потребує значних фінансових коштів, наприклад близько 400 тис. \$ на 1 МВт встановленої потужності генерації теплоти, близько 700 тис. \$ на 1 МВт когенерації та близько 800 тис. \$ на 1 км прокладання магістрального трубопроводу теплотраси діаметром 800–1000 мм.

Виходячи з наведеного вище, в першу чергу потрібно зберегти та забезпечити реновацію великих джерел теплопостачання, які вже забезпечують (ТЕЦ) або можуть забезпечувати завдяки встановленню когенераційного обладнання, спільне вироблення теплової та електричної енергії. Також потрібно забезпечити хоча б декілька відсотків сумарного відпуску теплоенергії від використання відновлюваних джерел – ТПВ, біомаси, сонячної енергії, теплових насосів.

Близьким до вказаного вище є напрямком підвищення загальної ефективності генерації теплової енергії в системі теплопостачання міста шляхом переключення навантаження на котельні з найбільш високою ефективністю від низькоефективних, здебільшого малих коте-

лень, з закриттям останніх і наступною їх ліквідацією, консервацією або переведенням у резерв.

При цьому можливий і практично зворотній шлях оптимізації системи теплопостачання з від'єднанням споживачів від великих котелень, розташованих на значній відстані від них, з переключенням навантажень на локальні, в тому числі нові високоефективні котельні, особливо у неопалювальний період.

Майже всі потужні теплоджерела, які експлуатуються КП «Київтеплоенерго», за виключенням районних котелень «Нивки» і «Веркон» та СТ «Біличі», а також Дарницька ТЕЦ об'єднані тепловими мережами в єдину систему, що дозволяє забезпечити:

- підвищення надійності теплопостачання споживачів;
- вирівнювання дефіциту теплоти за рахунок перерозподілу зон охоплення теплоджерел, які працюють на загальну систему, що неможливо при індивідуальній системі теплопостачання від окремих котелень;
- застосування системного підходу до управління тепловими та гідравлічними режимами теплових мереж;
- підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів;
- зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Доцільно завершити об'єднання всіх теплоджерел міста в єдину мережу.

Всі теплові джерела міста пропонується розподілити за інтервалами температур навколишнього середовища і відповідно за тривалістю їх роботи на чотири групи:

1 група ТД – працюють на забезпечення надання послуг гарячого водопостачання, зазвичай протягом усього календарного року.

2 група ТД – вводяться в роботу з початком опалювального періоду, забезпечують покриття базових навантажень при температурах навколишнього повітря вище -7°C , працюють практично протягом усього опалювального періоду.

3 група ТД – вводяться в роботу при температурах навколишнього повітря нижче -7°C , використовуються для покриття пікових навантажень, працюють на виробництво теплоенергії протягом близько 20% опалювального періоду, решту часу – працюють як ЦТП.

4 група ТД – знаходяться в резерві, вводяться в роботу при аварійних ситуаціях на ТД перших груп, можуть навіть не працювати протягом кількох років.

До ТД 1 групи відносяться теплогенератори, які визначені для забезпечення навантаження ГВП, здатні працювати на відносно невеликих навантаженнях з високою ефективністю, в першу чергу з безперервним циклом роботи, що використовують когенераційні технології та відновлювані джерела енергії

До ТД 2 групи відносяться в першу чергу потужні когенераційні джерела ТЕЦ, завод «Енергія» з безперервним циклом роботи, та станції тепlopостачання і потужні високоефективні районні котельні, а також інші ТД, споживачі яких не мають можливості отримувати теплову енергію від ТД першої черги цієї групи.

До ТД 3 групи відносяться квартальні та інші котельні, споживачі яких мають можливість отримувати теплову енергію від ТД першої та другої груп, однак її не вистачає при пікових низьких температурах навколишнього повітря.

До ТД 4 групи відносяться в першу чергу низькоефективні малопотужні котельні, в тому числі локальні дахові, вбудовані та інші, споживачі яких мають можливість отримувати теплову енергію від більш ефективних ТД в достатніх обсягах. Котельні знаходяться в стані консервації, є резервними потужностями, і можуть бути використані у випадках аварійних ситуацій на основних теплогенераторах або у теплових мережах від них.

До напрямків організаційних заходів щодо підвищення надійності роботи системи тепlopостачання міста Києва в цілому та в тому числі теплових джерел можна віднести резервування теплогенераційних потужностей з метою забезпечення компенсації нестачі виробництва теплової енергії в разі аномально низьких температур навколишнього повітря (нижче розрахункової температури для опалення) та на випадок аварійних ситуацій. Резервування може і має здійснюватись як в межах одного теплогенератора (резервні котли), так і на інших теплогенераторах, які не беруть участі в покритті навантажень в межах розрахункових.

При цьому слід відрізнити такі резервні потужності від пікових, які використовуються для покриття навантажень при низьких температурах, але в межах розрахункових.

Для підвищення надійності роботи теплових джерел слід забезпечити можливість їх роботи на резервному паливі, де це технічно та екологічно можливе. Для теплогенераторів великої потужності, працюючих на природному газі, таким резервним паливом зазвичай є мазут; теплогенератори ж середньої та малої потужності, працюючі на природному газі, найчастіше не мають можливості роботи на іншому паливі, і тому

мають бути з'єднані перетинками з іншими, бажано великими теплоджерелами. Теплоджерела ж, які працюють на твердому паливі, мають бути оснащені резервними потужностями для роботи на іншому паливі, бажано природному газі, з забезпеченням можливості його підводу; це особливо актуально для малих котельнь, працюючих на біомасі, які обов'язково мають бути дооснащені котлами на газі сумарною потужністю щонайменше в межах базового навантаження.

Також потрібно проконтролювати забезпечення належних вимог з наявності у теплоджерел резервного джерела електроживлення.

Крім перелічених заходів, надійності та безперебійності роботи системи тепlopостачання та подовженню строку її експлуатації сприятимуть зниження параметрів температури та тиску при експлуатації теплових мереж, в тому числі впровадження зниженого температурного графіка роботи теплоджерел та мереж, розділення первинного та вторинного контурів теплоносія (перехід до незалежної системи) шляхом повного обладнання всіх гілок вторинних контурів тепловими пунктами з теплообмінниками та насосами.

Технічні заходи щодо підвищення ефективності роботи джерел генерації теплової енергії системи тепlopостачання міста Києва

До основних технічних заходів, впровадження яких може бути рекомендоване на джерелах генерації теплової енергії в системі тепlopостачання міста Києва, можна віднести наступні:

- збільшення частки виробництва теплової енергії на когенераційних потужностях, шляхом збільшення когенераційних потужностей ТЕЦ та впровадження технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на крупних теплоджерелах (станціях тепlopотачання та районних котельнях);
- заміна застарілих низькоефективних котлів, в першу чергу тих, що використовуються для покриття базових навантажень теплоджерел, на вискоефективні з ККД не нижче 92%;
- модернізація котлів з підвищенням їх ефективності до рівня ККД не нижче 92%, в тому числі заміна палинкових пристроїв котлів на більш ефективні та екологічно чистіші, впровадження технології інтенсифікації топкового теплообміну шляхом встановлення вторинних випромінювачів в топках котлів, зокрема малої та середньої потужності, та інші;
- розширення впровадження технології утилізації скидної теплоти димових газів котлів, за можливістю з утилізацією також теплоти конденсації водяної пари;

- розширення впровадження частотного регулювання електроприводів двигунів вентиляторів, димососів і насосів зі змінною потужністю;
- розширення впровадження сучасних приладів та систем автоматики для діагностики та регулювання процесів спалювання палива;
- розширення впровадження сучасних приладів обліку та систем диспетчеризації;
- комплексне налагоджування котелень і теплових мереж з використанням сучасних засобів регулювання та контролю;
- переоснащення котелень, де це доцільно, для можливості використання місцевого біопалива (відходи деревини та деревообробки тощо);
- розширення впровадження технології використання енергетичного потенціалу твердих побутових відходів (ТПВ) та біогазу комунальних стоків;
- розширення впровадження технології теплових насосів;
- впровадження технології гібридного теплопостачання з використанням електричної енергії, зокрема її профіцита у нічний час, для вироблення теплової енергії;
- впровадження технології використання сонячної енергії для вироблення теплової енергії;
- впровадження адекватних потребам споживачів температурних графіків роботи теплових джерел та мереж.

Крім впровадження заходів безпосередньо на джерелах генерації теплової енергії в системі теплопостачання міста Києва, слід рекомендувати обов'язкове впровадження пов'язаних технічних заходів також у системі транспортування та розподілу теплової енергії, та заходів з підвищення ефективності її використання у споживачів, в тому числі наступних основних:

- розширення впровадження технології встановлення автоматизованих індивідуальних теплових пунктів;
- заміна зношених труб теплових мереж на попередньоізольовані труби, в тому числі пластикові де можливо, з індикацією витоків; проведення санації трубопроводів;
- розширення впровадження технології термомодернізації будівель житлового фонду та бюджетної сфери тощо.

Впровадження всіх викладених організаційних та технічних заходів дозволить знизити загальні енерговитрати на теплопостачання споживачів міста Києва на щонайменше 25%.

Список використаної літератури

1. <http://document.ua/ktm-204-ukrayini-244-94-26quot-normi-ta-vkazivki-po-normuvan-srrsdoc-srh2040164862.html>
2. http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/alldocWWW/C94C27F60EF128F1C2257F850068764A?OpenDocument
3. http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2.doc

УДК 697.34

О. І. Сігал, Д. Ю. Падерно

Інститут промислової екології, м. Київ

АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ м. КИЄВА

Протягом останнього десятиріччя були розроблені низка стратегічних і середньострокових документів – програм, планів тощо, присвячених виявленню та шляхам вирішення проблем теплопостачання міста Києва.

В 2011 році Київська міська державна адміністрація почала інтенсивну підготовку до системної модернізації міської інфраструктури – вперше за останні 30 років була розроблена «Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року», затверджена рішенням Київської міської ради від 15.12.2011 р. № 824/7060 [1], в якій основною стратегічною метою розвитку столиці визначене покращення якості життя мешканців, яке визначається економічним добробутом та рівнем комфорту життя в місті, і другою за пріоритетністю стала енергоефективність – ініціатива «Ощадлива енергетика». Практично одночасно були розроблені «Генеральний план розвитку м. Києва та його приміської зони до 2025 року», (розробник КО «Інститут Генерального плану міста Києва») [2], в якому були визначені тенденції розвитку міста і прогнозовані зміни обсягів споживання ПЕР містом, що дозволило побудувати базову лінію споживання теплової енергії, а також паливно-енергетичний баланс майбутніх періодів системи теплопостачання і міста в цілому, «Схема теплопостачання м. Києва на період до 2015 року» (розробник ТОВ «Укренергопром-2»), затверджена рішенням Київської міської ради від 30.12.2010 р. № 571/5383 [3], та дві великі середньострокові

програми – «Регіональна програма модернізації комунальної теплоенергетики та системи теплопостачання м. Києва на 2011–2015 роки» (розробник ПрАТ «СТЕК»), затверджена рішенням Київської міської ради від 29.12.2011 № 1007/7243 [4], та «Регіональна програма підвищення енергоефективності на 2011–2015 роки для міста Києва» (розробник Інститут енергоменеджменту та енергозбереження при НТУУ «КПІ»), затверджена рішенням Київської міської ради від 27.10.2011 № 387/6603 [5].

На основі вказаних документів, в рамках проекту «Реформа міського теплопостачання», що фінансується АМР США (USAID), в 2011–2012 роках був розроблений «Міський енергетичний план Києва на 2012–2016 роки», затверджений Рішенням Київської міської ради від 01.11.2012 р. № 239/8523 [6], в якому розглянуті планування розвитку і модернізації системи теплопостачання, житлових і бюджетних будівель Києва, фактично середньостроковий план дій в енергетичній сфері, спрямований на досягнення цілей, які відповідають стратегічним ініціативам і основними напрямками реалізації Стратегії розвитку міста:

Аналіз наведених документів і програм дозволяє відмітити наступні їх характерні особливості:

- Структурна неузгодженість основних документів і програм, що визначають розвиток Києва в енергетичному плані на період до 2025 року. При окремому розгляді – це документи високої якості, разом – це документи-антагоністи, що не взаємодоповнюють один одного, а суттєво суперечать і конкурують між собою за використання наявної ресурсної і фінансової бази.
- Відсутність синхронізації цілей і проектних векторів пропонованої модернізації з загальноприйнятими в ЄС. Практично всі документи розроблені без урахування доктрин європейської енергетичної політики, відображених в затверджених Європарламентом Директивах ЄС та інших документах Європейської Комісії. Таке планування ставить під загрозу можливості міста щодо ресурсної бази зовнішніх запозичень і політичної підтримки в масштабних планах його енергетичної модернізації.
- Неприйняття цілей глибокої модернізації існуючої комунальної інфраструктури. Практично всі пропоновані рішення засновані на середньостроковій модернізації. Ясно поставлених стратегічних цілей, що визначають задану глибину модернізації, немає.
- Порівняльний аналіз перспективних наслідків реалізації Директиви ЄС щодо підвищення енергетичної ефективності будівель (EPBD) в

країнах ЄС з ситуацією в Києві показує, що споживання теплової енергії будівлями Києва в 2020 році мало бути в 7–10 разів вище середнього споживання будівель Європи, з відповідними наслідками щодо потреби у виробництві теплової енергії та щодо оплати послуг тепlopостачання населенням і бюджетом міста. В 2020 році ми бачимо, що це не відповідає дійсності.

В листопаді 2011 році голова Київської міської державної адміністрації підписав Угоду мерів [7], розпочавши шлях до входження Києва в європейське енергоефективне співтовариство. Зокрема, відповідно до взятих зобов'язань при підписанні «Угоди мерів», місто поставило за мету знизити викиди парникових газів на 20% до 2020 року за рахунок підвищення на 20% ефективності використання енергії та підвищення на 20% частки відновлювальних джерел в структурі енергоносіїв.

В 2016 році була прийнята «Комплексна цільова програма підвищення енергоефективності та розвитку житлово-комунальної інфраструктури міста Києва на 2016–2020 роки», затверджена рішенням Київської міської ради від 17 березня 2016 року № 232/232 (розробники програми – Комунальна науково-дослідна установа «Науково-дослідний інститут соціально-економічного розвитку міста» та ПрАТ «СТЕК»). Програма спрямована на реалізацію Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року, затвердженої рішенням Київської міської ради від 15 грудня 2011 року № 824/7060, а саме: стратегічної ініціативи «Першокласна інфраструктура» в частині житлово-комунального господарства та стратегічної ініціативи «Ощадлива енергетика».

У цій «Комплексній цільовій програмі...» була відмічена наявність розрахункового дефіциту теплової енергії, при цьому було акцентовано, що «Вказаний дефіцит має місце по відношенню до розрахункового теплоспоживання. Фактичні і оптимальні обсяги споживання теплової енергії можливо оцінити за умови стовідсоткового обладнання будівель вузлами обліку тепла та індивідуальними тепловими пунктами (з автоматичним регулюванням споживання теплової енергії), що, як свідчить зарубіжний досвід, дозволить зменшити загальний рівень споживання тепла житловими і нежитловими будинками на 15–30%».

Рішенням Київської міської ради від 21.12.2017 № 1042/4049 була затверджена «Програма економічного і соціального розвитку м. Києва на 2018–2020 роки», до якої далі були внесені зміни щодо розподілу асигнувань, переліку об'єктів капітального будівництва тощо, Рішенням КМР 13.12.2018 № 415/6466 «Про внесення змін до Програми еконо-

мічного і соціального розвитку м. Києва на 2018–2020 роки, затвердженої рішенням Київської міської ради від 21 грудня 2017 року № 1042/4049», Рішенням КМР від 12.12.2019 № 458/8031 «Про внесення змін до Програми економічного і соціального розвитку м. Києва на 2018–2020 роки, затвердженої рішенням Київської міської ради від 21 грудня 2017 року № 1042/4049», та Розпорядженнями КМДА від 28 грудня 2019 року № 2290, від 26 лютого 2020 року № 328, від 12 травня 2020 року № 697. В цій Програмі відображені зокрема заходи з підвищення ефективності використання комунальної інфраструктури та споживання енергоресурсів, а також із забезпечення екологічної безпеки в столиці та зниження негативного впливу на довкілля, включаючи зменшення негативного впливу промисловості та впровадження сучасних методів переробки твердих побутових відходів та обмеження їх поховання на полігонах (мета – Zero waste). В тому числі, щодо енергетичного господарства передбачено впровадження з 2020 року інтелектуальних механізмів прогнозування споживання енергоресурсів з метою скорочення надмірної генерації (інформаційно-аналітичні системи та програмні комплекси для прогнозування споживання).

В 2019 році колективом з декількох організацій під керівництвом КО «Інститут Генерального плану м. Києва» розроблений проект нового Генерального плану міста Києва, зокрема розділ «Теплопостачання» розроблений за участю ТОВ «Укренергопром-2» та ПрАТ «СТЕК». Найважливіша у «Книзі 13.2. Теплопостачання» цього проекту Генерального плану м. Києва інформація, наскільки можна визначити, заснована на даних з попередньої «Схеми теплопостачання м. Києва на період до 2015 року», розробленої ТОВ «Укренергопром-2» та затвердженої рішенням Київської міської ради від 30.12.2010 р. № 571/5383, з лише частковою актуалізацією інформації з огляду на зміни економічних умов господарювання за цей час; тобто ця інформація, з огляду на дату її джерела, може бути вже суттєво застаріла.

В 2019 році була створена нова редакція вказаної вище «Стратегії розвитку міста Києва до 2025 року» [8], в зв'язку з невідповідністю першої редакції, яка була затверджена рішенням Київської міської ради № 824/7060 від 15 грудня 2011 року, вимогам новоприйнятих нормативно-правових документів та сучасним соціально-економічним реаліям.

Стратегія розвитку міста Києва відповідає положенням Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року, затвердженої Постановами КМУ від 06.08.2014 № 385 та від 11.11.2015 № 931 [9].

На жаль, щонайменше деякими вихідними даними для цієї нової редакції Стратегії стали застарілі дані, зокрема, як визначено в ній самій, «прогнозні дані за даними ПЕСР м. Києва на 2016 р.».

Стратегія є високорівневим документом, тому визначені у ній цілі, завдання та заходи повинні деталізуватися за допомогою таких інструментів, як плани заходів з реалізації Стратегії, програми та проекти міського розвитку.

Одним з таких документів і має бути нова Схема теплопостачання міста Києва на період до 2030 року.

В кінці 2019 року розпочата робота з розроблення нової Схеми теплопостачання міста Києва на період до 2030 року, метою якої є оптимізація системи централізованого теплопостачання міста Києва на розрахунковий період до 2030 року з врахуванням існуючого стану джерел генерації теплової енергії, теплових мереж, перспектив розвитку міста та потреби в забезпеченні тепловою енергією існуючого і перспективного будівництва, потреби та можливостей модернізації джерел генерації теплової енергії та теплових мереж, розвитку технологій виробництва теплової енергії для потреб теплопостачання міста, можливостей використання відновлювальних видів палива та альтернативних джерел енергії.

Список використаної літератури

1. http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ed_2011_12_15/MR111604.html
2. <http://kiev4you.org/gif/genplan2025.pdf>
3. http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/alldocWWW/4E474309719DBEB8C2257840006EF818?OpenDocument
4. http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ed_2011_12_29/an/17/MR111959.html#17
5. http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ed_2011_10_27/an/20/MR111576.html#20
6. http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/2cb81fc6e918119e422569b20056482e/37c2818a01f88ddac2257b18006df501?OpenDocument
7. https://web.archive.org/web/20150420201644/http://www.eumayors.eu/IMG/pdf/covenantofmayors_text_ua.pdf
8. <https://dei.kyivcity.gov.ua/files/2017/7/28/Strategy2025new.pdf>
9. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/385-2014-%D0%BF>,
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/931-2015-%D0%BF>

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ОЦІНКИ ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ ПОТРЕБ СПОЖИВАЧІВ МІСТА КИЄВА У ТЕПЛОВІЙ ЕНЕРГІЇ

Перспективи розвитку системи теплопостачання міста Києва в частині джерел генерації теплової енергії, які розглядаються в численних документах з цього питання, побудовані в основному на припущеннях суттєвого збільшення споживання теплової енергії всіма категоріями споживачів в секторі централізованого теплопостачання, при цьому кількісні характеристики такого зростання здебільшого знаходяться в діапазоні від 0,5 до 6 та навіть більше відсотків за рік.

Існуючий стан системи централізованого теплопостачання здебільшого оцінюється як такий, що характеризується дефіцитом потужностей виробництва теплової енергії відносно потреб міста, та прогнозується його подальше збільшення у наступні роки.

Так, наприклад, у «Регіональній програмі підвищення енергоефективності на 2011–2015 роки для міста Києва» [1] був зроблений висновок, що до 2015 року «з урахуванням очікуваних обсягів забудови та розвитку економіки вірогідним є збільшення теплопотреби споживачів м. Києва в 1,3 рази або до 12,3 тис. Гкал/год», тобто за 5 років очікувалось збільшення на близько 30%, або в середньому на 6% за рік. При цьому констатується існування дефіциту теплової енергії у місті, без належного детального аналізу цієї тези, та пропонуються заходи «для ліквідації існуючого на сьогоднішній день дефіциту тепла та покриття нових теплових навантажень».

Відповідно до Міського енергетичного плану Києва на 2012–2016 роки [2], споживання теплової енергії всіма категоріями споживачів в секторі централізованого теплопостачання до 2025 року має збільшитися на 14% від рівня 2010 року, тобто в середньому на 0,9% за рік. Припущення базувалось на даних Генерального плану згідно з прогнозом зростання чисельності населення м. Києва і разом з тим зростання багатопверхової забудови, що зумовлює в перспективі зростаючу потребу в тепловій енергії.

Проведений фахівцями Інституту промислової екології аналіз динаміки зміни сумарного підключеного навантаження до теплових джерел СВП «Київські теплові мережі» ПАТ «КІЇВЕНЕРГО» за 2011–2014 роки показав, що спостерігалась стійка тенденція до його зростання, з деякою різницею у навантаженні на опалення та ГВП. Так, загальне підключене навантаження на опалення збільшувалось у середньому на близько 0,7% за рік, а на ГВП – на близько 1,1% за рік, усереднено по опаленню та ГВП на близько 0,8% за рік.

В той же час, потенціал зменшення теплового навантаження в результаті впровадження заходів з теплової санації існуючих будівель у середньому є вищим, ніж потенціал збільшення навантаження в результаті будівництва нової житлової забудови. При цьому різні варіанти з утеплення будівель можуть забезпечити зменшення потреб у тепловій енергії на величину від 22 до 30%. Ці показники навіть можуть переkritи усереднені показники зростання нової забудови в існуючих житлових масивах.

В цій же «Регіональній програмі підвищення енергоефективності на 2011–2015 роки для міста Києва» відмічається важливе значення достовірності інформації щодо попиту і пропозиції теплової енергії, і пропонується «Вдосконалення процесу збору інформації... Забезпечити надійність і достовірність даних можна за допомогою таких заходів:

- обліку виробництва і кінцевого споживання теплової енергії;
- розробки несуперечливих, комплексних і зручних для користувача форм реєстрації даних і статистичної звітності (наприклад, по тарифах доцільно розробити уніфіковані формати звітності);
- проведення інвентаризації усіх теплових навантажень і попиту на теплову енергію за зонами теплопостачання».

Слід відзначити, що в цьому ж документі відмічається як невідповідність (перевищення) приєданого теплового навантаження теплових джерел в місті їх встановленій потужності, так і реальне неповне завантаження теплогерел навіть у найбільш інтенсивний зимовий період теплопостачання: «приєдане теплове навантаження деяких джерел теплоти перевищує їх наявну потужність на 10–15%. Слід зазначити, що приєдані навантаження споживачів є максимально можливими, тобто визначені для розрахункової температури (на опалення –22 °С, для вентиляції –10 °С). Середнє споживання теплоти споживачами значно нижче, але навіть в найбільш інтенсивний зимовий період теплопостачання середнє завантаження централізованих джерел не перевищує 72%, а для локальних джерел становить близько 40%». Ці тези, хоча й не спів-

падають з тезами у більшості інших документів щодо стану та перспектив теплопостачання у м. Києві, співзвучні результатам проведеної фахівцями Інституту промислової екології в 2014–2015 роках роботи «Визначення можливості та доцільності заміни або подальшого використання котельного обладнання котелень СВП «Київські теплові мережі» ПАТ «Київенерго», на основі обстеження технічного стану та фактичного навантаження котелень», згідно яким загальна величина оціночного навантаження теплоджерел СВП «Київські теплові мережі», визначеного за методикою [3], складала 68% від номінального підключеного навантаження.

Визначене аналогічним шляхом за даними за опалювальні періоди 2018–2020 рр. оціночне навантаження теплоджерел СП «Київські теплові мережі» складає вже лише 55,6% від номінального (договірного) підключеного навантаження та 67,3% їх фактичної наявної потужності; для практично всієї системи теплопостачання міста Києва в цілому (сумарно КП «Київтеплоенерго» та ТОВ «Євро-Реконструкція») – відповідно 55,3% та 83,7%.

На цей час на сайті Департаменту містобудування та архітектури КМДА [4] оприлюднені 42 Детальних плани територій (ДПТ), в яких відображені проектні перспективи розвитку міста Києва в частині будівництва нових об'єктів житлової, комунальної, соціальної та іншої інфраструктури міста. Найстаріші з них були затверджені у 2005 році, найсвіжіші – у 2019 році.

Відповідно до цих ДПТ, додаткове проектне приєднане теплове навантаження нових об'єктів складе 2728,1 Гкал/год, або 26,5% теплопотреб (з урахуванням середньогодинного ГВП) споживачів міста в існуючому стані за проектом нового Генерального плану, який розробляється КП «Інститут генерального плану м. Києва», та 44,6% оціночного фактичного теплового навантаження (з урахуванням максимального ГВП) за розрахунками фахівців Інституту промислової екології.

Крім затверджених ДПТ, КП «Київтеплоенерго» видало 306 Технічних умов на приєднання нових споживачів до системи ЦТ, на загальне приєднане навантаження 1099,1 Гкал/год, при цьому перспективне додаткове теплоспоживання за виданими ТУ об'єктів, що не знаходяться в межах затверджених ДПТ і відповідно не враховані в них, складає 570,7 Гкал/год. Таким чином, загальне додаткове проектне приєднане навантаження за ДПТ та ТУ складає 3298,9 Гкал/год, або 32,0% від існуючого за проектом Генерального плану, та 53,2% оціночного фактичного теплового навантаження.

Такі величини відповідають збільшенню теплового споживання та відповідно навантаження теплоджерел міста усереднено на близько 4% щорічно, що видається маловірогідним.

З огляду на дуже низький відсоток виконання ДПТ, затверджених 10–15 років тому, – усереднено не більше 20% запланованих обсягів, за деякими взагалі не реалізовано, більш вірогідною здається лише часткова реалізація ДПТ, при цьому коефіцієнт впровадження окремих ДПТ може значно відрізнятись від інших.

Таким чином, адекватне визначення навіть існуючих, а тим більш перспективних потреб міста Києва в тепловій енергії потребує більш детальних та наближених до реальної ситуації досліджень, та відповідного корегування інформації, що наводиться у існуючих проектах основних містобудівних документів.

Список використаної літератури

1. http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/ed_2011_10_27/an/20/MR111576.html#20
2. http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/2cb81fc6e918119e422569b20056482e37c2818a01f88ddac2257b18006df501?OpenDocument
3. Падерно Д. Ю., Логвин В. О. Оціночне навантаження теплоджерела: поняття та методика визначення / Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: Сборник трудов // Институт промышленной экологии. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2018. – С. 64–65.
4. <https://kga.gov.ua/detalni-plani-teritoriji>

УДК 621.18:632.15

**І. Я. Сігал, А. В. Сміхула, О. В. Марасін, Е. П. Домбровська,
Є. М. Лавренцов**

Інститут газу НАН України, м. Київ

ДОСВІД ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ СПАЛЮВАННІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В КОТЛАХ

В 1960-70 роках, у зв'язку з дуже швидким розвитком енергетики і промисловості, а також стрімким зростанням міського населення, виявилось, що їх взаємна концентрація на обмеженій площі призводить до

різкого погіршення стану навколишнього атмосферного повітря. А це в свою чергу не тільки знижує якість життя людей, але і збільшує їх захворюваність. Тому, в СРСР, одночасно з США та ін. країнами почались широкомасштабні дослідження в напрямку екології в енергетиці і промисловості.

В результаті експериментальних досліджень, для кожного забруднювача, було визначено безпечні межові-допустимі концентрації (МДК) щодо атмосферного повітря населених місць [1]. Виявилось, що при співрозмірних концентраціях основних шкідливих речовин в димових газах котлоагрегатів при спалюванні викопних палив МДКсд (середньодобова) для монооксиду вуглецю в повітрі складає – 3 мг/м^3 , діоксиду сірки – $0,05 \text{ мг/м}^3$, твердих частинок – $0,1 \text{ мг/м}^3$ і оксидів азоту (NO та NO_2) – $0,04 \text{ мг/м}^3$. Тобто, оксиди азоту, які утворюються при спалюванні будь-якого палива, в тому числі і природного газу, є найбільш небезпечними. На даний час, концентрація NO_x в атмосферному повітрі багатьох міст Європи, що формується за рахунок спалювання палив в промислових і опалювальних котлах та двигунах автотранспорту (особливо дизельних), перевищує допустимі норми [2–3], причому, зокрема в м. Києві, де крім Дарницької ТЕЦ всі котли працюють на природному газі, при спалюванні якого оксидів азоту утворюється орієнтовно в 2 рази менше на вивільнену одиницю теплової енергії ніж при спалюванні вугілля.

Уже в 1970-х роках Інститутом газу НАН України під керівництвом І. Я. Сігала були виконані одні з перших в СРСР робіт по зниженню утворення NO_x в котлах енергоблоків 300 і 200 МВт на газі за рахунок рециркуляції продуктів згорання до пальників (Київська ТЕЦ-5 та ін.) [4]. В середині 1980-х розроблені одні з перших в Європі газомазутні пальники двоступеневого спалювання зі зниженим утворенням оксидів азоту (ГДС-100 і ГДС-50 для котлів ПТВМ-100 і ПТВМ-50, а також парових типу Е-50-140, БКЗ та ін.), які були доопрацьовані, виготовлені, випробувані і встановлені при співробітництві з ВТІ [5] у Москві, Ленінграді, Вільнюсі, Ризі, Софії, більш ніж на 200 котлах ПТВМ-100 і ПТВМ-50 у Києві (районні котельні: «Нивки», «Відрадний», «Виноградар», «Борщагівка»), а також у Львові, Дніпропетровську, Харкові та ін. містах України. Масове впровадження декількох тисяч таких пальників дозволило знизити концентрації NO_x в продуктах згорання з $220\text{--}260 \text{ мг/нм}^3$ до $130\text{--}160 \text{ мг/нм}^3$ (при 3% O_2), рисунок [4].

Україна при вступі до Європейського енергетичного співтовариства і підписанні Асоціації з Європейським Союзом, взяла на себе зобо-

в'язання імплементувати директиви ЄС і почати їх дотримуватися в обумовлені терміни, в тому числі щодо викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря при спалюванні палив [6–7].

На теперішній час більшість пальникових пристроїв стадійного спалювання (рисунок), вимагає капітальних ремонтів і налагодження з приведенням їх показників до розрахункових. Відмітимо також, що більшість існуючих газомазутних пальників може бути реконструйовано за подібною схемою. Було розроблено нові перспективні пальникові пристрої стадійного спалювання з каналом вторинного повітря з вогнетривкого матеріалу, які дозволять знизити викиди оксидів азоту при спалюванні природного газу до рівня 100 мг/м^3 (при 3% O_2) (для деяких конструкцій топкових камер необхідно поєднання з іншими методами зниження викидів NO_x), в тому числі можлива маловитратна модернізація існуючих пальників типу ГДС [8].

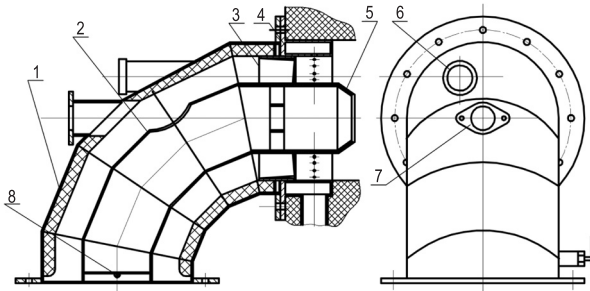


Рисунок. Схема пального пристрою стадійного спалювання типу ГДС:

1 – корпус; 2 – канал вторинного не закрученого потоку повітря; 3 – лопатковий апарат; 4 – газова камера; 5 – звуження каналу вторинного повітря; 6 – вікно для візуалізації горіння; 7 – місце для мазутної форсунки; 8 – шибер для регулювання частки вторинного повітря.

Інститутом газу було розроблено і застосовано методи інтенсифікації впливу газів рециркуляції за рахунок зміни способу їх введення при спалюванні природного газу:

- а) подача газів рециркуляції не в дуттьове повітря, а в паливний газ – підвищує ефективність впливу газів рециркуляції в 2–3 рази, що дозволяє для зниження виходу NO_x в 2 рази вводити в паливний пристрій не 20–25%, а лише 7–8% газів рециркуляції (практично не знижується ККД котла), а це знижує наван-

таження на тягодуттвові машини; було розроблено принципово нові пальники, що випробувані на котлах 100 т/год пари Сєвєродонєцької ТЕЦ;

- б) збільшення подачі газів рециркуляції в центральні пальники і відповідне зниження подачі їх в крайні – підвищує інтенсивність впливу газів рециркуляції, вихід оксидів азоту зменшується на 25–30% – було застосовано на котлах енергоблоків 250/300 МВт ТГМП-314А та ін. [4, 9]; для промислових котлів і електростанцій, які не мають рециркуляційного димососа, відпрацьована і використана на ряді котлів схема перепуску частини димових газів з димососа у вхідний патрубок вентилятора [10–11].

На підставі накопиченого більш ніж 60-річний досвід широкого використання природного газу в котлах різної потужності і узагальнення досвіду по вивченню утворення NO_x в більш ніж 100 котлах, можна записати емпіричну залежність, що дійсна на ділянці діапазону коефіцієнтів надлишку повітря в топці $\alpha = 1,0 \dots 1,11$ [12]:

$$\text{NO}_x = A \cdot D_{\text{пр}}^{0,8} \cdot q_{\text{т}}^{0,5} \cdot \alpha_{\text{т}}^3 \cdot [(1 - K_{\delta} \cdot \delta - K_r \cdot r) \cdot K_{\text{эф}}] \text{ мг/нм}^3, \quad (1)$$

де A – коефіцієнт пропорційності (для водогрійних котлів потужних котельнь на газі $A = 27$, парових котлів електростанцій $A = 55$);

$D_{\text{пр}}$ – еквівалентний діаметр топкової камери $D_{\text{пр}} = \frac{4F}{U}$, де F – площа перетину;

U – периметр топкової камери, м;

$q_{\text{т}}$ – теплове навантаження топкового об'єму, ГДж/м³·год;

$\alpha_{\text{т}}$ – коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки;

δ – доля повітря, що подають в якості вторинного, % (15–20%);

K_{δ} – коефіцієнт, що характеризує ефективність двостадійного горіння ($K_{\delta} \sim 0,02$);

r – ступінь рециркуляції, % (як правило $r = 10 \dots 20$ %);

K_r – коефіцієнт, що характеризує ефективність рециркуляції ($K = 0,025 \dots 0,075$);

$K_{\text{эф}}$ – коефіцієнт, що враховує спільну дію двох або кількох методів пригнічення утворення оксидів азоту ($K_{\text{эф}} = 1,3 \dots 2,0$).

У запропонованій емпіричній формулі (1) щодо визначення концентрації NO_x не враховано можливе збільшення утворення NO при впливі сусідніх пальників. Це вимагає додаткових досліджень.

Зниження викидів оксидів азоту в першу чергу необхідно почати в містах і з промислових підприємств та енергетичних підприємств, ос-

кільки їх викиди не відповідають європейським стандартам в два і більше разів навіть при спалюванні природного газу. Причому, в залежності від конструкції котла, терміну його експлуатації, пікового навантаження котельні та умов експлуатації можна застосовувати як традиційні методи зниження концентрації оксидів азоту – рециркуляцію, стадійне спалювання і їх комбінації, так і такі як: подача суміші газів рециркуляції і природного газу, яка утворюється в пальниковому пристрої або навіть попередньо забаластованого іншими газами природного.

Висновки

Спостережуване перевищення допустимих концентрацій оксидів азоту в атмосферному повітрі великих міст України вимагає оперативної розробки дорожньої карти по їх зменшенню.

Збереження існуючої ситуації щодо перевищення допустимих норм шкідливих речовин в атмосферному повітрі міст України може привести до зростання кількості захворювань. Також масове переведення котлів з газу на вугілля, або інші тверді палива, незважаючи на значне зниження вартості умовної одиниці палива, може мати не тільки негативні екологічні наслідки, а в ряді випадків і економічні.

Інститут газу НАН України має значний багаторічний досвід зниження викидів оксидів азоту при спалюванні природного газу і може взяти на себе (самостійно або в співробітництві з Інститутом промислової екології) розробку, або реконструкцію пальникових пристроїв на двоступеневе спалювання, а також розробку цілісної системи зниження викиду NO_x (рециркуляція, стадійне спалювання в поєднанні з пальниками двоступеневого спалювання), провести її проектування, шеф-монтаж і пуско-наладку.

Список використаної літератури

1. ДСП 201-97 Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) // Наказ МОЗ № 201 від 09.07.97. <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=803>.

2. Сміхула А. В., Сігал І. Я., Бондаренко Б. І., Семенюк Н. І. Технології зниження шкідливих викидів до атмосфери тепловими електростанціями та котельними великої і середньої потужності України. – К.: ФОП Маслаков, 2019. – 108 с.

3. Bart Degraeuwe et al. (2017) Impact of passenger car NO_x emissions on urban NO_2 pollution – Scenario analysis for 8 European cities, Atmospheric Environment, № 171, pp. 330–337.

4. Сігал І. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 313 с.

5. Авторское свидетельство СССР № 1206558 М.кл. 4 F23D14/00 от 23.01.1986. Бюл. № 3. Горелочное устройство / Г. Ф. Найдёнов, А. Д. Горбаненко, Ю. П. Енякин, А. С. Куш, И. Я. Сигал.

6. Association Agreement between the European Union and the European Atomic Energy Community and their Member States, of the one part, and Ukraine, of the other part. – Law of Ukraine. – march 2014. – 277 p. <http://www.consilium.europa.eu/en/documents-publications/agreements-conventions/agreement/?aid=2014045>.

7. DIRECTIVE 2010/75/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). – 119 p. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>.

8. Сигал І. Я., Сміхула А. В., Марасін О. В., Лавренцов Є. М., Домбровська Е. П. Модернізація газових котлів ТЕС, ТЕЦ та котельні до вимог екологічних директив ЄС // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2017. – № 4. – С. 61–70.

9. Сигал І. Я., Дубоший А. Н., Сигал А. І., Сміхула А. В. Повышение эффективности влияния рециркуляции дымовых газов на снижение выброса оксидов азота котлами электростанций // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 1. – С. 48–52.

10. Сигал І. Я., Сміхула А. В., Марасін А. В., Лавренцов Е. М. Продление ресурса промышленных и отопительных котлов от 12 МВт котельных и ТЭЦ // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2015. – № 3. – С. 46–53.

11. Сигал І. Я., Нижник С. С. Зменшення утворення оксидів азоту рециркуляцією продуктів згоряння // Цукор України. – 1994. – № 3. – С. 14–16.

12. Сигал І. Я., Сміхула А. В., Сигал А. І. Опыт разработки горелочных устройств, топочных камер и технологий снижения выбросов оксидов азота при сжигании природного газа в котельных агрегатах // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2019. – № 3. – С. 70–79.

УДК 658.26:66

В. А. Седнин, А. В. Седнин, А. А. Абразовский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ «POWER TO GAS» В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Одним из инновационных направлений в рамках реализации парадигмы интегрированных интеллектуальных энергетических систем является применение концепции Power to Gas (PtG), сущность которой

заключается в использовании излишков электрической энергии для производства водорода посредством электролиза воды. В 2018 году мировое потребление водорода составило около 115 млн т в год, из них 70 млн т использовано в чистом виде (нефтепереработка, производство аммиака), оставшиеся 45 млн т – в смеси с иными газами [1]. На рис. 1 приведен тренд изменения использования водорода по основным областям потребления.

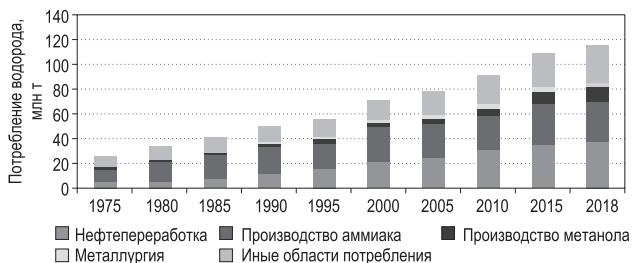


Рис. 1. Характер изменения потребление водорода в мире.

