



ДУНАЄВСЬКА
Наталія Іванівна —
доктор технічних наук,
професор, директор Інституту
теплоенергетичних технологій
НАН України

ПРОБЛЕМИ Й ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПАЛИВ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

За матеріалами доповіді на засіданні
Президії НАН України 22 лютого 2023 року

У доповіді наведено результати науково-технічного супроводу процесу забезпечення безперервної роботи вугільних електростанцій з використанням непроєктних палив. Ці роботи Інститут теплоенергетичних технологій НАН України виконує з 2014 р. і дотепер. Показано, що твердопаливна енергетика є сьогодні критично важливим чинником стабільного тепло- та енергопостачання завдяки можливості використання як місцевого, так і доступного на світовому ринку газового вугілля, а також паливної біомаси, що дає змогу забезпечити менш вразливу в умовах воєнного стану розподілену генерацію електроенергії та задовольнити значну частину потреб в опалюванні. Обґрунтовано, що в Україні, як і у світі загалом, ще як мінімум 10–20 років, крім АЕС, паралельно існуватимуть дві системи виробництва енергії — з відновлюваних джерел та з викопних палив, що пов'язано, зокрема, з необхідністю регулювання потужності в енергосистемі та забезпечення безперервного енергопостачання в перехідний період.

Ключові слова: теплові електростанції, теплоелектроцентралі, котлоагрегат, антрацит, газове вугілля, паливна біомаса.

Ще у 2013 р. Україна входила до першої десятки вугільних держав світу. Вугільні електростанції становили 55 % генеруючих потужностей і забезпечували понад 40 % виробництва електроенергії, а також відігравали ключову роль у регулюванні навантаження в енергосистемі. Половина вугільних ТЕС були розраховані на спалювання низькорекційного антрациту, решта — на спалювання високореакційного газового вугілля. Щоправда, більшість енергоблоків уже тоді були доволі зношеними і морально застарілими, тому передбачалися їх модернізація та нове будівництво.

За останні 10 років умови функціонування та розвитку енергетичної галузі зазнали істотних змін, як унаслідок російської агресії, так і через появу нових світових тенденцій. Умовно весь

період 9-річної війни РФ проти України можна поділити на окремі етапи, які характеризуються певними особливостями паливостачання, стану генеруючих потужностей та поглядами держави на роль і перспективи вугільної енергетики.

У 2014–2016 рр. головною проблемою був дефіцит донецького антрациту, у 2017–2019 рр. його поставки повністю припинилися (рис. 1). Це був серйозний виклик, з яким досі ніхто не стикався у світовій енергетичній галузі, оскільки планувалося, що вона матиме кілька десятиліть для поступового переходу на спалювання газового вугілля [1].

На щастя, започаткована в нашому Інституті академіком НАН України О.Ю. Майстренком наукова школа у попередні роки виконала великий обсяг досліджень у галузі термічної переробки твердих палив, результати яких здобули міжнародне визнання. Зокрема, йдеться про роботи з визначення кінетичних характеристик піролізу та горіння вугілля і біомаси [2–5], удосконалення методів розрахунку вигорання вугілля та паливних сумішей в умовах пилоугільного факелу, схильності вугільного пилу до самозаймання та вибуху, розроблення методів виготовлення і спалювання однорідних паливних сумішей із заданими характеристиками [6–8]. До того часу отримані результати не були сповна затребувані вітчизняною енергетикою, проте в кризових умовах припинення поставок донецького антрациту було досить швидко впроваджено низку розробок на їх основі, причому не просто практично корисних, а критично важливих для теплової енергетики України.

Серед цих розробок насамперед слід відзначити технологічні рішення щодо спалювання імпортованих палив з непроектованими характеристиками. Наприклад, на Трипільську та Зміївську ТЕС наприкінці 2014 р. з Південно-Африканської Республіки надійшло пісне вугілля, яке характеризувалося тугоплавкою золою та низькою калорійністю. Саме про нього тоді казали «вугілля, що не горить». Аналогічне завдання нам довелося вирішувати для Дарницької, Чернігівської і Сумської ТЕЦ.

Видобуток, млн т

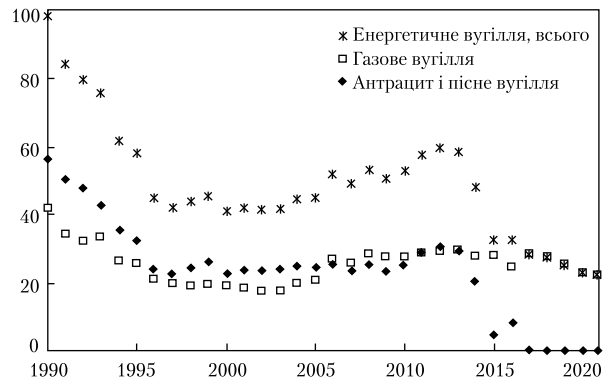


Рис. 1. Динаміка видобутку енергетичного вугілля в Україні за групами марок

Впровадження наших розробок дозволило замінити донецький антрацит і на практиці довело можливість диверсифікації паливної бази електростанцій завдяки використанню імпортованого вугілля [9, 10].