В настоящее время основным сырьем для производства водорода является природный газ (76% произведенного водорода) и уголь (23% произведенного водорода), менее 2% производится посредством электролиза воды. В связи с перманентным увеличением доли возобновляемых источников энергии и более активным использованием атомной энергии водород может занять принципиально иное место в мировой энергетике. В сжатом состоянии, в виде аммиака или синтетического метана водород является долгосрочным накопителем энергии для балансирования энергосистемы путем компенсации неравномерностей выработки и потребления энергии.

Республика Беларусь, являясь одной из самых газифицированных стран мира, располагает системой газоснабжения, производственный комплекс которой включает газотранспортную (протяженность магистральных газопроводов более 7,9 тыс. км) и газораспределительную (протяженность газопроводов более 60 тыс. км) структуры, обеспечивающие подачу природного газа во все города и районные центры республики [2, 3]. Применение PtG технологии позволяет достичь более многомерной интеграции системы газоснабжения в топливно-энергетический комплекс республики, путем преобразования избыточной электроэнергии в синтетический метан, совместимый по своим характеристикам с природным газом, посредством двухэтапного про-

цесса: производство H_2 путем электролиза воды и конверсии H_2 с внешним источником CO_2 в CH_4 посредством метанизации. Таким образом, избыточная электроэнергия может быть преобразована в накопительный и экономичный химический энергоноситель посредством электролиза и метанизации, а существующие инфраструктурные объекты системы газоснабжения использованы для его хранения и транспортировки.

Современные эффективные PtG установки с метанизацией имеют эффективность 54% (в метан преобразуется 54% исходной электроэнергии) [4]. В рамках европейского проекта HELMETH удалось увеличить эффективность преобразования электричества в метан до 76% за счет объединения высокотемпературного электролиза и метанизации в единый технологический процесс. Одним из основных преимуществ указанного процесса является оптимальное использование технологической теплоты процесса метанизации для удовлетворения потребностей в теплоте для электролиза [5].

В работах [6–8] синтезированы и оптимизированы новые регенеративно-утилизационные схемы комбинированных энерготехнологических установок на базе компрессорных станций магистральных газопроводов, отличающиеся совмещением принципов внутреннего и внешнего энергоиспользования и позволяющие без снижения надежности и энергоэффективности работы газоперекачивающих агрегатов максимально использовать ВЭР станции для генерирования электрической и тепловой энергии. При осуществлении дальнейших исследований по данному направлению была разработана технологическая схема комбинированной энерготехнологической установки на базе компрессорной станции магистральных газопроводов с применением PtG технологии. Технологическая схема указанной установки представлена на рис. 2.

Увеличение давления транспортируемого природного газа осуществляется в центробежном нагнетателе (I) с приводным газотурбинным двигателем. Продукты сгорания после газовой турбины (VI) поступают в котел-утилизатор (VIII), в котором генерируется перегретый пар, необходимый для работы паровой турбины с регулируемым отборами пара. Электроэнергия, вырабатываемая в генераторах (VII) и (XVIII), направляется в электролизер (XIX) для производства водорода. Часть продуктов сгорания после котла-утилизатора и охлаждения в теплообменном аппарате (IX) поступает в углекислотную станцию (XX), где посредством технологии абсорбции получается углекислый

газ. В реакторе Сабатье (XXI) в результате экзотермической равновесной реакции водород и углекислый газ превращаются в метан и воду. Полученный в результате реакции синтетический метан может быть возвращен в магистральный газопровод либо использован в качестве топлива для газоперекачивающего агрегата.

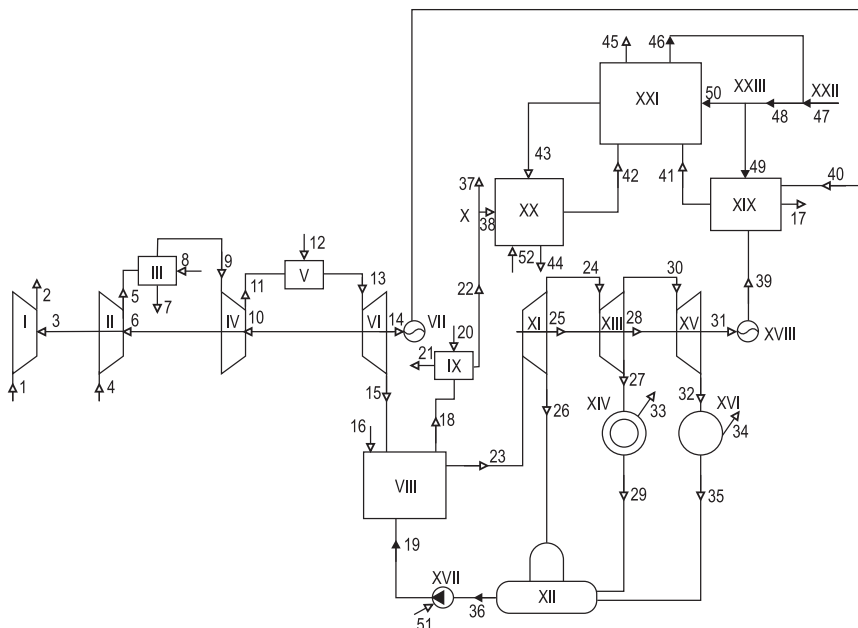


Рис. 2. Технологическая схема комбинированной энерготехнологической установки на базе газоперекачивающего агрегата компрессорной станции магистрального газопровода:

I – нагнетатель; II, IV – воздушный компрессор; III, IX – теплообменные аппараты; V – камера сгорания; VI – газовая турбина; VII, XVIII – электрогенератор; VIII – котлутилизатор; XI, XIII, XV – ступени паровой турбины; XII – деаэрактор; XIV – потребитель тепловой энергии; XVI – конденсатор; XVII – насос питательной воды; XIX – электролизёр; XX – углекислотная станция; XXI – реактор Сабатье; 1, 2, 12, 16, 45 – природный газ; 4, 5, 9, 11 – воздух; 13, 15, 18, 22, 37, 38 – продукты сгорания; 17 – кислород; 23, 24, 26, 27, 30, 32 – пар; 29, 35 – конденсат; 19, 36, 43, 46, 47, 48, 49, 50 – вода; 41 – водород; 42 – углекислый газ; 44 – технологические отходы; 3, 6, 10, 14, 25, 28, 31 – механическая энергия; 33, 34 – тепловая энергия; 39, 40 – электрическая энергия.

Для параметрической оптимизации комбинированной энерготехнологической установки была разработана математическая модель

макроуровня. В качестве критерия эффективности была принята удельная выработка синтетического метана k_{CH_4} .

$$k_{\text{CH}_4} = \frac{G_{45}}{G_{\text{тр.газ}}},$$

где $G_{\text{тр.газ}}$ – расход транспортируемого природного газа, кг/с.

В число оптимизируемых параметров входили: температура воздуха, поступающего в компрессор газотурбинного двигателя T_4 , коэффициент эффективности электролизера k_{H_2} . Диапазоны их изменения соответственно составляли: $T_2 = 15 \dots 35$ °C, $k_{\text{H}_2} = 3 \dots 6$ кВт·ч/м³. Численное исследование проводилось при расходе транспортируемого природного газа 233 кг/с, что равняется единичной производительности действующего на компрессорных станциях газоперекачивающего агрегата. В исследуемой области максимальное значение удельная выработка метана составило $264 \cdot 10^{-6}$ кг/с соответственно для значений $T_2 = 15$ °C и $k_{\text{H}_2} = 3$ кВт·ч/м³. Наиболее существенное влияние на удельную выработку метана оказывает эффективность электролизера, так при $k_{\text{H}_2} = 4$ кВт·ч/м³ (эффективность действующих промышленных электролизеров) значение удельной выработки снижается до $198 \cdot 10^{-6}$. При оптимальных значениях выбранных параметров количество вырабатываемого синтетического метана составляет 6,4% от расхода топливного природного газа, а с учетом реальной эффективности современных электролизеров снижается до 5%.

Выводы

Одним из инновационных направлений в рамках реализации парадигмы интегрированных интеллектуальных энергетических систем является применение концепции «POWER TO GAS», сущность которой заключается в преобразование электрической энергии в водород и метан. Показано, что в условиях Республики Беларусь применение PtG технологии позволяет достичь более многомерной интеграции системы газоснабжения в топливно-энергетический комплекс республики путем преобразования избыточной электроэнергии в синтетический метан, совместимый по своим характеристикам с природным газом.

Результаты численного исследования эффективности утилизации тепловых отходов газоперекачивающих агрегатов компрессорной стан-

ции магистрального газопровода с применения комбинированной энерготехнологической установки по PtG технологии позволяет производить синтетический метан в объеме около 5% от объема топливного газа, затрачиваемого на привод газоперекачивающего агрегата.

Список использованной литературы

1. The Future of Hydrogen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://webstore.iea.org/download/direct/2803>. – Дата доступа: 25.02.2020.

2. О компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.btg.by/about/>. – Дата доступа: 04.04.2019.

3. Газификация потребителей Республики Беларусь на современном этапе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belmingaz.by/news/gazifikacija_potrebitelej_respubliki_bielarus_na_sovremennom_ehtape/2018-04-06-40/. – Дата доступа: 05.04.2019.

4. Ученым удалось радикально повысить КПД технологии преобразования электричества в газ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://renen.ru/scientists-managed-to-radically-improve-the-efficiency-of-power-to-gas-technology/>. – Дата доступа: 05.04.2019.

5. Methanation process [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.helmeth.eu/index.php/technologies/methanation-process/>. – Дата доступа: 05.04.2019.

6. Несенчук А. П. Влияние теплоутилизационного «хвоста» компрессорной станции на эффективность работы газотурбинного привода с изобарным подводом теплоты и регенеративным теплоиспользованием / А. П. Несенчук, В. Н. Романюк, А. А. Абразовский, А. Б. Бегляк, Т. В. Рыжова, В. В. Бегляк, Р. О. Кузьмин // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2013. – № 4. – С. 37–46.

7. Седнин В. А. Повышение эффективности газоперекачивающего агрегата компрессорной станции магистрального газопровода / В. А. Седнин, А. А. Абразовский // Энергия и Менеджмент. – 2015. – № 6. – С. 14–16.

8. Седнин В. А. Применение паросиловой установки для повышения энергоэффективности работы газоперекачивающего агрегата компрессорной станции магистрального газопровода / В. А. Седнин, А. А. Абразовский // Энергия и Менеджмент. – 2016. – № 2. – С. 16–19.

А. М. Тарадай, В. С. Бугай, М. А. Яременко

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ПУТИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ВЛАДЕЛЬЦЕВ КВАРТИР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

С тех пор, как цены на энергоносители поползли вверх, существенно обгоняя рост доходов населения, о приборах учета задумывался каждый владелец квартиры многоэтажного жилого дома. Не менее половины потребителей уже обзавелись счетчиками холодной и горячей воды; все больше квартир оснащаются счетчиками газа; жильцы тщательно следят за расходом электроэнергии, и устанавливают многотарифные электросчетчики, позволяющие экономить на потреблении в ночное время. И только отопление – самая дорогая из жилищно-коммунальных услуг – пока остается вне сферы влияния потребителя, который вынужден оплачивать те суммы, которые указывают ему в платежке, не имея реальной технической возможности регулировать свое теплосребление.

Сегодня в XXI веке обязательно следует иметь коммерческие счетчики тепла у всех потребителей. Эти счетчики должны быть общедомовые для расчета поставщика тепла с потребителем и квартирные – для расчетов непосредственно с каждым владельцем квартиры.

С начала массовой установки общедомовых счетчиков тепла в жилых домах Украины прошло уже более 20 лет. Государство, местные органы власти, владельцы домов и частично сами жильцы прикладывают усилия для решения задачи 100% оплаты по счетчику потребленного жилым домом тепла.

Однако, как показывает накопленный опыт общедомовые приборы учета, о которых еще недавно мы лишь мечтали, не является, стимулом для экономии каждой отдельно взятой семьи.

Есть немало примеров, когда жители вообще не доверяют общедомовому счетчику, сорятся друг с другом, пытаясь «прикрутить» прибор учета в подвале или, наоборот, открыть его «на всю катушку», потому что у кого-то в квартире холодно, а у кого-то – слишком жарко.

Наблюдается также парадоксальная ситуация: жильцы 16-этажных и некоторых других домов улучшенной планировки всячески противятся установке приборов учета тепла. Имеются даже случаи, когда уже установленные приборы, жильцы выводят из строя или демонтируют под различными предлогами.

Анализируя сложившееся положение по учету тепла, следует понимать, что какой бы самый хороший счетчик ни ставили на вводе в дом, мы все равно продолжаем «колхоз» в потреблении тепла и оплате за него. Естественно, что если установлен общий счетчик, то и экономить должны все вместе. В наших условиях это очень сложно, а с нашим менталитетом, просто невозможно.

У немцев, поляков, датчан и многих других народов коллективный подход к энергосбережению получается, у нас, как правило, не получается.

Накопленный опыт свидетельствует что установка общедомовых приборов учета в подавляющем большинстве 5-, 9-, 12-этажных жилых домов приводит к снижению денежных затрат на отопление каждым владельцем квартиры по сравнению с оплатой без прибора по тарифу за один квадратный метр.

В то же время установка счетчика в 16-этажных и некоторых других типах жилых домов показывает, что фактические расходы на их отопление возрастают. Естественно возникает желание потребителей отказаться от услуг установленных общедомовых приборов учета.

Не следует искать в этом случае причину в непорядочности теплоснабжающего предприятия, неисправности приборов, халатности или предвзятости обслуживающего персонала.

На самом деле ответ на вопрос кроется в действующей методике расчета тарифа – цены отопления одного квадратного метра площади квартиры включающего в себя и общедомовые затраты на отопление мест общего пользования (лестничные клетки, вестибюли и т.д.).

Практика расчета тарифа, единого для всего города или населенного пункта, получающего тепло от конкретной теплоснабжающей организации, сложилась еще в середине прошлого века и применяется, по сей день.

Основной действующей методики расчета стоимости одного квадратного метра отапливаемой площади является определение среднеарифметической величины для всех жилых домов конкретного населенного пункта. Такая усредненная величина определяется путем деления суммарного количества тепла, отнесенного поставщиком тепла

на нужды отопления всех подключенных жилых домов на суммарную отапливаемую площадь этих домов. При этом не учитываются ни этажность зданий, ни их конструкция (кирпичные, пеноблочные, панельные), ни схема системы отопления, ни наличие и конструкция чердаков и подвалов, ни соотношения жилой и полезной площади, ни архитектурно-строительные и другие факторы, влияющие на теплопотери зданий, которые рассчитываются по общеизвестной формуле (1).

$$Q_i = F_i \cdot \frac{1}{R_o} (t_b - t_n), \text{ ккал/ч}, \quad (1)$$

где Q_i – теплопотери через отдельные ограждающие конструкции;
 F_i – площадь ограждения, м²;
 R_o – сопротивление теплопередаче ограждения, м² · ч град/ккал;
 $t_b - t_n$ – разность температур внутреннего и наружного воздуха, град.

Учесть в тарифе теплопотери, полученные для каждого здания расчетным путем с учетом всех факторов практически невозможно. Формула для расчета стоимости отопления одного квадратного метра остается классической:

$$C'_{\text{м}^2} = C_{\text{Гкал}} \cdot \frac{\sum Q_{2-4\text{эт.}} + \sum Q_{5\text{эт.}} + \sum Q_{9\text{эт.}} + \sum Q_{12\text{эт.}} + \sum Q_{16\text{эт.}}}{\sum F_{2-4\text{эт.}} + \sum F_{5\text{эт.}} + \sum F_{9\text{эт.}} + \sum F_{12\text{эт.}} + \sum F_{16\text{эт.}}}, \text{ грн./м}^2, \quad (2)$$

где Q – количество тепла необходимое для обогрева соответствующих потребителей (расчетное), Гкал;

F – отапливаемая площадь, м²;

$C_{\text{Гкал}}$ – стоимость тепла, грн./Гкал.

Причем следует обратить внимание на тот факт, что полученная в результате расчетов стоимость отопления 1 м² автоматически включает в себя две составляющие:

- стоимость отопления самой квартиры;
- стоимость отопления мест общего пользования жилого дома.

В условиях, когда все без исключения квартиры отапливаются централизованно при наличии только общедомового счетчика, такая усредненная величина стоимости отопления одного квадратного метра жилой площади квартиры вполне достаточна для ведения расчетов с каждым жильцом.

Но как только в доме появляется хотя бы один квартирный счетчик тепла или какая-то квартира переходит на автономное отопление от газового или электрического котла тут же возникает необходимость разделения «усредненного тарифа» на две самостоятельные составляющие:

- 1 – тариф на отопление 1 м² площади квартиры;
- 2 – тариф на отопление общедомовых помещений, отнесенный на каждую квартиру.

За рубежом, везде имеется разделение оплаты на такие две составляющие.

Отсутствие такого разделения оплаты в Украине приводит к недоумениям при расчетах между владельцами квартир даже в новых домах, а тем более в частично оборудованных квартирными счетчиками или частично переведенными на автономное отопление.

В качестве примера подтверждающего наше утверждение о недопустимости применения «усредненного тарифа» рассмотрим г. Харьков.

В таблице и на рисунке приведено количество многоквартирных жилых домов подключенных к централизованному теплоснабжению по г. Харькову и соответствие их действующему тарифу.

Как видно из таблицы и рисунка наибольшее число домов в г. Харькове и наибольшая отапливаемая площадь у 5–9-этажных домов, соответственно следом по количеству и по площади идут 2–4-, 12- и 16-этажной застройки. Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что действующий на сегодняшний день тариф соответствует и наиболее справедлив для 9-этажных жилых домов. У потребителей 12-этажных и 5-этажных зданий наблюдается несоответствие порядка 10%. Наименее соответствующими «среднеарифметическому» тарифу являются 16- и 2–4-этажные здания.

Таблица

Количество многоквартирных жилых домов, подключенных к централизованному теплоснабжению по г. Харькову и соответствие их действующему тарифу

№	Этажность	Количество	Площадь, тыс. м ²	Соответствие тарифу
1	До 4 этажей	1943	1132,8	0,75
2	5-этажные	1850	5311,7	0,89
3	До 9 этажей	1423	7377,0	1,01
4	До 12 этажей	287	1983,8	1,09
5	До 16 этажей	496	2971,3	1,32
6	Более 16 этажей	4	71,9	1,33

Следовательно, усредненный показатель стоимости отопления одного квадратного метра будет наиболее справедливым для того насе-

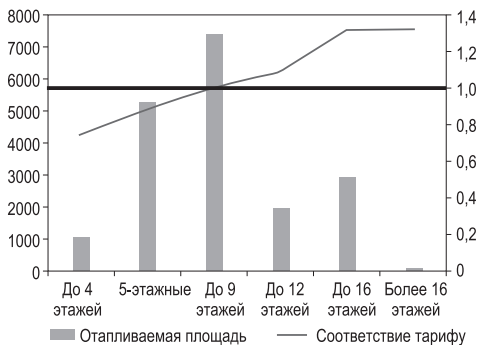


Рисунок. Соответствие отопляемой площади жилых домов, подключенных к централизованному теплоснабжению по г. Харькову действующему тарифу в зависимости от этажности зданий.

цировать хотя бы по основным характеристикам жилых домов – этажности. В дальнейшем тарифы должны совершенствоваться, учитывая не только этажность, конструкцию зданий, материалы ограждающих стен, планировку и т.д.

Наличие в городах и населенных пунктах значительного количества общедомовых счетчиков, установленных на всех типах жилых домов и накопленный опыт их эксплуатации, позволяет нам предложить внедрить в практику ценообразования аналогодифференцированный метод.

Суть метода заключается в определении затрат тепла на отопление соответствующей группы зданий не расчетным путем, а путем, определения потерь тепла каждого жилого дома данной группы на основании усреднения показаний всех действующих счетчиков тепла, установленных, на домах данной группы (3). Тогда, тариф получается наиболее правильным справедливым, полученным не расчетным путем, а на базе показаний приборов учета тепла аналогичных зданий

$$C'_{\text{тип}} = C_{\text{Гкал}} \frac{\sum Q_{\text{п.у.}}}{\sum F_{\text{тти}}^{\text{п.у.}}}, \text{ грн./М}, \quad (3)$$

где Q – количество тепла начисляемое по приборам учета в наиболее холодные периоды, Гкал/час;

$F_{\text{тти}}^{\text{п.у.}}$ – отопляемая площадь конкретного типа зданий с приборами учета м^2 ;

$C_{\text{Гкал}}$ – стоимость тепла, грн./Гкал.

ленного пункта, где застройка осуществлена домами одного типа или одной серии.

Расчеты за тепло с жителями домов в целом, а тем более с каждым владельцем квартиры в отдельности, еще долго придется вести по тарифам за отопляемую площадь. В связи с этим необходимо найти решение для формирования стимулирующего «справедливого тарифа».

На первом этапе формирования «справедливого тарифа» его следует дифферен-

Как пример, рассмотрим вариант с расчетом тарифа для 5-этажных домов г. Харькова. Мы имеем 1850 домов (панельных, кирпичных, пеноблочных и т.д.), из них 350 домов оборудованы счетчиками тепла. Нам нужно рассчитать тариф для всех остальных 1500 домов, не оборудованных счетчиками тепла. Просуммировав показания приборов 350 домов и разделив на суммарную отапливаемую площадь, мы получим истинный, а не расчетный тариф для этого типа сооружений.

«Справедливый учет» тепла на базе которого рассчитан тариф это единственный способ заинтересовать жильцов многоквартирных домов утеплять свои квартиры, а, следовательно, снижать свои затраты на теплоснабжение и затраты государства на топливно-энергетические ресурсы. При таком подходе никто и никогда не будет препятствовать установке счетчиков тепла на весь жилой дом или отдельные квартиры.

Накопленный в Украине положительный опыт эксплуатации недавно построенных в соответствии с действующими нормами хорошо утепленных многоэтажных жилых домов с поквартирными системами отопления свидетельствуют о правильности нашего подхода к поэтапному оборудованию старых жилых домов общедомовыми счетчиками и дальнейшей реконструкцией систем отопления для установки квартирных счетчиков.

В свете «справедливого» учета тепла следует рассматривать и проблему утепления существующих многоэтажных зданий. Утепление зданий – это реальное снижение теплопотребления и снижение оплаты за него на 40–60%.

У государства и местных органов власти нет достаточных средств для утепления колоссального количества многоэтажных жилых домов, построенных во второй половине XX века. Без привлечения средств самих жильцов и инвестиций решение проблемы тепломодернизации зданий практически невозможно.

Однако без экономического стимула для вложения собственных средств владельцев квартир в утепление домов, да еще в сложившихся на наш взгляд совершенно неправильных подходах к «субсидированию», проблема никогда не будет решена.

Многие владельцы квартир, не дожидаясь бюджетной помощи, за свои средства меняют окна в своих квартирах, утепляют стены снаружи.

Своими действиями по утеплению эти люди сэкономили в масштабах всего дома какое-то количество тепла. Результатом проведенной этими владельцами квартир работы по утеплению является уменьшение количества тепла, потребленного в целом всем домом, что и отразится

на показаниях общедомового счетчика. Однако на величину оплаты за тепло владельцев квартир, вложивших свои средства это, никак не влияет: они платят столько же, сколько их не утеплившиеся соседи. Такой несправедливый экономически незаинтересованный подход, безусловно, не будет побуждать самих жильцов дома заниматься утеплением.

В Харьковском национальном университете строительства и архитектуры подсчитали, что если в квартире заменены окна и двери – это уменьшает теплопотребление на 10–20%, а если теплоизолированы стены, то этот показатель увеличивается не менее чем до 50%. Поэтому тем жителям, которые заменили «столярку», надо дать возможность платить за тепло не по полному тарифу а, с коэффициентом порядка 0,9. Тем жителям, кто утеплил стены и заменил «столярку» надо вводить понижающий коэффициент до 0,6 тарифа. Внедрение поправочных понижающих коэффициентов дает возможность отнести полученную в целом экономию тепла, которая естественно возникает за счет проведенных отдельными жильцами мероприятий по экономии не на все квартиры дома, а именно на те квартиры, которые утеплились. Остальные квартиры, которые не утеплились, должны продолжать платить по-старому, без каких либо понижающих коэффициентов.

Теплоснабжающая организация при внедрении наших предложений ничего не теряет, так как продолжает рассчитываться с потребителями по фактическим показаниям общедомового счетчика тепла.

Список использованной литературы

1. Закон України № 2119-VIII від 22.07.2017 р. «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання».
2. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 205 від 09.08.2018 р. «Про затвердження Порядку оснащення окремих приміщень у будівлях вузлами розподільного обліку/приладами-розподілювачами теплової енергії та обладнанням інженерних систем для забезпечення такого обліку».
3. Постанова Кабінету міністрів України «Про забезпечення єдиного підходу до формування тарифів на житлово-комунальні послуги» від 1 червня 2011 р. № 869, м. Київ.
4. Редько А. Ф., Тарадай А. М., Кириленко І. Г., Яременко М. А. Аналіз роботи систем учета расхода тепловой энергии в Харьковском регионе // Науковий вісник будівництва. – Харьков: ХГТУСИА, ХОТВАБУ. – № 46. – 2008. – С. 233–241.
5. Тарадай О. М., Ланцберг Н. Г., Бугай В. С., Фоміч С. В. Математическое обоснование подхода к оплате за услуги теплоснабжения при термомодернизации жилых зданий // Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». – К.: КНУБА, 2017. – Вип. 9. – С. 232–237.

**Н. М. Фіалко, Р. О. Навродська, Г. О. Гнедаш,
Г. О. Пресіч, С. І. Шевчук**

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ГАЗОСПОЖИВАЛЬНИХ КОТЛОАГРЕГАТІВ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Такі фактори як, вичерпність корисних не відновлюваних енергетичних ресурсів, насамперед природного газу, обмеженість альтернативної заміни його на більш екологічно безпечний і менш енергоємний вид палива та відповідно висока вартість цього палива на світовому ринку, є вагомими у вирішенні питань щодо енергоефективності котельних установок комунальної теплоенергетики.

Одним із шляхів підвищення енергоефективності цих установок є застосування систем утилізації теплоти їхніх відхідних димових газів.

При застосуванні в котельних установках теплоутилізаційних технологій критерієм їхньої теплової ефективності зазвичай слугує рівень приросту ККД або коефіцієнта використання теплоти палива КВТП котла.

В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено низку ефективних теплоутилізаційних технологій [1–8] з теплоутилізаторами різного типу для газоспоживальних котлів малої та середньої потужності. За призначенням ці теплоутилізатори класифікують на водогрійні (для підігрівання води різних потреб) та повітрогрійні (для підігрівання зі зволоженням або без нього дуттьового повітря).

Розроблено теплоутилізаційні системи з використанням вказаних одиночних теплоутилізаторів та комбіновані (з підігріванням різних за призначенням та тепловим потенціалом теплоносіїв).

Теплоутилізатори для підігрівання зворотної тепломережної води [2] призначені для експлуатації протягом опалювального періоду з режимами роботи котлів відповідно теплового графіка котельні. В цих теплоутилізаторах в деяких режимах відбувається глибоке охолодження димових газів, з конденсацією частини водяної пари, що міститься в газах. Тому теплообмінна частина таких теплоутилізаторів виконується із стійких до корозії біметалевих труб (із сталевою основою та алюмінієвим оребрен-

ням) [6, рис. 2.2, стор. 43]. Дані теплоутилізатори підвищують ККД котла на 3,0–6,0%. Нижче значення приросту ККД відповідає режимам роботи котлів з високою температурою нагріваної зворотної тепломережної води ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), при якій не реалізуються глибоке охолодження димових газів і використання теплоти конденсації з газів водяної пари.

Окрім підігрівання тепломережної води водогрійні теплоутилізатори можуть попередньо нагрівати холодну сиру воду перед надходженням її до системи хімоводоочищення. Але допустимий рівень температури для нагрівання цієї води за технологією не може перевищувати $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а витрата цього теплоносія обмежена потребою підживлення тепломережі. Тому, незважаючи на забезпечення конденсаційного режиму роботи цього теплоутилізатора завдяки відносно низькій початковій температурі сирової води, приріст КВТП котла при його використанні не перевищує 2%.

Для підвищення ефективності теплоутилізаційних систем реалізують комбінування водогрійних теплоутилізаторів [3], встановлюючи їх за котлом у порядку зменшення початкової температури нагріваної води. В таких системах завдяки комбінованому використанню утилізованої теплоти коефіцієнт використання теплоти палива котла КВТП підвищується на 4,5–8,0%.

Тривалий час теплоутилізатори для підігрівання повітря для котлів малої та середньої теплопродуктивності не мали широкого впровадження через їхню високу вартість та габарити, які ускладнювали їх монтаж та обслуговування. Але зі зростанням ціни на природний газ та розробленням нових компактних з малою металоємністю поверхонь теплообміну такі теплоутилізатори стали конкурувати з водогрійними.

Теплоутилізатори для нагрівання дуттьового повітря можуть розміщуватись безпосередньо за котлом, або встановлюватись в комбінованих системах за водогрійним теплоутилізатором [4, 5]. При такому комбінуванні забезпечується приріст КВТП котла на 5,0–10,0%.

Слід відмітити, що утилізована теплота може використовуватись не тільки для нагрівання дуттьового повітря, але і його зволоження [6, 8]. Зволоження повітря може бути доцільним для підвищення екологічної ефективності котлів зі збільшеними проти нормованих показниками викидів оксидів азоту. Подавання в пальники котла повітря з підвищеним вологовмістом, як відомо, викликає пригнічення утворення вказаних оксидів в топці котла завдяки зменшенню температури горіння газоповітряної суміші [6, стор. 146–148]. Приріст КВТП котла при

впровадженні теплоутилізаторів для підігрівання і зволоження дуттьового повітря становить 8,0–11,0%.

Термін окупності витрат на впровадження пропонованих систем теплоутилізації для комунальних котельень не перевищує 3 років.

Висновок

Застосування пропонованих теплоутилізаційних систем для опалювальних котельних установок забезпечує підвищення ККД котла або його КВТП на 3–11% в залежності від типу застосовуваного устаткування та потреб в утилізованій теплоті.

Список використаної літератури

1. Долинский А. А., Фиалко Н. М., Навродская Р. А., Гнедаш Г. А. Основные принципы создания теплоутилизационных технологий для котельных малой теплоэнергетики // Промышленная теплотехника. – 2014. – № 4. – С. 27–36.

2. Фіалко Н. М., Пресіч Г. О., Навродська Р. О., Гнедаш Г. О. Застосування передвключеного конвективного пакета за котлом ТВГ-8М // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: Матеріали XVIII міжнародної конференції (Ялта 10–14 июня 2008 г.) / Інститут промислової екології. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН України, 2008. – С. 97–100.

3. Навродська Р. О. Підвищення ефективності тепло-утилізаційних технологій для котельних установок комунальної теплоенергетики // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – № 25 (9). – С. 225–229.

4. Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Навродська Р. О., Пресіч Г. О. & Шевчук С. І. Підвищення ефективності комбінованих тепло-утилізаційних систем газоспоживальних котельних установок // Науковий вісник НЛТУ України. – 2019. – № 29 (6). – С. 79–82.

5. Навродська Р. О., Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Сбродова Г. О. Енергоефективна теплоутилізаційна система для підігрівання тепломережної води та дуттьового повітря котлів комунальної теплоенергетики // Промышленная теплотехника. – 2017. – № 39(4). – С. 61–69.

6. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Пресіч Г. О., Гнедаш Г. О., Шевчук С. І., Степанова А. І. Комбіновані теплоутилізаційні системи для газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики. – К.: ТОВ «Про формат», 2019. – 192 с.

7. Fialko N., Navrodska R., Ulewicz M., Gnedash G., Alioshko S. & Shevchuk S. (2019). Environmental aspects of heat recovery systems of boiler plants. In E3S Web of Conferences (Vol. 100, p. 00015). EDP Sciences.

8. Navrodska R., Fialko N., Presich G., Gnedash G., Alioshko S. & Shevchuk S. (2019). Reducing nitrogen oxide emissions in boilers at moistening of blowing air in heat recovery systems. In E3S Web of Conferences (Vol. 100, p. 00055). EDP Sciences.

Н. М. Фиалко, А. И. Степанова, Р. А. Навродская

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Вступление. В настоящее время в связи с ограниченностью первичных энергоресурсов в Украине и устойчивой тенденцией к увеличению стоимости топлива в стране повышение эффективности теплообменного оборудования теплоутилизационных систем энергетических установок является важной и актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время в Украине и в мире для оценки эффективности энергетических установок часто используются наряду с энергетическими методами также методы эксергетического анализа [1–4]. Так, в работе [Naeimi A., 2019] рассматриваются результаты сравнительного эксергетического анализа систем утилизации отработанной теплоты газового двигателя для выработки электроэнергии. В работе [Mohammadi A., 2017] сравниваются различные системы утилизации теплоты, используемые на цементном заводе, с точки зрения выработки электроэнергии и потерь эксергии. В работе [Terzi R., 2016] отмечается, что использование эксергетической методов анализа для передовых энергетических технологий может оказать существенную помощь в достижении оптимальных концепций проектирования. В работе [Fialko N., 2018] применяется комплексный подход, позволяющий оценивать работу теплоутилизационных систем одновременно с нескольких позиций. Работы в этом направлении способствуют созданию эффективных технологий утилизации теплоты и значительно расширяют возможности применения методов эксергетического анализа в различных областях знаний.

Цель работы и задачи исследований. Целью работы является разработка основных принципов решения оптимизационных задач для теплоутилизационных систем энергетических установок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать основные принципы оптимизации, которые могут использоваться при решении оптимизационных задач для теплоутилизационных систем;
- в соответствии с основными принципами предложить подход к построению целевых функций оптимизации, позволяющий оценивать работу теплоутилизационной системы одновременно с нескольких позиций, а также эксергетические критерии, обладающие высокой чувствительностью к изменению конструкции и режимов работы теплоутилизационной системы и позволяющие получать необходимые для оптимизации функциональные зависимости;
- с помощью необходимых алгоритмов оптимизации определить оптимальные области изменения режимных и конструкционных параметров для контактного пластинчатого воздухонагревателя, входящего в комбинированную теплоутилизационную систему котельной установки, предназначенную для нагрева воды и дутьевого воздуха.

Материалы и методы исследования. Используются комплексные подходы на основе методов эксергетического анализа для разработки основных принципов оптимизации теплоутилизационных систем.

Результаты исследований и их обсуждение. Современные теплоутилизационные системы является сложными энергетическими установками, в которых используются качественно различные виды энергии. Для решения оптимизационных задач в таких системах необходимо количественное отражения происходящих в них процессов. При этом математические модели процессов должны отражать физические особенности преобразования различных видов энергии в энергоустановке при различных режимах ее работы и обеспечивать возможность решения оптимизационных задач как для всей установки, так и для ее отдельных элементов.

Для получения математических моделей в применении к теплоутилизационным системам можно считать термодинамически оправданным использование концепции комплексного подхода на основе методов эксергетического анализа. В соответствии с этой концепцией процесс оптимизации теплоутилизационных систем должен включать системы балансовых уравнений, позволяющие определить эффективность каждого процесса с точки зрения получения максимально полезной работы, а также поиск целевых функций оптимизации, использующих результаты решения системы балансовых уравнений.

При эксергетическом подходе наиболее часто в качестве целевых функций оптимизации используются различные варианты эксергетического коэффициента полезного действия, которые часто не отражают некоторых важных моментов исследуемых процессов. Поэтому при оценке совершенства работы и оптимизации теплоутилизационных систем целесообразно использовать комплексные подходы. Разработаны основные принципы решения оптимизационных задач в теплоутилизационных системах, которые объединяют требования, предъявляемые к оптимизации:

- при оптимизации теплоутилизационных систем необходимо оценивать работу теплоутилизационной системы одновременно с нескольких позиций;
- целевые функции оптимизации должны обладать высокой чувствительностью к изменению конструкции и режимов работы теплоутилизационной системы и обеспечивать возможность получения необходимых функциональных зависимостей от конструкционных и режимных параметров системы.

На основе указанных принципов предложены эксергетические критерии оценки эффективности теплоутилизационных систем, которые включают эксергетические потери, тепловую мощность, удельную материалоемкость и др. С помощью таких критериев можно установить необходимые функциональные зависимости от параметров системы, например на основе статистических методов теории планирования эксперимента, и определить их оптимальные значения. Использование алгоритмов оптимизации теории планирования эксперимента, а также учет особенностей энергетических установок и конкретной схемы утилизации теплоты позволяет, опираясь на значения оптимальных параметров, находить оптимальные области изменения параметров.

Приведен пример использования разработанных принципов оптимизации для определения оптимальных параметров контактного пластинчатого воздухонагревателя, входящего в комбинированную теплоутилизационную систему котельной установки, предназначенную для нагрева воды и дутьевого воздуха. Получены функциональные зависимости эксергетических критериев от геометрических параметров теплообменной поверхности воздухонагревателя. Минимум полученных функций соответствует максимальной эффективности воздухонагревателя. Использование одного из алгоритмов оптимизации теории планирования эксперимента, а именно, метода канонических преобразований позволяет получить наглядное представление о геометрической интер-

претации поверхности функции отклика в области минимума. Для данного случая интерпретацией поверхности функции отклика в области минимума является эллипсоидная впадина, а контурными кривыми в области минимума при различных значениях функции отклика являются эллипсы. При проектировании теплообменной поверхности воздухонагревателя необходимо учитывать поведение функции отклика при изменении соответствующего геометрического параметра.

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке основных принципов оптимизации теплоутилизационных систем на основе методов эксергетического анализа.

Практическая ценность. Разработанные принципы оптимизации теплоутилизационных систем позволяют с помощью необходимых алгоритмов определять оптимальные области изменения режимных и конструкционных параметров, которые могут быть использованы при разработке конструкции теплоутилизационных систем.

Выводы

1. Разработаны основные принципы оптимизации, которые могут использоваться при решении оптимизационных задач для теплоутилизационных систем.
2. В соответствии с разработанными принципами предложен подход к построению целевых функций оптимизации, позволяющий оценивать работу теплоутилизационной системы одновременно с нескольких позиций.
3. Предложены эксергетические критерии оценки эффективности теплоутилизационных систем, обладающие высокой чувствительностью к изменению конструкции и режимов работы теплоутилизационной системы, и позволяющие получать необходимые для оптимизации функциональные зависимости.
4. С помощью необходимых алгоритмов оптимизации определены оптимальные области изменения режимных и конструкционных параметров контактного пластинчатого воздухонагревателя, входящего в комбинированную теплоутилизационную систему котельной установки, предназначенную для нагрева воды и дутьевого воздуха.

Список использованной литературы

1. Naeimi M. Bidi, Ahmadi M., Kumar R., Sadeghzadeh M., Nazari M. Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for power generation

in Tehran cement factory // Thermal Science and Engineering Progress. – 2019. – V. 9. – P. 299–307.

2. Mohammadi M., Ali Ashjari A. Sadreddini Exergy analysis and optimisation of waste heat recovery systems for cement plants // International Journal of Sustainable Energy. – 2017. – V. 37. – P. 2.

3. Terzi R., Tükenmez İ., Kurt E. Energy and exergy analyses of a VVER type nuclear power plant Energy and Exergy Analyses of a VVER Nuclear Power Plant // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – № 41. – P. 1–12.

4. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // East European Advanced Technology Journal. – 2018. – № 6/8 (96). – P. 43–48.

УДК 536.24:533

**Н. М. Фиалко, В. Г. Прокопов, Ю. В. Шеренковский,
Н. О. Меранова, С. А. Алёшко, Н. П. Полозенко, О. Е. Малецкая,
К. В. Рокитько, В. Л. Юрчук, М. З. Абдулин**

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ СТАБИЛИЗАТОРНЫХ ГОРЕЛОК С АСИММЕТРИЧНОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА

К важным направлениям использования микрофакельных горелочных устройств относится их применение при относительно высоких избытках воздуха. В этих условиях представляется целесообразным использование микрофакельных горелок с ассиметричной топливopодачей. Схема данного горелочного устройства представлена на рис. 1. Плоские стабилизаторы пламени располагаются в канале. Подача первичного воздуха осуществляется в пристеночные каналы, вторичного – в межстабилизаторный канал. Топливный газ подается внедрением в сносящий поток окислителя только с одной из поверхностей стабилизатора, обращенной к стенке канала. Стабилизаторы оснащены плоскими закрылками, установленными на их торцевых поверхностях со стороны межстабилизаторного канала.

© Н. М. Фиалко, В. Г. Прокопов, Ю. В. Шеренковский, Н. О. Меранова, С. А. Алёшко, Н. П. Полозенко, О. Е. Малецкая, К. В. Рокитько, В. Л. Юрчук, М. З. Абдулин, 2020

Всесторонние исследования рабочих процессов в рассматриваемых горелочных устройствах позволили сформулировать основные положения их термогазодинамики [1–8].

На рис. 2 приводятся формулировки основных положений относительно организации рабочих процессов исследуемых горелок. Кроме того, указываются результирующие эффекты, которые осуществляются благодаря реализации данных положений.

Рассмотрим несколько подробнее содержание каждого из приведенных положений. Относительно первого из этих положений необходимо отметить следующее. При сжигании топливного газа при относительно высоких значениях коэффициента избытка воздуха ($\alpha > 2,0$), как известно, может иметь место повышенная химическая неполнота сгорания топлива. Предлагаемое горелочное устройство свободно от данного недостатка. Это достигается благодаря организации двустадийности горения при распределении потоков воздуха на первичный, подаваемый в пламя, и вторичный, который подается непосредственно в пламя за закрылком. То есть в рассматриваемой горелке реализуется следующая схема: «горение при относительно небольших избытках воздуха» → «разное разбавления» и «бедное горение». Применение такой двустадийной схемы позволяет повысить температуру на первой стадии горения, резко уменьшить эмиссию CO, а затем обеспечить высокую степень полноты сгорания топливного газа.

Относительно второго положения, связанного с выбором соотношения расходов первичного и вторичного воздуха, которое обеспечивается варьированием ширины межстабилизаторного и пристеночных каналов. Выполненные исследования показали, что данное соотношение существенно влияет на экологоэнергетические характеристики горелочного устройства. При этом при определенной величине соотношения расходов первичного и вторичного воздуха обеспечивается вы-

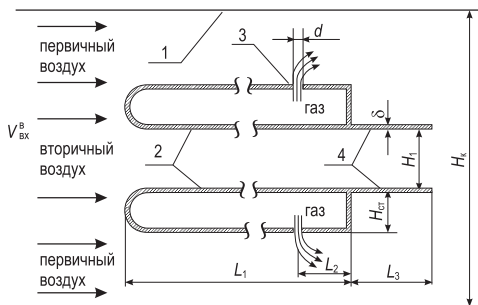


Рис. 1. Схема микрофакельного горелочного устройства стабилизаторного типа с асимметричной подачей топлива:

- 1 – плоский канал; 2 – стабилизаторы пламени;
- 3 – газоподводящие отверстия; 4 – закрылки.

сокая эффективность сжигания топливного газа. Это обуславливает постановку задачи определения такого соотношения.

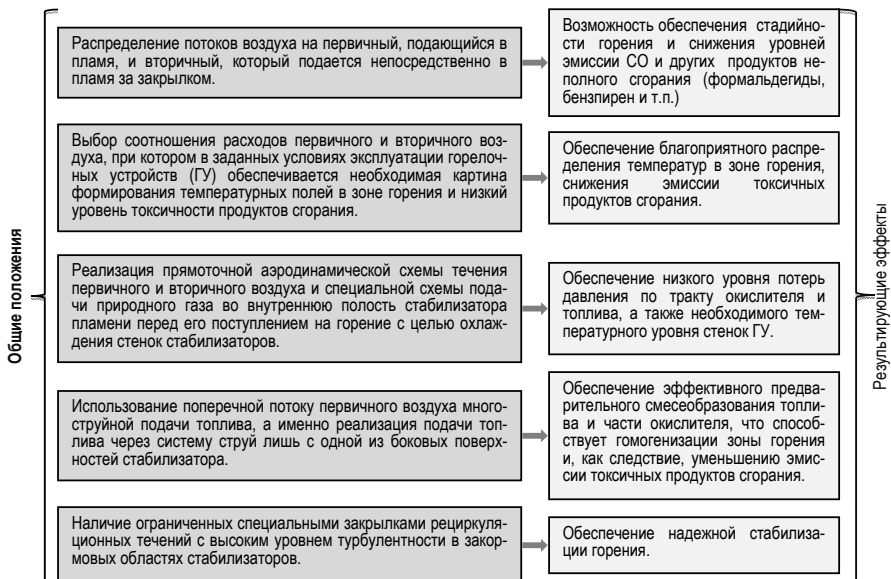


Рис. 2. Общие положения по организации рабочих процессов горелок с асимметричной подачей топлива.

Третье положение касается схемы течения первичного и вторичного воздуха. Благодаря реализации прямооточной аэродинамической схемы течения первичного и вторичного воздуха обеспечиваются низкие уровни потерь давления по тракту окислителя и топлива. Кроме того, применение схемы подачи топливного газа во внутреннюю полость стабилизатора пламени позволяет применять этот газ как охлаждающий агент и осуществлять так называемое самоохлаждение стенок стабилизаторов.

Что касается четвертого положения, связанного с применением поперечной потоку первичного воздуха многоструйной подачи топливного газа. Благодаря этой схеме подачи топлива создаются условия для реализации благоприятной микрофакельной структуры первичной зоны горения.

Кроме того указанная распределенная подача топлива обеспечивает эффективное предварительное смесеобразование топлива и части окислителя, что обеспечивает высокий уровень гомогенизации горю-

чей смеси, и как следствие снижение эмиссии токсичных продуктов сгорания.

Пятое положение связано с обеспечением надежной стабилизации пламени. Последнее реализуется благодаря рециркуляционным течениям в закормовых областях стабилизаторов. Выполненные исследования показали, что для формирования таких течений необходимо установление специальных закрылков на торцах стабилизаторов пламени с противоположной стороны от плоскости расположения газоподающих отверстий.

В заключение следует отметить, что разработанные положения термогазодинамики рассматриваемых микрофакельных горелочных устройств являются основой для конструирования их конкретных модификаций, отвечающих заданным условиям эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Фяалко Н. М., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В., Меранова Н. О., Бутовский Л. С., Абдулин М. З., Полозенко Н. П., Клищ А. В., Стрижеус С. Н., Тимощенко А. Б. Интенсификация процессов переноса в горелочном устройстве с цилиндрическим стабилизатором пламени // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – № 24. – С. 136–142.

2. Фяалко Н. М., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В., Меранова Н. О., Абдулин М. З., Бутовский Л. С., Полозенко Н. П., Клищ А. В., Стрижеус С. Н., Тимощенко А. Б. Математическое моделирование процессов течения и смесеобразования в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 3. – С. 40–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39193>.

3. Фяалко Н. М., Прокопов В. Г., Шеренковский Ю. В., Алёшко С. А., Меранова Н. О., Абдулин М. З., Бутовский Л. С., Миргородский А. Н. Компьютерное моделирование процессов переноса в системах охлаждения горелочных устройств стабилизаторного типа // Промышленная теплотехника. – 2012. – № 1. – С. 64–71. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/59056>

4. Фяалко Н. М., Шеренковский Ю. В., Прокопов В. Г., Меранова Н. О., Алёшко С. О., Тимощенко О. Б., Полозенко Н. П., Стрижеус С. Н. Сравнительный анализ характеристик течения в горелках с эшелонированным расположением стабилизаторов пламени в изотермических условиях и при горении топлива // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2016. – Вип. 242. – С. 33–40.

5. Фяалко Н. М., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В., Меранова Н. О., Абдулин М. З., Бутовский Л. С., Полозенко Н. П., Клищ А. В., Стрижеус С. Н., Тимощенко А. Б. Влияние пластинчатых турбулизаторов потока на характеристики течения и смесеобразования топлива и окислителя в цилиндрическом стабилизаторном горелочном устройстве // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – № 6(24). – С. 114–121.

6. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Прокопов В. Г., Альошко С. О., Мєранова Н. О., Рокитько К. В. CFD моделювання температурних режимів зони горіння пальників стабілізаторного типу з асиметричною подачею палива // Теплофізика та теплотехніка. – 2019. – 41, № 4. – С. 13–18. <https://doi.org/10.31472/trp.4.2019>.

7. Fialko N. M., Aleshko S. A., Rokitko K. V., Maletskaya O. E., Milko E. I., Kutnyak O. N., Olkhovskaya N. N., Donchak M. I., Evtushenko A. A. Regularities of mixture formation in the burners of the stabilizer type with one-sided fuel supply // Технические системы. – 2018. – № 3(38). – С. 37–43.

8. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г., Алёшко С. А., Абдулин М. З., Рокитько К. В., Малецкая О. Е., Милко Е. И., Ольховская Н. Н., Реграги А., Евтушенко А. А. Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – Т. 28, № 8. – С. 117–121.

УДК 621.1.016.4

С. В. Плашихін^{1,2}, Є. Й. Бикоріз¹, Н. А. Ніжник¹

¹*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

²*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ І УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СОПЛОВОЇ СЕКЦІЇ МОДЕРНІЗОВАНОГО ПАЛЬНИКА

З метою визначення можливості зниження утворення оксидів азоту при спаленні органічних палив проводились експериментальні дослідження процесів теплообміну в топці котла типу ТВГ-4р з використанням фізичної моделі модернізованого багатосоплового подового пальника з попереднім змішуванням природного газу з повітрям, в якій визначено головну особливість – зміну конструктиву сопла. Були проведені розрахунки габаритних розмірів сопла з відповідними змінами в пальнику.

На рис. 1 представлена функціональна схема експериментального вогневого стенду.

В топковій камері 1 встановлено соплову секцію модернізованого пальника 2, до якої підводиться суміш газів: пропан 35%, бутан 65% з балону зрідженого газу 6, регулювання тиску суміші проводиться за допомогою балонного редуктора 7. Витрати газу на горіння вимірюються газовим годинником – лічильником 8; контрольним приладом перед входом газу в секцію пальника є U-подібний манометр 9.

Повітря на горіння подається вентилятором 3, кількість якого контролюється ротаметром 4 з відповідною тарировкою; тиск повітря контролюється U-подібним манометром 5.

Димові гази мають прийти охолодженими на газовий аналізатор 10, для чого в лінію пробовідбору з пробовідбірником 11 встановлюється теплообмінник 12, який забезпечує охолодження проби газів до 400К. Газоаналізатором 10 контролюються концентрації токсичних речовин в димових газах: SO_2 , NO_x , CO, а також CO_2 та O_2 .

1 – камера спалювання; 2 – секція модернізованого пальника; 3 – вентилятор; 4 – ротаметр; 5 – манометр U-подібний; 6 – газовий балон; 7 – редуктор; 8 – газовий лічильник; 9 – манометр U-подібний; 10 – газоаналізатор; 11 – відбірник проб продуктів спалювання; 12 – теплообмінник; 13 – термопар; 14 – штатив; 15 – АЦП.

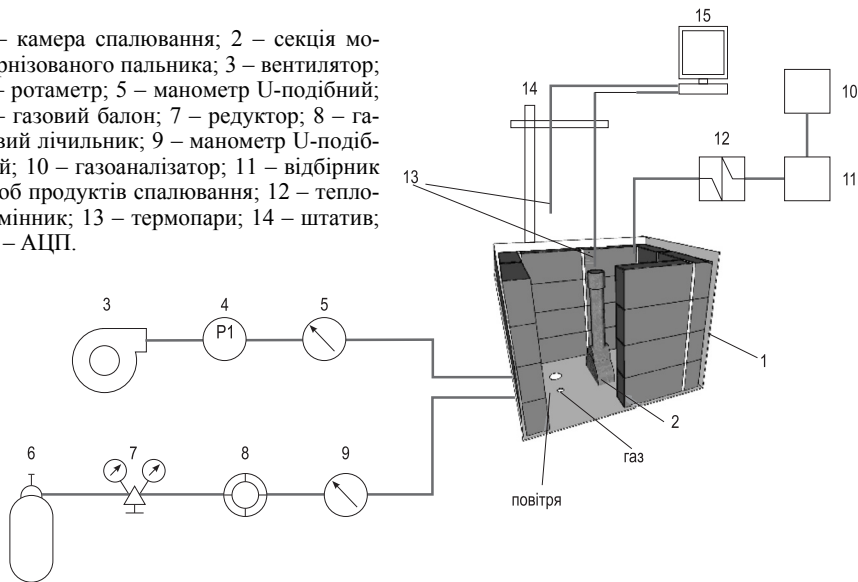
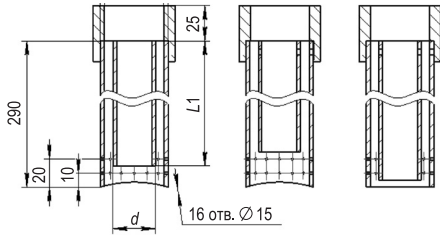


Рис. 1. Функціональна схема експериментального стенду.

Вимірювання температури димових газів проводилось за допомогою термопар 13, встановлених на штативі 14 з рухливим фіксатором термопар з подальшим виведенням на АЦП.

В результаті проведених розрахунків габаритних розмірів сопел, вставок, насадок (рис. 2), розроблено їх ескізи, виготовлені та підготов-



L1	265	275	285
d	10	15	18

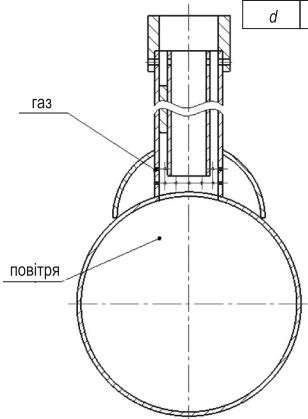


Рис. 2. Загальний вигляд соплової секції і конструкції насадок.

оксидів азоту визначена при встановленні вставки 1 типу, яка перекриває прямий вхід газу в сопло, залишивши нижній ярус отворів вільним для газу. У цьому випадку вимірювання показують мінімальну концентрацію

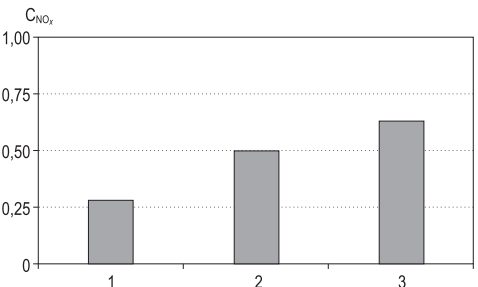


Рис. 3. Діаграма залежності концентрації оксидів азоту в димових газах від розміщення вставки в соплі.

лені для проведення експериментів по визначенню найбільш ефективних вставок при спалюванні газу в сопловій секції пальника.

Для проведення чисельного моделювання процесів теплообміну та утворення оксидів азоту при роботі модернізованого пальника в топці котла ТВГ-4р експериментально були визначені найбільш ефективні секції пальника, їх кількість для установки в котел.

На рис. 3 наведено діаграму, на якій показана залежність концентрації оксидів азоту в димових газах на виході з камери горіння від розміщення вставки в соплі. При установці вставок трьох типів в сопло пальника, найбільша ефективність по зниженню утворення оксидів азоту на виході з камери горіння – 32,8 ppm (67,2 мг/м³) рис. 3 – 1. Максимальна концентрація оксидів азоту була зафіксована при спалюванні газу в секції, де вставка в сопло була відсутня (рис. 3 – 3).

На рис. 4 представлено порівняння експериментально визначених температур в топці по довжині факела при спа-

люванні природного газу в котлах з різними типами пальників (фронтальні і подові).

В топці з подовим багатосопловим модернізованим пальником з попереднім змішуванням температура в топці рівномірно розподіляється по всьому об'єму без флуктуаційних локальних підйомів (рис. 4, в) як при горінні газу в топці з фронтальними пальниками (рис. 4, а, б). Такий характер температурного режиму горіння визначає умови утворення термічних оксидів азоту, тобто встановлення подового пальника дозволяє значно знизити викиди оксидів азоту з димовими газами.

На рис. 4 показані температурні криві вздовж факела в топках при встановленні різних типів пальників. В топці жаротрубного димогарного котла з дифузійним пальником максимальна температура відзначається на відносній відстані 0,3 від місця встановлення пальника, тобто інтенсивне горіння з максимальним окисленням вуглецю і водню відбувається в короткий проміжок часу і починається майже з третьої частини довжини топки, що свідчить про те, що на цій третині кисню достатньо для утворення оксиду вуглецю і азоту.

В той же час горіння з подовим пальником починається на виході із сопел, що створює однорідність температурного поля в топці і збільшує час для окислення палива.

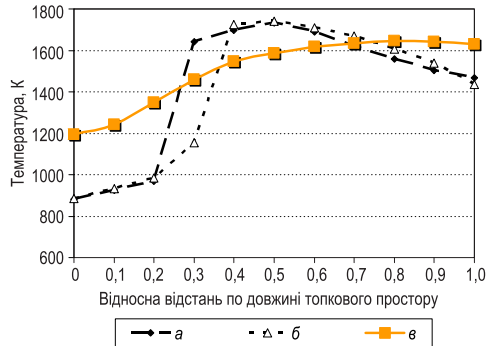


Рис. 4. Розподіл середньоінтегрального значення температури по довжині топкового простору при застосуванні пальників різних типів:

а, б – блочні вентиляторні пальники із дифузійним горінням; в – пальник із попереднім змішуванням.

Висновки

Визначено конструкцію сопла багатосоплового подового пальника з попереднім змішуванням з мінімальною концентрацією оксидів азоту в топці 32,8 ppm (67,2 мг/м³).

Модернізований подовий пальник дає можливість забезпечити однорідність температурного поля і збільшити час окислення палива.

Н. М. Фиалко, В. Г. Прокопов, Ю. В. Шеренковский,
Н. О. Меранова, С. А. Алёшко, Н. П. Полозенко, О. Е. Малецкая,
К. В. Рокитько, В. Л. Юрчук

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

МИКРОФАКЕЛЬНЫЕ ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ИЗЫТКОВ ОКИСЛИТЕЛЯ

Характеристики микрофакельных горелочных устройств существенно зависят от особенностей течения в них топлива, окислителя и продуктов горения [1–5]. Данная статья посвящена исследованию закономерностей течения в микрофакельных горелках, ориентированных на использование при относительно высоких значениях коэффициента избытка воздуха ($2,0 \leq \alpha \leq 4,0$). При этом основное внимание уделяется сопоставлению особенностей течения для изотермических условий и реагирующих потоков.

Схема модуля рассматриваемого горелочного устройства представлена на рис. 1. В качестве метода исследования рабочего процесса в данном модуле использовалось компьютерное моделирование с применением DES подхода.

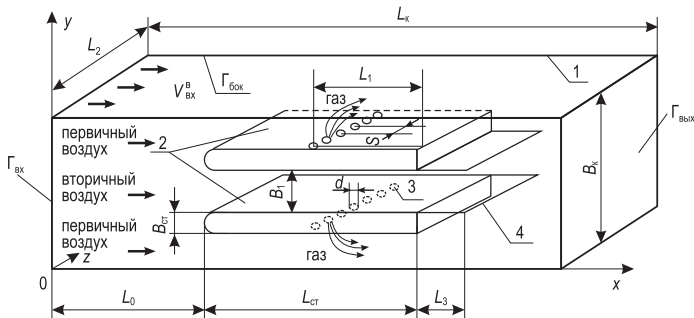


Рис. 1. Схема микрофакельного горелочного устройства стабилизаторного типа с асимметричной подачей топлива:
1 – плоский канал; 2 – стабилизаторы пламени; 3 – газоподводящие отверстия; 4 – закрывки.

Характерные результаты выполненных вычислительных экспериментов представлены на рис. 2, 3. Приведенные данные отвечают следующим исходным параметрам: $B_{\text{ст}} = 0,015$ м; $B_1 = 0,018$ м; $B_k = 0,075$ м; длина канала $L_k = 1,3$ м; расстояние от входа в канал до стабилизатора $L_0 = 0,1$ м; $L_1 = 0,2$ м; $L_2 = 0,02$ м; $L_3 = 0,06$ м; $d = 0,002$ м; $S/d = 3,5$; коэффициент загромождения поперечного сечения канала $k_f = 0,4$; скорость воздуха на входе в канал $V_{\text{вх}}^B = 10,0$ м/с; коэффициент избытка воздуха $\alpha = 3,0$.

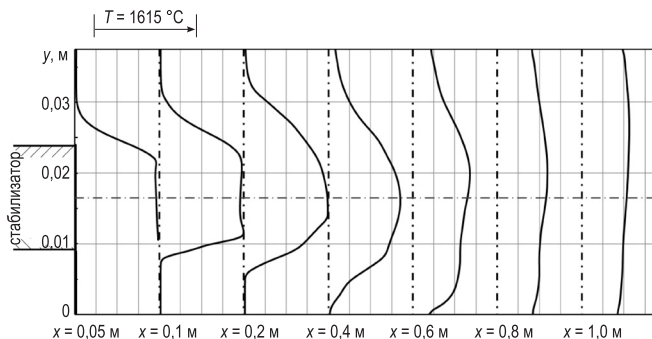


Рис. 2. Профили температуры в поперечных сечениях канала при различных значениях продольной координаты x в плоскости, проходящей через ось газоподающих отверстий.

Рис. 2 иллюстрирует профили скорости в фиксированных поперечных сечениях канала для изотермических условий и реагирующих потоков. Как видно, имеют место в целом существенные отличия данных профилей для сравниваемых ситуаций. При этом указанные отличия возрастают по мере удаления от торцевой поверхности стабилизатора пламени. В случае изотермического течения наблюдается его стабилизация на расстоянии 0,3 м от данной поверхности. Для реагирующих потоков характерным является ускорение течения в результате развития процесса горения.

На рис. 3 представлены поля среднеквадратичных пульсаций скорости в продольном сечении канала, проходящем через ось газоподающих отверстий. Согласно полученным данным пространственные распределения пульсаций скорости оказываются кардинально различными для реагирующих потоков и изотермических условий. В последнем случае наибольшие значения данных пульсаций имеют место на незначительном удалении от торца стабилизатора пламени. Для реа-

гирующих потоков область высоких значений среднеквадратичных пульсаций скорости существенно удалена от стабилизатора.

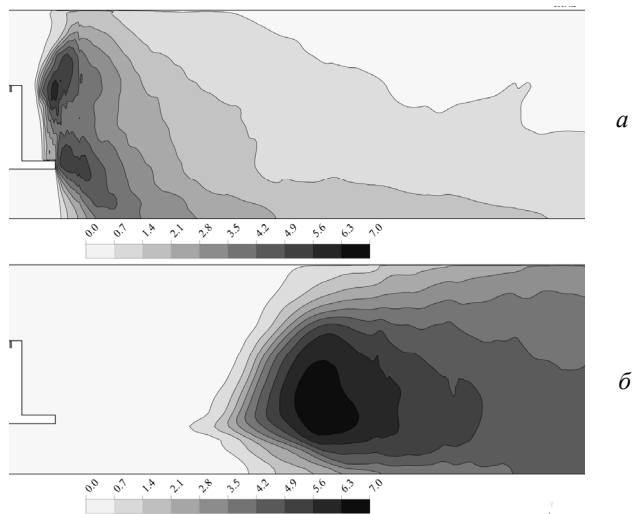


Рис. 3. Поля среднеквадратичных пульсаций скорости V'_x в продольном сечении стабилизатора, проходящем через ось газоподающих отверстий, для изотермических условий (а) и реагирующих потоков (б).

Таким образом, выполненный анализ характеристик течения в горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива, предназначенных для использования при относительно высоких избытках окислителя, показал наличие существенных качественных и количественных отличий в структуре течения для реагирующих потоков и изотермических условий.

Список использованной литературы

1. Фиалко Н. М., Шеренковский Ю. В., Прокопов В. Г., Полозенко Н. П. и др. Моделирование структуры течения в эшелонированных решетках стабилизаторов при варьировании шага их смещения // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 2, № 8(74). – С. 29–34.
2. Фиалко Н. М., Прокопов В. Г., Алёшко С. А., Абдулин М. З., Рокитько К. В. и др. Компьютерное моделирование течения в микрофакельных горелочных устройствах с асимметричной подачей топлива // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – Т. 28, № 8. – С. 117–121.

3. Шеренковський Ю. В., Фіалко Н. М., Іваненко Г. В., Ольховська Н. М. и др. Влияние шага между газовыми струями на характеристики течения в стабилизаторных горелочных устройствах // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2014. – № 194/3. – С. 102–107.

4. Фіалко Н. М., Шеренковський Ю. В., Мєранова Н. О., Тимошенко А. Б., Майсон Н. В. Особенности течения в цилиндрических горелочных устройствах с пластинчатыми турбулизаторами потока // Промышленная теплотехника. – 2017. – № 1. – С. 5–12.

5. Fialko N. M., Prokopov V. G., Sherenkovskiy Yu. V., Aleshko S. A., Meranova N. O., Yurchuk V. L., Hanzha M. V. Modeling of heat transfer processes in stabilizer burners with heat-resistant coatings. The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings, April 27–28, 2018. – Brno: Baltija Publishing, 2018. – P. 189–192.

УДК 662.61.621

О. В. Канигін, Є. Й. Бикоріз, І. В. Пузанов, Н. А. Ніжник

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ БАГАТОСОПЛОВОГО ПОДОВОГО ПАЛЬНИКА

Основною метою модернізації котлів комунальної теплоенергетики є заощадження природного газу в кількості 30% від базової витрати на теплопостачання (концепція реалізації державної політики у сфері теплопостачання, яку схвалено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 569-р.) з відповідною окупністю заходів в термін 4–5 років. Це досягається через впровадження нових високоефективних котлоагрегатів із низькими викидами токсичних речовин в атмосферу та з високими техніко-економічними показниками, підняття ККД котлів до значень, не нижчих 92%, створення і впровадження високоефективних сучасних пальникових пристроїв, що забезпечують якісне спалювання палива та низькі викиди оксидів азоту і оксидів вуглецю, модернізацію вогневого і топкового простору котлів, зменшення втрат теплоти при її транспортуванні та споживанні, застосування місцевих та альтернативних джерел енергії.

© **О. В. Канигін, Є. Й. Бикоріз, І. В. Пузанов, Н. А. Ніжник**, 2020

В даний час велика кількість котлів оснащена застарілими форкамерними пальниками, при роботі з якими використовується природна тяга. На якість горіння, а отже і на ефективність використання газу,

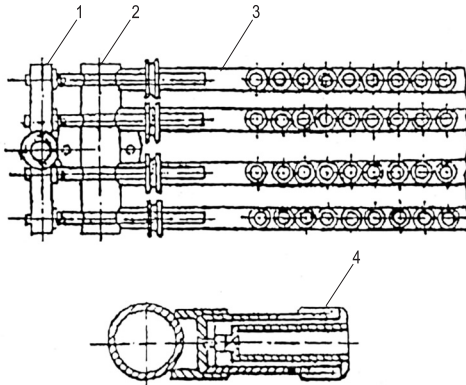


Рис. 1. Пальник газовий подовий з повним попереднім змішуванням:
1 – газовий колектор; 2 – повітряний колектор;
3 – реєстр; 4 – сопла.

колектор, до якого приєднані реєстри з соплами. При цьому, між газовими патрубками і реєстрами створюються кільцеві зазори. Природний газ подається в газовий колектор, повітря подається в повітряний колектор. На кожному реєстрі відбувається змішування газу і повітря, після чого газоповітряна суміш поступає в зону горіння через сопла.

Пальник створює рівномірне поле температур на поді топки і виключає перегрів окремих частин труб котла. Дослідження показали, що ККД котла підвищувалося до 2% завдяки додатковому випромінюванню поверхні поду котла. При застосуванні даних пальників збільшуються витрати електроенергії на власні потреби. Пальник газовий подовий з повним попереднім змішуванням пройшов державні випробування і упроваджений на ряді теплостачальних підприємств України.

Особливістю модернізації наведеного вище багатосоплового газового пальника є заміна технології попереднього змішування природного газу з повітрям. Крім того, в попередньому пальнику використовувався вентилятор високого тиску (на рівні 3,5–4 кПа), на що витрачалась значна кількість електроенергії, у модернізованому пальнику середній тиск складає 1,2 кПа.

впливають погодні умови, оскільки на котлах, як правило, відсутня автоматика регулювання по тязі і істотно пере-втратається газ.

Авторами [1] розроблено газовий пальник з примусовою подачею повітря з повним попереднім змішуванням газу (рис. 1), який більш ефективний ніж форкамерний.

На рис. 1 представлено принцип роботи пальника, що сполучений з газовими патрубками, в яких є отвори для виходу газу. Патрубки проходять через повітряний

На рис. 2 представлений модернізований пальник попереднього змішування газу і повітря, який складається з повітряної камери 1, газорозподільної камери 2, змішувача 3 з отворами 6, вставки 7, розміщеною в змішувачах, і штуцера для підведення газу 4 і вентилятора 5.

Пальник працює таким чином. Природний газ через штуцер 4 подається в газорозподільну камеру 2 і через отвори 6 в кільцевий простір, що створюється внутрішньою поверхнею змішувача 3 і вставкою 7. Потік повітря від вентилятора 5 розділяється на дві частини: одна частина (первинне повітря) проходить по кільцевому каналу між змішувачем і вставкою, змішується з газом, який поступає через отвори 6, а вторинне повітря проходить посередині центральної вставки у верхню частину змішувача. Згорання газоповітряної суміші відбувається на виході із змішувача.

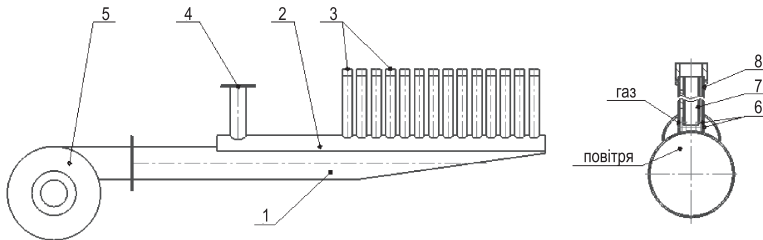


Рис. 2. Пальник газовий багатосопловий попереднього змішування: 1 – повітряна камера; 2 – газорозподільна камера; 3 – змішувач газу і повітря; 4 – штуцер для підведення газу; 5 – вентилятор; 6 – отвори; 7 – вставка; 8 – насадка.

Основним з конструктивних рішень модернізованого пальника з попереднім змішуванням є соплова насадка-вставка, яка розроблювалась на базі результатів досліджень різних по геометрії насадок-вставок, з метою визначення ефективності по мінімізації утворення NO. Типи насадок-вставок наведені на рис. 3.

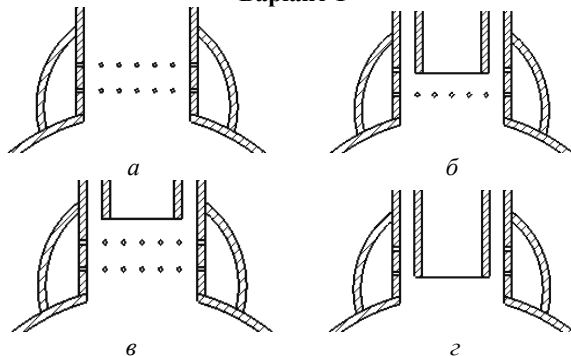
Пальник газовий багатосопловий зі змішуванням призначений для ефективного спалювання природного газу в діючих котлах.

Основні технічні характеристики і розміри пальника

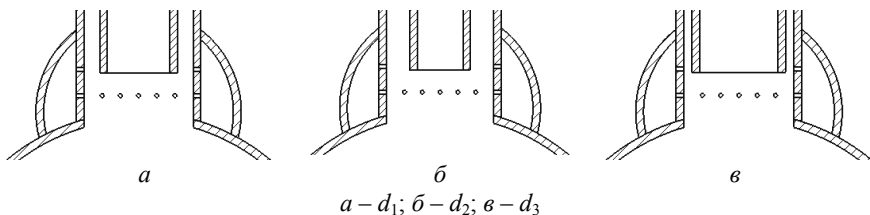
Номінальна теплова потужність, МВт (Гкал/год)	1,0 (0,854)
Коефіцієнт надлишку повітря	1,05–1,25
Номінальний тиск газу перед пальником, Па, не більше	1250
Номінальний тиск повітря перед пальником, Па, не більше	800

Експлуатаційний коефіцієнт робочого регулювання	4,0
Температура поверхні елементів пальника, що призначені для ручного управління, °С	45
Кількість сопел, од.	14
Вміст оксиду азоту в сухих продуктах згорання у діапазоні робочого регулювання, мл/м ³ , не більше	100
Вміст оксиду вуглецю в сухих продуктах згорання у в перерахунку на α в діапазоні робочого регулювання, % , не більше	0,009

Варіант 1



Варіант 2



Варіант 3

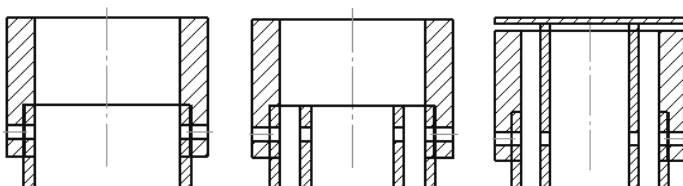


Рис. 3. Різні варіанти геометрії насадки сопла модернізованого пальника:

а – без вставки; *б* – з неповним перекриттям; *в* – без перекриття; *г* – з повним перекриттям.

Пальник повинен забезпечувати стійке горіння газу без проскоку і відриву полум'я при зміні тиску газу і повітря відповідно до даних, наведених в таблиці і в діапазоні регулювання робочих навантажень від 35 до 100%.

Пальник може оснащуватися автоматикою відповідно до вимог ГОСТ 21204-97.

Висновки

Визначено конструкцію сопел модернізованого багатосоплового подового пальника з попереднім змішуванням з мінімальною концентрацією викидів оксидів азоту.

Список використаної літератури

1. Кучин Г. П., Скрипко В. Я., Бикоріз Є. Й., Пузанов І. В. Розроблення технічних рішень для збільшення ресурсу роботи водогрійних газових котлів типу НИИСТУ-5 // Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: Сборник трудов / Інститут промислової екології. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН України, 2014. – С. 104–106.

УДК 621.18-5

С. Г. Кобзар

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРОДУКТАМИ ПІРОЛІЗУ БІОМАСИ

Одним з можливих шляхів зниження викидів оксидів азоту від пилувугільного котла ТПП-312 є використання технології Reburning з продуктами піролізу біомаси в якості палива допалення. В якості прикладу може бути взято котел ТПП-312 енергоблоку № 4 ДТЕК Ладжинська ТЕС з змонтованою системою спалювання вугілля за технологією Reburning, яка розрахована на використання природного газу в якості палива допалення. Для оцінки перспектив використання технології Reburning з піролізними газами в якості палива допалення необхідно розробити механізм хімічної кінетики та провести верифікацію програмного комплексу для розрахунку процесів відновлення оксидів азоту.

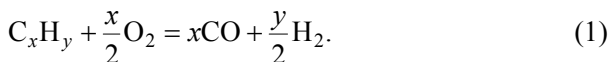
Для проведення розрахунків ефективності методу триступеневого спалювання вугілля в котлі ТПП-312 з використанням в якості палива допалення продуктів піролізу біомаси залучаються методи комп'ютерного моделювання. Особливості моделі горіння вугілля програмного комплексу наведені [1].

Для проведення верифікації до розгляду були взяті данні роботи [2] в якій результати були отримані на експериментальній установці (рисунок, а). Склад димових газів на початку зони відновлення був наступним (масова концентрація): CO₂ – 14%; O₂ – 2%; CO – 497 ppm; NO – 1000 ppm.

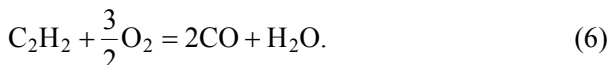
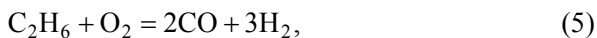
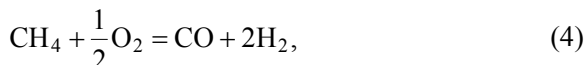
Таблиця
Склад піролізних газів

Речовина	Масова частка, мг/г
Водень (H ₂)	3,37
Вуглекислий газ (CO ₂)	278,21
Монооксид вуглецю (CO)	41,22
Метан (CH ₄)	8,79
Етан (C ₂ H ₆)	1,46
Ацетилен (C ₂ H ₂)	5,59

Склад піролізних газів, що подавалися для відновлення оксидів азоту наведено в таблиці. Виходячи зі складу продуктів піролізу (таблиця), блок газозфазних реакцій необхідно доповнити реакціями горіння водню, метану, етану та ацетилену. Було вирішено використовувати тристадійний механізм горіння, який в загальному вигляді має вигляд, наведений у таблиці.



До модулю розрахунку було добавлено наступні початкові реакції горіння вуглеводнів:



Слід відзначити, що в даному дослідженні для ацетилену був використаний згідно з рекомендаціями [3] двостадійний механізм горіння, тобто використовувалася первинна реакція (6) та вторинна (2).

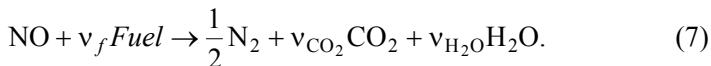
Для розрахунку процесу горіння була застосована гібридна схема. Середня швидкість хімічної реакції компоненти визначалася як мінімальне значення швидкості реакції визначене за моделлю дисипації вихорів та закону Ареніуса.

Для розрахунку емісії оксидів азоту в атмосферу при спалюванні вугілля використовувалися стандартні моделі утворення оксидів азоту, а саме: термічний; prompt та паливний. Для виявлення ефекту відновлення оксидів азоту при застосуванні технології допалення додатково використовується механізм *Reburning*.

Спираючись на результати робіт [4–6] були зроблені допущення:

- тільки гомогенні газофазні реакції призводять до зниження оксидів азоту; вплив гетерогенних реакцій незначний;
- кінетика відновлення оксидів азоту за механізмом *Reburning* визначається реакціями системи вуглеводні – NO.

Виходячи з цих допущень відновлення оксидів азоту за механізмом *Reburning* буде проходити за наступною реакцією



Швидкість реакції залежить від виду палива. Для суміші піролізних газів (таблиця) для визначення швидкості реакції відновлення оксидів азоту були введені до розгляду наступні співвідношення:

$$R_1 = 2,72 \cdot 10^6 \frac{16}{\rho} [\text{NO}][\text{CH}_4] \exp\left(-\frac{9460}{T}\right), \quad (8)$$

$$R_2 = 2,72 \cdot 10^6 \frac{30}{\rho} [\text{NO}][\text{C}_2\text{H}_6] \exp\left(-\frac{9460}{T}\right), \quad (9)$$

$$R_3 = 2,72 \cdot 10^6 \frac{26}{\rho} [\text{NO}][\text{C}_2\text{H}_2] \exp\left(-\frac{9460}{T}\right). \quad (10)$$

Сумарна швидкість відновлення оксидів азоту продуктами піролізу визначалась за формулою:

$$R_{\text{reburn}} = R_1 + R_2 + R_3. \quad (11)$$

Пакет прикладних програм *Ansys CFX* був доповнений необхідними реакціями.

Як показали результати розрахунків основна зміна концентрації вуглеводнів проходить по краям зони контакту струменя піролізних га-

зів з продуктами горіння вугілля (рисунок, б). Зміна концентрацій продуктів піролізу йде за рахунок витрати їх на відновлення оксидів азоту та окислення їх киснем згідно реакцій (2)–(6).

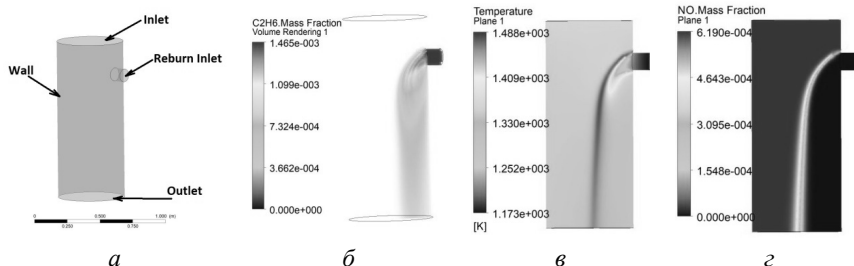


Рисунок. Комп'ютерна модель та результати розрахунків:

a – комп'ютерна модель; б – концентрація етану; в – температурне поле; z – концентрація NO.

Результати розрахунку температурного поля показали що реакція окислення продуктів піролізу біомаси йде по границі контакту з киснем. В наслідок чого спостерігається підвищення температури (рисунок, в). В області зниженої концентрації кисню проходить активне відновлення оксидів азоту за механізмом Reburning (рисунок, z). Результати верифікації програмного комплексу показали, що запропонований механізм хімічної кінетики дає змогу розраховувати концентрацію оксидів азоту з похибкою 17,8%.

Параметричне дослідження показало, що CO, CO₂, H₂ дуже слабо впливають на відновлення оксидів азоту. Основний вклад в відновлення оксидів азоту вносять вуглеводні. В зв'язку з цим піролізні гази з більшим відношенням C/H будуть створювати більше фрагментів CH_n, що в результаті призведе до більшого зниження NO_x. Даний висновок підтверджується результатами роботи [6], в якій стверджується, що вміст CO, CO₂, H₂ в паливі допалення позитивно впливає на відновлення оксидів азоту тільки при високих (> 2000 °C) температурах. В зв'язку з цим для забезпечення більшого ефекту при відновленні оксидів азоту за технологією Reburning слід обирати режими роботи піролізеру при яких отримані піролізні гази мають високий склад вуглеводнів.

Робота виконана в межах наукової роботи Н.Е.4.4 «Підвищення екологічності котла ТПП-312 шляхом застосування технології Reburning при використанні традиційних та відновлюваних джерел енергії» цільової програми НАН України «Інтелектуальна екологічно безпечна енергетика з традиційними та відновлюваними джерелами енергії».