В умовах дефіциту антрациту і відсутності коштів на реконструкцію антрацитових енергоблоків проміжним рішенням стало спалювання на наявних котлоагрегатах суміші антрациту з 30–35 % вітчизняного газового вугілля (0,5 т газового вугілля на 1 т антрациту) з характеристиками, як у пісного вугілля. Раніше це вважали неможливим за умовами пилотприготування та горіння, але кінетичні розрахунки й випробування довели безпечність та ефективність цього рішення. У 2016–2019 рр. суміші використовували як основне паливо на Зміївській, Криворізькій, Слов'янській ТЕС, що дало змогу зменшити недопал, розширити діапазон регулювання навантаження енергоблоків [9, 11, 12].

У 2017 р., ґрунтуючись на наших технічних рішеннях, на Миронівській ТЕЦ було переведено на газове вугілля два антрацитових котлоагрегати по 220 т пари на годину без зміни складу обладнання. Тоді ж на Трипільській ТЕС уперше у світі на газове вугілля було переведено антрацитовий енергоблок 300 МВт, згодом — ще два такі самі енергоблоки [9, 13]. Переведення на газове вугілля котлів на Придніпровській, Зміївській, Криворізькій ТЕС

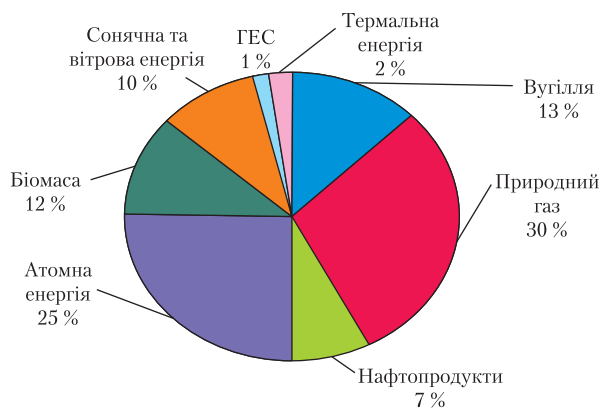


Рис. 2. Прогнозна структура загального первинного постачання енергії за Енергетичною стратегією України на період до 2035 року



Рис. 3. Котли «Радіант» Хоростківського цукрового заводу, переобладнані на спалювання пелет з рослинної біомаси та/або газового вугілля

здійснювала також фірма «Котлотурбопром», але особливість технічних рішень нашого Інституту полягає в максимальному використанні наявного обладнання, що суттєво зменшує вартість і скорочує строки реконструкції. У 2020 р. за результатами досліджень особливостей сушіння та вибухоздатності вугільного пилу ми розробили і впровадили унікальні технічні рішення з переведення на газове вугілля центрального пілозаводу та антрацитового енергоблоку 800 МВт Слов'янської ТЕС без зупинки на реконструкцію. Цей блок став першим у світі енергоблоком, здатним працю-

вати на різних видах вугілля — від антрациту до газового — лише завдяки регулюванню режимних параметрів [9, 14].

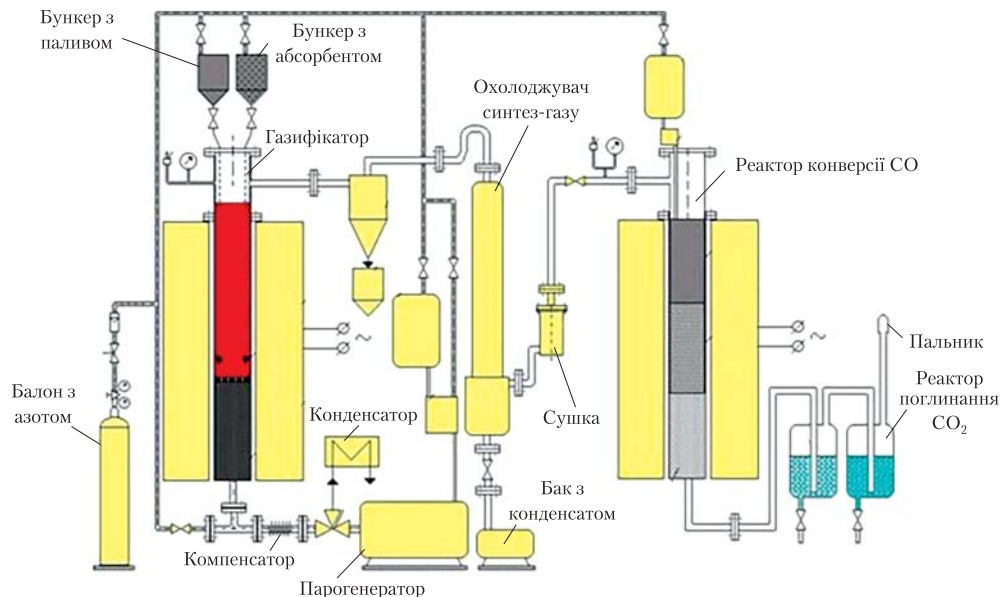
В результаті до початку 2022 р. вітчизняним та імпортованим газовим вугіллям заміщено більш як 15 млн т антрациту з економією понад 500 млн м³ природного газу на підсвічування, а економічний ефект від скорочення витрат на реконструкцію, зменшення недопалу, витрат газу та витрат на власні потреби електростанцій перевищив 2,3 млрд грн. Багато в чому завдяки цій роботі, відзначеній Державною премією України в галузі науки і техніки за 2019 рік [15], ми в попередні роки обійшлися без віялових відключень електроенергії та перебоїв у подачі тепла, а в умовах воєнного стану та повного припинення імпорту антрациту і пісного вугілля зберегли критичну інфраструктуру тепло- та енергозабезпечення.

Разом з тим, протягом 2010-х років ставлення міжнародної спільноти та урядів, у тому числі й українських, до вугільної енергетики постійно погіршувалося. Слідом за європейськими партнерами Україна брала на себе дедалі амбітніші зобов'язання з переходу на безвуглецеву енергетику. В Енергетичній стратегії України на період до 2035 року ставилося завдання збільшити частку відновлюваних джерел енергії і зменшити частку вугільної генерації до 12,5 % (рис. 2). Уряд декларував повне припинення видобутку вугілля та відмову від вугільної енергетики спочатку до 2050 р., а потім навіть до 2035 р., з переведенням електростанцій на використання більш екологічно чистого газу та альтернативних видів палива, в перспективі — з впровадженням водневої енергетики. Відповідно, дослідження та розробки, пов'язані з розвитком безвуглецевої енергетики, почали розглядати як пріоритетні, а пов'язані з розвитком теплової енергетики на вугіллі — як неперспективні.

Проте навіть за таких несприятливих умов співробітникам нашого Інституту в рамках держбюджетних, конкурсних та інноваційних робіт вдалося отримати такі результати:

- запропоновано технічні рішення зі спільного спалювання біомаси та/або торфу з ву-

Рис. 4. Установа Інституту тепло-енергетичних технологій НАН України для одержання водню з твердої органічної сировини методом каталітичної газифікації



гіллям у наявних котлоагрегатах ТЕС з метою диверсифікації джерел палива, зменшення викидів оксидів азоту та парникових газів. Математичне моделювання топкового процесу показало високу ефективність використання комбінованого палива [16–19];

- захищено патентами технічні рішення з переведення антрацитових та газомазутних котлів промислових ТЕЦ на спалювання газового вугілля, пелет або відходів біомаси та їх сумішей [20]; частину цих рішень впроваджено на 6 цукрових заводах (рис. 3);

- створено теплогенератор для технологічної лінії сушіння гідролізного лігніну, що працює за рахунок спалювання невеликої частини одержаного сухого продукту [21];

- запропоновано технологічні рішення для одержання газу з вмістом водню понад 80 % та метану – понад 10 % з суміші відходів пластику та деревини методом каталітичної газифікації (рис. 4). Результати досліджень, виконаних разом з Інститутом фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України та Інститутом нафти (Індія), здобули міжнародне визнання [22, 23];

- розроблено технічні рішення з використання амонійних сполук для комплексного безвідходного очищення димових газів від

оксидів сірки та азоту з утворенням сульфату амонію, який можна використовувати як добриво [24, 25].

Ми маємо також напрацювання і добре орієтуємося у вітчизняній ресурсній базі, особливостях вироблення та сучасних технологіях термічної переробки палива з відходів (RDF, SRF) [26, 27] для генерації тепла та електроенергії відповідно до екологічних вимог ЄС (рис. 5). Проте, на превеликий жаль, гасла про безвуглецеву енергетику на практиці нечасто супроводжуються фінансуванням впровадження вітчизняних розробок та економічним стимулюванням збільшення частки альтернативних, так званих вуглецьнейтральних, палив.

Загалом прискорений перехід на безвуглецеву енергетику в Україні виявився недостатньо продуманим. Швидке зростання частки генерації з відновлюваних джерел, що непридатні для регулювання, потребувало збільшення регулюючих потужностей. Регулювальні можливості ГЕС наразі вичерпалися, а зменшення частки теплової генерації значно розширило необхідний регулювальний діапазон енергоблоків – понад проектно розрахований. Водночас у новому ринку електроенергії відповідної компенсації для регулюючої генерації

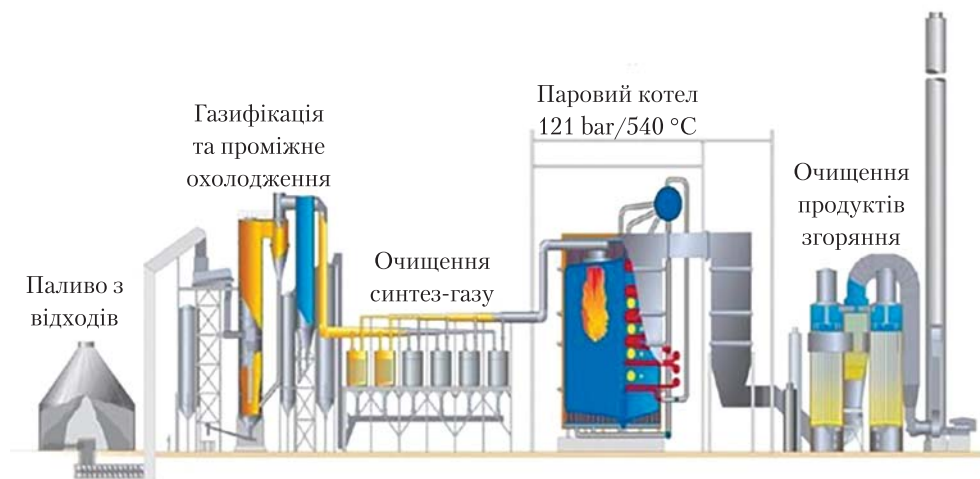


Рис. 5. Технологічний комплекс термічної переробки палива з відходів для генерації тепла та електроенергії