Список використаної літератури

1. Кобзар С. Г., Халатов А. А. Кінетична модель утворення сірководню в топках котлів ТЕС при спалюванні вугілля, що містить сірку // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36, № 3. – С. 5–19.
2. Nodelman I. G., Pisupati S. V., Miller S. F. & Scaroni A. W. Partitioning behavior of trace elements during pilot-scale combustion of pulverized coal and coal-water slurry fuel // Journal of Hazardous Materials. – 2000. – Vol. 74(1–2). – P. 47–59.
3. Bartok W. and Sarofim A. F. (Eds.), Fossil Fuel Combustion – A Source Book, John Wiley & Sons, New York, 1991.
4. Kilpinen P., Glarborg P., Hupa M. Reburning chemistry: a kinetic modeling study. Industrial and Engineering Chemical Research 1992; 31(6):1477–90.
5. Glarborg P., Alzueta M. U., Dam-Johansen K., Miller J. A. Kinetic modeling of hydrocarbon/nitric oxide interactions in a flow reactor. Combustion and Flame 1998;115(1-2):1–27.
6. Prada L., Miller J. A. Reburning using several hydrocarbon fuels: a kinetic modeling study. Combustion Science and Technology 1998; 132:225–50.

УДК 620.9:620.19

С. Г. Кобзар, І. І. Борисов

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

МОДЕЛЮВАННЯ КОРОЗІЇ ЛОПАТОК ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО ПОДОВЖЕННЮ РЕСУРСУ ЗАВИХРЮВАЧА ПАЛЬНИКА КОТЛА ТПШ-312

Пальники котлів ТЕС знаходяться в зоні впливу потужного радіаційного потоку із об'єму топки. В пальниках із закруткою вторинного повітря найбільш вразливим елементом пальника є лопатки завихрювача, оскільки на них, в першу чергу на частинах, що обернені до топки, відбувається інтенсивне окислення матеріалу. Як правило, товщина сталевих лопаток завихрювача не перевищує 4 мм, відведення теплоти теплопровідністю є досить ускладненим, і максимальна температура на окремих ділянках поверхні досягає величини 800 °С і більше. Внаслідок руйнівного впливу агресивного середовища відбувається корозія матеріалу, погіршується газодинаміка обтікання лопаток, і в результаті відбуваються небажані зміни режиму горіння палива у котлі. По-

довження ресурсу завихрювача пальника є актуальною комплексною проблемою теплофізики та матеріалознавства.

Швидкість окислення залежить від багатьох факторів, основними з яких є температура, хімічний склад, розмір зерен матеріалу, хімічний склад навколишнього середовища. Для виготовлення лопаток пальників пилувугільного котла ТПП-312 використовуються низьковуглецеві сталі, із вмістом вуглецю менше 0,2%. При високих температурах на поверхні матеріалу утворюється окалина, яка складається із вюститу (FeO), магнетиту (Fe_3O_4) та гематиту (Fe_2O_3). Склад окалини суттєво залежить від хімічного складу матеріалу. Кінетика окислення залежить від терміну витримки матеріалу в окислювальному середовищі. Спочатку визначальним є кінетичний механізм, тобто утворення окалини залежить від швидкості гетерогенної хімічної реакції, але із зростанням товщини оксидної плівки починає переважати дифузійний механізм, який лімітує перенесення реагентів в зону хімічної реакції. На практиці для розрахунків, як правило, застосовується дифузійний механізм окис-

лення, для якого зростання маси зразка описується параболічним законом [1].

Комп'ютерне моделювання. Котлоагрегат ТПП 312 оснащений 16 пальниками, що розташовані у два яруси [2]. В якості моделі для розрахункового дослідження взято пальник (схема на рис. 1), якими оснащено котли ДТЕК Ладизинської ТЕС.

Комп'ютерне моделювання процесів горіння та теплообміну у топковому просторі енергетичного котла ТПП-312 в реальних умовах роботи проводилось за допомогою пакету ANSYS CFX. Моделювання включало 3 послідовних етапи. *На першому етапі* проводилось моделювання термогазодинаміки потоків в пальнику до виходу в об'єм топки котла. В якості вихідних даних (витрата та температура первинного та вторинного повітря), використовувались дані, отримані при експлуатації котла. Дослідження

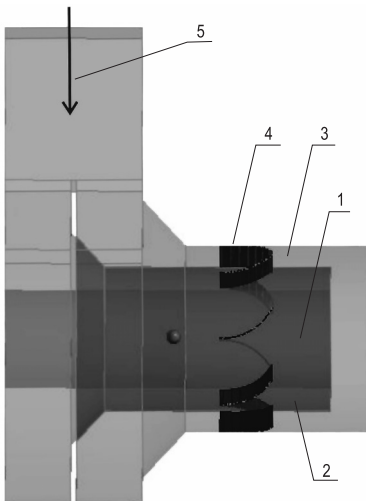


Рис. 1. Комп'ютерна модель пальника:

1 – канал первинного повітря; 2 – внутрішній кільцевий канал вторинного повітря; 3 – периферійний кільцевий канал вторинного повітря; 4 – лопатки завихрювача; 5 – вхід вторинного повітря.

проводилось у двох варіантах, з різною кількістю лопатей для завихрення вторинного повітря: 8 та 24.

В моделі пальника використовувалися аксіальні лопатки з кутом повороту потоку у 57 градусів. В результаті визначався коефіцієнт витрати вторинного повітря для кожного з двох кільцевих каналів, у вигляді співвідношення маси повітря через канал до загальної маси повітря, що подається у пальник. **На другому етапі** проводилось чисельне моделювання процесу горіння вугілля в топці котла. Було побудовано комп'ютерну модель газового тракту котла ТПП-312 та проведено чисельне моделювання процесу горіння вугілля [2].

Розрахунок виконаний для двох основних режимів експлуатації котла: з усіма працюючими пальниками, та з попарним відключенням двох крайніх пальників верхнього ярусу. В першому випадку навантаження складало 280 МВт_г, в другому – 210 МВт_г. Було визначено вплив фактору закрутки вторинного повітря на термогазодинаміку вогневого простору для цих режимів. При навантаженні 210 МВт_г, для захисту зупинених пальників від термічної руйнації у вторинний тракт подається повітря, приблизно 10% від робочого значення. Подача повітря в тракт аеросуміші не відключається. Сумарний надлишок повітря становить 1,22.

Отримані температурні поля були використані для завдання граничних умов при дослідженні впливу радіаційного теплообміну на температурний стан лопатей завихрювача вторинного повітря.

На третьому етапі проводилось визначення температурного стану лопаток завихрювача вторинного повітря. В програмному середовищі Ansys CFX була побудована та досліджена детальна комп'ютерна

модель пальника з частиною топкового простору. Розрахункова модель містила дві розрахункові підобласті: рідина та тверде тіло. На рис. 2 показано температурний стан лопатки для працюючого пальника. Як і слід було очікувати, максимальне значення температури поверхні має місце на кінці лопатки. В таб-



Рис. 2. Температурний стан лопатки завихрювача робочого пальника із 8 лопатками.

лиці наведено значення максимальної температури поверхні лопатки для робочого та відключеного режимів, та для варіантів завихрювача з 8 та 24 лопатками. Із розрахованих варіантів максимальна температура

має місце для завихрювача із 8 лопатками, для режиму, коли пальник відключений.

Таблиця

Значення максимальної температури лопатей завихрювача

Кількість лопаток завихрювача	Режим	Максимальна температура, К
8	в роботі	1008
8	відключений	1063
24	в роботі	957
24	відключений	1023

Розрахунок окислення лопатки завихрювача вторинного потоку. Для середньостатистичного навантаження базового блоку приблизний термін річної роботи котла складає 6000 годин, з них 2000 – на пониженому навантаженні. Розрахунок динаміки окислювання матеріалу проводився для максимальних температур, зазначених в таблиці. При розрахунку «виїдання» чистого металу будемо вважати, що шар окалини складається з гематиту (Fe_2O_3). Тоді частка заліза у прирості маси окалини складає 70%. Використовуючи підхід [1] були проведені розрахунки стоншення кінцевої частини лопатки завихрювача зі Ст 3 та Ст 20 для режимів, які вказано в таблиці. Результати розрахунку для варіантів із 8 та 24 лопатками наведено на рис. 3.

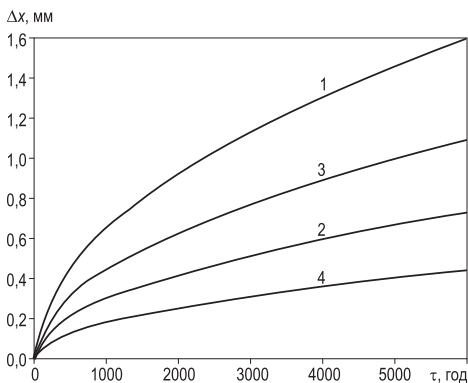


Рис. 3. Часова динаміка зменшення товщини основного матеріалу лопатки завихрювача:

1, 2 – 8 лопаток, $T = 1008$ К, відповідно Ст 3 та Ст 20; 3, 4 – 24 лопатки, $T = 957$ К, відповідно Ст 3 та Ст 20.

Розрахунки показали, що найбільший вплив на процес окислення здійснює матеріал лопатки: заміна сталі 3 на сталь 20 дозволяє зменшити швидкість корозії у 2,5 рази. Суттєве, на 50–70%, уповільнення корозії досягається за рахунок збільшення кількості лопаток з 8 до 24, %, внаслідок зменшення температури поверхні за рахунок поліпшення умов тепловіддачі в міжлопаткових каналах. В

цілому можна відмітити, що за рік експлуатації корозія є порівнянною із товщиною матеріалу.

Робота виконувалась при підтримці Національної академії наук України, проект Р5.9 цільової програми наукових досліджень «Надійність і довговічність матеріалів, конструкцій, обладнання та споруд» (Ресурс-2).

Список використаної літератури

1. Chen R. Y., Yuen W.Y.D. Review of the High-Temperature Oxidation of Iron and Carbon Steels in Air or Oxygen // Oxidation of Metals. – 2003. – Vol. 59, No. 5/6. – P. 433–468.

2. Кобзар С. Г., Халатов А. А. Визначення ефективності зниження викидів оксидів азоту системою ступеневого спалювання вугілля котла ТПП-312 блоку № 6 ДТЕК Ладизинська ТЕС // Вісник НТУУ ХП. Серія: Енергетичні та тепло-технічні процеси й устаткування. – 2014. – № 13(1056). – С. 85–91.

УДК 697.343

В. А. Седнин, Д. И. Власюк, И. В. Шкляр, М. И. Познякова

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОИСТОЧНИКОВ

При разработке и внедрение АСУ ТП теплоснабжением важным аспектом эффективности функционирования систем централизованного теплоснабжения является планирование режимов работы теплоисточников. В «классике» при использовании метода центрального качественного регулирования отпуска теплоты мощность теплоисточника определялась по средней температуре наружного воздуха предыдущих суток. При росте активности теплопотребителей в части локального регулирования нагрузки неизбежен переход на метод центрального количественно-качественного или количественного регулирования. В последнем случае принципиально можно добиться достаточно качественного реагирования теплогенерирующего оборудования на изменение суточного графика потребления тепловой энергии. Но отсутствие

прогнозирования тепловой нагрузки не позволяет решать проблему оптимальной загрузки теплогенерирующего оборудования. Применение простых подходов для прогнозирования тепловых нагрузок путем использования типовых графиков тепловых нагрузок не приводит к требуемому результату [1]. Это объясняется тем, что тепловая нагрузка зависит от большого числа факторов (метеорологические параметры, особенности района теплоснабжения, дня недели, времени суток и др.). В этой связи естественно было обратиться к эффективным методам обработки больших массивов данных, в частности, к технологии искусственных нейронных сетей. Одним из первых примеров применения данной технологии в теплоснабжении на постсоветском пространстве были работы, исследование выполненные в Харькове [1]. В которой автор отмечает, что применение нейросетевых моделей, в частности, позволяет оптимизировать краткосрочного планирования режимов отпуска тепловой энергии от источников систем централизованного теплоснабжения. Одним из первых примеров применения данной технологии в теплоснабжении на постсоветском пространстве были работы, исследование выполненные в Харькове [1]. В которой автор отмечает, что применение нейросетевых моделей, в частности, позволяет оптимизировать краткосрочного планирования режимов отпуска тепловой энергии от источников систем централизованного теплоснабжения.

В качестве основных преимуществ применения технологии нейросетевого моделирования для решения задачи краткосрочного планирования режимов работы теплогенерирующего оборудования следует отметить, что создаваемые модели, отличаются быстродействием, способностью решать задачи, не имеющих четкого алгоритма, универсальностью, самообучаемостью и адаптацией в режиме эксплуатации. Несмотря на то, что каждая нейронная сеть уникальна и требует индивидуальной разработки, под каждый реальный объект при наличии базового образца процесс создания и обучения нейронной сети и требуемых исходных данных занимает не более 7–10 дней. Важно отметить, что в процессе функционирования нейросетевой модели учитываются не только входные данные из выборки для обучения, но и данные, получаемые во время ее использования. Таким образом, нейросетевая модель постоянно качественно развивается и увеличивается точность получаемых прогнозов.

В тоже время существует ряд проблем, препятствующих внедрению технологии нейросетевого моделирования в теплоэнергетике, среди которых в первую очередь следует отметить слабую распространенность современных (цифровых) систем автоматизации, отсутствие необ-

ходимых исходных данных и инертность менеджмента энергетики (отсутствие стимулов вносить кардинальные, необходимые изменения). В рамках внедрения АСУ ТП объектов филиала Минские тепловые сети РУП «Минскэнерго» эти проблемы разрешаются априори, так как применяется прямое цифровое управление и соответственно формируется большой объем информации, отражающий процесс функционирования системы теплоснабжения. Следовательно, присутствуют все предпосылки для использования технологии нейросетевого моделирования.

В ходе исследования были выделены комплекс факторов, которые наиболее существенно влияют на тепловую нагрузку теплоисточников и которые технически возможно зафиксировать (см. таблица). В результате дальнейшего анализа список был сокращен исходя из условий объекта для которого разрабатывалась программа «Планировщик режимов теплоисточника». В качестве экспериментального объекта выступала районная котельная «Кедышко» филиала Минские тепловые сети РУП «Минскэнерго», на которой в 2016 были завершены работы по внедрению АСУ ТП и имелась достаточная база данных по функционированию присоединенной к теплоисточнику тепловой сети. Нейросетевая модель создавалась для планирования тепловой нагрузки по 2 магистральным трубопроводам сетевой воды. В качестве исходных используются 20 параметров: температура давление и массовые расходы по прямой и обратной сетевой воде в магистралях № 21 и № 29, температура, давление и расход природного газа, расход подпитки тепловой сети и температура наружного воздуха (текущее и прогнозируемое значения). На выходе из нейросети получаем прогнозное значение по тепловой нагрузке котельной по магистралям. В качестве исходных данных использовались выборки данных из базы данных действующей АСУ ТП районной котельной «Кедышко» за 2018 год. При этом входные данные были предварительно обработаны и проверены на наличие пропусков, отрицательных значений и неадекватно маленьких или больших значений.

Для обработки данных использован прикладной программный продукт Deductor Studio Academic 5.3 [2]. В качестве обучающей выборки использовались 95% от всего объема данных, в качестве тестовой выборки – оставшиеся 5%. Погрешность прогноза составила не более 5%, но это при условии 100% точного прогноза погоды (т.к. нейронная сеть обучалась на архивных данных, т.е. вместо прогноза погоды, использовались фактические данные температуры, зафиксированные в соответствующее время датчиками температуры воздуха).

**Перечень факторов, влияющих на тепловую нагрузку
теплоисточника системы централизованного теплоснабжения**

Значение параметра	Лаговое	Текущее	Прогнозное
Время			
Час суток		+	
Номер дня недели		+	
Праздник/не праздник	+	+	
Номер месяца		+	
Номер недели		+	
Погода			
Температура	+	+	+
Влажность	+	+	+
Скорость ветра	+	+	+
Осадки (все виды по отдельности)	+	+	+
Освещенность (облачность)	+	+	+
Точка росы	+	+	+
Атмосферное давление	+	+	+
Параметры системы			
Наличие аварий/ремонтов в сети	+	+	
Генерируемая теплоисточником мощность	+	+	
Отопление вкл/выкл	+	+	
Расход теплоносителя	+		
Температура прямой сетевой воды	+		
Давление в теплосети	+		
Обратная связь от потребителя			
Разница между нормальным потреблением газа и текущим (dU)	+	+	
Разница между нормальным потреблением электроэнергии и текущим (dP)	+	+	
Температура обратной сетевой воды	+	+	
Увеличение расхода на ГВС от нормы	+	+	
Другие факторы			
Работа теплоисточника на пром-объект/жилой район или пром- + жилой		+	
Увеличение/уменьшение стоимости энергоносителей (в ночное/дневное)		+	
График и особенности обслуживания энергоисточника		+	

Проведенные исследования показали целесообразность создания Планировщика режимов работы теплоисточника по прогнозным метеоданным (краткосрочным – до 6 часов и среднесрочным – до 3 дней), в виду того, что долгосрочный прогноз (более 3 дней) не целесообразен из-за низкой точности метеопрогноза.

Список использованной литературы

1. Вороновский Г. К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / Г. К. Вороновский. – Харьков: Харьков, 2002. – 240 с.

2. Паршуков Д. В. Моделирование и статистическая обработка результатов исследования: учеб. пособие / Д. В. Паршуков. – Красноярск, 2015. – 166 с.

УДК 538.9:536.6

**Н. М. Фіалко, Р. В. Дінжос, А. І. Степанова,
М. О. Новаківський, І. Л. Дашковська**

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

РОЗРОБКА НАНОКОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДИМОВИХ ТРУБ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Одним з важливих технологічних елементів газоспоживальних теплових установок різного призначення є димові труби. Останнім часом стан димових труб комунальних котелень в Україні характеризується чітко визначеною тенденцією до старіння, інтенсивного зношення через корозію та зниження їхньої експлуатаційної надійності. Даний процес зумовлений низкою причин, серед яких зниження теплового навантаження котелень та використання сучасних теплоутилізаційних технологій [1, 2]. Застосування для конструкцій димових труб нових прогресивних матеріалів на основі полімерних мікро- і нанокompозитів [3–5], що характеризуються низкою унікальних властивостей, зокрема щодо міцності і корозійної стійкості, дозволить значною мірою вирішити вказані проблеми.

В Інституті технічної теплофізики НАН України виконано дослідження щодо розробки полімерних мікро- і нанокompозитів для га-

зовідвідних стволів димових труб котельних установок, що експлуатуються в умовах зниженого навантаження котельнь та застосування сучасних теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням відхідних димових газів котлів.

При розробці вказаних матеріалів бралось до уваги, що за умов застосування цих композитів для конструювання газовідвідних стволів димових труб висуваються високі вимоги стосовно механічних властивостей даних матеріалів. Це пов'язано з необхідністю забезпечення конструкційної міцності застосовуваного обладнання. Зважаючи на це, поставало завдання розробки низькотеплопровідних полімерних нанокompозитів з поліпшеними механічними властивостями для виготовлення газовідвідних стволів димових труб і дослідження їхніх теплофізичних, структурних і механічних характеристик.

Основні вимоги при розробці матеріалів стосувалися: по-перше, величини коефіцієнта теплопровідності і діапазону робочих температур матеріалу, і, по-друге, значення модуля пружності при розтягуванні (модуля Юнга). Слід зазначити, що залежно від призначення і умов експлуатації газовідвідних стволів ці вимоги виявляються істотно різними. Для значень коефіцієнта теплопровідності вимоги стосувалися, головним чином, необхідності забезпечення при експлуатації димових труб мінімального рівня тепловтрат.

Щодо величини модуля Юнга, то тут за результатами досліджень властивостей нанокompозитів на основі поліетилену та поліпропілену, призначених для створення різних трубопроводів, була визначена можливість істотного підвищення цього показника у порівнянні з ненаповненими полімерами при відносно невеликому збільшенні коефіцієнтів теплопровідності.

Що стосується концентраційної залежності модуля Юнга, то тут в першу чергу необхідно вказати на ту обставину, що при відносно невеликому вмісті наповнювачів ω (до 2%) виявилось можливим істотне підвищення величини даного модуля. Так, для поліетилену, наповненого вуглецевими нанотрубками (ВНТ), значення вказаного показника зростає більш ніж в 6 разів при збільшенні ω від 0 до 2%.

Отже, за результатами проведених досліджень встановлена можливість отримання низькотеплопровідних полімерних нанокompозитів з поліпшеними механічними характеристиками для газовідвідних стволів димових труб. Зокрема, показано, що для нанокompозитів на основі поліетилену або поліпропілену, наповнених ВНТ або нанодисперсними частинками аеросила, при масовій долі останніх до 2% має місце:

- а) відносно незначне підвищення коефіцієнтів теплопровідності (до $\lambda = 0,54 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$);
- б) істотне зростання модуля пружності при розтягуванні (до $E = 1,33 \text{ ГПа}$).

Список використаної літератури

1. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І., Пресіч Г. О., Гнедаш Г. О. Теплові методи захисту газовідвідних трактів котельних установок під час застосування теплоутилізаційних технологій // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 6. – С. 125–130.
2. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І. Захист димових труб котельних установок при глибокому охолодженні відхідних газів // Промышленная теплотехника. – 2017. – № 4. – С. 21–25.
3. Фіалко Н. М., Динжос Р. В., Навродская Р. А. Влияние типа полимерной матрицы на теплофизические свойства и структурообразование полимерных нанокомпозитов // Технологические системы. – 2016. – № 3. – С. 49–59.
4. Фіалко Н. М., Динжос Р. В., Шеренковский Ю. В., Меранова Н. О., Навродская Р. А. Теплопроводность полимерных микро- и нанокомпозитов на основе полиэтилена при различных методах их получения // Промышленная теплотехника. – 2017. – № 4. – С. 21–25.
5. Долинский А. А., Фіалко Н. М., Динжос Р. В., Навродская Р. А. Теплофизические свойства низкотеплопроводных полимерных нанокомпозитов для элементов энергетического оборудования // Промышленная теплотехника. – 2015. – № 6. – С. 5–14.

УДК 538.9:536.6

**Н. М. Фіалко, Р. А. Навродская, С. И. Шевчук,
Г. А. Пресич, Г. А. Гнедаш**

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЙ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЫМОВЫХ ТРУБ

Одним из важных технологических элементов газопотребляющих котельных являются дымовые трубы. Их эксплуатация должна обеспечивать жесткие экологические требования по соблюдению норматив-

ных показателей рассеивания вредных веществ, содержащихся в отходящих газах котлов. Поэтому к дымовым трубам предъявляются высокие требования относительно их надежности и долговечности.

Эффективным направлением повышения безопасности эксплуатации дымовых труб котельных установок является использование систем тепловой защиты их газоотводящих трактов от выпадения конденсата. Конденсатообразование приводит к коррозионному разрушению этих трактов и потому считается тормозящим фактором для широкого внедрения в котельных теплоутилизационных технологий с глубоким охлаждением отходящих газов котлов и использованием теплоты конденсации содержащегося в газах водяного пара [1, 2].

Для антикоррозионной защиты дымовых труб применяют различные мероприятия. Это мероприятия по повышению антикоррозионных свойств корпусов газоходов и дымовых труб, а также мероприятия, связанные с созданием тепловлажностной обстановки на внутренней поверхности газоотводящих трактов, предотвращающей конденсатообразование на их поверхностях. Что касается второго класса мероприятий, то к ним относится применение способов предотвращения конденсатообразования путем: подогрева стенок дымовых труб, устройства вентилированных каналов, повышения теплоизоляционных свойств корпусов труб при осуществлении внутренней или внешней теплоизоляции и другие способы.

К другим эффективным способам, принадлежащим ко второму классу защиты газоотводящих трактов котельных установок при глубоком охлаждении дымовых газов, относятся тепловые методы предотвращения конденсатообразования в этих трактах [3–5]. Среди них особо выделяются методы, связанные с изменением тепловлажностных характеристик дымовых газов после теплоутилизации, – частичное байпасирование отходящих газов котла мимо теплоутилизационного оборудования (теплоутилизаторов), подмешивание к дымовым газам после указанного оборудования воздуха, нагретого в воздухоподогревателе котельной, или подсушивание охлажденных газов путем их нагревания в установленных за теплоутилизаторами теплообменниках-газоподогревателей. Эти методы, как очевидно, могут быть реализованы лишь при наличии систем теплоутилизации с глубоким охлаждением отходящих дымовых газов.

Анализ опыта эксплуатации дымовых труб при использовании систем теплоутилизации котельных установок показал, что применение методов, связанных с изменением тепловлажностных характеристик

охлажденных дымовых газов, достаточно эффективно для труб с высокими теплоизоляционными свойствами корпуса (кирпичных, железобетонных или металлических с футеровкой либо с иной теплоизоляцией).

Дымовые трубы с низкими свойствами теплоизоляции корпуса (металлические, железобетонные без футеровки и др.) при использовании теплоутилизационных технологий для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду нуждаются в усилении тепловой защиты корпуса [5]. Теплоизоляция может быть внутренней, например футерование кирпичом, или наружной, заключающейся в нанесении слоя изоляционного материала снаружи корпуса дымовой трубы. В качестве эффективного средства внутренней теплоизоляции дымовых труб может рассматриваться размещение в них вставных газоотводящих стволов меньшего диаметра с целью создания воздушной прослойки между корпусом трубы и ствола.

В Институте технической теплофизики НАН Украины проведен комплекс исследований по эффективности применения отмеченных тепловых методов защиты дымовых труб котельных установок с системами глубокой утилизации теплоты отходящих газов. Результаты исследований подтвердили высокую эффективность использования этих методов [3–5]. А повышение эксплуатационной надежности дымовых труб способствует, как отмечалось, экологической безопасности котельных.

Кроме обеспечения экологической надежности котельных установок путем антикоррозионной защиты дымовых труб, разработанные в ИТТФ теплоутилизационные системы [6, 7] характеризуются и дополнительными природоохранными эффектами, а именно:

- уменьшением вредных выбросов в окружающую среду путем снижения на 4–10% расхода топлива и частичного растворения в образованном конденсате оксидов азота и углерода;
- снижением до 50% объемов образования NO_x в топке котла за счет увлажнения дутьевого воздуха;
- возможностью полезного использования образованного в теплоутилизационной системе конденсата для подпитки тепловых сетей (45–115 кг/ч на 1 МВт теплопроизводительности котла). Данное обстоятельство обеспечивает уменьшение расхода природных водных ресурсов в системах теплоснабжения.

Список использованной литературы

1. Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Навродська Р. О., Пресіч Г. О., Шевчук С. І. Підвищення ефективності комбінованих теплоутилізаційних систем газоспо-

живальних котельних установок // Науковий вісник НЛТУ України. – Т. 29, № 6, 2019. – С. 79–82.

2. Навродська Р. О., Фіалко Н. М., Гнедаш Г. О., Сбродова Г. О. Энергоефективна теплоутилізаційна система для підігрівання тепломережної та дуттьового повітря котлів комунальної теплоенергетики // Промышленная теплотехника. – 2017. – Т. 39, № 4. – С. 61–69.

3. Фіалко Н. М., Навродська Р. О., Шевчук С. І. Захист димових труб котельних установок при глибокому охолодженні відхідних газів // Промислова теплотехніка. – 2017. – № 4. – С. 21–25.

4. Фіалко Н. М., Навродская Р. А., Гнедаш Г. А., Шевчук С. И., Дашковская И. Л. Осушение дымовых газов котельных установок в конденсационных теплоутилизаторах // Интернаука. – 2019. – Том 1, № 15. – С. 109–111.

5. Фіалко Н. М., Навродская Р. А., Шевчук С. И., Степанова А. И., Пресич Г. А., Гнедаш Г. А. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок. – К.: Типография «Про формат», 2018. – 248 с.

6. Fialko N., Navrodska R., Ulewicz M., Gnedash G., Alioshko S., Shevchuk S. Environmental aspects of heat recovery systems of boiler plants // DOK E3S Web Conf. Volume 100, 00015, 2019 (11th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO). – 7 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000015>

7. Navrodska R., Fialko N., Presich G., Gnedash G., Alioshko S., Shevchuk S. Reducing nitrogen oxide emissions in boilers at moistening of blowing air in heat recovery systems // DOK E3S Web Conf. Volume 100, 00055 2019 (11th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO). – 7 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910000055>.

УДК 621.036.7

Н. М. Фіалко, А. И. Степанова, Р. А. Навродская

Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДОГРЕВА И УВЛАЖНЕНИЯ ДУТЬЕВОГО ВОЗДУХА

Вступление. Проблема экономии топливно-энергетических ресурсов затрагивает все больше производственных предприятий Украины.

© Н. М. Фіалко, А. И. Степанова, Р. А. Навродская, 2020

В связи с этим повышение эффективности теплоутилизационных систем различного типа для энергетических установок, является важной и актуальной задачей. Необходимым условием повышения эффективности оборудования на стадии разработки технических решений является термодинамическая оптимизация.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время для анализа эффективности и оптимизации различных энергетических установок все шире используются методы эксергетического анализа [1–4]. Так в работе [Valencia G., 2019] для различных схем утилизации теплоты двигателей, работающих на природном газе на основе органического цикла Ренкина, анализируются результаты исследований энергии и эксергии. Работа [Fontalvo A., 2017] посвящена эксергетическому анализу и термодинамической оптимизации низкокачественных источников тепла для выработки электроэнергии, которую можно преобразовывать в механическую энергию и электроэнергию с помощью мелкомасштабных органических циклов Ренкина. В работе [Sahin A., 2014], отмечено, что с помощью методов эксергетического анализа целесообразно определять те стадии технологического процесса, для которых возможна оптимизация. Использование только эксергетического подхода к анализу эффективности и оптимизации энергетических установок часто не отражает некоторых важных моментов исследуемых процессов. Поэтому работа [Fialko N., 2018] посвящена созданию комплексных методик, сочетающих методы эксергетического анализа с другими современными методами исследований. Дальнейшие работы в направлении совершенствования процессов оптимизации теплоутилизационных систем, позволят существенно повысить их эффективность.

Цель работы и задачи исследований. Цель работы – повышение эффективности комбинированной теплоутилизационной установки для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха путем оптимизации ее параметров с помощью различных методов оптимизации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- в рамках структурно-вариантного метода оптимизации разработать структурную схему теплоутилизационной установки с идентификацией эксергетических потоков между ее отдельными элементами;
- разработать блок-схему многоуровневой оптимизации установки, включающей несколько уровней оптимизации, и схему ре-

курсивного обхода уровней с необходимыми ветвлениями на каждом уровне;

- провести сравнительный анализ эффективности теплоутилизационной установки, оптимизированной с помощью структурно-вариантного метода и метода многоуровневой оптимизации.

Материалы и методы исследования. Используются комплексные подходы на основе методов эксергетического анализа для оптимизации параметров комбинированной теплоутилизационной установки для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха.

Результаты исследований и их обсуждение. Эффективность применения технологий утилизации теплоты повышается в случае обеспечения в теплоутилизационной системе режима глубокой утилизации на протяжении всего отопительного периода. Указанный режим может быть достигнут в комбинированных теплоутилизационных системах котельных установок, в которых утилизированная теплота используется для различных целей одновременно, например, для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха. В работе проведен сравнительный анализ различных методов оптимизации на примере исследования комбинированной теплоутилизационной установки для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха, в которой используются поверхностные водо-и воздухогрейный теплообменники и контактный воздухоувлажнительный аппарат. Обоснованный выбор методов решения оптимизационных задач для теплоутилизационных систем повышает результативность оптимизации, что, в свою очередь, увеличивает эффективность установки, так как позволяет при разработке ее конструкции использовать параметры, максимально приближенные к оптимальным.

В число основных задач термодинамической оптимизации входит выбор целевых функций оптимизации и выбор методов оптимизации. Для простых теплоутилизационных систем методы термодинамической оптимизации предусматривают определение функциональных зависимостей выбранных критериев эффективности от основных параметров системы. Современные энерготехнологические системы, в том числе и рассматриваемая в работе теплоутилизационная установка, состоят, как правило, из большого количества элементов, вследствие чего установить общие функциональные зависимости для таких систем не представляется возможным. В этих случаях целесообразно использовать комплексные подходы, которые позволяют сочетать методы эксергетического анализа с другими современными методами исследований,

среди которых можно выделить структурно-вариантный метод и метод многоуровневой оптимизации.

Для теплоутилизационных систем структурно-вариантный метод оптимизации предполагает их моделирование в виде структурной схемы, в которой идентифицируются эксергетические потоки между отдельными элементами системы. Метод многоуровневой оптимизации дает возможность свести общую многокритериальную и многопараметрическую оптимизационную задачу к более простым локальным взаимосогласованным оптимизационным задачам каждого уровня. В том и другом случае в качестве целевых функций оптимизации использовались эксергетические критерии оценки эффективности, а в качестве методов построения математических моделей – статистические методы планирования эксперимента.

В рамках структурно-вариантного метода теплоутилизационная установка была представлена в виде ряда дискретных взаимосвязанных эксергетическими потоками элементов более простой структуры. В соответствии со структурной схемой выполнены тепловые и эксергетические расчеты, позволившие выделить два элемента, составляющие поверхностно-контактную подсистему – поверхностный конденсационный водоподогреватель и контактный подогреватель и увлажнитель дутьевого воздуха, изменение эксергетических потерь в которых наиболее сильно влияет на изменение эффективности системы в целом. Проведена оптимизация указанных элементов теплоутилизационной системы.

Для решения задачи многоуровневой оптимизации проведено разделение теплоутилизационной установки на пять уровней оптимизации, выбраны целевые функции оптимизации и варьируемые параметры для каждого уровня, разработана блок-схема и схема рекурсивного обхода уровней оптимизации.

В указанной комбинированной схеме отходящие дымовые газы котлоагрегата, характеризуются повышенным начальным влагосодержанием (0,15–0,30 кг/кг с.г.), которое может уменьшаться в процессе их прохождения через поверхностный конденсационный водоподогреватель в несколько раз. При этом влагосодержание воздуха после прохождения через контактный теплообменник увеличивается от 0,01–0,015 кг/кг с.в. до 0,15 кг/кг с.в. Указанные обстоятельства были учтены при расчете эксергетических критериев эффективности.

Для исследуемой теплоутилизационной установки на основе рассматриваемых методов оптимизации получены оптимальные значения режимных и конструкционных параметров, а также рассчитаны

соответствующие значения критериев эффективности. Значение эксерго-технологического критерия эффективности при расчете структурно-вариантным методом составляет 0,572 кг/кВт, а методом многоуровневой оптимизации – 0,554 кг/кВт.

Таким образом, эффективность исследуемой теплоутилизационной установки, оптимизированной с помощью метода многоуровневой оптимизации, на 3,2% выше эффективности той же установки, оптимизированной с помощью структурно-вариантного метода. Учет технологических особенностей и особенностей эксплуатации теплоутилизационного оборудования в конкретных условиях приводит к необходимости нахождения оптимальной области изменения параметров, которая определяется на основе конкретных значений оптимальных параметров. Ширина этой области зависит от указанных особенностей теплоутилизационной системы и от степени изменения критериев эффективности в пределах области.

Научная новизна полученных результатов состоит в использовании комплексных подходов на основе методов эксергетического анализа для оптимизации параметров комбинированной теплоутилизационной установки для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха.

Практическая ценность состоит в определении оптимальных областей изменения режимных и конструкционных параметров теплоутилизационной установки, которые могут быть использованы при разработке ее конструкции.

Выводы

1. Для комбинированной теплоутилизационной установки, предназначенной для подогрева и увлажнения дутьевого воздуха, разработана структурная схема, в которой идентифицированы эксергетические потоки между отдельными элементами.
2. В рамках использования метода многоуровневой оптимизации для исследуемой установки разработана блок-схема многоуровневой оптимизации, включающая пять уровней оптимизации, и схема рекурсивного обхода уровней с необходимыми ветвлениями на каждом уровне.
3. Показано, что эксергетическая эффективность исследуемой теплоутилизационной установки, оптимизированной с помощью метода многоуровневой оптимизации, на 3,2% выше эффективности той же установки, оптимизированной с использованием структурно-вариантного метода.

Список использованной литературы

1. Valencia G., Fontalvo A., Cárdenas Y., Duarte J., Isaza C. Energy and Exergy Analysis of Different Exhaust Waste Heat Recovery Systems for Natural Gas Engine Based on ORC // *Energies*. – 2019. – № 12. – P. 2378.
2. Fontalvo A., Solano J., Pedraza C., Bula A., Quiroga A., Padilla R. Energy, Exergy and Economic Evaluation Comparison of Small-Scale Single and Dual Pressure Organic Rankine Cycles Integrated with Low-Grade Heat Sources // *Entropy*. – 2017. – № 19. – 476 p.
3. Sahin A. Z. Importance of Exergy Analysis in Industrial Processes // Опубликовано 21.05.2014 URL: <https://www.researchgate.net/publication/228988818>.
4. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – 6/8 (96). – P. 43–48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.147526. [in Russian].

УДК 662.61:621

К. Буйнявичус, А. Янчаускас

*Каунасский технологический университет, кафедра Энергетики,
Научно-исследовательский центр ЗАО «Enerstena», г. Каунас, Литва*

СЕЛЕКТИВНОЕ НЕКАТАЛИТИЧЕСКОЕ СНИЖЕНИЕ NO_x В КОТЛАХ, СЖИГАЮЩИХ БИОМАССУ

С 2019 года задействована директива Европейского Союза 2015/2193 по новым нормам концентраций вредных веществ в дымовых газах котлов средней мощности (с 1 до 50 МВт). Для уже эксплуатируемых котлов возможны отсрочки до 2025–2030 гг. в зависимости от определенных условий, но для пускаемых в эксплуатацию с 2019 года – эти строгие нормы должны быть сразу выполнены. Для котлов, сжигающих древесное топливо, нормы по концентрациям оксидов азота для котлов мощностью ниже 5 МВт составляют 500 мг/м³ и 300 мг/м³ для котлов большей мощности. При сжигании качественных древесных отходов с низким содержанием азота в топливе (до 0,4%), такие нормы не представляют трудностей, но при сжигании отходов вырубki с добавками разных сортов биомассы, 300 мг/м³ является определенной задачей. В ряде стран имеются еще более жесткие требования. На-

пример в Нидерландах эта норма составляет 145 мг/м^3 для котлов от 5 МВт и выше, а в Швеции интерес представляют только котлы, обеспечивающие NO_x ниже 200 мг/м^3 . При этом, с повышением спроса на топливо, качество биотоплива постоянно снижается и все больший интерес представляют разные агроотходы, в том числе и с повышенным содержанием топливного азота.

Научно-исследовательский центр ЗАО «Enerstena», совместно с кафедрой Энергетики КТУ провели исследования по разным методам понижения выбросов NO_x при сжигании азотсодержащее биотопливо. На стенде-модели промышленного котла [1] для сжигания биотоплива, были произведены сравнительные испытания разных методов снижения концентраций оксидов азота: рециркуляция дымовых газов с воздухом для горения, ввод водяного пара во вторичную зону горения, впрыск воды во вторичную зону горения, ввод аммиака и карбамида за зоной горения, сжигание в режиме повышенного недожега топлива (таблица). В качестве топлива использовались гранулы из измельченных древесно-опилочных плит, содержащие 3,47% азота, влажностью 4,9%. Этот материал в качестве топлива выбран из-за высокого содержания азота и при сжигании генерирует высокие концентрации NO_x .

Таблица

Результаты сравнения разных методов снижения концентрации NO_x

Метод снижения NO_x	Начальная концентрация NO_x , мг/м^3	Конечная концентрация NO_x , мг/м^3	Снижение, %
Неполное сгорание, CO до 2900 мг/м^3	950	200	79
Рециркуляция дымовых газов до 150% от воздуха	880	845	4
Подача пара до 40% от массы топлива	850	750	12
Впрыск воды до 19% от массы топлива	900	450	50
Впрыск аммиака (10% раствора) до 2% от массы топлива)	900	570	37
Впрыск карбамида (9% раствора) до 5% от массы топлива	1010	680	33

Так как горение гранул происходило не превышая 1200 °С, то основное количество NO_x формируется из азота топлива. Этим можно объяснить результат, что на конечную концентрацию NO_x практически мало влияют методы, основаны на снижении температуры горения.

В дальнейшем основное внимание было обращено на разработку метода селективного некаталитического разрушения NO_x , с применением раствора карбамида. Было произведено численное моделирование распределения температур и скоростей потоков газов в котлах «Enerstena», расчеты необходимых параметров распыления раствора и, в результате, разработана система впрыска карбамида в поток дымовых газов. Система была установлена на котле 8 МВт и проведены испытания в протяжении 3 месяцев. Детальные испытания на котле 5 МВт показали, что при впрыске 12 кг/час раствора карбамида, что составляет около 0,7% от массы топлива, достигается снижение NO_x с 300–320 мг/м³ до 100 мг/м³. Дальнейшее повышение количества карбамида практически не влияет на концентрацию NO_x , но резко увеличивает концентрацию аммиака в дымовых газах (рисунок).

Обнаружено, что впрыск карбамида также влияет на концентрацию сероводорода. В чистой древесине количество серы является незначительным (до 0,05%), но в разных древесных отходах с добавками разной биомассы количество серы больше, поэтому в некоторых случаях в дымовых газах обнаруживаются соединения серы SO_2 , SO_3 , H_2S и др. Некоторые из них приводят к интенсивной коррозии металла котлов. Впрыск карбамида влияет на сероводород, что, наряду с понижением NO_x , является дополнительным преимуществом, так как снижает коррозионную активность дымовых газов.