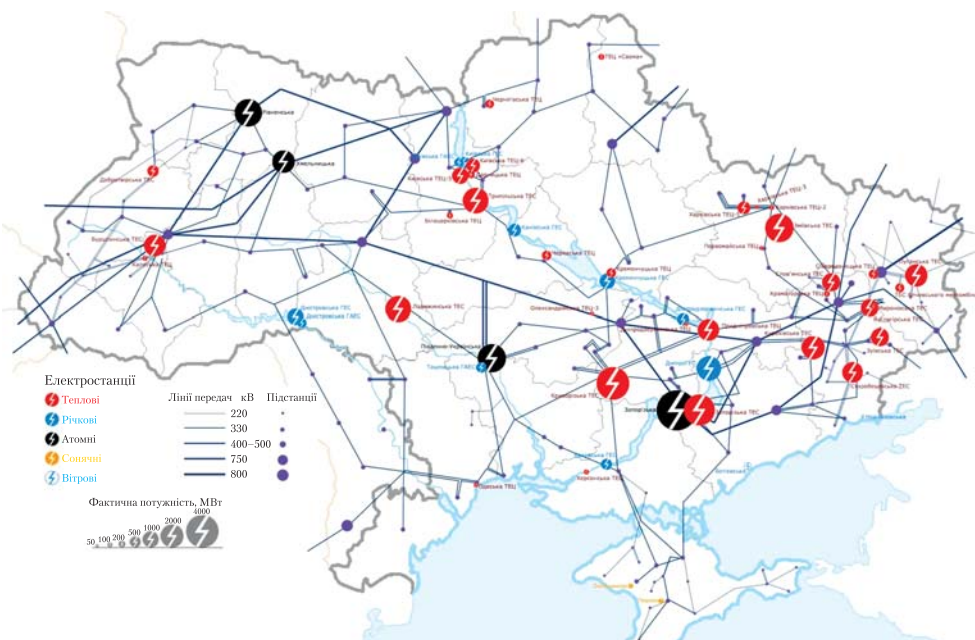


Рис. 6. Розподіленя генерація електроенергії ТЕС і ТЕЦ України

передбачено не було. Недосконалість співвідношення між собівартістю електроенергії та цінами на неї від різних джерел, а також відверті спекуляції на енергетичному ринку поставили вугільну генерацію та вугільну промисловість у складне фінансове становище, позбавили можливості залучати інвестиції у модернізацію обладнання [28]. Наслідками недосконалості «нового ринку» виявилися гострий дефіцит енергетичного вугілля та необхідність імпорту електроенергії у 2019–2021 рр.

Повномасштабна воєнна агресія РФ проти України спричинила нові, небачені досі виклики для енергетичної галузі і показала справжню цінність вугільної енергетики для України. Значна частина генеруючих потужностей, у тому числі Запорізька АЕС, вітрові та сонячні електростанції, були тимчасово захоплені російськими військами. За даними Української асоціації відновлюваної енергетики, 90 % ВЕС і 37 % СЕС опинилися в зонах активних бойових дій. З огляду на захоплення

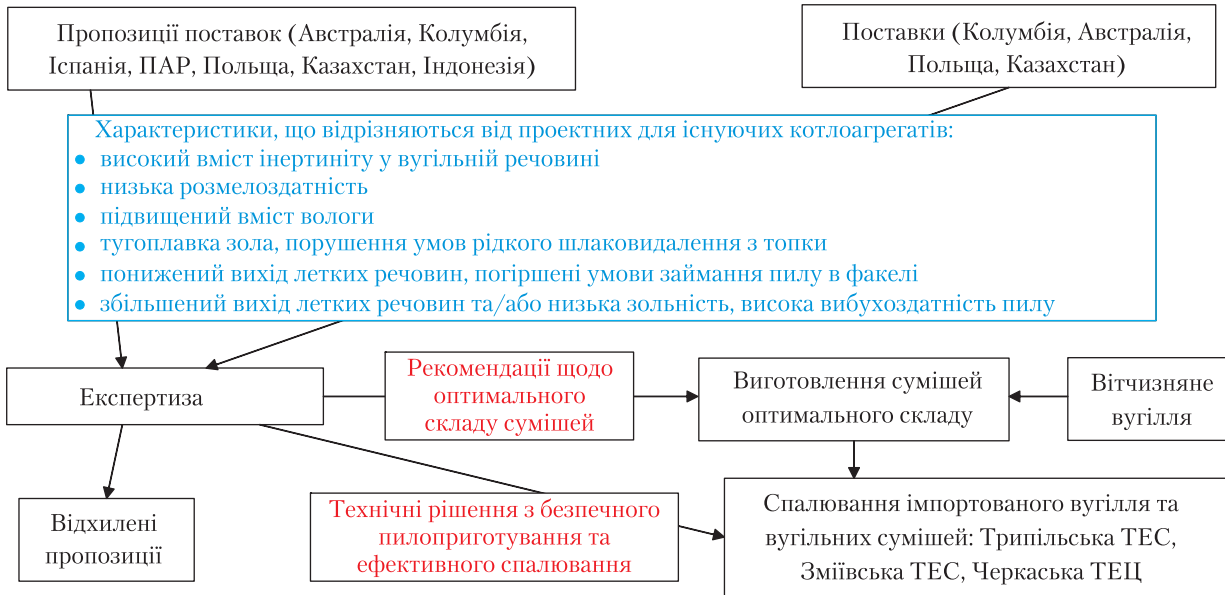


Рис. 7. Алгоритм наукового супроводу енергетичного використання імпортованого вугілля з непроектними характеристиками

або руйнацію значної частини потужностей ВЕС і СЕС, вразливість атомної генерації та розподільчих мереж до ракетних атак, а також зважаючи на критичне подорожчання природного газу, твердопаливна енергетика, яка може використовувати як місцеве, так і доступне на світовому ринку газове вугілля і паливну біомасу, виявилася критично важливим чинником стабільного тепло- та енергопостачання в країні. Вона забезпечила значну частину потреб в опалюванні та розподілену генерацію електроенергії, менш вразливу в разі обстрілів (рис. 6).

Однак вугільна енергетика і сама зараз перебуває в скрутному становищі. За нашими даними, на контрольованій території реально працює не більше третини наявних потужностей вугільних ТЕС і ТЕЦ. Непрацездатність решти пов'язана переважно з такими причинами:

- руйнування частини обладнання в результаті ворожих обстрілів;
- відсутність проектного палива (для антрацитових котлоагрегатів, що залишилися);
- підвищена аварійність обладнання, зумовлена як тривалою роботою без модернізації,

так і використанням зарубіжного вугілля з показниками, що відрізняються від проектних для котлоагрегатів.

На останньому пункті слід зупинитися докладніше. «Вугілля взагалі» не існує, воно поділяється на марки, за якими визначають його придатність для коксування, для енергетики та інших потреб. Однак у межах кожної марки є відмінності, пов'язані з умовами вуглеутворення (рис. 7).

Ми вдячні Австралії, Колумбії та іншим країнам, які пропонують нам вугілля, але воно може відрізнитися від проектного для наших котлоагрегатів — донецького та львівсько-волинського вугілля за вмістом вологи, виходом летких речовин, температурою плавкості золи тощо. Тому деякі пропозиції доводиться відхиляти, а для інших шукати технічні рішення для безпечного пилоприготування та ефективного спалювання в чистому вигляді або в сумішах з вітчизняним вугіллям.

З перших днів повномасштабної воєнної агресії РФ фахівцям нашого Інституту довелося здійснювати науковий супровід використання для вугільних електростанцій, розташо-

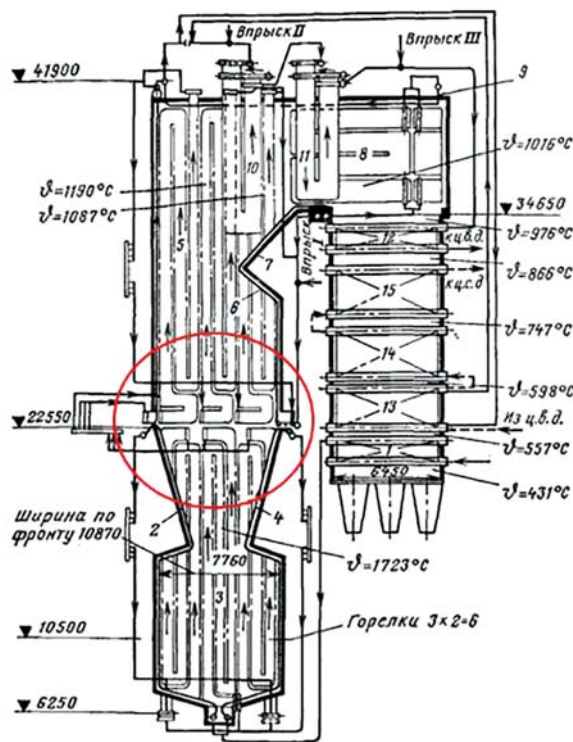


Рис. 8. Корпус котла ТПП-210А (обведено зону, в якій спостерігалось 90 % термічних розривів при спалюванні газового вугілля)

ваних на Київщині, Харківщині, Чернігівщині, Сумщині, Черкащині, імпортованого вугілля з непроектними характеристиками з Австралії, Колумбії, ПАР, Польщі. Ми виконували також розрахункове обґрунтування варіантів роботи пошкоджених ТЕС і ТЕЦ та відновлення зруйнованих об'єктів теплової генерації; усунення нештатних ситуацій при експлуатації та переведення антрацитових котлів на газове вугілля. Розповім детальніше про дві з цих робіт — визначення причин та розроблення заходів для усунення термічних розривів екранних труб котлів ТПП-210А Трипільської ТЕС та розрахункове обґрунтування проектних рішень з переведення антрацитових котлів Дарницької ТЕЦ на газове вугілля.

Переведені на газове вугілля антрацитові котли блоків 300 МВт Трипільської ТЕС у 2018–2020 рр. працювали безаварійно. У 2021 р. через значні зміни в режимах експлуа-

тації та в паливній базі в цих котлах почалися термічні розриви стінових екранних труб, переважно в зоні висотою кілька метрів над перетиском напіввідкритої топки (рис. 8). Кожний такий розрив — це аварійний зупин блоку на кілька днів, значні фінансові витрати на ремонт і повторний розпал. У перші 20 днів березня 2022 р. міжаварійний проміжок на станції скоротився до 2 діб, що було неприпустимо.

Наші співробітники провели аналіз ситуації, виконали випробування і показали, що причиною пошкоджень було не саме по собі переведення котлів на спалювання газового вугілля, а сукупність чинників, пов'язаних зі змінами режиму роботи котлів, особливостями топкових, теплогідрравлічних процесів та властивостями непроектного палива. Після встановлення факторів, що призводили до збільшення теплового потоку і зменшення тепловіддачі в трубах, було розроблено і впроваджено відповідні рекомендації щодо усунення зазначених проблем, що дозволило істотно зменшити аварійність котлів Трипільської ТЕС [29].