Опыты с системой впрыска карбамида проводились на котлах «Enerstena» мощностью 8 и 5 МВт, на предприятиях «Kauno Energija» «Jonavos šilumos tinklai» (Литва). В фирме «De Maris» (Нидерланды) система была смонтирована на поставленном фирмой «Enerstena»

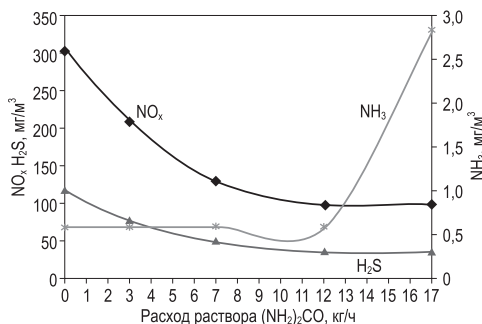


Рисунок. Зависимости концентраций NO_x , NH_3 и H_2S от количества 32%-го раствора карбамида $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$.

котле мощностью 4 МВт. Установлено, что практически во всех случаях достигается предельная концентрация NO_x порядка 100 мг/м^3 .

По балансу веществ, соотношение образовавшегося в результате разложения карбамида аммиака и оксидов азота в дымовых газах составило порядка $\text{NH}_3 : \text{NO}_x = 1,36 : 1$. Это соотношение в исследованных случаях было оптимальным, позволяющим достичь максимального снижения NO_x , с минимальным расходом реактива. Очевидно, что на стенде полученные результаты по впрыску карбамида значительно хуже промышленных результатов, что связано со сложностью впрыска малого количества жидкости и с обеспечением равномерного его распределения по сечению топки.

Выводы

1. Стендовые исследования показали, что если горение происходит при температурах ниже $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ и превалируют топливные NO_x , не все первичные методы снижения NO_x дают эффективные результаты или не могут быть использованы с практической точки зрения из-за больших затрат.
2. Впрыск карбамида является достаточно простым и эффективным средством понижения концентрации NO_x , позволяющим снизить концентрацию на 50–70%. Практическое внедрение показало, что нижним пределом является концентрация NO_x порядка 100 мг/м^3 .
3. Для практических расчетов расхода карбамида можно руководствоваться соотношением 0,5–0,7% карбамида (32%-й раствор) от расхода топлива, из расчета древесное топливо влажностью 40%, зольность 1,3%. Это соотношение зависит от необходимой степени снижения NO_x .
4. При правильной организации ввода карбамида, концентрация аммиака в дымовых газах ниже 10 мг/м^3 , которая является контролируемой и предельной в некоторых странах ЕС.

Список использованной литературы

1. Sereika T., Buinevicius K., Jancauskas A. Comparison of NO_x emissions decreasing methods for biofuel boilers. "Environmental Engineering", Vilnius: eISSN 2029-7092 / eISBN 978-609-476-044-0 Vilnius Gediminas Technical University Lithuania, Article ID: enviro.2017.047 DOI: <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.047>

2. Sereika T., Buinevičius K., Puida E., Pabarčius D. NO_x removal by NH_3 and flammable additives in the selective non-catalytic reduction process // Mechanika. Kaunas: KTU. ISSN1392-1207. eISSN 2029-6983. 2017, 23 p. 661-666.

Д. М. Корінчук¹, В. О. Бунецький²

¹*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

²*БМ-Інжиніринг, м. Київ*

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ АКТИВАЦІЇ БІОМАСИ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА

Технологія виробництва пресованого біопалива включає три ключові стадії виробництва: подрібнення, сушіння, пресування. Процес пресування біомаси шляхом брикетування або гранулювання є найважливішим технологічним процесом, який сприяє нормалізації сировини за гранулометричним станом, енергетичною густиною та забезпечує міцність необхідну для тривалого зберігання і транспортування на відстані більше 100 км. Підтримання високих якісних показників палива протягом річного циклу виробництва гарантує максимальний прибуток виробництва.

Огляд існуючих технологій виробництва пресованого біопалива в Україні виявив однакові технологічні підходи до виробництва комбікормів та біопалива, а також до брикетування вугілля, вугільного пилу та рослинної біомаси і торфу, в яких забезпечення структурно-механічних показників палива відбувалося без врахування специфіки лігноцелюлозної сировини, за рахунок переважного використання надвисоких тисків. Основні технологічні процеси виробництва брикетованого біопалива історично походять з технологій отримання брикетованого вугілля, а за основу технологій виробництва гранульованого біопалива взято технологічний підхід гранулювання комбікормів. Однак таке запозичення технологій брикетування і гранулювання некоректно з позиції відмінностей компонентного складу, фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей сировини. І, якщо процеси брикетування відпрацьовувалися для створення твердого палива з високою щільністю і міцністю, гідрофобного і зносостійкого, то призначення кормових гранул відповідало абсолютно іншим споживчим властивостям.

Енергетичний аналіз технологічних етапів виробництва твердого біопалива показав, що усі стадії виробництва є енергозатратними [1]. Низька енергетична ефективність властива таким етапам підготовки

сировини до пресування, як подрібнення та сушіння, особливо великими затратами енергії характеризуються стадія сушіння. Недосконалість процесу пресування, неврахування властивостей породного складу біосировини, зміни технологічних факторів протягом річного циклу виробництва призводить до підвищення енергоємності процесу та відмови обладнання.

Як бачимо актуальним сьогодні є завдання створення енергоефективних технологій отримання гранульованого і брикетованого біопалива з урахуванням фізико-хімічних особливостей сировини та споживчих якостей готового біопалива. Для цього, в першу чергу, необхідно дослідити механізми гранулоутворення властиві саме паливу з біомаси і виявити ефективні фактори впливу на показники якості гранул і брикетів вироблених в існуючому обладнанні.

З фізичної моделі гранулоутворення [2] можна заключити, що зменшення опору деформації та збільшення кількості активних центрів гранулоутворення в біомасі є основними напрямками підвищення енергоефективності цієї стадії

Аналіз сучасних теорій гранулоутворення в процесі пресування виявив велику кількість гіпотез щодо механізмів гранулоутворення. Більшість розглянутих теоретичних положень носять однобічний характер, оскільки при їх розробці враховувалося лише окремі фізичні властивості дисперсної системи капілярно-пористих тіл як об'єкту гранулювання в процесі фізичної взаємодії її складових, що визначає ступінь протікання процесів гранулоутворення, але не становить їх причину. Загалом можна виділити два наукових підходи, один з яких спирається на існуючі теорії гранулоутворення, а саме капілярну, колоїдну, молекулярну та термодинамічну теорії прилипання, гіпотезу водневих зв'язків. Другий пояснює утворення в процесі пресування міцних гранул саме зв'язуючими та клеючими властивостями деяких складових дисперсної суміші (бітуми, гумінові кислоти, лігнін, крохмали, білки і т.д.). Проведений аналіз стану питання показав, що дослідження механізмів утворення зв'язків на молекулярному рівні майже відсутні та суттєвим є дефіцит знань в галузі фізико-хімічної природи гранулоутворення, а ці аспекти знань є визначальними для біополімерів, до яких віднесено і біомасу [2]. Ведуться дослідницькі роботи як в Україні так і за кордоном з визначення впливу факторів пресування, компонентного складу сировини та фізико – хімічних методів підготовки сировини на якісні показники гранулоутворення такі як міцність та щільність, однак методи дослідження обмежуються емпіричними на технологічному та

лабораторному матеріалі, а через нестачу зв'язку фундаментальних знань щодо механізмів гранулоутворення та їх впливу на енергетику гранулоутворення суттєво ускладнені зусилля в напрямку розвитку та застосування раціональних технологічних прийомів підвищення якості гранул та енергоефективності технологій.

Перспективний напрямок вирішення задачі ефективного пресування може полягати у застосуванні методів активації в компонентах лігноцелюлозної біомаси та торфу активних центрів гранулоутворення та власних зв'язуючих біомаси за умови підвищення пластичності дисперсної системи.

Використання фізико-хімічних методів активації біомас, до яких можна віжнести механоактивацію, термічну та термовологісну активацію, надає можливість цілеспрямованого регулювання якісних показників біопалива, та забезпечення енергоефективного пресування без суттєвих змін застосованого пресового обладнання в межах допустимих параметрів його роботи.

Основу капілярно-пористої структури рослинної та деревинної біомаси утворюють клітини з характерним розміром до 200 мкм [3]. Механоактивація методом ударного подрібнення до рівня близького зазначеному приводить до порушення цілісності клітинних структур та механічної активації отриманої фракції, оскільки автоматично призведе до повного руйнування макрокапілярної структури речовини, утворення великої кількості активних центрів та вільних радикалів, підвищення реакційної здатності та накопичення поверхневої енергії. Це, в свою чергу, змінить кінетику процесу сушіння біомаси, позитивно вплине на енергетичні витрати при видаленні з біомаси надлишкової води і значно підвищить можливість для утворення нових міжмолекулярних зв'язків, а значить якість пресованого біопалива, що було підтверджено серією досліджень. Розглядаючи біомасу як композиційний біополімер можна стверджувати, що в процесі механоактивації деструктивний вплив мікроподрібнення на полімерну складову біомаси веде до зміни релаксаційного стану біомаси з застисненого та високоеластичного в сторону в'язкотекучого. Результати дослідження показали, що наявність в сировині не менше 20% механоактивованої біомаси за холодного пресування сприяє підвищенню кількості утворених молекулярних зв'язків за участю геміцелюлоз, а лігнінова складова набуває деструктивних змін, що відображається на зменшенні енергії активації цієї складової за термічного розкладання. Температурна активація біомаси призводить до активації і лігнінової складової та додатко-

вого утворення зв'язків за її участю. Оскільки міцність зв'язків за участю лігнінової складової вища за зв'язки утворені за участю геміцелюлози, в технологіях виробництва пресованого біопалива необхідно залучати методи активації саме цієї полімерної складової.

Відомо, що під час зволоження біомаси волога концентрується, в першу чергу, в поверхневих шарах часток на відміну від нативної сировини де вона концентрується в клітках рослин [3]. Під час зволоження в цій зоні протікають послідовні процеси сорбції, дифузії і набухання які завершуються утворенням гелевих структур, в яких ланцюги макромолекул мають велику гнучкість і рухливість [2, 4]. Подальше проникнення води в структуру біополімера призводить до зміни надмолекулярної будови матеріалу. Наслідком цих процесів є зміна релаксаційних властивостей матеріалу – збільшується його пластичність і здатність до деформацій при менших температурах і зовнішніх навантаженнях [2, 3]. Можна припустити, що для забезпечення процесу утворення гелевих структур на новоутворених поверхнях частинок біомаси і поверхнях мікрокапілярів клітинних стінок, а також для максимальної пластифікації біополімерів достатньо моношару адсорбціонезв'язаної води [3] на всіх зовнішніх і внутрішніх поверхнях біополімерного структури. Аналіз ізотерм сорбції парів води деревиною, торфом та рослинною біомасою показує, що вологовміст на умовній межі адгезія – крапельна конденсація, не перевищує 12–18%. Таким чином, можна зробити висновок, що сушіння біомаси до вологовмісту навіть в межах вищевказаного значення не забезпечить умови утворення гелевих структур на поверхні часток, оскільки методи високотемпературного сушіння призводять до видалення вологи саме з поверхневих шарів. Для підвищення енергоефективності технології пресування доцільно застосовувати після стадії сушіння механоактивацію та термовологістну активацію шляхом поверхневого зволоження, як наприклад обробка парою.

Термовологістна активація біомаси призводить до зміни релаксаційних станів біополімерів, які утворюють молекулярну і надмолекулярну структуру. Більшість аморфних біополімерів таких як геміцелюлоза, целюлоза, лігнін, при підвищенні температури змінюють фізико-хімічні властивості послідовно переходячи в один із декількох релаксаційних станів в ряду: склоподібне → високоеластичне → в'язкотекуче. На відміну від низькомолекулярних сполук мінеральної складової, у полімерів температура переходу з одного стану в може характеризуватися температурним діапазоном. Це означає, що при одній і тій же температурі та вологості матеріалу його складові можуть одно-

часно перебувати в різних релаксаційних станах. Наявність моношару води сприяє утворенню гелів, виконує як змашуючу так і пластифікуючу дію на частинки біомаси і є визначальним для ефективного процесу гранулювання. За термовологістної активації біомаси під час пресування створюються умови для наближення та контакту часток біомаси між собою, що супроводжуються незворотніми деформаціями компонентів речовини. Поверхневі шари частинок приходять в тісне зіткнення і стає можливим взаємне проникнення гелів та заповнення порового простору твердої складової частинок, яка виконує функції армуючого каркасу. У міру зменшення відстані між частинками посилюється міжмолекулярна взаємодія контактуючих поверхонь частинок і відбувається їх асоціація. Запропонована фізична модель гранулювання робить обґрунтованим використання як сировини композиційних сумішей з біомаси з часткою активованої сировини того ж виду або іншого за умови в ньому більшого вмісту лігнінової складової. Як приклад можна розглядати композицію 80% соломи та 20% активованої деревини. Це забезпечить формування гранул з високими показниками щільності і міцності за мінімальних енергетичних витрат.

Границі між релаксаційними станами біополімерів визначаються не тільки температурою, вологістю та структурними характеристиками речовини, а й характером підведеного навантаження, оскільки для полімерів в будь-якому релаксаційному стані характерно співіснування всіх трьох видів деформацій – пружної, високоеластичної і в'язкотекучої – з домінуванням одної з них [3]. Полімер, якому властиві високоеластичні характеристики, при великій швидкості підведення ударних навантажень поводить себе як пружне тіло, а при зміні на порядок часу докладання зусиль виявляє плинність, а рідкий полімер може в певних умовах проявити високоеластичні властивості, і навіть пружність. Для утворення максимальної кількості контактів в гранулі при пресуванні необхідно створити умови для максимального прояву в'язкотекучого механізму деформації. Переважання властивостей плинності при пресуванні повинно приводити до змін в надмолекулярній структурі полімеру в напрямку збільшення щільності упаковки молекул, а значить отримання гранул високої щільності. Відповідно треба прагнути, щоб швидкість навантаження при пресуванні підготовленої біомаси була мінімальною, що можливо реалізувати в пресах гідравлічного типу та екструдерах.

Стабілізація новоутвореної структури гранули біомаси відбувається в результаті десорбції вологи і зниження температури при охолодженні гранул та активної полімеризації складових утворених гелів. У міру

видалення води ланцюги макромолекул все тісніше зближуються, і стає можливим безпосередній контакт і взаємодію між ними. Втрата вологи спричиняє також стиснення і ущільнення гелів. При цьому стає можливим виникнення додаткових зв'язків між молекулами біополімера. Одночасно за наявності активних радикалів які утворилися в результаті механоактивації проходять хімічні реакції полімеризації компонентів біомаси, в основному лігнінової складової. На цій стадії гелеві структури виконують роль цементуючого матеріалу в проміжках між частинками біомаси утворюючи міцну і щільну гранулу.

Список використаної літератури

1. Бунецький В. О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пеллет або брикетів / В. О. Бунецький // Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області, випуск 10, 2011. – С. 328–340.
2. Дарманьян П. М. Физико-химические основы технологии гранулирования комбикормов и их компонентов: Автореф. дис. д.т.н / П. М. Дарманьян. – Одесса: Одесский технологический институт пищевой промышленности, 1992. – 32 с.
3. Войтов В. А. Физико-химическая модель биомассы как объекта гранулирования / В. А. Войтов, М. В. Бондаренко, В. А. Бунецкий // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 147. – С. 158–167.
4. Аким Э. Л. Релаксационное состояние растительных полимеров – в природе и при их биорефайнинге / Э. Л. Аким // Физикохимия растительных полимеров: материалы VIII Междунар. конф. – Архангельск, 2019. – С. 9–14.

УДК 658.576.1

Н. Ю. Павлюк

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗДІЛЬНОГО ЗБИРАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ В ЄВРОПІ НА ПРИКЛАДІ ФІНЛЯНДІЇ

Україна впроваджує європейські підходи до поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ), зокрема до роздільного збирання та утилізації міських відходів. Дана стаття присвячена організації роз-

дільного збирання, рециклінгу та утилізації муніципальних відходів в Фінляндії, яка дозволила за 10 років скоротити кількість відходів, що вивозяться на полігони для захоронення, в 50 разів. В Україні підлягають захороненню 94,2% ТПВ [1] на площі біля 117 км². Впровадження досвіду Фінляндії дозволить звільнити територію, яка перевищує площу Вінницької області¹.

Цей досвід можна вважати майже досконалим прикладом, до якого доцільно прагнути Україні.

Населення Фінляндії складає 5,5 млн мешканців. Загальна кількість муніципальних відходів в країні у 2018 році становила 3 млн т. Динаміка поводження з муніципальними відходами в Фінляндії за даними [2] представлена на рис. 1.

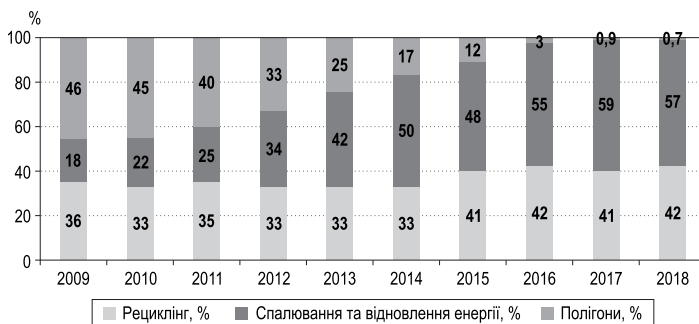


Рис. 1. Динаміка поводження з муніципальними відходами в Фінляндії.

Дані рис. 1 свідчать, що в 2009 році на полігони вивозили майже половину ТПВ, а в 2018 році – близько 0,7%. Це частково пов'язано із забороною у 2016 році вивозити на сміттєзвалища органічні відходи.

Перерозподіл потоків муніципальних відходів північна країна зробила в напрямку використання енергетичного ресурсу ТПВ з виробництвом теплоти та електричної енергії на ТЕЦ-на-ТПВ. Кількість відходів, направлених для спалювання, збільшилась в три рази і становить 57%. Кількість відходів, направлених на рециклінг, збільшилась лише на 6%. Частка рециклінгу відходів становить 42%.

Фінляндії вдалось досягнути такого масштабного скорочення захоронення відходів завдяки оптимальній організації розгалуженої системи сортування мешканцями ТПВ на компоненти з подальшим використанням енергетичного ресурсу відходів на ТЕЦ-на-ТПВ та матеріального ресурсу компонентів на переробних підприємствах.

¹ Площа Вінницької обл – 113 км².

Роздільне збирання муніципальних відходів населенням

Населення Фінляндії повинно розділяти ТПВ на десять компонентів:

- 1) органічні відходи;
- 2) енергетичні відходи (забруднені пластик, картон і папір, пінопласт, невеликі дерев'яні відходи, старий одяг, текстиль тощо);
- 3) метали;
- 4) скло;
- 5) чистий картон;
- 6) чисті газети та папір;
- 7) чисті пластикові упаковки;
- 8) змішане сміття (наприклад, упаковки, які складаються з паперу і з металу, що невіддільні одне від іншого (з-під кави, чіпсів, ліків тощо));
- 9) медичне сміття: ртутні термометри, колочі та ріжучі відходи типу шприців, голок та ампул, невикористані ліки, або ліки, термін придатності яких прострочено. Медичні відходи здають до аптеки;
- 10) небезпечні відходи (батарейки, лампочки, зарядні пристрої тощо).

Окремо збираються пляшки і банки, заставну вартість яких повертають у супермаркетах.

Вартість вивозу енергетичних відходів – 8 євро за кубометр, вивезення змішаних відходів коштує 30 євро за кубометр.

Жителі багатоквартирних будинків мають пільги на плату за житло і комунальні послуги, якщо якісно сортують сміття і не виробляють його занадто багато.

Контейнери для газет, скла, металів, картону, окремі контейнери для одягу, взуття, сумок розташовані біля супермаркетів, невеликих магазинчиків, на заправках. В них мешканці залишають відходи безкоштовно.

Поруч з контейнерами розташована раковина, щоб помити руки після здачі відходів.

Небезпечні відходи здають безкоштовно до автоматичного приймального апарату, який об'єднує окремі віконця для прийому:

- 1) телефонів і смартфонів;
- 2) електроприладів типу бритв тощо;
- 3) батарейок;
- 4) зарядних пристроїв;
- 5) акумуляторів;

б) лампочок.

В апараті для прийому використаних пляшок і банок автомат видає чек із сумою повернення. Гроші повертають на касі або враховуються в якості знижки на покупки.

Великогабаритні відходи мешканці самостійно вивозять на спеціальні станції прийому. На станціях розташовані окремі баки для:

- дерев'яних відходів (меблів тощо);
- дерева з текстилем;
- шин;
- металевих відходів типу самокатів, велосипедів, грилів.

Сортування та переробка відходів на підприємствах

Напрямки використання енергетичного і матеріального ресурсу муніципальних відходів представлено на рис. 2.

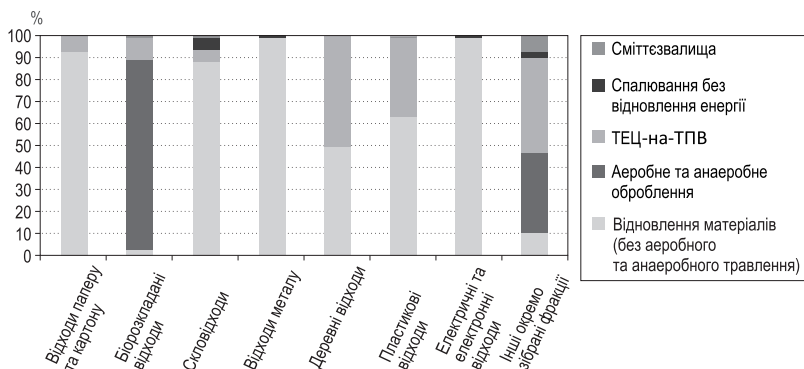


Рис. 2. Напрямки переробки та утилізації муніципальних відходів в Фінляндії в 2018 році.

Аналіз рис. 2 показує, що 86,5% органічних відходів (харчових) підлягають аеробному та анаеробному обробленню, утворюючи компост та біогаз.

92,9% окремо зібраних паперу та картону підлягають рециклінгу, решта 7,1% спалюються на ТЕЦ-на-ТПВ.

88,7% відходів скла підлягають рециклінгу, 5,5% потрапляють на ТЕЦ-на-ТПВ, 5,2% спалюють без використання енергії і тільки 1,3% потрапляють на полігони.

Пластик скидають в спеціальні відсіки, де його ретельно подрібнюють та розділяють за типами: 36% відходів пластику загортають в плівку і відвозять на ТЕЦ-на-ТПВ та спалюють для отримання енергії,

63,1% відсортованого пластику відправляють на підприємства для переробки та вторинного використання, 0,8% відходів вивозиться на полігони.

Дерев'яні відходи (меблі, двері тощо) подрібнюють, а потім витягають метал за допомогою магніту. 49,2% деревних відходів переробляється, 50,6% спалюється на ТЕЦ-на-ТПВ, 0,2% потрапляють на аеробну та анаеробну переробку. 100% металу відправляється на переробку.

ТЕЦ-на-ТПВ виробляють теплоту, яка використовується в мережах централізованого опалення, та електроенергію. В 2000 році в Фінляндії працювала 1 ТЕЦ-на-ТПВ, а з 2014 року – вже 9 з сумарною потужністю 1,5 млн т ТПВ. Найпотужніший з таких заводів (його продуктивність 320 тис. т/рік) розташований в місті Vantaa. Вироблена енергія забезпечує половину потреби міста в теплі та третину потреби споживання електроенергії.

На заводах Waste-to-Energy (ТЕЦ-на-ТПВ) спалюють 82,2% змішаних «енергетичних» відходів, а також 2% паперу і картону, 2,4% органічних відходів, 3,4% деревних відходів, 1,4% відходів пластику та 8% невизначених відходів.

Висновки

1. Україні доцільно вивчити підходи Фінляндії до організації системи управління муніципальними відходами, які дозволили скоротити кількість відходів, які захоронюються на полігонах, до 0,7%.
2. Фінляндії утилізує 57% зібраних муніципальних відходів на ТЕЦ-на-ТПВ з використанням виробленої теплової і електричної енергії для потреб населення. Україні, як енергодефіцитній країні, необхідно впроваджувати досвід Фінляндії з енергетичного використання муніципальних відходів.

Список використаної літератури

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2019 рік. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/teritory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vi/>
2. Statistics Finland. Режим доступу: https://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_tie_001_en.html

ЕТАПИ І РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ «СМІТТЄВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ» В ПОЛЬЩІ

В даній статті приведено аналіз управління муніципальними відходами в Польщі – країні, яка за чисельністю населення¹, економічно, географічно і ментально близька до України.

Польща, як член ЄС, впроваджує правила управління відходами, основані на директивах ЄС. Ці директиви лежать в основі Закону «*Про утримання чистоти та порядку в муніципалітетах*». Основний принцип сучасної системи управління відходами полягає у мінімізації маси видалення відходів на звалища.

Суттєві зміни в системі поводження з відходами в Польщі розпочались з прийняття 24.12.2010 року Національного Плану управління відходами, мета якого – скорочення кількості відходів, що видаляються для захоронення на звалища, які мають бути ізольовані від шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Головні положення Національного Плану, які започаткували «сміттьєву революцію» (за визначенням поляків):

- впровадження сегрегації на три компоненти – папір, метал і пластик, скло (окремо кольорове та безкольорове) для подальшого рециклінгу зібраних матеріалів, або на два компоненти – вологі біовідходи та сухі змішані відходи;
- окремий збір небезпечних відходів (акумулятори та батарейки, зіпсовані ліки, побутова хімія, крупно габаритні, ремонтно-будівельні відходи);
- обмеження на захоронення біовідходів на полігонах ТПВ;
- впровадження установок компостування біовідходів;
- впровадження установок термічного і механіко-біологічного відновлення змішаних відходів.

План встановлює різні підходи до управління муніципальними відходами в залежності від кількості жителів населеного пункту:

- в регіонах з населенням > 150 тис. жителів повинна впроваджуватись технологія механічно-біологічної конверсії або термічного відновлення змішаних комунальних відходів;
- в регіонах з населенням > 300 тис. жителів має відбуватись термічне відновлення змішаних комунальних відходів.

1 січня 2012 року набула чинності поправка до Закону «Про утримання чистоти та порядку в муніципалітетах», згідно якої Муніципалітети повинні були впровадити нові системи управління відходами до 1 липня 2013 р.

Результат зміни підходів до управління муніципальними відходами показано на рис. 1 і рис. 2.

Динаміка впровадження селективного збору відходів представлена на рис. 1.



Рис. 1. Динаміка впровадження селективного збору відходів.

Як видно з рис. 1, у 2014 році порівняно з 2013 роком приріст селективне зібраних відходів склав 60%. У 2015 році кількість селективне зібраних відходів збільшилась ще на 24%. В подальші роки зростання відбувалось повільніше, але в 2018 році селективне збиралось вже в 2,8 разів більше відходів, ніж у 2013 році.

Наприкінці 2018 року в Польщі працювало 2144 пункти селективного збору муніципальних відходів, з них 785 (36,6%) розташовані у містах, а 1359 (63,4%) у сільських районах.

Питома динаміка селективного збору муніципальних відходів представлена в таблиці.

Згідно даним таблиці, у 2018 році порівняно з 2015 р. найбільше (на 54%) збільшився питомий збір біовідходів та змішаних відходів упаковки (на 38%). Збір скляних відходів збільшився на 19%, відходів паперу та картону – на 11%, пластикових відходів на 9%.

Уряд стимулює населення до сегрегації відходів підвищенням плати за збирання змішаних відходів в два рази порівняно з платою за збирання сегрегованих відходів. Максимальна плата за збирання сегрегованих відходів у 2019 році становила 33,86 зл./особу (біля 8 Євро), а за змішані (не сегреговані) відходи – 67,72 зл./особу (біля 16 Євро).

Питомий селективний збір муніципальних відходів

Найменування компоненту ТПВ	2010	2015	2016	2017	2018
Біовідходи, кг/особу	4,7	17,1	21,4	23,3	26,4
Папір, картон, кг/особу	4,4	6,3	6,6	6,0	7,0
Змішані відходи упаковки, кг/особу	0	10,9	13,3	14,3	15
Пластмаси, кг/особу	3,2	7,9	7,9	7,7	8,6
Скло, кг/особу	5,6	11,0	11,6	12,1	13,1
Габаритні відходи, кг/особу	2,7	6,8	8,8	11,5	13,7

Динаміка впровадження відновлення муніципальних відходів представлена на рис. 2.

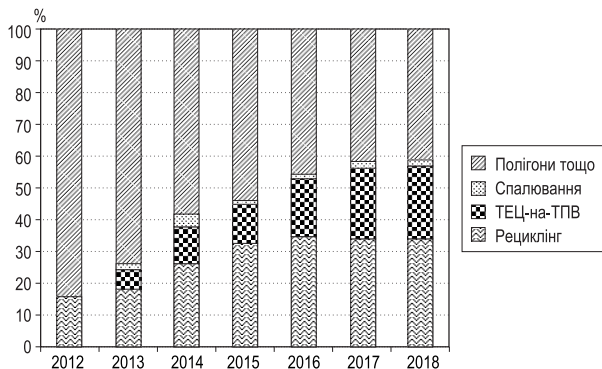


Рис. 2. Відновлення та видалення муніципальних відходів.

Згідно рис. 2, в Польщі активно розвивається напрямок термічного відновлення енергетичного потенціалу муніципальних відходів. До 2013 р. муніципальні відходи спалювались на єдиному сміттєспалювальному заводі в Варшаві. В 2013 році була прийнята Постанова Міністра економіки «Щодо критеріїв та порядку приймання відходів на сміттєзвалище», згідно якої з 1 січня 2016 року заборонено захоронення змішаних комунальних відходів та відходів після механічної обробки з теплою згоряння вище 6 МДж/кг.

На рубежі 2015/2016 рр. почалось впровадження нових ТЕЦ-на-ТПВ. К 2016 року в Країні було запущено 5 нових сучасних ТЕЦ-на-ТПВ, на яких утилізувалось на 60% більше відходів, ніж у 2015 році.

(рис. 2). До 2018 року було запущено ще 2 ТЕЦ-на-ТПВ. Загалом в 2018 році для виробництва енергії використовувалось в 5 разів більше відходів, ніж у 2013 року. В 2019 року було видано дозвіл на будівництво двох ТЕЦ-на-ТПВ. Варшава планує побудувати ще одну ТЕЦ-на-ТПВ до 2022 року (рис. 3).



Рис. 3. Розташування працюючих та запланованих для будівництва ТЕЦ-на-ТПВ на мапі Польщі.

Завдяки розвитку інфраструктури управління відходами, на полігони вивозиться на 30% менше муніципальних відходів, ніж у 2013 році.

Досвід використання енергетичного потенціалу муніципальних відходів Польщі доцільно перейняти Україні, як енергодефіцитній країні.

ОРГАНІЗАЦІЯ РОЗДІЛЬНОГО ЗБИРАННЯ МУНІЦИПАЛЬНИХ ВІДХОДІВ В ЄВРОПІ НА ПРИКЛАДІ ПОЛЬЩІ

Першим кроком для впровадження сегрегації відходів у Польщі став Закон «*Про утримання чистоти та порядку в муніципалітетах*». Поправка до цього закону започаткувала в Країні з 1 липня 2013 р. так звану «*Сміттєву революцію*».

Згідно нової системи управління відходами в містах та громадах запроваджено поділ муніципальних відходів на 3 компоненти (*папір, метал і пластик, скло*) або на 2 компоненти (*сухи та вологі*). Контейнери повинні відрізнитись за кольором.

1 липня 2017 року набула чинності Загальна система сегрегації відходів (WSSO). Відповідно до цієї системи, сировину необхідно відокремлювати від відходів, що не підлягають вторинній переробці, у чотири окремі контейнери: *метали та пластмаси (жовтий контейнер), папір (синій контейнер), скло (зелений контейнер) та БІОвідходи (коричневий контейнер)*. Решта компонентів відходів збираються в контейнер для *змішаних відходів*.

До жовтого контейнеру для *металів та відходів з пластику* дозволяється викидати відкручені та подрібнені пластикові пляшки для напоїв, алюмінієві кришки, ПЕТ-пляшки, термоусадочні етикетки, алюмінієву фольгу, пакувальну плівку, фольгові пакетики для косметики, соусів, їжі, горщики та деко для випічки, кавові капсули, картонні коробки для напоїв, металеві ковпачки з банок, упаковки йогурту, пластикові упаковки для косметики та засобів для чищення, гуму та гумові вироби, банки після безалкогольних та слабоалкогольних напоїв, консервів, пінопласт, тюбики від зубної пасти, пластикові пакети, кольорові метали.

Упаковки для продуктів харчування або косметики повинні бути порожні, мити їх не потрібно – якщо муніципалітет прямо це не оголошує. Якщо на упаковці є етикетка з термоплівки, її слід зняти. З пляшок необхідно відкрутити кришки.

Забороняється викидати: акумуляторні батареї, акумулятори, компакт-диски чи DVD-диски, вживану електронну та побутову техніку, газові балони, пластикові контейнери, в яких зберігалися жирні продукти, пластикові іграшки, упаковки після фарби, лаків, олій, аерозолів.

До блакитного контейнеру для *паперу* дозволяється викидати журнали, листівки, зошити, картонні коробки та упаковки, гофрований картон, ячні коробки, папір, картон, коробки для піци, трубочки з туалетного паперу та рушників, паперові пакети (якщо вони не є жирними або виготовленими з так званого крейдового паперу).

Забороняється викидати: жирний або сильно забруднений папір (наприклад, коробки для піци – їх необхідно кидати у контейнер для *змішаних відходів*), використані забруднені паперові рушники та хустки, обкладинки для книг, папір, який покритий пластиком, лакований або брудний папір, коробки з молока та напоїв, паперові пакети після добрив, цементу та інших будівельних матеріалів, шпалери, одноразові памперси та інші гігієнічні матеріали, жирну одноразову паперову упаковку та одноразовий посуд.

По можливості необхідно виймати клейку стрічку з картонних пакетів (її слід кидати у контейнер для *змішаних відходів*), з зошитів чи газет не потрібно виривати скоби. Обкладинки від книг чи календарів або рамки необхідно відокремити.

До зеленого контейнеру для *скла* дозволяється викидати порожні пляшки та банки після напоїв та продуктів харчування (включаючи пляшки для алкогольних напоїв та рослинних олій), скляні контейнери від косметики (якщо вони не виготовлені з поєднаних кількох сировинних матеріалів).

Деякі муніципалітети надають окремі контейнери для білого та кольорового скла. Банки не потрібно мити, якщо муніципалітет прямо це не вимагає.

Забороняється викидати: кераміку, горщики, фарфор, фаянс, скло для окулярів, келихи та жароміцне скло, свічки з воском, електричні лампочки, люмінесцентні лампи та прожектори, упаковки для ліків, розчинників та моторних масел, дзеркала, віконне та армоване скло, телевізори, термометри та шприци.

До коричневого контейнеру для *біовідходів* дозволяється викидати залишки їжі, зіпсовані фруктові/овочеві консерви, кавову та чайну гущу, ячні шкарлупи, фруктові та овочеві відходи (включаючи шкірку), зрізану траву, листя, квіти, тирсу, кору, гілки дерев та чагарників тощо.

Не рекомендується в контейнер для біовідходів скидати молочні продукти, сир, яйця, хоча в деяких муніципалітетах це дозволяється.

Забороняється викидати: кістки, м'ясо та екскременти тварин, вугільну золу, ґрунт та каміння, пил з пілососа, ДСП.

До сірого контейнеру для *змішаних відходів* дозволяється викидати всі відходи, що неможливо відновити в процесі переробки, крім небезпечних відходів: губки, тканини; пил з пілососа; бритвені машини; м'ясо, рибу, залишки тварин; молочні продукти, сир, яйця; недопалки; жировики; олію для смаження; квитанції від магазину/банкомату; пергамент; пісок; пластикові жирові пакети; засоби гігієни (памперси, гігієнічні палички, бинти, гігієнічні прокладки, тампони, вату); вироби зі шкіри та хутра; чайні пакетики; волосся, вовну, пір'я; жирний папір; запальнички (порожні); фарфор, фаянс; розбитий посуд, келихи; використані паперові рушники, тканини; зношений одяг, текстиль, взуття; котячі підстилки або тирсу з лотків для тварин.

Забороняється викидати: насипні відходи, відходи будівельні та знесення, використані шини, акумулятори, медикаменти, медичні відходи, люмінесцентні лампи, упаковки для засобів захисту рослин, відходи електричного та електронного обладнання

Небезпечні відходи не можна перекидати у звичайні контейнери. Використані батареї та акумулятори, лікарські засоби з простроченим терміном експлуатації, використані люмінесцентні лампи, відходи від корозійних хімікатів (наприклад, засоби захисту рослин), а також використану електроніку та побутову техніку (так звані електровідходи) – потрібно здати у визначені пункти для збору відповідних небезпечних комунальних відходів, які, згідно з регламентом, мають бути розташовані у кожному населеному пункті, наприклад, в магазинах (пункти збору акумуляторів, електронного обладнання) або аптеках (прострочені ліки).

Деякі відходи можуть бути проблематичними при сортуванні. Наприклад, картонні коробки після молока або соку, з сегрегацією яких у багатьох людей є справжня проблема. Коробки цього типу – це упаковки з різних матеріалів. Утилізувати їх слід в жовтому контейнері для *металів та відходів з пластику*.

В Україні після прийняття «Закону про поводження з відходами» також буде започатковано сегрегацію муніципальних відходів. Ознайомлення з досвідом Польщі допоможе швидше впровадити якісну систему сегрегації відходів в Україні.

О. І. Сігал¹, С. В. Плашихін^{1,2}, Є. Й. Бикоріз¹, Н. А. Ніжник¹

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПРИ СПАЛЮВАННІ ТВЕРДОГО ПАЛИВА ТА ТПВ

У зв'язку з прийнятою енергетичною стратегією на енергонезалежність України, останнім часом стає все більш актуальним питання про відхід від імпортного природного газу на спалювання в котлах місцевих видів твердого палива та ТПВ.

Потік продуктів згорання, що рухаються по газоходах котельного агрегату, несе з собою тверді частинки летючої золи і незгорілого палива. Зола, осідаючи на поверхнях нагріву, погіршує коефіцієнт теплопередачі, збільшує гідравлічний опір газоходів і приводить до зносу поверхонь нагріву. Летюча зола складається з частинок різних розмірів. Найбільшою мірою утворюють відкладення дрібних частинок, розміри яких не перевищують 30 мкм. Крупніші частинки, руйнуючи скупчення золи, одночасно зношують поверхню нагріву.

При пилоподібному спалюванні твердого палива з продуктами згорання виноситься до 90% золи, а при шаровому спалюванні до 35% золи, що міститься в паливі [1].

До середини 1980-х років котли паропродуктивністю до 25 т/год включно і водогрійні котли теплопродуктивністю до 20 Гкал/год оснащувалися батарейними циклонами БЦ2 з проектним ступенем очищення газів від летючої золи не більше 85%.

Для досягнення санітарних норм на викиди золи в атмосферу потрібні значно вищі показники ефективності уловлювання.

Для забезпечення сучасних вимог по захисту повітряного басейну необхідно мати ступінь очищення не нижче 99% і тому необхідно понизити величину винесення пилу, як мінімум, на порядок.

Тому одноступінчатє очищення в типових енергетичних циклонах ЦН-11 і ЦН-15 недостатньо ефективно і не може бути рекомендоване.

Проведемо розрахунок двоступінчатої відцентрової системи очищення, для визначення можливості досягнення вимог санітарних норм на викиди золи в атмосферу. Як перший ступінь приймемо золоуловлювач равлик, що має найменший аеродинамічний опір.

За наявними літературними даними, дисперсний склад золи, після очищення в золоуловлювачі ($\Delta P = 300$ Па) равлика мав наступні параметри розподілу – $d_{50}^I = 9 \div 13,5$ мкм $\sigma_n^I = 2,4 \div 2,8$ [2].

З урахуванням останніх експериментальних і наших розрахункових даних для подальших розрахунків другого (циклонною) ступеня можуть бути прийняті середні величини $d_{50}^I \approx 12$ мкм $\sigma_n^I \approx 2,6$.

Згідно методики [3] оцінимо ступінь очищення різних типових циклонів для такої золи. Результати розрахунків і початкові дані для розрахунків зведені в таблиці.

Величина $\Sigma\eta$ – ступінь очищення двоступінчатої схеми очищення оцінювалася по залежності:

$$\Sigma\eta = [1 - (1 - \eta^I)(1 - \eta^{II})] \cdot 100,$$

де η^I – ступінь очищення першого ступеня очищення (рівна 0,6 в долях одиниці);

η^{II} – ступінь очищення другого ступеня (у долях одиниці).

Згідно сучасних вимог до викидів золи з котлів кінцева концентрація повинна складати 50 мг/м³ для нових котлів і 100 мг/м³ для котлів, що знаходяться в експлуатації.

Розрахунок необхідної ефективності очищення в золоуловлювачі для досягнення нормативу 50 мг/м³ може проводитися по встановленій нами залежності:

$$\eta = 100 - \frac{1,1}{A_{np}},$$

де $A_{np} = A^p / Q_n^p$ (Q_n^p – мДж/кг);

A^p – вміст золи в паливі на робочу масу, %.

З аналізу таблиці видно, що при прийнятних для енергетики рівнях енерговитрат (1300 – 1400 Па) жоден з розглянутих типових і нових експериментальних циклонів навіть при двоступінчатій схемі очищення не в змозі забезпечити необхідний ступінь очищення димових газів від золи не менше 99% і кінцеву концентрацію золи не менше 50 мг/м³.

Тому потрібна розробка високоефективних сухих золоуловлювачів нового покоління.

Результати розрахунків і початкові дані

Тип циклона	$D_{ц}$ мм	a	b	$H_{об}$	D_e	$\Phi_{жвх}^r$	$\Phi_{жвх}^r$ ($H_{обц}/D_e$) ^{2/3}	d_{50}^r мкм	σ_3	V_r	ρ_r	ΔP , Па	$d_{п50}$, мкм	t	η , %	$\Sigma \eta$, %	$K_{п}$, мг/м ³	$K_{кв}$, мг/м ³
ЦН-15	0,50	0,260	0,660	4,26	0,59	3,385	14,10	12	2,6	4,25	0,615	890	3,62	0,958	83,1	93,25	2300	155
ЦН-11	0,50	0,260	0,480	4,00	0,59	4,650	16,90	12	2,6	4,25	0,615	1388	3,15	1,070	85,8	94,30	2300	131
РИСИ	0,50	0,250	0,500	4,00	0,50	4,400	18,84	12	2,6	4,25	0,615	1320	2,90	1,140	87,3	94,12	2300	117
ИГТФ	0,50	0,250	0,500	4,00	0,50	4,400	18,84	12	2,6	4,25	0,615	1190	1,80	1,518	93,5	97,40	2300	60
МИОТ-М	0,50	0,260	0,800	5,00	0,50	4,790	12,96	12	2,6	4,25	0,615	825	2,55	1,300	90,4	96,00	2300	92
СК-ЦН-33	0,73	0,264	0,535	3,40	0,33	7,000	31,30	12	2,6	2,00	0,615	744	3,26	1,025	84,7	93,90	2300	141
СЦН-40	0,73	0,160	0,380	3,20	0,40	15,000	60,00	12	2,6	2,00	0,615	1490	2,05	1,39	91,8	96,70	2300	75,4

Модернізація установки газоочищення [4], проводилась по основним концептуальним положенням, впровадження яких дозволяє зменшити викиди золи і сірки:

– в якості реактора використано шестиканальний відцентровий фільтр, що дозволило збільшити час перебування газового потоку в реакторі, тим самим збільшити ефективність золовловлювання та сіркоочищення;

– рециркуляція частини газового потоку дозволила окрім підвищення ефективності очищення газового потоку від золи та сірки більш повно використовувати $Ca(OH)_2$.

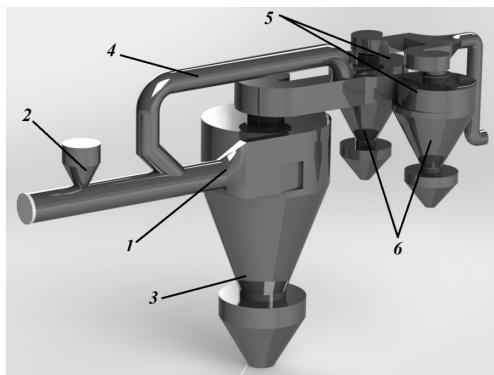
На основі проведеного аналітичного огляду методів очищення димових газів від SO_2 обрано NID технологія, яка заснована на сухому способі з введенням в газовий потік тонкодисперсного порошку вапна і подачі компресором через форсунку води.

Загальний вигляд системи очищення наведено на рисунку.

Установка очищення працює таким чином: димові гази від котла надходять у вхідний патрубок 1 шестиканального дворівневого відцентрового фільтра (ЦФ2-6-20). До цього ж патрубка через штуцер 2 подається вапно і тонкороспоро-

шена вода. Димові гази перемішуються в криволінійних каналах апарату і багаторазово в ньому циркулюють. У цьому апараті відбуваються хімічні реакції зв'язування SO_2 . Частково відпрацьований сорбент з частиною вловленої золи виводиться з апарату в бункер накопичувач 3, а деяка частина газового потоку повертається в ЦФ2-6-20 через рециркуляційний газохід 4.

Рисунок. Модернізована установка для очищення димових газів від діоксиду сірки та золи: 1 – вхідний патрубок у першу ступінь очищення ЦФ2-6-20 (реактор); 2 – штуцер подачі вапна; 3 – бункер накопичувач; 4 – рециркуляційний газохід; 5 – шестиканальні відцентрові фільтри ЦФ1-6-8; 6 – бункери накопичувачі.



Запилені димові гази далі направляються у шестиканальні відцентрові фільтри 5 (ЦФ1-6-8) в яких відбувається очищення потоку від твердих частинок. Частинки, що уловлюються в апаратах, виводяться в бункер накопичувачі 6. З усіх бункерів накопичувачів необхідно організувати безперервне вивантаження матеріалу шнековим живильником через шлюзові затвори.

Система очищення може працювати в двох режимах на 50 та 100% обсягу димових газів. Зміна режиму роботи відповідає режиму роботи котла і змінюється перекриттям шиберів у вхідних патрубках відцентрових фільтрів.

Установка для очищення димових газів модернізована.

Висновки

За сучасними вимогами до викидів золи з котлів кінцева концентрація повинна складати 50 мг/м^3 для нових котлів і 100 мг/м^3 для котлів, що знаходяться в експлуатації.

Для забезпечення сучасних вимог по захисту повітряного басейну необхідно мати ступінь очищення не нижче 99%. Тому одноступінчатого очищення в типових енергетичних циклонах ЦН-11 і ЦН-15 недостатньо ефективно і не може бути рекомендоване.

З аналізу таблиці видно, що при прийнятних для енергетики рівнях енерговитрат (1300–1400 Па) жоден з розглянутих типових і нових експериментальних циклонів навіть при двоступінчатій схемі очищення не в змозі забезпечити необхідний ступінь очищення димових газів від золи не менше 99% і кінцеву концентрацію золи не менше 50 мг/м³.

Модернізована система комплексного очищення димових газів, які утворюються при спалюванні твердого органічного палива, дозволить досягти зниження викидів твердих часток золи до концентрації 50 мг/м³ та зниження викидів діоксиду сірки на 50%, викидів оксидів азоту додатково на 30%.

Список використаної літератури

1. Карауш С. А. Расчет газовых горелок. Методические указания. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2014. – 35 с.
2. Приемов С. И. К расчету эффективности золоулавливания и гидравлического сопротивления циклонных аппаратов // Промышленная теплотехника. – 2004. – Т. 26, № 4. – С. 47–52.
3. Мальгин А. Д. Аэродинамические исследования циклонного элемента батарейного циклона, работающего с отсосом и рециркуляцией газов // Механическая очистка промышленных газов. – М.: НИИОГАЗ, Машиностроение, 1974. – С. 171–177.
4. Сігал О. І., Падерно Д. Ю., Павлюк Н. Ю., Сафьянц А. С., Бикоріз Є. Й., Плашихін С. В. Сокращение потребления природного газа и снижение выбросов вредных веществ с продуктами сгорания в коммунальной теплоэнергетике // Теплофизика и Теплоэнергетика. – 2019. – 41(2). – С. 54–63.

УДК 621.1.016.4

О. І. Сігал¹, С. В. Плашихін^{1,2}, Є. Й. Бикоріз¹, І. В. Пузанов¹

¹*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ*

²*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

ЧИСЕЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПВІДНОШЕННЯ ДІАМЕТРА ТРУБИ ДО ДІАМЕТРА КЛАПАНА РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО КАНАЛУ

Чисельний розрахунок моделі апарата очищення димових газів від твердих частинок дає можливість визначити його аеродинамічний опір,

дослідити характеристики зміни опору та швидкостей в рециркуляційному каналі та в об'ємі апарату в цілому; визначити показники витрати потоку та відсоток, що додатково циркулює в системі.

Комп'ютерне моделювання аеродинамічних характеристик апаратів є необхідним інструментом для проектування та створення сучасних очисних технологічних об'єктів. Одним із можливих шляхів математичного моделювання фізичних процесів очищення димових газів від сірки та твердих часток є використання систем автоматизованого проектування та інженерного аналізу – CAD/CAE-систем (Computer Aided Engineering). У цьому аспекті важливими є програмні системи, які інтегруються у геометричні САПР (системи автоматизованого проектування), а також дають змогу досліджувати складні теплофізичні та аеродинамічні процеси в багатокомпонентних амізотропних середовищах.

До класу таких систем належить Flow Simulation, як додатковий модуль інженерного аналізу, який базується на сучасних досягненнях обчислювальних методів та інтегрується із автоматизованою системою геометричного проектування SolidWorks, надаючи такі можливості: моделювання течії рідин і газів, управління розрахункової сіткою, використання різних фізичних моделей рідин і газів.

Для аеродинамічних розрахунків використовувалась створена модель апарата очищення димових газів, що відповідає реальному конструкторському виконанню апарату. Для визначення оптимального типу рециркуляційного каналу розрахунок здійснювався для трьох варіантів співвідношення діаметра труби до діаметра клапана D_T/D_K : 0,25; 0,5; 0,75.

В табл. 1 наведені характеристики швидкості, тиску та витрати потоку в розрахункових площинах при різних варіантах рециркуляції потоку.

В табл. 2 наведені результати моделювання руху твердих часток $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і золи в об'ємі апарату очищення ЦФ2-6-20. В ході моделювання задавались фізичні параметри твердих часток $\text{Ca}(\text{OH})_2$: густина $\rho = 3320 \text{ кг/м}^3$, питома теплота $C_p = 783 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ та температура матеріалу $T = 413 \text{ К}$ та золи: густина $\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$, питома теплота $C_p = 1000 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$ та температура матеріалу $T = 413 \text{ К}$.

Діапазон моделювання твердих часток складав від 5 до 50 мкм з кроком в 5 мкм. Для кожного діаметру моделювалось 1000 часток та визначалось середнє значення часу руху та концентрації часток вловлених відцентровим фільтром в залежності від співвідношення D_T/D_K .

Таблиця 1

Результати аеродинамічних характеристик потоку у площинах а–г

D_T/D_K		v , м/с	P , Па	Q , м ³ /год
0,25	а	11,70	104 271	20 372
	б	7,60	104 015	16 154
	в(л)	14,30	103 972	8 176
	в(п)	14,00	103 992	7 952
	г	9,20	104 256	16 000
	д	4,30	104 225	3 964
0,50	а	14,10	104 178	24 677
	б	8,10	103 984	17 143
	в(л)	14,80	103 949	8 396
	в(п)	14,50	103 958	8 276
	г	9,20	104 160	16 000
	д	7,40	104 093	7 855
0,75	а	17,40	103 961	30 344
	б	8,50	103 208	17 976
	в(л)	15,30	103 914	8 652
	в(п)	14,90	103 864	8 456
	г	9,28	103 942	16 000
	д	12,80	104 267	13 586

Таблиця 2

Результати моделювання руху твердих часток $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і золи

D_T/D_K	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Зола
	τ , сек	τ , сек
0,25	5,11	5,38
0,50	4,81	5,12
0,75	4,34	4,59

На основі отриманих даних в результаті комп'ютерного моделювання (табл. 1 та 2) можна зробити висновок, що найбільш ефективним варіантом виконання рециркуляційного тракту є співвідношення D_T/D_K : 0,25.

**ОГРАНИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ КОТЛОВ – ПРОБЛЕМА,
КОТОРАЯ МОЖЕТ БЫТЬ РЕШЕНА**

«Ограничения мощности котлов» являются причиной многих проблем эксплуатации ТЭС, ТЭЦ, отопительных котлов. Однако, если провести анализ литературных источников и публикаций в интернете, то эта проблема не обсуждается. Доказательством важности этой проблемы является то, что еще в 1984 году ОРГРЭС (г. Львов) разработал методические рекомендации по обоснованию ограничений мощности [1]. Рекомендации регулярно переутверждаются, так как каждый год руководители энергетических предприятий должны обосновывать ограничения мощности эксплуатируемого оборудования.

До 1991 года ограничения мощности считались недостатком эксплуатации и отрицательно отражались на оплате труда руководителей и инженеров энергетических предприятий. Однако с августа 1991 года энергетикам была предоставлена возможность обосновывать *ограничения мощности котлов*, что освободило энергетиков от потери зарплаты по причине ограничений мощности. Отсутствие обсуждения этой проблемы трудно объяснить, так как с ней связано много недостатков эксплуатации оборудования: большие удельные затраты энергии при работе вентиляторов либо дымососов, высокий уровень шума и вибрации и др. ...

Есть ли проблема ограничений мощности в других странах? Анализ литературы показал – проблемы ограничений мощности по дутью либо тяге являются характерными для всех стран. Об этом свидетельствуют рекомендации министерства энергетики США «повышение производительности вентиляторной системы» [2]. Проблема несоответствия реальной подачи вентиляторов и дымососов тем показателям, которые были заявлены при проектировании аэросистем отмечается в справочнике как «системный эффект». Причем решение проблемы «системного эффекта» настолько актуально, что в указанных рекомендациях подчеркивается, что решение проблем *несоответствия* реальной подачи с заявленной при проектировании имеет существенное значение для обеспечения энергетической независимости США.

Большинство котлоагрегатов в коммунальной энергетике Украины работают с ограничениями мощности.

При паспортной тепловой мощности 50 Гкал (58 МВт) максимальная мощность котлов в отопительной котельной «Южная-2» не превышает 38 Гкал, при этом существенным недостатком являются высокие значения минимальной мощности – более 40% (рис. 1, 2). Это делает проблематичным эксплуатацию систем теплоснабжения в теплый период.

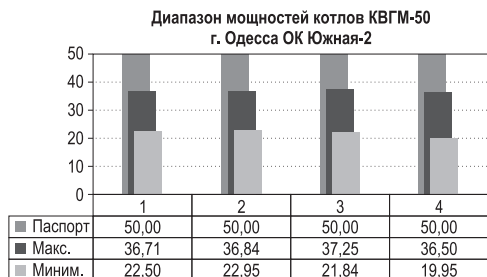


Рис. 1. Данные режимных карт котлов КВГМ-50.

В странах бывшего Союза большинство котлов не обеспечивают мощность, которая заявлена заводом изготовителем. Узкий диапазон производительности котлов является главной причиной сложностей эксплуатации, низкой экономичности и других недостатков в работе ТЭС и систем теплоснабжения. Публикация подготовлена для обоснования того, что проблему ограничений можно решить небольшими затратами и в короткий срок. За последние двадцать лет опубликованы примеры увеличения производительности энергетического оборудования за счет совершенствования проточных частей.

В 1998 г. на ТЭС Bruch (шт. Колорадо, США) выполнена реконструкция ГТУ Westinghouse 25 МВт, которая из-за недостатка воздуха на высоте 2500 метров обеспечивала только 18 МВт. Устранение диссипативных зон и снижение сопротивления входного патрубка турбины позволило увеличить подачу воздуха на 25–29% [3].

В 2006 году в г. Черноморск Одесской области реализован инновационный вариант снятия ограничений мощности котлов КВГМ-50 ($N_{T, \text{ном}} = 58 \text{ МВт}$) по дутью только за счет снижения потерь напора в дутьевом тракте (повороты, входные и выход-

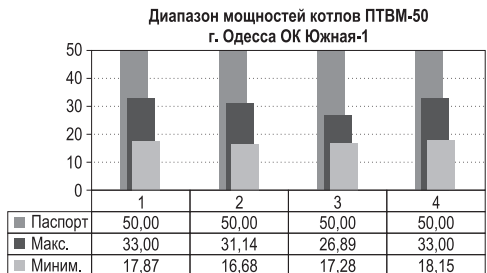


Рис. 2. Данные режимных карт котлов ПТВМ-50.

ны позволило увеличить подачу воздуха на 25–29% [3].

В 2006 году в г. Черноморск Одесской области реализован инновационный вариант снятия ограничений мощности котлов КВГМ-50 ($N_{T, \text{ном}} = 58 \text{ МВт}$) по дутью только за счет снижения потерь напора в дутьевом тракте (повороты, входные и выход-

ные участки оборудования, горелки, т.п.) [4]. Для номинальной мощности котлов КВГМ-50 необходимо обеспечить подачу воздуха для горения топлива $Q^* \approx 65$ тыс. м³/ч. Однако, рекомендуемый вентилятор ВДН-15 до реконструкции обеспечивал подачу не более $Q_0 \approx 44$ тыс. м³/ч. Из-за недостаточной подачи воздуха реальная максимальная мощность котла не превышает величину $N_{Т.реал} = 40$ МВт.

По существующим правилам проектирования для увеличения подачи воздуха в котел можно увеличить обороты вентилятора. Подача вентилятора будет увеличена до $Q^* = 65$ тыс. м³/ч. КПД вентилятора остается высоким $\eta_{вент\ n=980} = \eta_{вент\ n=1480} = 0,825$. Однако затраты энергии на привод вентилятора увеличиваются до величины $N_B > 180$ кВт, то есть более чем в два раза.

На рис. 3 в поле характеристик дутьевого вентилятора ВДН-15 с оборотами $n = 980$ мин⁻¹ представлены две характеристики сети $P_{сеть\ A}$ – до реконструкции и $P_{сеть\ C}$ – после реконструкции, которые показывают изменения параметров дутьевого тракта.

После корректировки аэродинамики подача увеличена до требуемой величины $Q^* \approx 65$ тыс. м³/ч. Главным результатом реконструкции дутьевых трактов и снижения потерь напора в дутьевых трактах двух котлов КВГМ-50 в г. Ильичевск явилось увеличение тепловой мощности на котле № 3 с 36,2 до 51,93 МВт и на котле № 4 с 37,8 до 48,28 МВт при соответствующем увеличении расхода газа.

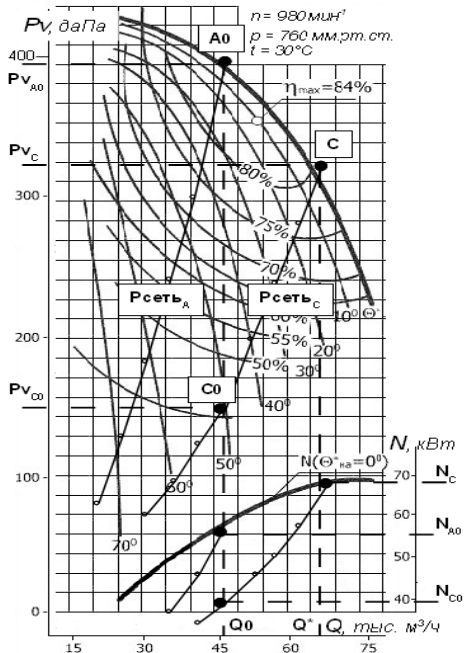


Рис. 3. Параметры дутьевого тракта КВГМ-50 до и после реконструкции.

Выводы

Мировой опыт свидетельствует, что реконструкция энергоустановок с целью улучшения параметров работы и продления срока их экс-

плуатации существенно дешевле строительства новых объектов. Снятие ограничений мощности котлов можно рассматривать как энерго- и ресурсосберегающее мероприятие. То есть большая часть котлов КВГМ, ПТВМ, ТВГ находящихся в эксплуатации, имеют существенный резерв увеличения их нагрузки и повышения эффективности и надежности их работы.

Для решения проблемы снятия ограничений мощности котлов по дутью и тяге необходимо изменить методику представления параметров аэродинамических систем, а также пересмотреть показатели эффективности работы аэродинамических систем.

Уже выполнено несколько успешных реконструкций, показывающих возможность незначительными средствами в короткий срок увеличить производительность энергетического оборудования за счет увеличения подачи вентиляторов либо дымососов при одновременном существенном снижении затрат энергии на их работу.

Список использованной литературы

1. Положение о согласовании и утверждении ограничений установленной электрической мощности тепловых электростанций. РД153-34.1-09.312-99"

2. Improving Fan System Performance a sourcebook for industry / U.S. Department of Energy / sourcebook for industry / <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/29166.pdf>

3. Arsiri Vasyi. Reconstruction of turbomachines on the basis of the flow structure visual diagnostics Arsiri Vasyi, Kravchenko Oleg // International Journal Mechanics and Mechanical Engineering // 2018. Volume 22. Number 2, 2018. Pp 397-404 ISSN: 1428-1511 e-ISSN: 2354-0192

4. Арсирий В. А., Рябокони П. М. Ограничения мощности котлов – проблема устаревших правил проектирования аэродинамических систем // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: Сборник трудов / Институт промышленной экологии. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2019. – С. 111–118.

М. З. Абдулін, А. А. Куник, О. О. Кобилянська

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

НОВІ ВИДИ РЕЗЕРВНОГО ТА АВАРІЙНОГО ПАЛИВА

На сьогоднішній час, основним джерелом енергії, для потреб людства (обігрів, гаряче водопостачання, вентиляції, електроенергія, транспорт, промисловість) все ще являється органічне паливо. В основному це: природний газ, вугілля і мазут. І хоча, деякі політики, організації та вчені уже протягом десятиліть стверджують, що запаси органічного палива зовсім скоро виснажаться, проте постійно знаходяться нові родовища практично всіх видів палива, а також розширяється їх номенклатура.

Так поширюється видобуток сланцевих газів за допомогою гідравлічного розриву пласта. Виявилось, що велика частина морського дна вкрита трільйонами тон газогідратів і питання лише в тому, як його правильно звідти добувати, та спалювати. Також перспективним видом палива вважається шахтний метан. Його видобуток не тільки дає нам цінне паливо, але й робить шахти (також і відпрацьовані) набагато безпечнішими. Уже з 1992 р. технологія видобутку досягла такого високого рівня, що його собівартість стала в 2–3 рази нижче за собівартість видобутку природного газу (в США). В Україні прогнозовані запаси шахтного метану становлять кілька трлн м³, в розвіданих вугільних пластах глибиною до 1800 м – лише 0,45–0,55 трлн м³.

Також треба відзначити, що швидкими темпами відроджуються технології отримання та спалювання біогазу, газифікації: вугілля, деревини, сміття та інше.

Видобуток органічного палива – трудомісткий та технологічно важкий, а родовища як правило знаходяться не надто близько до вогнетехнічних об'єктів. Тому існує можливість раптового закінчення основного палива, викликаного транспортними проблемами, аваріями на родовищі, економічними чи політичними ситуаціями, або навіть природними катаклізмами, техногенними катастрофами та військовими конфліктами. Частіше стали відбуватися аварії різних масштабів на

газопроводах різної значимості, в основному це стається у зв'язку зі зносом труб газопроводів, газоперекачувального обладнання і т.д. Газотранспортна системи України уже експлуатується в два рази довше чим було передбачено проектом, а капітальні ремонти в повному обсязі не проводяться.

Раптова зупинка навіть відносно невеликої електростанції загрожує збоєм всієї енергосистеми країни, що в свою чергу може призвести до зупинки виробництв, електротранспорту, та інших критичних проблем. Саме через необхідність безперервної роботи вогнетехнічні об'єкти вимушені окрім значних запасів основного палива зберігати також резервне і аварійне паливо (наприклад для газових котелень з потужністю більше 25 МВт наявність резервного палива обов'язкова вимога згідно пункту 7.2. ДБН В.2.5-77:2014), для чого необхідне резервне (аварійне) паливне господарство – комплекс обладнання та пристроїв, призначених для зберігання, підготовки, подачі та використання резервного (чи аварійного) палива.

Резервним визначається паливо призначене для спалювання протягом тривалого часу в періоди запланованих перерв у подаванні основного палива (перерви у подаванні природного газу в зимові місяці і т.д.). Аварійне паливо – призначене для спалювання в короткочасні періоди аварійної відсутності основного та резервного палива (передбачене лише на об'єктах та періодах коли відсутність тепло/енергопостачання споживачів недопустима). Згідно ДБН В.2.5-77~2014. 7.2 та 7.3. на котельних потужністю від 25 МВт передбачено резервне паливо, а для котелень до 25 МВт – лише аварійне.

На сьогодні найпопулярнішими видами резервного палива є мазут, вугілля та природний газ. Газ та вугілля частіше використовують як основне паливо, а ось мазут здобув популярність як резервне паливо і рідко коли являється основним. Окрім уже популярних варіантів резервного та аварійного палива, можна розглядати будь-яке паливо (в залежності від типу вогнетехнічного об'єкт). Наприклад для певних типів котлів невеликої потужності можна використовувати дизельне паливо, торф, паливні брикети чи пелети, або й просто дрова. На металургійних заводах можливе використання коксового чи доменного газу.

Завдяки своїм перевагам (транспортбельність, висока калорійність, простота зберігання і т.д.), привертають до себе увагу зрідженні вуглеводні гази. Особливо перспективним є пропан-бутан, який в останні роки показав себе не тільки, як альтернативне автомобільне паливо, що успішно конкурує з бензином, але й як надійна заміна при-

родного газу в негазифікованих приміщеннях. Скраплені вуглеводні газу (СВГ) відрізняється високим коефіцієнтом розширення. Так, в заповненому 50-літровому балоні міститься 21 кг рідкого пропан-бутану. При випаровуванні отримуємо 11 кубометрів, енергетичною цінністю 240 Мкал. Тому скраплені газу – найвигідніше паливо для транспортування, і напевно єдиним варіантом економічно-вигідним для транспортування морським транспортом. Що важливіше, то для транспортування скраплених вуглеводних газів не потрібно великих затрат, так наприклад один за найбільших танкерів вуглеводних газів – «Широяма Мару» (Японія) – перевозить 46 100 тон скрапленого газу, при тиску всього $0,05 \text{ кгс/см}^2$ та може використовувати його в силовій установці корабля.

Ціна на пропан-бутан стає з кожним роком все нижчою. При закупці великими партіями ціна пропан-бутану тримається на рівні до 8 грн./л, а доставка автотранспортом коштує до 0,3 грн./л. Тому купити 20 т пропан-бутану з доставкою на 150 км буде коштувати 320 тис. грн. Також існує величезна кількість поставників та добре розвинена інфраструктура. Треба відзначити, що ринок надзвичайно розвинутий та не прив'язаний до цін на енергоресурси, а залежить від цін на бензин та нафту, ціна якої останні роки падає надзвичайно різкими темпами. Серед найбільших продавців пропан-бутану представлених в Україні – Proton Energy S.A (Роснефть), «Lukoil», «Rompetrol», «Укргазвидобування», «Укрнафта», «Укренерджі» «Белоруснефть», «ZNAIKAMUNAI», «Тенгізшевройл».

СВГ – суміш зріджених під тиском легких вуглеводів з температурою кипіння від -50 до 0 °С. Їх склад залежить від способу виробництва. Основними джерелами отримання СВГ є супутні нафтові газу і газу конденсатних родовищ, які на газо-бензинових заводах розділяють на етан, пропан, бутан і та газовий бензин. В основному для газопостачання споживачів використовують технічні пропан і бутан, а також їх суміші. Основні компоненти СВГ (пропан та бутан) відносяться до насичених вуглеводів відкритої будови – алканів. Їх загальна фізична формула C_nH_{n+2} (Пропан – C_3H_8 , Бутан – C_4H_{10}). При нормальних умовах знаходяться в газоподібному стані, але при незначному підвищенню тиску до $0,47$ МПа для пропану, та $0,115$ МПа для бутану (при $t = 0$ °С) конденсуються в рідину. Ця особливість вигідно виділяє пропан-бутанові суміші і робить їх особливо цінними джерелами газопостачання, через те що їх можна зберігати та перевозити у вигляді рідини, а спалювати у вигляді газу.

Проблемою поширених станом на сьогодні резервних палив (мазут, вугілля, природний газ) – є необхідність організації додаткового господарства для ефективної експлуатації. Тобто необхідно будувати резервуари (бункери, цистерни), системи підігріву, подачі, залізні дороги та вагоноперекидачі, підключення до газотранспортної системи, газоперекачувальні станції і т.д.

Також у більшості випадків резервне паливо значно уступає по техніко-економічним характеристикам (ціна за МВт, питоме тепловиділення, температура займання, діапазон стійкого горіння, стехіометричні параметри і т.д.), та по екологічним характеристикам основному паливу. Більше того пальникове обладнання рідко коли пристосоване до ефективного спалювання резервного палива. Часто дуже важко застосовувати номінальний режим ВО при використанні резервного палива. Також важливим фактором являється забруднення вогнетехнічного обладнання продуктами спалювання. Уже навіть після одноразової подачі мазуту на пальники типу ГМ, для повернення до спалювання газу необхідна повна чистка пальника та екранів радіаційної та конвективної частини.

Для підтримки роботоздатності всього господарства резервного палива, потрібно проводити регулярні перевірки, планово-попереджувальний ремонт, модернізацію, обновлювати обладнання а чим складніше господарство тим дорожче це обходиться. Також резервне господарство не обходять стороною і екологічні норми, які з кожним роком стають все більш жорсткими. А це означає, що приходиться модернізувати те, що використовується надзвичайно рідко.

На сьогоднішній день, з бареля (159,998 літри) нафти отримують 5–6 літрів мазуту. Ще в минулому столітті отримували його куди більше. Крім того тепер мазут тепер став більш схожим на відходи нафтопереробки чим на корисний побічний продукт. А все тому, що хоча мазуту отримувати стали менше проте кількість домішок не змінилася, тому вміст сірки, асфальтенів, карбенів, карбідів, смол, парафінів, силікатів, діоксидів кремнію, колоїдних частинок а також окислів ванадію зростає в процентному відношенні до чистого мазуту. А це ніяк не покращує процес горіння, а також приводить до високо-температурної корозії, забиття форсунок, екранів та підвищення викидів шкідливих речовин. Нафтопереробка стала надзвичайно складним і багатоступеневим процесом, що включає в себе – підготовку (сепарацію), первинно обробку (демінералізація, вакуумна переробка мазуту, поділ та очищення нафтових фракцій), вторинно переробку (очи-

щення, термічний і каталітичний крекінг, риформінг, гідрокрекінг, гідроочистку, вісбрекінг, ізометризацію і т.д.).

У випадку, якщо закінчується одне з палив (газ чи вугілля), частина станцій втрачає основне, а частина – резервне паливо, що призводить до значного зростання споживання палив, що залишилося і підвищення вірогідності, що воно також закінчиться. Саме тому необхідно диверсифікувати ризики.

Для організації роботи на резервному та аварійному паливі необхідно створення цілого господарства, для зберігання, підготовки, та транспортування. Місткість сховищ рідкого палива залежно від добової витрати приймають згідно з таблицею ДБН В.2.5-77:2014.

Таблиця

Місткість сховищ рідкого палива

Призначення (спосіб доставки палива)	Місткість сховищ рідкого палива
Основне та резервне (залізницею або автомобільним транспортом)	На 10-добову витрату
Аварійне для газових котелень (залізницею або автомобільним транспортом)	На 3-добову витрату
Основне, резервне та аварійне (трубопроводом)	На 2-добову витрату

Згідно закону, для зберігання основного та резервного палива необхідно по два резервуари для кожного, а для аварійного лише один. А це все, на ряду з додатковим обладнанням займає значну частину території котельні чи електростанції. Наприклад ННЗП (Норма незнижувальних запасів палива) Трипільської ТЕС складає 100 тис. т, при загальній місткості вугільного бункера 1 млн т, крім цього наявне мазутне господарство, та підключення до газотранспортної системи України. Щодо СВГ, то їх необхідно зберігати в спеціальних резервуарах.

Комерційна торгівля скрапленим газом триває уже 50 років. Головними експортерами СВГ є: Індонезія, Алжир, Малайзія, Австралія, Бруней, Росія, ОАЕ, США та Лівія.

Від заводів до споживачів СВГ доставляються в ємностях під тиском, або в ізотермічних умовах, автотранспортом, або залізницею, а також трубопроводам. Для зберігання резервного палива (СВГ) використовуються резервуари різних об'єктів від 10 до 5000 м³, а то і

більше. А враховуючи, що питома теплотворна здатність стиснених газів значно вища чим у мазуту, природного газ та більшості інших палив, то для його зберігання потрібно набагато менше місця.

Для ефективного використанні СВГ потрібна сучасна технологія спалювання. Такою може бути струменево-нішова технологія (СНТ), яка добре зарекомендувала себе у спалюванні рідких та газоподібних палив, починаючи від природного газу та мазуту і закінчуючи коксовим та доменним газом (з теплотворною здатністю $Q_H^P - 700-800$ ккал/м³). Проведені експериментальні дослідження з СВГ показали перспективність СВГ на основі СНТ.

Висновки

1. СВГ мають суттєві переваги перед традиційним резервним паливом – мазутом. До них відносяться: налагоджена логістика, висока калорійність, простота зберігання, низька ціна та екологічні характеристики.
2. Еколого-енергетичні властивості СВГ роблять перспективними їх використання в якості резервного та аварійного палива.

Список використаної літератури

1. Лукьяненко Н. Зачем смешивают пропан и бутан – свойства сжиженных углеводородных газов 2015 г. <http://xn--80affkvlgiu5a.xn--p1ai/zachem-smeshivayut-propan-i-butan-svoy/>
2. Пропан-бутан: сжиженный и перспективный 2015 р. https://enkor.ua/ru/publications/Propan-butan_szhizhenniy_i_perspektivniy/218740
3. Маркин В. В. Проблемы резервного топлива (Доклад на второй ежегодной научно-практической конференции «Системы теплоснабжения. Современные решения», 16–18 мая 2006 г.
4. Шидловський А. К., Стогній Б. С., Кулик М. М., Півняк Г. Г., Кириленко О. В., Денисенюк С. П., Вороновський Г. К. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.
5. Додонов М. А., Дмитриенко И. Е., Дудин И. В. Правила безопасности в газовом хозяйстве. – М.: Недра, 1992. – 142 с.
6. Ионин И. И. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.
7. Скиннер. Б. Хватит ли человечеству земельных ресурсов. пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 264 с.
8. Фиалко Н. М., Абдулин М. З., Шеренковский Ю. В., Майсон Н. В. Характеристики циркуляционных течений в ближнем следе цилиндрических стабилизаторов пламени // Промышленная теплотехника. – 2015. – № 3. – С.47–53.

ГІДРОННІ ГАЗОВІ КОТЛИ – ПОТУЖНА АЛЬТЕРНАТИВА ЖАРОТРУБНИМ

Теплотехнічне обладнання провідних європейських виробників потребує ретельного та висококваліфікованого обслуговування й експлуатації. Без цих умов обладнання працює недовго, часто не дотягуючи і до 10 років при розрахункових строках експлуатації у 25. Альтернативою такому обладнанню є гідронні газові котли, які витримують низьку якість обслуговування і мають значні переваги перед жаротрубними.

Розвиток сучасного виробництва та технологічних процесів призвели до появи нового класу опалювальних котлів. Так звані гідронні котли, завдяки своїм надзвичайним властивостям, швидко витіснили традиційні жаротрубні на північноамериканському континенті та активно поширюються в Європі.

Їхня цілковита невибагливість до якості котлової води, висока стійкість до низькотемпературної та електролітичної корозії дозволила досягти одного з головних показників в теплоенергетиці – незмінності ККД упродовж всього періоду експлуатації. Розрахунковий термін експлуатації котлів збільшився до 38 років. Для порівняння, для сучасних жаротрубних котлів цей термін сьогодні складає всього 25 років.

Така конструктивна витривалість надала світовим виробникам можливість встановлювати на гідронні котли гарантійний термін у 10–14 років, що, звичайно, неможливо для інших класів котлів. ККД 94–95%, компактна конструкція, збільшений рівень безпеки та чистота викидів доповнюють позитивні якості цього обладнання.

Талановитий американський інженер Е. Л. Міллер створив принципово нову схему котла, що був спеціально призначений для роботи в



Котел серії «Express».

агресивному середовищі. Так званий гідронний котел – це пучок мідних труб, який розташовано між двома чавунними колекторами, й він являє собою багатোধодову схему швидкісного проходу теплоносія. Завдяки дуже високому та щільному інтегральному оребренню мідних труб котел має значно більшу площу теплообміну, ніж звичайні. Наприклад, при однаковій потужності, гідронний котел в 20 разів менший за габаритними розмірами від поширеного на Україні котла НІСТУ-5, і при цьому має втричі більшу площу теплообміну.

Дійсно, сучасні жаротрубні котли (зарубіжні також) мають в 8–10 разів меншу площу теплообміну, ніж у гідронних відповідної потужності. Велика площа теплообміну дозволила значно прискорити проходження води для отримання тієї ж самої кількості теплоти, що і в традиційному котлі. В свою чергу, велика швидкість водотоку (до 2 м/с) та турбулентний режим руху сприяє змиттю накипу та завису з поверхні мідних труб.

Конструкція котла передбачає усунення накипу механічними засобами у разі його утворення. Слід відзначити, що звичайні котли, в протилежність гідронним, не дають такої можливості.

Конкурентний тиск на виробників опалювального обладнання змушує їх використовувати тонколистовий прокат, вкритий антикорозійною плівкою, що унеможливує застосування кислотних розчинів для змиття накипу. Інші методи боротьби з накипом, в тому числі електромагнітні, не є ефективними. Щоб запобігти виникненню накипу, у цьому випадку потрібне висококваліфіковане та ретельне обслуговування упродовж всього періоду експлуатації котла. В українських реаліях цього складно досягти. Як наслідок, ми сьогодні маємо велику кількість працюючих котлів, які відрізняються від застарілого вітчизняного обладнання хіба що елегантним зовнішнім виглядом, але ніяк не продуктивністю.

Котли оснащені мікрофакельними модульованими пальниками. Звичний для нас факел в цьому випадку відсутній. Пальник являє собою заглушений циліндр із великою кількістю отворів. Його поверхню вкрито фіброю з жаростійких вольфрамowo-молібденових ниток. Вся поверхня циліндра є також поверхнею горіння надзвичайно низької інтенсивності, що сприяє повнішому згорянню палива. Ця технологія не тільки зменшує викиди NO_x , але й підвищує загальну економічність котла. Це дозволяє застосовувати його як в особливо чистих зонах (санаторії, курорти тощо), так і в особливо забруднених – наприклад, в центральних районах великих міст, де виникає необхідність у

встановленні додаткових котельень, а загальний фон концентрації шкідливих речовин не дає змогу збільшити навантаження викидів.



Зовнішній вигляд транспортабельної котельні серії «TransExpress».



Внутрішній вигляд котельні серії «TransExpress».

Також котли оснащені цифровою багатофункціональною системою автоматизованого управління та керування фірми «Honeywell», що передбачає будь-який обсяг загальної автоматизації котельні та її диспетчеризації.

Перші вітчизняні гідронні котли почали виробляти у Полтаві ще у 2012 році. ТОВ «ЕКСПРЕС ЕНЕРДЖІ ГРУП ЮКРЕЙН-КАНАДА»

виготовляє гідронні котли серії «Express» потужністю 225, 450 та 675 кВт, а також транспортабельні котельні на основі цих котлів, потужністю до 10 МВт. Виробник дає на котли дванадцятирічну гарантію. Більш детально з перевагами гідронних котлів, зокрема котлів «Express», можна ознайомитись на сайті ТОВ «ЕКСПРЕС ЕНЕРДЖІ ГРУП ЮКРЕЙН-КАНАДА» (eeg.com.ua).

Гідронні котли широко використовуються в Україні. Наприклад, у 2012 р. комунальне підприємство «Вуглик» (м. Горлівка Донецької обл.) реконструювало котельню № 36 на базі котлів «Express» (потужність 225 кВт). У 2013 р. була побудована котельня для рибного універмагу в м. Стоянка («TransExpress-675», потужністю 675 кВт). У 2013 р. передана в експлуатацію котельня для дитячої юнацької спортивної школи «Міжнародна тенісна академія» в Оболонському р-ні м. Києва («TransExpress-2025», потужністю 2025 кВт) та котельня у м. Києві, проспект 40-річчя Жовтня 94/96, ПАТ «Київенерго» (потужністю 5400 кВт).

УДК 502.5:504.38:613.5

С. С. Куруленко

Торгово-промислова палата України, Центр підвищення кваліфікації працівників водного господарства Мінекоенерго, м. Київ

ОКРЕМІ ПИТАННЯ РЕФОРМУВАННЯ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ УГОДИ ПРО АСОЦІАЦІЮ МІЖ УКРАЇНОЮ ТА ЄС

Концепція сталого розвитку (2015 р. ООН)

- 17 глобальних цілей, які охоплюють найважливіші економічні, соціальні, екологічні та управлінські проблеми сьогодення (затверджені Генеральною Асамблеєю ООН у вересні 2015 р.)
- Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» (вересень 2017 р.)

Закон України «ОСНОВНІ ЗАСАДИ (СТРАТЕГІЯ) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (прийнятий 28.02.2019 р.)