З початком російської агресії припинився імпорт кузнецького антрациту і пісного вугілля, що, зокрема, поставило важливу для теплозабезпечення Києва Дарницьку ТЕЦ (ТОВ «Євро-Реконструкція») в ситуацію повної відсутності проектного палива. Для Дарницької ТЕЦ наші фахівці розробили технічні рішення з реконструкції трьох антрацитових котлів для переведення їх на газове вугілля. Основна проблема переведення на газове вугілля — це безпечне пилоприготування, яке зазвичай забезпечують сушінням і транспортом пилу димовими газами, однак для цього потрібно було б замінити пальники та встановити значну кількість додаткового обладнання. Виконати такий комплекс робіт у стислі терміни було нереально, тому довелося шукати нестандартні підходи — залишили сушку і транспорт гарячим повітрям, але зі зниженням його температури до безпечної межі (рис. 9). При цьому технологію пилоподібного спалювання з рідким шлаковидаленням, котли та пальникові пристрої не потрібно було змінювати, що дозволило ввести в експлуатацію реконструйовані котли вже

у вересні-листопаді [30]. Водночас утворився резерв теплового балансу в топці, який дає змогу розширити діапазон регулювання навантаження, ефективно спалювати вугілля зі зниженою калорійністю або зарубіжне вугілля з тугоплавкою золою. Цей результат було повністю підтверджено під час пусконаладжувальних робіт.

Вторгнення РФ в Україну мало далекосяжні наслідки для глобальної енергетичної системи. Криза спричинила підвищення попиту на нафту та вугілля, оскільки споживачі почали шукати альтернативу дорогому газу, що, звісно, внесло корективи до планів розвитку безвуглецевої енергетики. В цих умовах довелося відкривати раніше законсервовані вугільні електростанції для подолання дефіциту енергії.

Міжнародне енергетичне агентство у своєму довгостроковому аналізі до 2050 р. наразі передбачає такі три сценарії:

1) сценарій чистих нульових викидів — обмеження підвищення середньої температури на планеті до $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у 2100 р. завдяки зменшенню викидів CO_2 до нуля у 2050 р. Для його реалізації потрібно потроїти витрати на чисту енергетику та значно збільшити інвестиції в ринки країн, що розвиваються, що видається нереалістичним;

2) сценарій оголошених обіцянок, який передбачає, що всі цілі, декларовані урядами країн, будуть досягнуті вчасно та в повному обсязі. За цим сценарієм прагнення виконати кліматичні зобов'язання приведе до зниження попиту на все викопне паливо до 2030 р., що також не є гарантованим;

3) сценарій заявленої політики, який враховує сучасні реалії та диференціацію планів кожної країни (Китай, зростаючі ринки, економіки, що розвиваються, в тому числі й Україна) щодо частки викопних палив у її паливно-енергетичному балансі. Експерти вважають цей сценарій найбільш вірогідним. При цьому попит на вугілля досягне піку в наступні кілька років, на природний газ — до кінця десятиріччя, на нафту — в середині 2030-х років. В середині століття використання вугілля у світі знизиться лише до 68 % від рівня 2021 р., а в

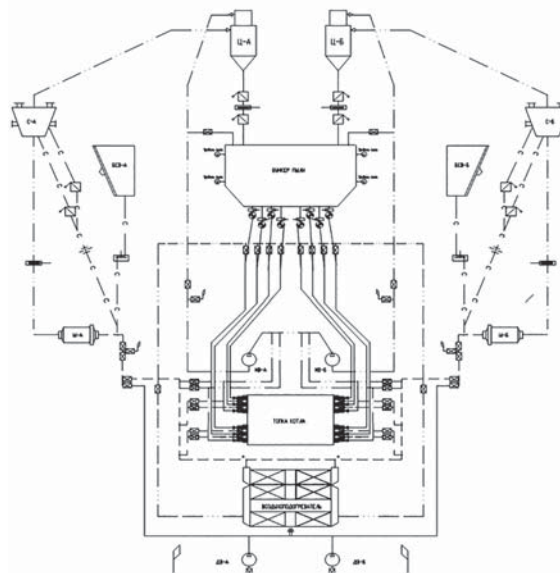


Рис. 9. Технологічна схема переведення пилосистем антрацитових котлів Дарницької ТЕЦ на газове вугілля

країнах, що розвиваються, навіть збільшаться (рис. 10).

Спільним для всіх сценаріїв є зростання частки електроенергії в глобальному кінцевому споживанні, що потребує забезпечення гнучкої роботи енергосистем, у тому числі збільшення регулювальних потужностей, які зараз забезпечуються завдяки роботі теплових електростанцій.

Із зазначеного вище випливає, що в Україні, як і у світі загалом, ще як мінімум 10–20 років, крім АЕС, паралельно існуватимуть дві системи виробництва енергії — з відновлюваних джерел та з викопних палив, зокрема й для забезпечення регулювання потужності. Тому в дослідженнях на перспективу наш Інститут приділяє увагу як енерготехнологіям на альтернативних паливах, так і створенню високо-ефективного екологічно чистого маневреного генеруючого обладнання на вугіллі. Зокрема, ми відпрацювали технічні рішення з проектування нових високо-ефективних енергоблоків з ультранадкритичними параметрами пари на основі котлоагрегата з твердим шлаковидаленням, з прямим вдуванням пилу до пальників, який забезпечує питому витрату палива на від-

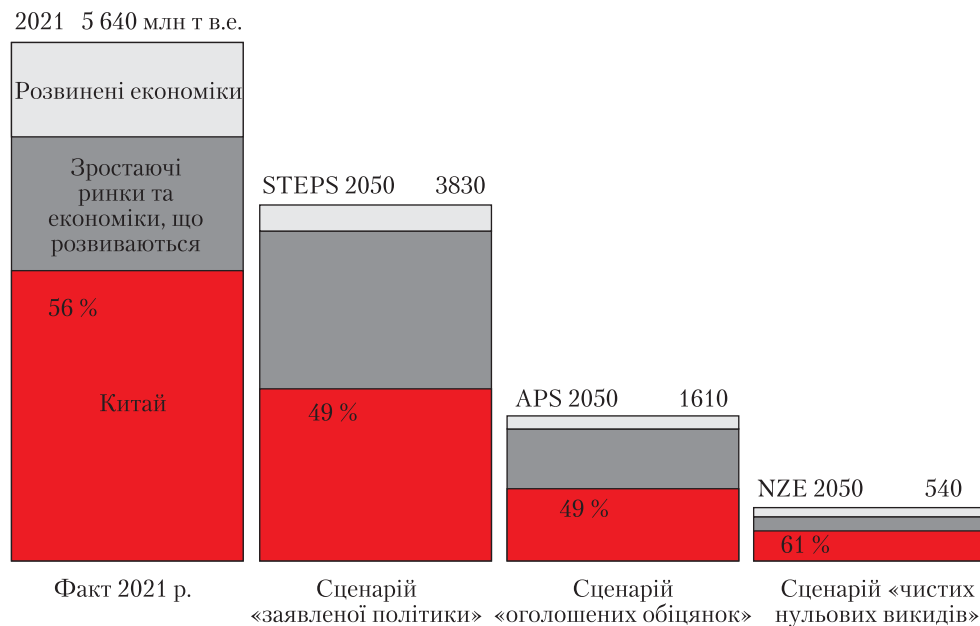


Рис. 10. Сценарії майбутнього використання вугілля (WEO-2022)

пуск електроенергії менше 300 г у.п./кВт·год з істотним зменшенням емісії оксидів азоту [31].

Ми всі добре розуміємо необхідність оновлення енергетичної галузі, але це потребуватиме тривалого часу і значних інвестицій, що приведе до значного здорожчання електроенергії. Академічна наука має не лише дбати про далеке майбутнє, а й сприяти тому, щоб подовження ресурсу і ефективне використання наявних потужностей забезпечило прийнятний рівень життя сьогодні та в перехідний період. Отже, вирішення невідкладних завдань у тепловій енергетиці воєнного часу, що потребує концентрації раніше накопичених фундаментальних знань, пошуку оригінальних рішень, може забезпечити стійкість енергосистеми і, зрештою, наблизити нашу перемогу. Серед цих завдань [32]:

- розроблення та науковий супровід впровадження технічних рішень з маловитратної модернізації генеруючого обладнання для зменшення питомих витрат палива і збільшення надійності відпуску теплової та електричної енергії;

- удосконалення та науковий супровід впровадження технічних рішень з переведення

антрацитових котлоагрегатів ТЕС і ТЕЦ, що залишилися, на газове вугілля;

- науковий супровід застосування імпортованого вугілля з показниками, що відрізняються від проектних, для забезпечення безаварійної експлуатації ТЕС;

- науковий супровід та обґрунтування оптимальних варіантів експлуатації частково зруйнованих ТЕС і ТЕЦ в неповному складі обладнання;

- розроблення та науковий супровід впровадження технічних рішень з переведення антрацитових та газомазутних котлів промислових ТЕЦ і котельень на спалювання біомаси, торфу та інших видів місцевого палива;

- організація науково-технічної експертизи проєктів відбудови та модернізації зруйнованих об'єктів тепло- та електропостачання для оптимального забезпечення місцевих потреб.

Щодо перспектив використання в Україні енергетичного вугілля з урахуванням результатів робіт, проведених в Інституті теплоенергетичних технологій НАН України, можна зробити такі висновки.

1. Вугілля є вітчизняним енергоносієм, запасів якого вистачить на багато десятиліть.

2. Розроблені технічні рішення мають значні перспективи подальшого впровадження при переведенні на газове вугілля антрацитових енергоблоків 300 МВт Зміївської, Трипільської, Придніпровської ТЕС, антрацитових котлів Дарницької, Чернігівської, Краматорської ТЕЦ.

3. Після реінтеграції Донбасу та відновлення поставок донецького антрациту для збалансування попиту на нього з боку ТЕС і ТЕЦ його використання вбачається найбільш доцільним саме у складі сумішей з газовим вугіллям.

4. Результати фундаментальних досліджень закладають наукові основи для ефективного розвитку твердопаливної енергетики в Україні, регульовальна функція якої буде затребувана протягом десятиріч паралельно з розвитком безвуглецевої енергетики.

5. Для забезпечення регулювання енергоспоживання в енергосистемі та економічної

ефективності ТЕС їх частка у виробленні електроенергії не повинна бути меншою за 30 %.

6. На час відновлення економіки після перемоги слід орієнтуватися на вибране наявне генеруюче обладнання ТЕС і ТЕЦ з продовженням переведення котлоагрегатів на газове вугілля, відновленням їх технічного стану та впровадженням заходів зі зменшення викидів пилу, оксидів азоту і сірки.