Якість води та управління водними ресурсами, включаючи морське середовище

1. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 20 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики (відповідальність з виконання – Мінприроди)
2. Директива 2008/56/ЄС ЄС Європейського Парламенту і Ради від 17 червня 2008 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері екологічної політики щодо морського середовища (відповідальність з виконання – Мінприроди)
3. Директива Ради 91/676/ЄС від 12 грудня 1991 року про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (відповідальність з виконання – Мінагрополітики)
4. Директива Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 року про якість води, придатної для споживання людиною (відповідальність з виконання – МОЗ)
5. Директива Ради 91/271/ЄС від 21 травня 1991 року про очистку міських стічних вод (відповідальність з виконання – Мінрегіонбуд)
6. Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2007 року про оцінку та управління ризиками затоплення (відповідальність з виконання – МВС, ДСНС)

Директива 2000/60/ЄС (Мінприроди–Держводагентство)

- Зміни до ВКУ від 04.10.2016 року
- Визначено райони річкових басейнів
- Запроваджено басейнові ради та плани управління річковими басейнами (ПУРБ)
- Започатковані нові підходи до здійснення моніторингу вод (створено 3 потужні лабораторії на базі Держводагентства)
- Розпочата розробка ПУРБ для Дніпра, Дністра, Сіверського Дінця
- Розроблено проект Концепції з реформування управління водними ресурсами
- Розроблено та оприлюднено Зелену книгу «Стратегія водної політики України» (див. <https://menr.gov.ua/news/33021.html>)

Директива 2008/56/ЄС (Мінприроди)

- Розроблено проект Стратегії морської природоохоронної політики України
- Відбувається наповнення Стратегії описом дескрипторів (8 дескрипторів з необхідних 11) для Чорного моря

- Протягом останніх 5 років, внаслідок анексії Російською Федерацією Автономної республіки Крим та створенні військового конфлікту у південно-східній Україні існують непереборні обставини, що унеможливають підготовку та реалізацію Україною національної морської природоохоронної стратегії у частині Азовського моря

Директива Ради 91/676/ЄС (Мінприроди–Мінагрополітики)

- До кінця 2017 року виконання цієї директиви було покладено на Мінприроди
- До цього часу були розроблені:
 - Проект методики визначення зон вразливих до накопичення нітратних сполук;
 - Проект Кодексу кращої сільськогосподарської практики
- З початку 2018 р. відповідальність за впровадження директиви покладена на Мінагрополітики, вказані проекти документів були передані до цього міністерства. Наразі інформація про їх розвиток та розвиток впровадження директиви відсутня

Директива Ради 98/83/ЄС (МОЗ)

- Були внесені зміни до Закону України «Про питну воду, питне водопостачання» від 18.05.2017 р.
- Міжвідомчою РГ з впровадження протоколу ЄЕК ООН «Вода і здоров'я»
- Розроблено національні показники до Протоколу (затверджені наказом Мінприроди від 14.09.2011 р. № 324
- Переглянуто національні показники до Протоколу (схвалені рішенням МРГ з впровадження протоколу від 7 лютого 2019 р.)
- Підготовлено план заходів з впровадження Україною Протоколу (схвалений рішенням МРГ з впровадження протоколу від 7 лютого 2019 р.)
- Підготовлено коротку доповідь «Про впровадження Україною Протоколу» (схвалена рішенням МРГ з впровадження протоколу від 15 квітня 2019 р.)

Директива Ради 91/271/ЄС (Мінрегіонбуд)

- Були внесені зміни до Закону України «Про питну воду, питне водопостачання» від 18.05.2017 р.
- Сучасна назва Закону «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення»

Директива 2007/60/ЄС (МВС, ДСНС)

Відбувається реалізація Проекту ЄС «Запобігання, готовність та реагування на природні та техногенні катастрофи у країнах Східного партнерства».



Корисні документи

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»
- Водний кодекс України
- Кодекс України про надра
- Закон України «Про приєднання України до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер»
- Протокол про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер
- Конвенції про захист Чорного моря від забруднення
- Конвенція щодо співробітництва по охороні та сталому використанню ріки Дунай
- Договір між Кабінетом Міністрів України та Урядом Республіки Молдова про співробітництво у сфері охорони і сталого розвитку басейну річки Дністер

- Держводагентство здійснює транскордонне співробітництво на рівні Двосторонніх міждержавних Угод про охорону та використання транскордонних водних об'єктів

УДК 658.26:66

В. А. Седнин, К. А. Кузьмич

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

К ВЫБОРУ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЯНОГО КОКСА

Наличие на территории Республики Беларусь двух нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) общей производительностью переработки свыше 20 млн т нефти при собственной добычи нефти менее 2 млн т требует повышенного внимания к эффективности работы этих предприятий. Что в первую очередь достигается максимальной глубины переработки нефти и утилизации материальных и энергетических отходов производства. В настоящее время глубина переработки нефти составляет 90–92% и в ближайшие годы это показатель должен приблизиться к 95% [1]. Процесс повышения эффективности переработки нефти сопряжен с рядом новых, ранее не решаемых в Беларуси задач. Одна из которых связана с тем, что повышение глубины переработки нефти приводит к увеличению производства нефтяного кокса, который с одной с можно считать горючим вторичным энергетическим ресурсом, а с другой стороны это ценный продукт для производства материалов, используемых в металлургии, строительной индустрии, электронике и энергетике.

В существующих планах модернизации заводов по реализации технологии процесса замедленного коксования для НПЗ Республики Беларусь [2] предполагается, что в качестве сырья для производства кокса послужат тяжелые фракции нефти, образующиеся в результате атмосферной и вакуумной перегонки нефти и остатки масляного производства (асфальт пропановой деасфальтизации гудронов, экстракт фенольной очистки масел и др.). На основе анализа прогнозных показателей качества планируемого к производству нефтяного кокса он будет относиться по содержанию серы к высокосернистым (3,0–3,8%),

по содержанию золы к среднезольным (0,5–0,6%) и по размолоспособности по Хардгроу (28–32 HGI) к кусковому коксу с повышенным содержанием никеля и ванадия. При таком содержании серы нефтяной кокс рекомендуется использовать как топливо. Поэтому рассматривались два варианта: в цементной промышленности в печах обжига, и в энергетике для выработки электрической и тепловой энергии. Проведенные лабораторные и промышленные испытания на цементных заводах с целью замены природного газа на уровне 50% в балансе топливопотребления с применением сходного по составу нефтяного кокса показали, что прогнозируемое замещение может позволить в полном объеме использовать планируемый объем выпуска нефтяного кокса (порядка 490 тыс. т в год). Однако не были проработаны в полной мере экологические проблемы при использовании нефтяного кокса указанного качества в печах обжига клинкера, кроме того имеются альтернативные варианты по топливоснабжению этих печей.

В [1] приведены результаты технико-экономического анализа и сравнения двух вариантов энергетической утилизации нефтяного кокса. В качестве исходных данных для обоих вариантов были приняты состав и расход нефтяного кокса, равный 56 т/ч (исходя из планируемого объема производства нефтяного кокса порядка 490 тыс. т в год). При применении теплофикационной схемы коэффициент использования топлива оказался одинаковым для обоих вариантов на уровне 0,8, электрическая мощность для варианта прямого сжигания 114 МВт (паросиловой установки) и 210 МВт варианте с газификацией, благодаря возможности использования парогазового цикла.

Таким образом, результаты исследования показали, что при энергетической утилизации также возникают экологические проблемы. Частичное решение проблемы эмиссии вредных выбросов при использовании нефтяного кокса является его совместном сжигании с другими видами топлива. В [3] приводится пример сжигания нефтяного кокса с содержанием серы до 6% совместно с антрацитом, при этом были достигнуты разрешенные экологические показатели. Вместе с тем нерешенным остается вопрос об утилизации оксидов ванадия. Газификация является более экологичным способом утилизации нефтяного кокса, но срок окупаемости для варианта с технологией прямого сжигания составляет 2–3 года, что приблизительно в полтора раза ниже, чем у технологии с газификацией [1].

Альтернативными энергетическое варианты применения нефтяного кокса в виде сырья [4, 5] для производства электродов для цветной и

сталеплавильной металлургии, получения карбидов (кальция, кремния), производстве абразивных материалов, при изготовлении проводников, огнеупоров и др. Первых два направления являются одним из самых распространенных ввиду высокого содержания углерода в составе нефтяного кокса. Так при производстве алюминия нефтяной кокс может использоваться как материал для изготовления анодов, которые выполняют функцию проводника электрического тока и восстановителя в химической реакции. Удельный расход нефтяного кокса составляет 550–600 кг/т алюминия. Но в современных условиях для производства электродов обычно используется кокс, содержащий серу в количестве 2% по массе и менее. При этом на 1 кг электродов приходилось расходовать порядка 65 кг нефтяного кокса.

С целью интенсификации электросталеплавильных процессов широко применяют высококачественные графитированные электроды, работающие при высоких удельных токовых нагрузках (30–35 Ом/см²). Получить такие электроды возможно лишь на основе специального малозольного и малосернистого игольчатого нефтяного кокса. Производство игольчатого кокса требует наличия на нефтеперерабатывающем заводе установки термического крекинга дистиллятного сырья и установки замедленного коксования. В тоже время стоимость игольчатого кокса составляет 600–650 USD/т [5], т.е. на порядок выше стоимости рядового нефтяного кокса.

Важно указать, что производство игольчатых коксов в настоящее время сконцентрировано в основном в странах с высокоразвитой экономикой, имеющих мощную металлургическую, электронную, атомную и оборонную промышленность. Весь рынок производства игольчатого кокса делят 4 компании: ConocoPhillips (США и Великобритания), Seadrift Coke (США), Petrocoke (США), Nippon Oil & Energy (Япония) [5]. При этом 75–80% всех поставок игольчатого кокса поглощается производством графитовых электродов, а остальное потребляется производителями литий-ионных аккумуляторов и специализированной углеродной промышленностью.

Таким образом, производство игольчатого нефтяного кокса, имеет существенные коммерческие преимущества по сравнению с энергетическими вариантами утилизации отходов нефтепереработки, однако организация его производства в условиях нефтеперерабатывающего производства Беларуси требует дополнительных исследований и пересмотра проектов реализации технологии процесса замедленного коксования.

Список использованной литературы

1. Седнин В. А. Эффективность энергетического варианта использования нефтяного кокса / В. А. Седнин, А. В. Седнин, К. А. Кузьмич // Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики: Сборник трудов / Институт промышленной экологии. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2019. – С. 187–190.
2. Какой кокс импортируют в Украину из США [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://delo.ua/business/kakoj-koks-importirujut-v-ukrainu-iz-ssha-348218/> – Дата доступа: 25.11.2019.
3. Воронкова А. В. Мировые тенденции производства нефтяного кокса как ориентир новых возможностей Республики Беларусь / Роль женщины в развитии современной науки и образования: сборник материалов Международной научно-практической конференции, 17–18 мая 2016 г., Минск / БГУ; редкол.: И. В. Казакова, А. В. Бутина, И. В. Олюнина. – Минск: БГУ, 2016. – С. 123–127.
4. Твердохлебов В. П. Нефтяной кокс для алюминиевой промышленности. Технология и свойства / В. П. Твердохлебов, С. А. Храменков, Ф. А. Бурюкина / Журнал Сибирского федерального университета. Серия Химия. – № 4. – 2010. – С. 369–386.
5. Нефтяной кокс [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/pererabotka-nefti-i-gaza/141415-neftyanoj-koks/> – Дата доступа: 25.11.2019.

УДК 658.26:66

В. А. Седнин, А. А. Абразовский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

РЕСТРУКТИЗАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Интеграция Белорусской атомной электростанции в Объединенную энергетическую систему страны потребовала анализа энергобаланса республики с последующей реструктуризацией энергопотребления с экономически обоснованным увеличением доли электроэнергии в различных секторах экономики. В 2018 году потребление электроэнергии в Республике Беларусь составило 37,1 млрд кВт·ч, 79% от этого объема направлено на нужды организаций, из которых 56% – предприятия обрабатывающей промышленности [1]. В соответствии с утвержденным

комплексом мер по увеличению потребления электроэнергии до 2025 года планируемый объем увеличения использования электроэнергии составит 3,38 млрд кВт·ч, в том числе: 1,78 млрд кВт·ч – в результате мероприятий по установке электродвигателей в организациях, входящих в состав ГПО «Белэнерго»; 1,6 млрд кВт·ч – в результате реализации мероприятий в организациях, входящих в состав иных министерств и ведомств [2]. Так, в частности планируемое увеличение электропотребления составляет: по Министерству промышленности – 292,7 млн кВт·ч (увеличении установленной мощности на 137,3 МВт); по концерну «Белнефтехим» – 845,2 млн кВт·ч (увеличении установленной мощности на 239,6 МВт).

Значительный потенциал увеличения объемов электропотребления имеется в отраслях агропромышленного комплекса, в т.ч. мясоперерабатывающей. В работах [3, 4] проведен анализ теплотехнологических схем мясоперерабатывающих предприятий, приведены показатели потребления энергоресурсов и усредненные нормы расхода энергии по основным видам продукции типового мясоперерабатывающего предприятия. Предприятия имеют незначительную неравномерность суточного электропотребления (рис. 1). Коэффициенты заполнения суточного графика нагрузки составляют 0,81 и 0,76 соответственно для летнего и зимнего периодов.

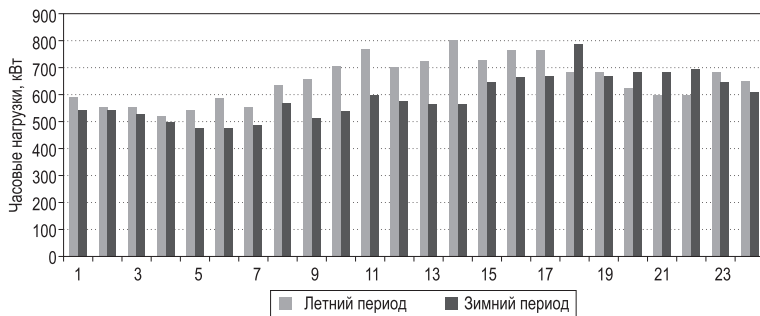


Рис. 1. Часовые нагрузки мясоперерабатывающего предприятия в летний и зимний периоды.

Потребление электроэнергии по месяцам для двух мясокомбинатов представлено на рис. 2. Возрастание электропотребления в летний период обусловлено увеличением загрузки холодильного оборудования.

В структуре обобщенных энергетических затрат котельно-печное топливо составляет около 70%, электроэнергия – оставшиеся 30%.

Наиболее энергоемким процессом на предприятии является производство холода, который используется для хранения сырья, при производстве и хранении продукции. На выработку холода расходуется 50–60% всей потребляемой электроэнергии. На рис. 3 представлена диаграмма энергетических потоков предприятия с традиционной энерготехнологической системой и собственным теплоисточником.

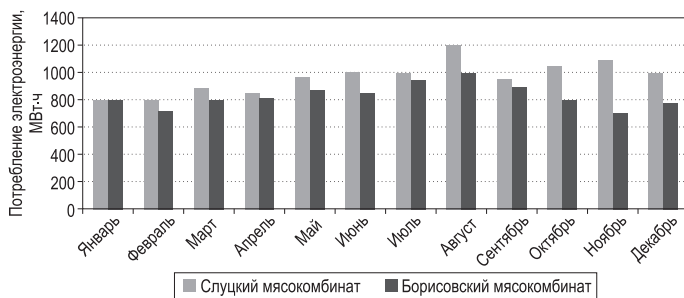


Рис. 2. Потребление электроэнергии по месяцам.

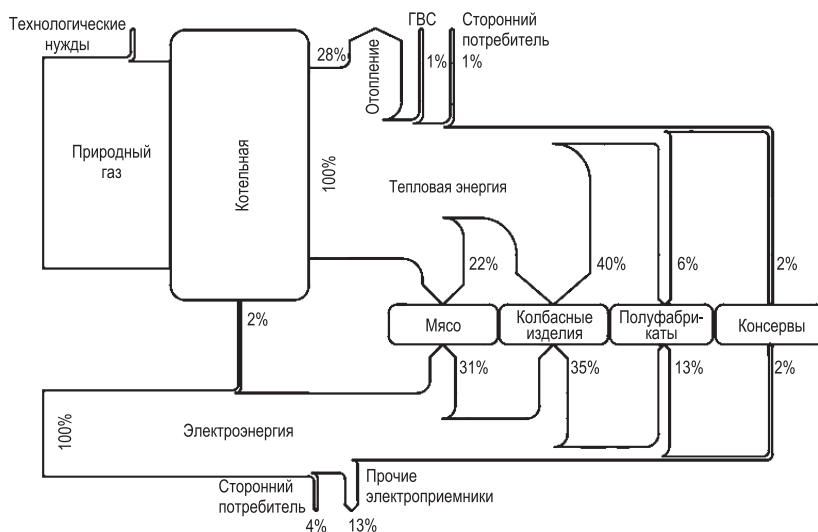


Рис. 3. Диаграмма энергетических потоков типового мясоперерабатывающего предприятия.

Приблизительно 70% тепловой энергии, направляемой на технологические нужды, расходуется в теплотехнологических агрегатах с паро-

вым теплоносителем, которые могут быть заменены на более высокотехнологичные агрегаты с электроэнергией в качестве первичного теплоносителя. В пищевой отрасли имеется успешный опыт эксплуатации универсальных копильно-варочных агрегатов, используемых для термической обработки (сушка, копчение, варка, обжарка) различных пищевых продуктов. В зависимости от вида обогрева (вид теплоносителя) бывают паровые, электрические, газовые, масляные (дизельное топливо) агрегаты [5]. При структурной оптимизации теплотехнической системы предприятия были рассмотрены два варианта. В качестве критерия эффективности при сравнении вариантов был выбран экономически обусловленный максимум потребления электроэнергии.

Вариант 1. Техническое переоснащение теплоисточника с заменой газовых котлов на котлы электрические при неизменном технологическом процессе. Применение электрических паровых котлов позволит полностью отказаться от котельно-печного топлива, не меняя существующие теплотехнологии, системы отопления и горячего водоснабжения.

Вариант 2. Принципиальные изменения в реализации основных теплотехнологических процессов посредством перехода от паровых агрегатов к электрическим. При этом собственная котельная с газовыми котлами вырабатывает тепловую энергию на нужды отопления, горячего водоснабжения и те теплотехнологические процессы, где переход на прямое использование электроэнергии не целесообразен.

Обобщенные энергетические затраты в год для указанных камер составят 130–142 т у. т. и 62 т у. т. для KWP4/P и KWP4/E соответственно (в случае двухсменного режима работы). То есть применение электрических агрегатов позволяет снизить технологическое энергопотребление более чем в два раза. Реализация подобного рода технических решений в пределах мясоперерабатывающего предприятия позволит снизить энергетические затраты на 19%, увеличив при этом долю потребления электроэнергии на 56%. В структуре обобщенных энергетических затрат электроэнергия составит 55%, котельно-печное топливо – 45%.

Диаграмма энергетических потоков мясоперерабатывающего предприятия с электрическим теплотехнологическим оборудованием и собственным теплоисточником представлена на рис. 4.

Была проведена оценка экономической эффективности реструктуризации теплотехнической систем предприятия при существующих и прогнозируемых ценах на энергоресурсы. Исследованы три варианта реализации теплотехнологического процесса: паровые агрегаты (пар

генерируется в котельной с газовыми котлами); паровые агрегаты (пар генерируется в котельной с электрическими котлами); электрические агрегаты. Стоимость природного газа в расчетах принималась 533,72 руб./1000 м³ [6], стоимость электроэнергии варьировалась в диапазоне от 0,06 до 0,29 руб./кВт·ч, при действующем тарифе 0,23975 руб./кВт·ч [7]. На рис. 5 представлены результаты расчетов удельных годовых затрат на энергоресурсы для трех указанных вариантов.

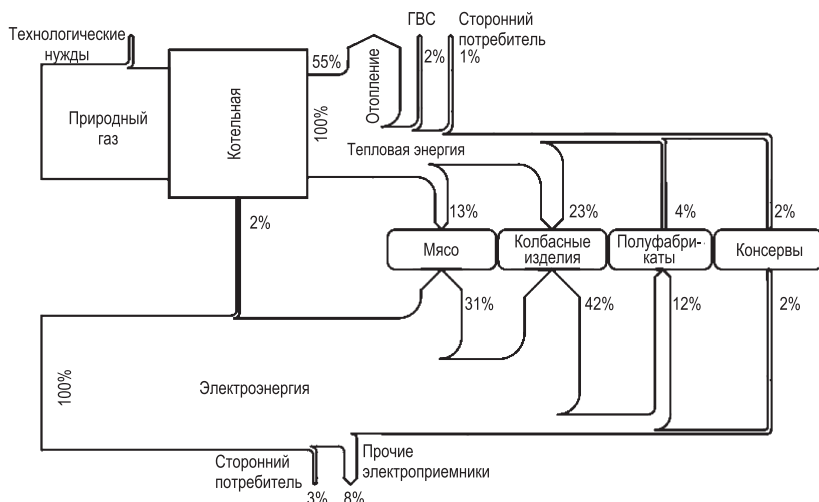


Рис. 4. Диаграмма энергетических потоков мясоперерабатывающего предприятия с электрическими теплотехнологиями.

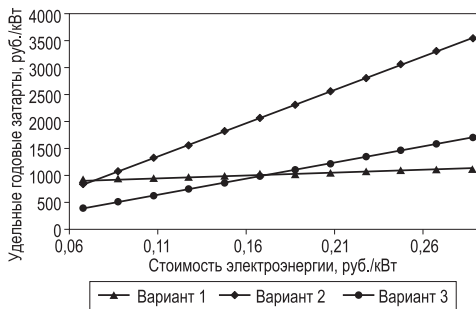


Рис. 5. Удельные затраты на топливо для различных теплоэнергетических систем предприятия.

При существующих тарифах на природный газ и электроэнергию экономически более предпочтительным является вариант с газовыми котлами.

Однако, повышение стоимости электроэнергии до 0,17 руб./кВт·ч и выше применение электрических технологических агрегатов становится более выгодным.

Список использованной литературы

1. Баланс электрической энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/>. – Дата доступа: 05.05.2019.
2. О внесении дополнений и изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 1 марта 2016 г. № 169 [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 6 августа 2018 г., № 579 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
3. Несенчук А. П. Энергоснабжение предприятия мясоперерабатывающей отрасли за счет утилизационной теплоты ВЭР компрессорной станции магистрального газопровода / А. П. Несенчук, А. А. Абразовский, Т. В. Рыжова // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2013. – № 6. – С. 32–36.
4. Абразовский А. А. Энергосбережение предприятия мясоперерабатывающей отрасли за счет утилизационной теплоты ВЭР компрессорной станции магистрального газопровода / А. А. Абразовский // Инновации, энергоэффективность, образование – залог бережливости: материалы VII науч.-практ. конф., Гродно, 17–19 окт. 2013 г. / ГАЗ-ИНСТИТУТ; редкол.: А. А. Лапко [и др.]. – Минск, 2013. – С. 17–19.
5. Коптильно-варочные камеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rexpol.pl/ru/komory-wdzarniczoz-parzelnicze.html> /. – Дата доступа: 05.05.2019.
6. О ценах на природный газ [Электронный ресурс]: постановление Министерства антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь, 28 января 2019 г., № 9: с изм. и доп. от 20.02.2019 № 11, 20.03.2019 № 17, 05.04.2019 № 26 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
7. Цены (тарифы) на энергоресурсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minenergo.gov.by/deyatelnost/ceni_tarifi/. – Дата доступа: 06.05.2019.

УДК 502.1/504.06:622

О. В. Луньова, В. М. Єрмаков

*Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
м. Київ*

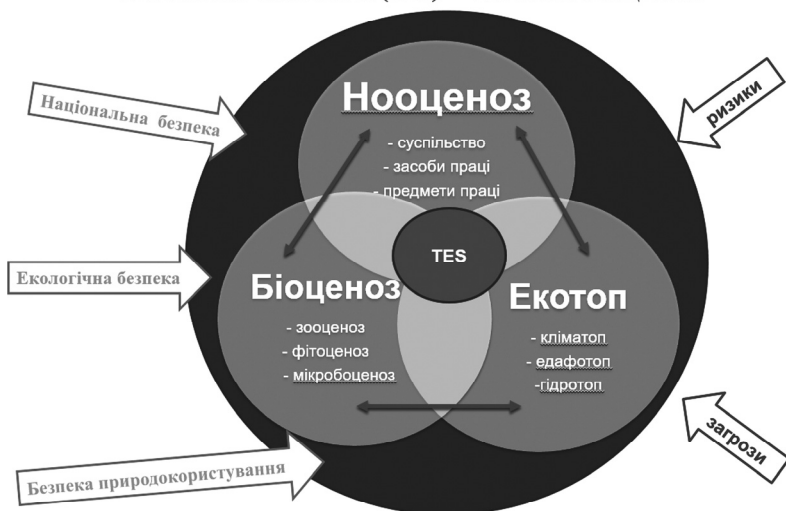
ДО ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ГІРНИЧОВИДОБУВНИХ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ

З початком активної людської діяльності біосфера включає не тільки природні, а й природно-техногенні екологічні системи (техно-

екосистеми, рис. 1), які потребують для збереження своєї структури постійного втручання людства, бо не мають властивості самопідтримання та саморегуляції [1]. Екологічні системи з антропогенними елементами («наші будинки, знаряддя і споруди») входять в якості специфічних неживих частин в нову організацію живого покриву Землі, вказував ще В. Н. Беклемішев [2]. Термін і поняття екосистеми були запропоновані британським ботаніком і екологом А. Тенслі (Arthur D. Tansley) [3]. Якими б важливими не були для нас дослідження власне живих організмів, відзначав він, необхідно розуміти, що всі вони існують в тісному зв'язку з середовищем проживання, утворюючи з нею єдину фізичну систему.

Кожна техноекосистема має певну структуру, організацію, предметний склад, має конкретні фізичні, хімічні, біологічні та інші властивості, що відрізняє її від будь-якої іншої системи. З моменту свого виникнення техноекосистеми проявляють індивідуальність і відносну самостійність по відношенню до навколишнього середовища. Ці якості необхідні для того, щоб забезпечити системі стійкість у процесах життєдіяльності.

ТЕХНОЕКОСИСТЕМА (TES) - НООБІОГЕОЦЕНОЗ



ЕКОСИСТЕМА - БІОГЕОЦЕНОЗ

Рис. 1. Техноекосистема, як функціональна територіальна одиниця нообіогеоценозів.

Саме існування техноекосистеми і середовища, в якому вона функціонує, обумовлене їх взаємним впливом один на одного, тобто взаємодією. Взаємодія визначає структурну організацію будь-якої системи, її властивості, об'єднання разом з іншими аналогічними системами в систему вищого порядку.

Техноекосистеми є функціональними територіальними одиницями нообіогеоценозів, які включають підсистеми: нооценозу (засоби праці, суспільство, предмети праці), біоценозу (зоо-, фіто-, мікробіоценоз) і екотопу (атмосфера, ґрунти, надра, гідросфера).

Всі її три компоненти тісно пов'язані між собою та взаємодіють, при цьому нооценоз стає основним компонентом, що визначає напрямок дії промислового виробництва і характер його впливу на об'єкти НПС. Процес виробництва – основна ознака нообіогеоценоза.

Існуюча схема моніторингу та управління екобезпекою промислових підприємств не дозволяє приймати обґрунтовані та ефективні управлінські рішення щодо досягнення еколого-збалансованого розвитку техноекосистем промислових комплексів вугледобувних підприємств.

Загальна схема моніторингу та управління екобезпекою промислових підприємств представлена на рис. 2.

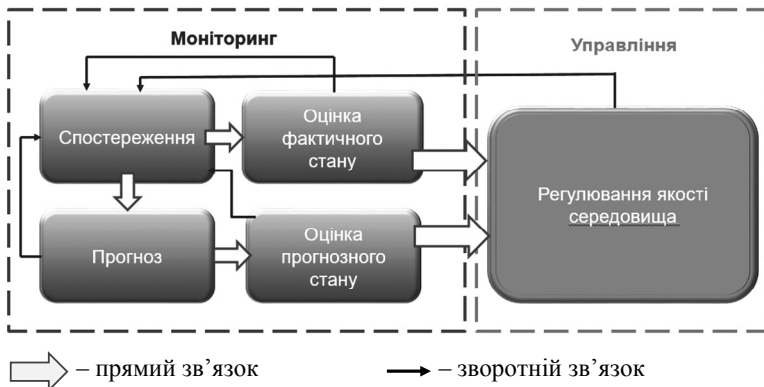


Рис. 2. Загальна схема моніторингу та управління екобезпекою.

Розробка та реалізація заходів переходу до еколого-збалансованого функціонування базується на визначенні рейтингу природних компонентів за важливістю забезпечення їх саморегуляції. На базі рейтингу природних компонентів здійснюється встановлення першочерговості

технологічних заходів щодо переходу техноекосистем до еколого-збалансованого функціонування. Процес наближення техноекосистем промислових комплексів вуглевидобувних підприємств до еколого-збалансованого розвитку контролюється шляхом оцінки кожного з етапів.

В роботі проведена експертна оцінка ступеню екологічної небезпеки за конкретними вугільними підприємствами показала, що вплив здійснюється на всі компоненти навколишнього природного середовища. Розраховано інтегральний показник екологічного впливу технологій на довкілля (ШЕВ), який враховує як прямі впливи (отримання готової продукції – вугілля), так і опосередковані, які існують при використанні допоміжних засобів (обладнання, транспортних пристроїв та ін.).

За показник ШЕВ на компоненти навколишнього природного середовища було прийнято:

- для земельних ресурсів – техногенний вплив, при якому природний ресурс повністю вилучається з використання;
- для водних ресурсів – відкачування та скиди вод високої мінералізації;
- для атмосферного повітря – викиди з високою концентрацією забруднюючих речовин.

За початковий показник відліку прийнято значення фонових показників (ГДК, ПДВ, ПДС) які відповідають прийнятним екологічним нормам.

Визначені значення коефіцієнтів інтегрального впливу на навколишнє середовище та проведено розрахунки за нижченаведеними формулами.

$$K^A = \frac{B_A}{B_A}, K^Z = \frac{B_Z}{B_A}, K^W = \frac{B_W}{B_A}, \quad (1)$$

де $K_{(Z, W, A)}$ – коефіцієнти ШЕВ;

$B_{(Z, W, A)}$ – витрати на реабілітацію та очищення відповідно земельних ресурсів, водних ресурсів та атмосферного повітря.

Сумарна оцінка виконання природоохоронних заходів вуглевидобувних підприємств в одиницях інтегрального показника впливу складає:

$$I_{\text{ШЕВ}} = \frac{\sum I_{\text{ШЕВ}} \times 100}{\sum I_{\text{ШЕВ}}^{\max}} = \frac{1606181 \times 100}{5004680} = 32\%. \quad (2)$$

Таким чином, у випадку виконання підприємствами природоохоронних заходів, вирішення питань доведення техноекосистем до еколого-збалансованого функціонування може бути досягнена лише на 32%. Тому цей варіант природоохоронних заходів автор вважає недостатнім. Необхідно запланувати нові, більш дієві природоохоронні заходи.

Схематичне зображення запропонованої удосконаленої системи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглеводобувних підприємств на рис. 3.



Рис. 3. Схематичне зображення розробленої удосконаленої системи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглеводобувних підприємств.

Розроблено рекомендації щодо компенсаційних заходів для забезпечення зниження екологічних ризиків техноекосистем промислових комплексів вуглеводобувних підприємств з метою досягнення еколого-збалансованого розвитку.

Таким чином, в роботі удосконалено систему управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглеводобувних підприємств, на основі забезпечення прийнятних екологічних ризиків вуглеводобувних підприємств шляхом застосування наукових основ управ-

лінія їх екологічною безпекою, які враховують особливості впливу чинників на процеси формування та ефективність управління їх екологічним станом. Розроблено рекомендації щодо компенсаційних заходів для забезпечення зниження екологічних небезпек з метою мінімізації їх впливу та переходу техноекосистем вугільних родовищ до еколого-збалансованого функціонування.

Список використаної літератури

1. Реймерс Н. Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. – М.: Россия Молодая, 1992. – 365 с.
2. Беклемишев В. Н. Об общих принципах организации жизни // Бюлл. МОИП. Отд. Биол. – 1964. – Т. 69, вып. 2. – С. 22–38.
3. Tansley A. The use and abuse of vegetational concepts and terms // Ecology. – 1935. – Vol. 16. – P. 284–307.
4. Ulytsky O. Technique for orthotransformed satellite imagery application in environmental assessment / O. Ulytsky V. Yermakov, O. Lunova, O. Buglak // Space Science and Technology Kyiv. – 2019. – Т. 25, № 4 (119). – P. 46–58 doi:<https://doi.org/10.15407/knit2019.04.048>
5. Lunova O. Potential territorial risk in the eastern Ukraine / O. Lunova, V. Yermakov, D. Averin Journal of Geology, Geography and Geoecology. – Vol. 28 (3). – Dnipro, 2019. – P. 600–609. doi: <https://doi.org/10.15421/111957>



ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ

INSTITUTE OF ENGINEERING ECOLOGY

- **Поліпшення екологічної ситуації та зменшення використання палива**
Improving of environmental situation and reduction of fuel consumption
- **Утилізатори теплоти: конденсаційні, контактні, контактньо-поверхневі**
Heat recovery equipment: condensing, contact, surface-contact
- **Повітряпідігрівачі**
Air heaters
- **Пальникові пристрої двостадійного спалювання**
Gas burners for two-stage combustion
- **Двопаливні пальникові пристрої для спалювання біогазу та природного газу**
Two-fuel burners for biogas and natural gas combustion
- **Модернізовані подові випромінюючі пальникові пристрої**
Modern hearth radiative gas burners
- **Інтенсифікація топкового теплообміну**
Intensification of fire-chamber heat exchange
- **Відцентрові фільтри та циклофільтри**
Centrifugal filters and cyclone-bag filters
- **Пило- та газоочищення**
Dust and gas cleaning
- **Зниження утворення та викидів NO_x**
Reduction of NO_x formation and emission
- **Підвищення продуктивності та ККД водогрійних котлів типу ПТВМ**
Capacity and efficiency increasing of PTVM hot water boilers
- **Сміттєспалювальні модулі потужністю 2 т ТПВ/год**
Waste incineration units of 2 t per hour capacity
- **Допалення газових органічних викидів**
Burning up of organic gas pollutions
- **Проекти зі скорочення викидів парникових газів**
Projects for reduction of greenhouse gas emissions
- **Розрахунки базової лінії викидів парникових газів, підготовка планів та звітів з моніторингу викидів парникових газів**
Greenhouse gas emissions baseline setting, development of monitoring plans and reports on greenhouse gas emissions

Україна, 03057, Київ,
вул. Марії Капніст, 2а
Тел.: (044) 453 2862,
Тел./факс: (044) 456 9262
e-mail: office@engecology.com

2а Kapnist Marii (Zheliabova) str., Kyiv,
03057 Ukraine
Tel.: (+38 044) 453 2862,
Tel./fax: (+38 044) 456 9262
www.engecology.com

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Институт промышленной экологии, образованный в 1992 году, представляет собой независимую профессиональную организацию.

Основные направления деятельности Института:

- разработка, производство и внедрение различного природоохранного и энергосберегающего оборудования;
- разработка и внедрение улучшенных технологий и оборудования для сжигания топлив;
- расчет базовой линии выбросов парниковых газов предприятием и подготовка отчетов по мониторингу сокращения выбросов парниковых газов;
- проведение экологических исследований и экспертиз, а также энергетического и экологического обследования (аудита) промышленных предприятий с выдачей соответствующих рекомендаций.

Институт промышленной экологии предлагает следующие разработки, направленные на экономию топливно-энергетических ресурсов и улучшение экологической ситуации:

1. Комбинированная технология для снижения образования оксидов азота, газоочистки и утилизации теплоты уходящих газов топливосжигающего оборудования.
2. Модернизированные подовые горелки с повышенным КПД и пониженным образованием оксидов азота для котлов производительностью до 10 Гкал/час.
3. Горелочные устройства двустадийного сжигания с пониженным образованием оксидов азота для котлов типов ПТВМ, КВГМ и др.
4. Технология рециркуляции продуктов сгорания в воздух и топливо для снижения образования оксидов азота.
5. Технология повышения КПД котлов с одновременным снижением образования оксидов азота путем интенсификации топочного теплообмена с использованием вторичных излучателей.
6. Технология подогрева дутьевого воздуха для горелок котлов и печей с использованием вторичных энергоресурсов.
7. Технология подогрева топочных мазутов с использованием теплоты продуктов сгорания.
8. Центробежные фильтры и циклофильтры для очистки от пыли в промышленности и энергетике.
9. Системы золоулавливания для промышленных и отопительных котлов.
10. Системы пылеочистки для технологических процессов с улавливанием и возвратом материала в цикл.
11. Технология нейтрализации выбросов паров органических веществ, в том числе с использованием энергопотенциала нейтрализуемых веществ.
12. Мусоросжигательные модули производительностью 2 т ТБО в час.
13. Горелки для сжигания биогаза, в том числе двухтопливные комбинированные.
14. Подогрев приточного вентиляционного воздуха за счет теплоты обратной теплосетевой воды.

Ежегодно Институт проводит международную конференцию «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики».

Институтом на базе энерго-экологического обследования промышленных предприятий разрабатывается, и для каждого конкретного случая в зависимости от возможностей и целесообразности вложений совместно с предприятием-заказчиком индивидуально подбирается комплекс мероприятий, технологий и оборудования, способствующих снижению удельных энергозатрат и защите окружающей среды. Возможна комплектация, поставка «под ключ» и наладка установленного оборудования.

Использование предлагаемых Институтом промышленной экологии энерго-сберегающих технологий и оборудования дает конкретный экологический, энергетический и экономический эффект.

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ:

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

КОТЕЛ ВОДОГРЕЙНЫЙ ВОДОТРУБНЫЙ, РАБОТАЮЩИЙ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ, ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 2,0 МВт (КВВ-2,0 Гн)

Котел типа КВВ-2,0 Гн предназначен для применения в системах отопления и горячего водоснабжения.

Котел имеет П-образную компоновку и состоит из топки, экраны которой набраны из труб диаметром 51×3,5 мм, сваренных между собой плавниками, и конвективной части, выполненной из U-образных труб диаметром 28×3 мм, которые, в свою очередь, вварены в стояки, а те – в коллектора. Изготавливается в виде сварного газоплотного моноблока в легкой изоляции и декоративном кожухе, комплектуется блочной газовой горелкой низкого давления с системой автоматики.

Основные технические характеристики

Номинальная теплопроизводительность, МВт	2,0
Диапазон регулирования, %	40–100
Кoeffициент полезного действия, %, не менее (фактически на номинальной нагрузке – 93%, на 50% – 95%)	92
Удельный расход топлива, м ³ /МВт, не более	110
Удельное потребление электроэнергии, кВт/МВт	2,0
Содержание оксидов азота (в пересчете на NO ₂) в сухих продуктах сгорания (приведенное к $\alpha = 1$), мг/м ³	96–130
Рабочее давление воды в котле, МПа	0,6
Температура воды на выходе из котла, °С	95
Расход воды, м ³ /час	70
Температура уходящих газов, °С	90–180
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина с горелкой	4000
ширина	1500
высота	3000
Масса котла, кг	3700
Удельная металлоемкость, т/МВт	1,8

Внедрение котла позволит заменить устаревшие котлы типа «Минск-1», «НИИСТУ-5», «Универсал», «Энергия» и др., увеличить в 3–5 раз тепловую мощность котельных без изменения их строительных объемов, резко повысить экономичность и надежность источников теплоснабжения.

Котел разработан Институтом промышленной экологии совместно с ИТТФ НАНУ.

Украина, 03057, Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

КОТЕЛ ВОДОГРЕЙНЫЙ ВОДОТРУБНО-ДЫМОГАРНЫЙ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 0,63 МВт (КВВД-0,63 Гн)

Комбинированный водотрубно-дымогарный котел КВВД-0,63Гн теплопроизводительностью 630 кВт с принудительной циркуляцией теплоносителя через котел рассчитан для работы на природном газе или легком жидком топливе и предназначен для выработки тепловой энергии в виде воды с температурой до 95 °С и давлением до 0,6 МПа для отопления, технологических нужд и горячего водоснабжения.

Котел состоит из следующих деталей и узлов:

- корпуса котла овальной формы;
- приваренных к корпусу передней и задней трубных досок;
- дымогарных труб, вваренных в верхние части передней и задней трубных досок;
- топочной камеры, включающей в себя жаровую трубу и экранную систему с кольцевыми трубными досками. В топочной камере между задней и передней водяными кольцевыми камерами вварены 36 экранных труб, разделенных на 12 трехходовых пучков. Вода подается в заднюю камеру, проходит в переднюю камеру, назад в заднюю и снова в переднюю (т.е. 3 хода), где через 12 отверстий поступает в водяной объем корпуса котла;
- дверцы котла, в которой находится поворотная камера дымовых газов с огнеупорной футеровкой;
- теплоизоляции и декоративного кожуха;
- горелки, которая крепится к фланцу дверцы котла.

Пламя горелки поступает в кольцевую экранную камеру, которая закрыта в донной части. Камера работает с избыточным давлением дымовых газов, которые поступают в 2 огневые трубы, затем в поворотную камеру и по дымогарным трубам в дымовую коробку, расположенную в задней части котла. Из дымовой коробки газы поступают в дымовую трубу и в атмосферу.

Газовый тракт котла находится при работе горелки под избыточным давлением по отношению к атмосфере. В дымогарные трубы котла вставляются пластинчатые турбулизаторы (завихрители), которые придают потоку газов в трубах турбулентность и повышают коэффициент теплопередачи.

Котел комплектуется блочной газовой вентиляторной горелкой RS-70 и электронной автоматикой RB/т производства фирмы Riello S.p.A (Италия), сертифицированными в Украине. Автоматика выполняет полный цикл розжига, пуск на первой ступени, переход на вторую ступень, остановку котла при достижении установленной температуры воды на выходе котла с последующей продувкой дымоходного тракта и защитное отключение подачи газа при аварийных ситуациях.

Пульт управления котлом обеспечивает возможность подключения электронного устройства для ведения режима котла с учетом температуры наружного воздуха, и позволяет эксплуатировать котел в автоматическом режиме без дежурного персонала.

Основные технические характеристики

Номинальная теплопроизводительность, МВт	0,63
Диапазон регулирования, %	40–100
Коэффициент полезного действия, %, не менее	92
Номинальный расход топлива (природного газа при $Q_H^p = 35600$ кДж/м ³), м ³ /ч	70±5%
Удельный расход топлива, м ³ /МВт, не более	115,5
Удельное потребление электроэнергии, кВт/МВт, не более	2,22
Содержание оксидов азота (в пересчете на NO ₂) в сухих продуктах сгорания (приведенное к $\alpha = 1$), мг/м ³ , не более	200
Рабочее давление воды в котле, МПа,	6
Температура воды на выходе из котла, °С	95
Расчетный перепад температур воды, °С	25
Расчетный расход воды, м ³ /час	22
Расчетная температура уходящих газов, °С	160
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина с горелкой	3260
длина без горелки	2400
ширина	900
высота	1600
Масса котла, кг, не более	1700

Внедрение котла позволит заменить устаревшие котлы типа «Минск-1», «НИИСТУ-5», «Универсал», «Энергия» и др., резко повысить экономичность и надежность источников теплоснабжения.

Котел разработан Институтом промышленной экологии совместно с ИТТФ НАНУ, производится ПАО «Киевэнерго».

Украина, 03057, Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел. (+38 044) 453-28-62, тел./факс (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ И СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА КОТЛАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТАКТНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Комбинированная контактная теплоутилизационная установка предназначена для снижения выбросов оксидов азота, понижения температуры и утилизации теплоты уходящих газов агрегатов, сжигающих газообразное топливо.

Основу системы составляет комбинированный теплообменник, который включает в себя контактный экономайзер и контактный воздухоподогреватель, объединенные в общий водяной циркуляционный контур с циркуляционным насосом и промежуточным теплообменником.

Технология предусматривает снижение образования оксидов азота за счет подачи в топочную камеру увлажненного и подогретого в контактном воздухоподогревателе дутьевого воздуха. Дальнейшая очистка происходит за счет промывания продуктов сгорания в контактном водяном экономайзере (абсорбере) и выведения из цикла CO_2 в декарбонизационной колонне. В процессе утилизируется как явная теплота продуктов сгорания, так и скрытая теплота конденсации содержащегося в них водяного пара.

Работает система следующим образом. Уходящие продукты сгорания подаются в контактную камеру экономайзера, где при непосредственном контакте с нагреваемой водой охлаждаются и через каплеуловитель дымососом удаляются в дымовую трубу. Часть продуктов сгорания проходит по байпасному газоходу мимо экономайзера для поддержания «сухого» режима дымовой трубы.

Нагретая в экономайзере вода собирается в поддоне и насосом подается частично на водораспределитель контактного воздухоподогревателя, откуда поступает на насадку контактной камеры, где при непосредственном контакте с холодным воздухом охлаждается и стекает в поддон. Остальная часть нагретой воды насосом подается через промежуточный теплообменник на систему защиты от обмерзания, а оттуда сливается в поддон. В теплообменнике происходит нагрев воды, подаваемой на внешние потребители (химводоочистку, систему горячего водоснабжения и т.п.). Охлажденная вода из поддона воздухоподогревателя через патрубки с гидрозатворами, соединенными с водораспределителем, подается для нагрева на насадку контактной камеры экономайзера.

Нагретый и увлажненный в контактном воздухоподогревателе воздух подается через каплеуловитель на всос дутьевого вентилятора. Для подсушки насыщенного влагой нагретого воздуха может подмешиваться воздух из верхней зоны котельной. Увлажнение дутьевого воздуха позволяет в 2,0–2,5 раза снизить выбросы оксидов азота.

Применяемое как один из возможных вариантов конструктивное исполнение контактных аппаратов (экономайзера и воздухоподогревателя) один над другим уменьшает площадь, требуемую для их установки. Монтаж аппаратов производится блоками квадратного сечения, что позволяет по условиям компоновки изменять расположение газовых и воздушных патрубков с шагом 90° .

Тепловая схема установки и конструктивное исполнение теплообменника разрабатываются конкретно для каждого объекта.

Внедрение этой технологии позволяет снизить выбросы оксидов азота в атмосферу не менее чем на 50–60%, уменьшить на 8–10% расход топлива (природного газа) и получить конденсат, пригодный для подпитки теплосети.

В качестве примера приведены технические характеристики контактной комбинированной теплоутилизационной установки, смонтированной за котлоагрегатом ДКВР-10/13:

паропроизводительность котлоагрегата, т/ч	9,8
доля уходящих газов, проходящих через экономайзер, %	50
коэффициент разбавления продуктов сгорания перед установкой	1,64
температура уходящих газов, °С	
– перед экономайзером	110
– после экономайзера	38
температура нагреваемого воздуха, °С	
– перед воздухоподогревателем	–10
– после воздухоподогревателя	+33
температура нагретой циркуляционной воды, °С	46
сопротивление экономайзера, Па	230
сопротивление воздухоподогревателя, Па	320
снижение выбросов оксидов азота, кг/сутки	15,4
экономия природного газа	5,33

Весь комплекс работ «под ключ» по проектированию, изготовлению, монтажу и наладке систем теплоутилизации с контактным комбинированным теплообменником производит Институт промышленной экологии.

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЕ ПОДОВЫЕ ГОРЕЛКИ ТИПА МПИГ ДЛЯ КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ДО 10 Гкал/час

Модернизированные подовые (щелевые) горелки нового поколения с увеличенной лучистой составляющей типа МПИГ предназначены для котлов производительностью до 10 Гкал/час (типа НИИСТУ-5, ТВГ-1; 2,5; 4; 8; КВ-ГМ-4,65-150, КВ-Г-7,56-150 и др.) и могут применяться вместо форкамерных, подовых и других горелок.

Горелочные устройства МПИГ работают на вентиляторном дутье. В котлах НИИСТУ-5 разрешается их эксплуатация и без дутьевого вентилятора.

Установка горелок МПИГ осуществляется с использованием рамы стандартных габаритов и посадочных размеров, что не требует специальной переделки котла. На раме монтируются элементы горелочного устройства – коллектора горелок, кирпичи щелевого смесителя, подгорелочный лист и шиберы, регулирующие подачу воздуха.

Коллектор горелки изготавливается из цельнотянутой трубы и снабжается сменными соплами-форсунками, изготавливаемыми из латуни, что позволяет избежать окисления стенок отверстия и сохранить требуемый расход при длительной эксплуатации горелок (в течение не менее 10 лет).

Горелки МПИГ практически бесшумны, легко обеспечивают устойчивую работу на пониженных нагрузках (регулируемость в пределах 24–100%), а также форсировку котла. Наличие сменных калиброванных сопел обеспечивает возможность поддержания номинальной производительности котла и устойчивой работы при давлении природного газа в сети в диапазоне от 20 до 150 мм вод. ст.

С целью дополнительного повышения эффективности использования топлива и соответственно КПД котла, а также снижения выбросов токсичных веществ в атмосферу, горелки МПИГ могут быть оснащены промежуточными (вторичными) излучателями в виде подвесных гирлянд из легковесного теплостойкого кремнеземистого материала или стержней из огнеупорного материала на основе карбида кремния.

Установка промежуточных излучателей в топочной камере котла обеспечивает интенсификацию лучистого теплообмена, за счет чего увеличивается теплоотдача в топке и соответственно повышается КПД котлов и уменьшается расход топлива. Кроме того, введение в зону факела промежуточных излучателей позволяет снизить максимальные температуры в ядре зоны горения, за счет чего уменьшаются образование и соответственно выбросы токсичных веществ, в первую очередь оксидов азота. В результате снижения как максимальных температур в зоне горения, так и температур на выходе из топки и за котлом, облегчаются условия работы, повышается надежность и увеличивается срок эксплуатации котла.

Использование модернизированных подовых горелок с промежуточными излучателями позволяет:

- увеличить теплоотдачу в топке котла на 10–30%;
- повысить КПД котла и соответственно уменьшить расход топлива (природного газа) на 3–5%, в результате достичь величин КПД не менее 90%;

- снизить образование оксидов азота на 30–50%; в результате достичь среднего уровня концентраций NO_x в продуктах сгорания порядка 100 мг/м^3 ;
- снизить температуру уходящих газов на 40–80 °С;
- повысить надежность эксплуатации и увеличить срок службы котлов (на 10–20%, или на 3–5 лет) за счет снижения максимальных температур в зоне горения на 40–70 °С;
- уменьшить расход огнеупорного кирпича на выкладку горелок и пода котла на 50% (по сравнению с форкамерными горелками).

Описанные промежуточные (вторичные) излучатели могут также быть применены и с установленными на котле горелками других типов.

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТОПОЧНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КОТЛАХ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ (ВТОРИЧНЫХ) ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Технология предназначена для повышения эффективности сжигания газообразного топлива в котлах и снижения токсичных выбросов в атмосферу.

Недостатком многих находящихся в эксплуатации водогрейных и паровых котлов является малоэффективная теплоотдача в топке и обусловленные этим высокая температура уходящих газов (до 200–250 °С) и низкий КПД (до 85–87%).

Одним из возможных и реальных путей повышения эффективности использования топлива в котлах, и соответственно повышения их КПД и уменьшения газовых выбросов в атмосферу (включая CO₂, NO_x и др.), является интенсификация теплообмена и соответственно теплоотдачи в топочной камере.

При сжигании природного газа в относительно небольших топочных объемах котлов с развитым экранированием стенок, с точки зрения интенсификации теплообмена и надежной стабилизации факела целесообразна установка промежуточных (вторичных) излучателей – твердых нагретых до высоких температур тел, являющихся как бы «тепловыми зеркалами», передающими излучение к поверхностям нагрева.

Действие промежуточных излучателей основано на том, что они воспринимают тепло селективным излучением и конвекцией от продуктов сгорания и передают его полным спектром излучения к водоохлаждаемым поверхностям, расположенным в топке. Находясь в стационарном режиме при неизменной температуре, промежуточные излучатели весь падающий на них тепловой поток переизлучают на поверхности экрана в виде отраженного тепла и собственного излучения.

Установка промежуточных излучателей в топочной камере котла обеспечивает интенсификацию лучистого теплообмена, за счет чего увеличивается теплоотдача в топке и соответственно повышается КПД котлов и уменьшается расход топлива. Кроме того, введение в зону факела промежуточных излучателей позволяет снизить максимальные температуры в ядре зоны горения, за счет чего уменьшаются образование и соответственно выбросы токсичных веществ, в первую очередь оксидов азота. В результате снижения как максимальных температур в зоне горения, так и температур на выходе из топки и за котлом, облегчаются условия работы, повышается надежность и увеличивается срок эксплуатации котла.

Использование промежуточных излучателей позволяет:

- увеличить теплоотдачу в топке котла на 10–30%;
- уменьшить расход топлива (природного газа) в котлах:
 - производительностью до 1 Гкал – на 3–5%;
 - производительностью 1–6 Гкал – на 1–3%;
 - производительностью 6–30 Гкал – на 0,6–1%;
- снизить образование оксидов азота на 20–30%;
- снизить температуру уходящих газов на 60–90 °С;

- повысить надежность эксплуатации и увеличить срок службы котлов (на 10–20%, или на 3–5 лет) за счет снижения максимальных температур в зоне горения на 30–70 °С.

Технология не требует больших капитальных вложений и эксплуатационных расходов, срок окупаемости составляет 1–2 года в зависимости от типа котла.

Для изготовления излучателей используются огнеупорные материалы на основе оксидов или тугоплавких соединений, обеспечивающие возможность длительной эксплуатации в условиях высоких температур в окислительно-восстановительной среде при возможности реализации достаточно большого числа теплосмен.

Разработаны технические решения по применению промежуточных излучателей в котлах НИИСТУ различных модификаций, а также в котлах ТВГ, ДКВР, КВ-ГМ и других производительностью до 30 Гкал/час (до 50 т/час пара).

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Предназначена для снижения токсичных выбросов в атмосферу при сжигании газообразного или жидкого топлива в котлах.

Рециркуляция продуктов сгорания представляет собой наиболее эффективный метод подавления образования оксидов азота (NO_x) при сжигании как газа, так и мазута, позволяющий снизить содержание NO_x в уходящих газах на 60–70%. Метод основан на отборе части продуктов сгорания за котлом и подаче их в зону горения.

Реализация предлагаемой технологии рециркуляции продуктов сгорания на котле не требует повышения производительности дымососов, необходимо только изготовление системы перепускных трубопроводов для продуктов сгорания.

Практически только за счет данного метода при небольших затратах может достигаться значительный экологический эффект.

Кроме этого, уменьшается вероятность перегрева экранных поверхностей топки, обеспечивается выравнивание полей температур в топочной камере, что позволяет увеличить межремонтные периоды.

Предлагаемый метод целесообразно применять для следующих паровых и водогрейных котлов:

КВ-ГМ-100; 50; 30; 20; 10;

ДКВР-4; 10; 20;

ДЕ-16; 25;

ПТВМ-30; 50; 100;

ТВГ-4; 8; ТВГМ-30; КВГ-6,5.

Возможна разработка индивидуальных решений и для других котлов.

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: office@engecology.com

www.engecology.com



МОДЕРНІЗАЦІЯ КОТЛІВ ПТВМ-50

Стандартний котел
ПТВМ-50

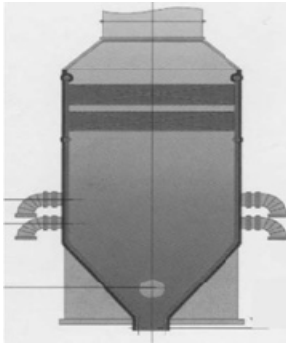
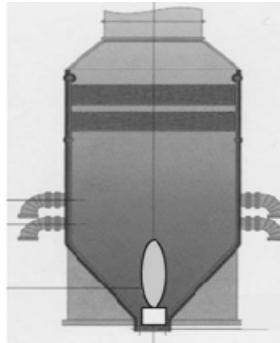


Схема модернізації
ШЕ+ІГ



Встановлення до-
даткового подового
щільного пального



Схема модернізації
ВАТ «Дорогобужкотломаш»

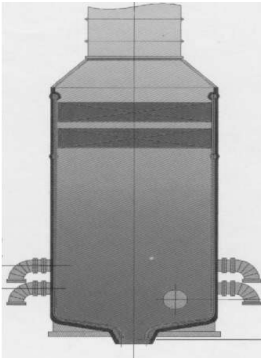
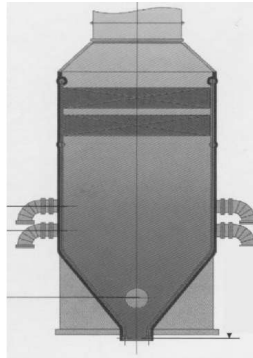


Схема модернізації
фірми SAACKE (ФРГ)



– Заміна пальників

– Реконструкція каркаса
котла зі зміною його форми
та збільшенням висоти

– Заміна пальників

Параметр	Стандартний котел	ШЕ+ПГ	Економія
Мінімальне навантаження, %	30	6	24
Час роботи на мінімальному навантаженні, год/рік	700	700	–
Витрати палива на номінальному навантаженні, м ³ /год	6700	6700	–
Витрати палива на мінімальному навантаженні, м/год	2010	402	1608
Вартість витрат природного газу, тис. грн./год (при вартості газу 960 грн./1000 м ³)	1,930	0,386	1,544
Вартість витрат природного газу, тис. грн./рік (при вартості газу 960 грн./1000 м ³)	1351,0	270,2	1125,6

Параметр	Стандартний котел	Модернізація за схемою		
		ШЕ+ПГ	Дорогобужкотломаш	СААСКЕ
Теплопродуктивність номінальна, МВт	58,2	69,8	69,8	58,2
Теплопродуктивність мінімальна, %	30	6	30	30
ККД котла, %	91	~93	91,6	~93
Термін окупності (кількість опалювальних сезонів в цінах 2009 р.)	–	0,5		2

Керівник робіт:

д.т.н., проф. І. Я. Сігал

Тел./факс: +380 44 456 6259

ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ

Україна, 03057, м. Київ, вул. Марії Капніст, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com



ЭКОНОМИЯ ГАЗА И ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА КОТЛОВ ТВГ-8, ТВГ-8М, КВГ-7,56

Опыт эксплуатации котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М показал, что их фактический срок службы (при нормальных показателях эксплуатации) существенным образом превышает номинальный заводской срок (14 лет) и ограничивается состоянием не топочной, а конвективной поверхности нагрева и горелок.

Модернизация котлов с заменой горелок и конвективной поверхности нагрева позволяет повысить КПД в среднем на 5% до уровня лучших мировых образцов, и продлить срок эксплуатации на 15 лет.

Для повышения эффективности использования газа и уменьшения энергозатрат в котле устанавливаются подовые щелевые горелки 3-го поколения МПИГ-3 (модернизированная подовая излучающая горелка, разработанная Институтами газа НАНУ и Промышленной экологии, г. Киев). Горелки снабжены специальными газовыми соплами и направляющими для воздуха, которые обеспечивают улучшение процессов смешения газа с воздухом, работают с малыми избытками воздуха и интенсифицируют теплообмен в топках.

Конвективная поверхность нагрева заменяется на новую из труб $\varnothing 32 \times 3$, (вместо заводской $\varnothing 28 \times 3$), которая имеет больший проходной диаметр для воды и более развитую поверхность теплообмена для котлов ТВГ-8 и ТВГ-8М и др. (Разработка Института газа НАНУ).

На котле КП «Жилтеплоэнерго Киевэнерго» ТВГ-8М, после проведения модернизации (замена горелок и замена конвективной поверхности нагрева), температура уходящих газов снижена на 70–80 °С, КПД котла повышен на 4,3–5,0% до 94–96% (испытания проведены службой наладки КП «Жилтеплоэнерго Киевэнерго»). Модернизация обеспечивает на одном котле экономию газа 172 тыс. м³/год, или за 15 лет 2,6 млн м³.

Окупаемость затрат на модернизацию котла ТВГ-8 (ТВГ-8М) составляет 1,5 года.

Руководитель работ:

д.т.н., проф. И. Я. Сигал

Тел./факс: +380 44 456 62 59

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а

Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: office@engecology.com

www.engecology.com



ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГОРЕЛОК КОТЛОВ ТИПА ДЕ И ДКВР С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА (ОСОБЕННО В ОСЕННЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД)

Котлы ДЕ оснащены одной мощной горелкой с ограниченным диапазоном устойчивого регулирования, имеют на некоторых режимах вибрации, для избегания которых увеличивают нагрузку котлов до стабильной работы и, как следствие, это приводит к перерасходам топлива на 10–15%, особенно в весенне-осенний период.

Разработаны специальные двухколлекторные горелочные устройства, позволяющие эксплуатировать котел в широком диапазоне нагрузок от 5 до 120% с высокими технико-экономическими и экологическими показателями. Эти газовые горелки могут быть установлены при ремонтах или модернизации существующих горелок котлов ДЕ. Замена горелок не требует переоборудования котла – горелки устанавливаются в ту же амбразуру, которая имеется в котле. Основным преимуществом такой горелки является наличие 2-х газовых коллекторов (фактически двух газовых горелок, одна на 30%, а другая на 70% производительности), что позволяет эксплуатировать малую горелку на режимах до 30% производительности не подавая газ в основной газовый коллектор, а основную – на режимах от 30 до 100%. Горелочное устройство такого типа успешно прошло 2-годичную промышленную эксплуатацию в котле ДЕ-16 (г. Лужаны Черновицкой обл.), где обеспечило высокий КПД котла на различных режимах производительности и регулирование длины факела в широких пределах. Возможна реконструкция существующих горелочных устройств.

По сравнению с существующими горелками котлов ДЕ, реконструированные на двухколлекторные горелки ГМ-7Р, ГМ-10Р, ГМП-16Р (котел ДЕ-25) дают возможность при эксплуатации котлов:

- Обеспечить работу котлов без пульсаций и срыва пламени в широких пределах.
- Обеспечить экономию природного газа до 6–10% в осенне-весенний период и 1–3% на номинальной нагрузке.
- Повысить надежность эксплуатации (регулирование длины факела и др. параметров при постоянной нагрузке).
- Снизить выбросы оксидов азота на 30%.

Экономия газа в осенне-весенний период составит до 6–10%, а в зимний до 2–3%. Срок окупаемости – в среднем 6 мес.

Руководитель работ:

д.т.н., проф. И. Я. Сигал

Тел./факс: +380 44 456 62 59

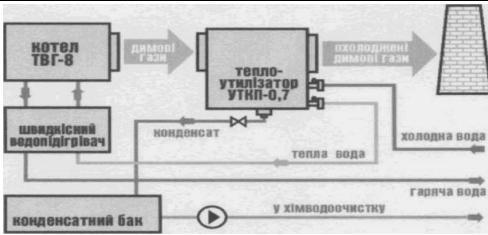
ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а

Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62

e-mail: office@engecology.com <http://www.engecology.com>

КОНДЕНСАЦІЙНИЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОР УТКП-0,7		КОНТАКТНА КОМБІНОВАНА ТЕПЛОУТИЛИЗАЦІЙНА УСТАНОВКА	
<p>ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД КОНДЕНСАЦІЙНОГО ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА УТКП-0,7</p> <p>1-теплообмінник 2-байпасний газокід 3-сигурне вікно 4-конденсаторічний з'єднувач труби 6-взривний клапан</p>		<p>Технічні характеристики контактної комбінованої теплоутилізаційної установки, змонтованої за котлоагрегатом ДКВР-10/13</p>	
<p>Технічні характеристики теплоутилізатора УТКП- 0,7</p>		<p>Паропродуктивність котлоагрегату, т/г</p>	<p>9,8</p>
<p>Теплова продуктивність номінальна, МВт</p>		<p>Частка димових газів, що проходять через економайзер, %</p>	<p>50</p>
<p>Підвищення коефіцієнту використання палива, %</p>		<p>Коефіцієнт розбавлення продуктів згоряння перед установкою</p>	<p>1,64</p>
<p>Температура димових газів на вході ТУ, °С</p>		<p>Температура димових газів, °С:</p> <p>– перед економайзером</p>	<p>110</p>
<p>Температура димових газів на виході ТУ, °С</p>		<p>– після економайзера</p>	<p>38</p>
<p>Максимальні витрати відхідних газів, кг/сек</p>		<p>Температура повітря, що нагрівається, °С:</p> <p>– перед повітряпідігрівачем</p>	<p>–10</p>
<p>Температура води на вході ТУ, °С</p>		<p>– після повітряпідігрівача</p>	<p>33</p>
<p>Температура води на виході, °С</p>		<p>– температура нагрітої циркуляційної води, °С</p>	<p>46</p>
<p>Максимальні витрати води, т/год°</p>		<p>– опір економайзера, Па</p>	<p>230</p>
<p>Максимальний об'єм виникаючого конденсату, кг/сек</p>		<p>– опір повітря підігрівача, Па</p>	<p>320</p>
<p>рН конденсату</p>		<p>– зниження викидів оксидів азоту, кг/доба</p>	<p>15,4</p>
<p>Аеродинамічний опір, Па</p>		<p>– економія природного газу, %</p>	<p>5,33</p>
<p>Гідравлічний опір, кПа</p>			
<p>Габаритні розміри, мм</p>			
<p>Маса ТУ, кг</p>			



**Теплоутилізатор УТПК-0,7
м. Чернігів**

Україна, 03057, Київ
вул. Марії Капніст, 2а
www.engecology.com



**Контактна комбінована
теплоутилізаційна установка**

АР Крим, м. Сімферополь

Впровадження цієї технології дозволяє знизити викиди оксидів азоту в атмосферу не менше ніж на 50–60%, зменшити на 8–10% витрату палива (природного газу) і одержати конденсат, придатний для підживлення тепломережі.

Тел.: (044) 453-2862
Тел./факс: (044) 456-9262
E-mail: office@engecology.com

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ КОТЕЛЬНОЙ ЗА СЧЕТ ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ

В котельных, работающих на жидком топливе (как основном, так и резервном), на разогрев этого топлива (мазут М100, М40) используется более 15% теплоты его сгорания. Для мазута марки М200 и «Компонент» эта величина еще больше. Положение ухудшается тем, что большинство котелен с водогрейными котлами не имеют пара, необходимого для обычной схемы разогрева мазута. Установка специальных небольших паровых котлов требует больших затрат и нецелесообразна.

Институтом промышленной экологии разработана система подогрева мазута уходящими дымовыми газами с использованием части штатного котлового экономайзера. Проводятся перерасчеты фактически требуемой поверхности теплообмена котлового экономайзера с учетом фактической максимальной нагрузки котла. Учитывая, что котлы, как правило, не новые, фактически допустимая нагрузка обычно на 15–20% ниже, чем расчетная. Таким образом, возможно (уточняется расчетами) использование 15–20% поверхности штатного экономайзера для подогрева в них мазута. Такая реконструкция котла не требует больших затрат средств, но предусматривает установку дренажной системы для очистки трубных пучков от мазута при остановке работы системы и перед ее загрузкой.

Использование такой системы подогрева позволяет обеспечить экономию не менее 15% мазута за счет уменьшения затрат на собственные нужды.

Срок окупаемости необходимого переоборудования составляет не более одного года.

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ ФИЛЬТР

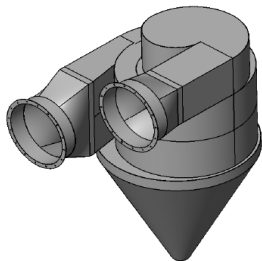
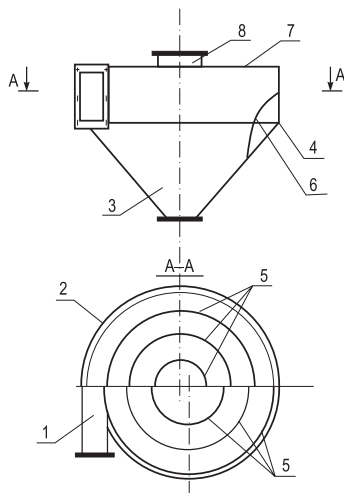
Значительного увеличения эффективности очистки запыленных газовых потоков в аппаратах центробежного типа можно достичь путем совмещения в одном аппарате двух методов очистки – центробежной сепарации и фильтрации.

Центробежный фильтр предназначен для очистки промышленных выбросов в атмосферу от пыли.

Аппарат состоит из сепарационной камеры, выполненной в виде соединенных с крышкой (7) и днищем (6) полуцилиндров (5) и корпуса (2), входного (1) и выходного (8) патрубков, бункера – пылесборника (3).

В основу пылеулавливающего аппарата нового поколения – Центробежного фильтра положена система последовательно соединенных криволинейных каналов с замкнутыми контурами.

Количество сепарационных камер и каналов в них может изменяться в зависимости от условий конкретных производств (расхода газового потока, дисперсного состава пыли, требуемой степени очистки и др.).



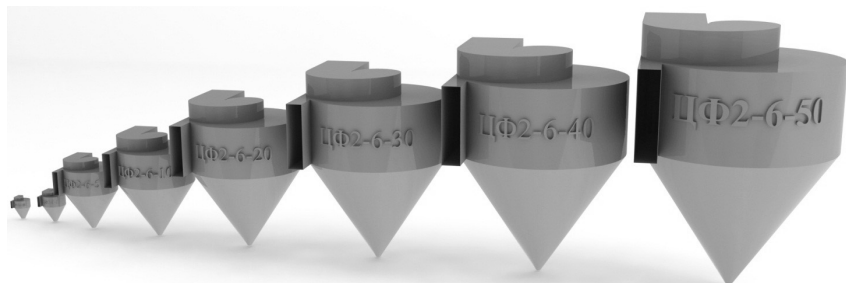
Модули центробежных фильтров могут компоноваться как в блоки заданной производительности, так и в виде многоступенчатых систем очистки.

Эффективность улавливания в зависимости от количества каналов в центробежном фильтре при улавливании пыли, начиная с медианного диаметра 5 мкм, приведена в таблице:

Число каналов в центробежном фильтре, n							
1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент улавливания, %							
50	67	80	89	94	97	98	99

Адекватность приведенных данных многократно подтверждена промышленными испытаниями центробежных фильтров в различных отраслях промышленности.

Наряду с высокой эффективностью улавливания и небольшими энергозатратами, центробежный фильтр обладает также возможностью позиционного регулирования объема очищаемого газа на 50% и 100% расчетного расхода без потери эффективности очистки.



Типоряд аппаратов единичной производительностью от 0,1 до 50 тыс. м³/ч

Адрес для запроса дополнительной информации:

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

ЦИКЛОФИЛЬТР

Циклофильтр – высокоэффективный пылеуловитель, сочетающий в себе преимущества циклона и рукавного фильтра.

Работа циклофильтра основана на принципе трехступенчатой очистки:

Первая ступень – центробежная в сепарационном канале, из которого уловленная пыль сразу отводится в отдельный бункер-пылесборник. Такая предварительная очистка позволяет уменьшить начальную запыленность газового потока, поступающего на фильтровальные рукава. Далее поток поступает на вторую ступень очистки.

Вторая ступень – центробежная в цилиндрической камере, в которой расположены фильтровальные рукава. Далее поток поступает на третью ступень очистки.

Третья ступень – в фильтровальных рукавах, позволяющих улавливать мелкодисперсные частицы пыли. Фильтровальные рукава оборудованы системой импульсной регенерации.

Циклофильтр предназначен для высокоэффективной очистки запыленного воздуха (газа) от твердых частиц пыли в вытяжных, напорных и аспирационных системах до требований санитарных норм.

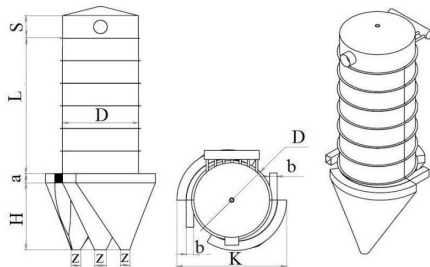
Циклофильтр применяется в различных отраслях промышленности:

- металлургической, энергетической, химической, строительной, деревообрабатывающей и др.;
- системах аспирации узлов пересыпки сыпучих материалов;
- системах газоочистки сушильных барабанов, дробилок, зачистных станков и др.;
- системах аспирации литейных дворов, цементных мельниц, холодильников клинкера;
- системах золоочистки твердотопливных котлов.

Основные преимущества циклофильтра:

- высокая эффективность очистки, отвечающая европейским стандартам, в том числе от мелкодисперсных и абразивных частиц;
- трехступенчатая очистка газового потока, реализованная в одном аппарате;
- срок службы циклофильтра благодаря особенностям конструкции аппарата выше, чем у аналогичного оборудования, что приводит к значительному уменьшению абразивного износа;
- экономия энергоресурсов благодаря уменьшению пылевой нагрузки на фильтровальные рукава за счет предварительной очистки в сепарационном канале аппарата;
- удобный доступ к отдельным элементам циклофильтра, облегчающий сервисное обслуживание;
- снижение эксплуатационных расходов благодаря автоматизации процесса регенерации;
- минимальная занимаемая площадь.

Марка фильтра	Диаметр аппарата, D, мм	Кол-во рукавов, шт.	Патрубок входа газа, мм	Выход пыли, d, мм	Высота конуса, мм	Высота цилиндри- ческой ча- сти аппа- рата, мм	Ширина аппарата, мм	Высота камеры чистого газа, мм	Длина рукава, мм	Площадь рукавов, м ²	Расход очищае- мого газа, тыс. м ³ /ч
				Z	H	L	K	S			
ЦкФ-1	600	4	min 30×60 max 70×100	150	1,5...2D	2000– 6000	min 720 max 880	1500	2000– 6000	3...11	0,2...1
ЦкФ-2	800	1	min 50×100 max 110×120	150	1,5...2D	2000– 6000	min 1000 max 1240	1500	2000– 6000	10...30	0,6...3
ЦкФ-3	1050	21	min 60×120 max 150×300	200	1,5...2D	3000– 6000	min 1290 max 1650	1500	3000– 6000	27...54	0,8...5
ЦкФ-4	1250	25	min 90×180 max 160×320	200	1,5...2D	3000– 6000	min 1610 max 1890	2000	3000– 6000	32...64	2...6
ЦкФ-5	1450	37	min 110×230 max 200×400	300	1,5...2D	3000– 6000	min 1890 max 2250	2000	3000– 6000	48...95	3...9
ЦкФ-6	1650	45	min 120×250 max 220×440	300	1,5...2D	3000– 6000	min 2130 max 2530	2000	3000– 6000	58...116	4...10
ЦкФ-7	1850	61	min 140×280 max 250×500	300	1,5...2D	3000– 6000	min 2410 max 2850	3000	3000– 6000	79...158	5...14
ЦкФ-8	2050	69	min 150×300 max 270×540	300	1,5...2D	3000– 6000	min 2650 max 3130	3000	3000– 6000	89...178	5...16
ЦкФ-9	2250	89	min 170×340 max 310×620	300	1,5...2D	3000– 6000	min 2930 max 3490	3000	3000– 6000	115...230	7...21
ЦкФ-10	2450	109	min 200×400 max 340×680	300	1,5...2D	3000– 6000	min 3250 max 3810	3000	3000– 6000	141...281	9...25
ЦкФ-11	2650	137	min 220×440 max 380×760	300	1,5...2D	3000– 6000	min 3530 max 4170	3000	3000– 6000	177...354	11...31
ЦкФ-12	2850	145	min 220×440 max 390×780	300	1,5...2D	3000– 6000	min 3730 max 4410	3000	3000– 6000	187...374	11...34
ЦкФ-13	3050	177	min 250×500 max 440×880	300	1,5...2D	3000– 7000	min 4050 max 4810	3000	3000– 7000	228...457	14...41
ЦкФ-14	3250	185	min 260×520 max 480×960	300	1,5...2D	3000– 7000	min 4290 max 5170	3000	3000– 7000	239...555	14...50
ЦкФ-15	3450	221	min 280×560 max 520×1040	300	1,5...2D	3000– 7000	min 4570 max 5530	3000	3000– 7000	285...663	17...60
ЦкФ-16	3650	249	min 300×600 max 550×1110	300	1,5...2D	3000– 7000	min 4850 max 5850	3000	3000– 7000	321...747	19...67
ЦкФ-17	3850	277	min 310×620 max 580×1180	300	1,5...2D	3000– 7000	min 5090 max 6170	3000	3000– 7000	357...831	21...75
ЦкФ-18	4050	313	min 330×660 max 620×1240	300	1,5...2D	3000– 7000	min 5370 max 6530	3000	3000– 7000	403...939	24...84



ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

ЦИКЛОННЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ

Работа циклонного пылеуловителя основана на принципе двухступенчатой очистки.

Первая ступень – центробежная очистка высококонцентрированного потока в пристенной области аппарата с отводом твердых частиц в отдельный бункер – пылесборник.

Вторая ступень – центробежная очистка в цилиндрической и конической частях циклонного пылеуловителя.

Циклонный пылеуловитель предназначен для:

- очистки запыленного воздуха (газа) от твердых частиц пыли и жидких аэрозолей в вытяжных, напорных и аспирационных системах;
- в мокрых системах газоочистки в качестве каплеуловителей.

Циклонный пылеуловитель применяется в различных отраслях промышленности:

- металлургической, химической, энергетической, деревообрабатывающей, строительной индустрии и т.д.;
- системах аспирации узлов пересыпок сыпучих материалов;
- системах газоочистки сушильных барабанов, дробилок, зачистных станков и др.;
- аспирации литейных дворов, цементных мельниц, холодильников клинкера;
- золоочистки твердотопливных котлов.

Основные преимущества циклонного пылеуловителя:

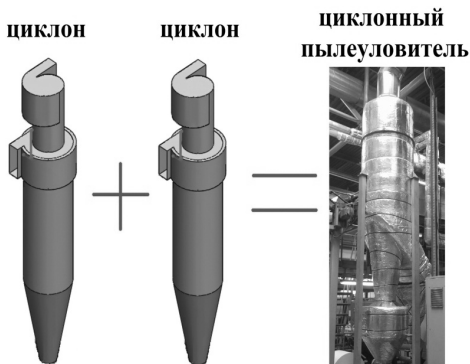
- унос частиц пыли из циклонного пылеуловителя в 2–4 раза меньше чем у стандартного циклона;
- двухступенчатая очистка газового потока;
- увеличение срока службы циклонного пылеуловителя достигается отводом концентрированного твердыми частицами пристенного потока в отдельный бункер-пылесборник, в результате чего достигается уменьшение абразивного износа корпуса аппарата;
- удобный доступ к отдельным элементам циклонного пылеуловителя, облегчающий сервисное обслуживание;
- минимальная занимаемая площадь.



МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНДАРТНОГО ЦИКЛОНА В НОВЫЙ АППАРАТ ЦИКЛОННЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ

Разработанный метод модернизации стандартных циклонов различных типов (ЦН, СИОТ, ЛИОТ, РИСИ, СКЦН и др.), основанный на принципе конструкции циклонного пылеуловителя (новой конструкции), позволяет модернизировать стандартный (типовой) циклон без существенных капитальных затрат, при этом выбросы твердых частиц пыли из циклона уменьшаются в 2–4 раза без возрастания энергозатрат на очистку.

ДВА ЦИКЛОНА В ОДНОМ КОРПУСЕ = ЦИКЛОННЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ



Адрес для запроса дополнительной информации:

ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Украина, 03057, г. Киев, ул. Марии Капнист, 2а
Тел.: (+38 044) 453-28-62, тел./факс: (+38 044) 456-92-62
e-mail: office@engecology.com
www.engecology.com

ВИПРОБУВАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ІТТФ НАН УКРАЇНИ

В Інституті технічної теплофізики НАН України працює випробувальна лабораторія. Лабораторія була атестована у 2010 році на підставі закону України «про метрологію та метрологічну діяльність», укомплектована устаткуванням, розробленим в ІТТФ НАН України. Лабораторія може проводити наступні роботи:

◆ Контактне та безконтактне обстеження огорджувальних будівельних конструкцій, визначення опору теплопередачі в лабораторних та натурних умовах, а також виявлення дефектів теплоізоляції будівель з метою визначення енергоефективності будівель.

◆ Ефективну термомодернізацію існуючого житлового фонду за рахунок використання якісних сучасних теплоізоляційних матеріалів.

◆ Визначати теплоту гідратації бетонів, що використовуються при будівництві фундаментів багатопверхових споруд, та проводити моніторинг розподілу температурних полів при заливці бетонних фундаментів.

◆ Визначати інтегральні тепловтрати на ділянках теплотрас та тепловий опір ізоляції попередньо ізованих труб.

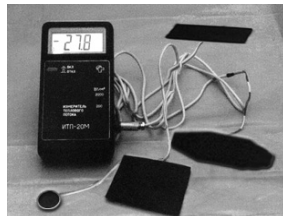
◆ Визначати об'ємну кількість неагресивних газів в установках комунальних та промислових підприємств (теплообмінні установки, генератори вологого газу).

◆ Проводити вимірювання реальних параметрів вживаного палива.

◆ Визначати ефективність обладнання енергетичних об'єктів ЖКГ (котельні, теплопункти та тепломережі).

◆ Вимірювати енерговитрати у тепломережах та будівлях.

◆ Визначати теплотехнічні властивості матеріалів для нового будівництва та термомодернізації вже існуючих споруд.



Спеціалістами ІТТФ НАНУ розроблені та виробляються прилади для контролю параметрів енергогенеруючих об'єктів та тепломереж комунальної енергетики:

1. Портативні цифрові вимірювачі, прилади та інформаційно-вимірювальні комплекси для контролю теплових потоків і температур обмурівки котлоагрегатів і теплоізоляції трубопроводів. Впроваджено 14 приладів.
2. Термоелектричні приймачі теплового випромінювання для забезпечення надійності та ефективності роботи радіаційних екранних поверхонь нагріву в топковому просторі котла. Впроваджено 11 приладів.
3. Прилади вимірювального та індикаторного позначення для забезпечення мінімальних втрат при передачі виробленої теплоти споживачеві. Впроваджено 9 приладів.

ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ

Україна, 03057, Київ, ул. Марії Капніст, 2а
Тел.: (+38 044) 456-60-91

Наукове видання

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Збірник праць

(рос., укр. мовами)

Відповідальний редактор	О. І. Сігал
Редактори	Н. Ю. Павлюк Д. Ю. Падерно
Комп'ютерна верстка	О. В. Авдєєнко

*Редакційна колегія не несе відповідальності
за зміст наданих матеріалів*

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 11,16.
Обл.-вид. арк. 8,66. Тираж 100 екз. Зам. № 1727.

Державне підприємство «Інженерно-Виробничий Центр АЛКОН» НАН України
04074, м. Київ-74, вул. Автозаводська, 2
*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
ДК № 987 від 22.07.2002 р.*

Виготовлено в ТОВ «ПЛАНЕТА ПРІНТ»
04074, м. Київ, вул. Шахтарська, 5