Автор висловлює велику подяку і відзначає ключову роль у виконанні робіт з переведення котлів українських ТЕС та ТЕЦ з антрациту на газове вугілля та у вирішенні проблем спалювання непроєктних палив, зокрема імпортованих, співробітників лабораторії паливних проблем енергетики Інституту теплоенергетичних технологій НАН України та особливо її керівника — лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки доктора технічних наук М.В. Чернявського.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Chernyavskyy M. CO₂ emissions from coal-burning thermal power plants of Ukraine since 1990 and the main factors for their calculation. *International Journal of Energy for a Clean Environment*. 2023. **24**(1): 97–113. <https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022044286>
2. Maystrenko A.Yu. Kinetics of interaction of steam coal cokes with CO₂ and O₂ reagent gases in a pressurized fluidized bed. *Ekotekhnologii i resursosberezheniye*. 1997. (3): 3–10.
[Майстренко А.Ю. Кинетика взаимодействия коксов энергетических углей с газами-реагентами CO₂ и O₂ в кипящем слое под давлением. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 1997. № 3. С. 3–10.]
3. Chernyavskiy N. The main natural laws of high-rate coal pyrolysis. *Thermal Science*. 2003. **7**(2): 7–87.
4. Korchevoi Yu.P., Maistrenko A.Yu., Topal A.I. *Ekologicheski chistyeye ugol'nyye energotekhnologii (Environmentally friendly coal energy technologies)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2004.
[Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Топал А.И. *Экологически чистые угольные энерготехнологии*. Киев: Наукова думка, 2004.]
5. Chernyavskyy M., Maistrenko A., Golenko I. The nature of burnout of cokes of power-generating coals of various ash content in a fluidized bed. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2009. (3): 4–10.
[Чернявский Н.В., Майстренко А.Ю., Голенко И.Л. Характер выгорания коксов энергетических углей различной зольности в кипящем слое. *Энерготехнологии та ресурсозбереження*. 2009. № 3. С. 4–10.]
6. Maistrenko O.Yu., Korchevoi Y.P., Topal O.I., Chernyavskiy M.V., Volchyn I.A., Dunaevska N.I., Dudnyk O.M. *Suchasni rozrobky Instytutu vuhilnykh enerhotekhnologii NAN Ukrainy dlia teplovoi enerhetyky (Modern developments of the Institute of Coal Energy Technologies of the NAS of Ukraine for thermal energy)*. Kyiv, 2014.
[Майстренко О.Ю., Корчевой Ю.П., Топал О.И., Чернявський М.В., Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Дудник О.М. *Сучасні розробки Інституту вугільних енерготехнологій НАН України для теплової енергетики*. Київ: Гнозіс, 2014.]
7. Beztsennyj I.Y., Dunayevska N.I., Cherniavsky N.V. Determination of the kinetic characteristics of the interaction of anthracite, lean coal and gas coal chars with oxygen and combustion characteristics of their blends. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2015. (5-6): 10–16.

- [Безценний І.В., Дунаєвська Н.І., Чернявський М.В. Визначення кінетичних характеристик взаємодії коксів вугілля марок АШ, П та Г з киснем повітря та особливості горіння їх сумішей. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2015. № 5-6. С. 10–16.]
8. Bestsenyi I.V., Bondzyk D.L., Shchudlo T.S., Dunayevska N.I. Obtaining kinetic characteristics of combustion of the coke from solid biofuels. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. (6): 15–20. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/015>
 9. Chernyavskyy M.V., Dunayevska N.I., Provalov O.Yu., Miroshnychenko Ye.S. Scientific basis and technologies of anthracite replacement at thermal power plants. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. (3): 33–40. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/033>
 10. Chernyavskiy M., Rokhman B., Provalov O., Kosyachkov O. Experience of imported coal burning in the boilers of thermal power plants and cogeneration plants. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2015. (4): 15–23. [Чернявський Н.В., Рохман Б.Б., Провалов А.Ю., Косячков А.В. Опыт сжигания импортных углей в котлоагрегатах ТЭС и ТЭЦ. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2015. № 4. С. 15–23.]
 11. Chernyavskiy M., Provalov O., Beztcennyj I., Moyiseenko O. Development of methods and practical experience in the preparation and pulverized combustion of anthracite and bituminous coal mixture at Zmiev TPP. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2016. (4): 3–13. [Чернявський М.В., Провалов О.Ю., Безценний І.В., Моїсеєнко О.В. Розробка методів, досвід приготування суміші антрациту з газовим вугіллям та її пилловодного спалювання на Зміївській ТЕС. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2016. № 4. С. 3–12.]
 12. Chernyavsky N., Provalov O., Kosyachkov O., Bestsenyui I. Scientific bases, experience of production and combustion of coal mixtures at thermal power plants of Ukraine. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2021. 8(1): 23–31. http://www.procedia-esem.eu/pdf/issues/2021/no1/4_01.04_Chernyavskiy_21.pdf
 13. Chernyavskii N.V., Miroshnichenko E.S., Provalov A.Y. Experience in Converting TPP-210A Boilers with 300 MW Power Units to Burning Gas Coal at the Tripillya Thermal Power Plant. *Power Technol. Eng*. 2021. 54(5): 699–706. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01273-0>
 14. Chernyavsky M., Provalov O. Scientific bases and technical solutions for the conversion of Slavyansk TPP to gas coal. In: *Coal thermal power: ways of reconstruction and development*: Proc. XV Int. Sci. Conf. Kyiv, 2019. [Чернявський М.В., Провалов О.Ю. Наукові основи та технічні рішення для переведення Слов'янської ТЕС на газове вугілля. В кн.: *Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку*: матер. XV Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ІВЕ НАН України, 2019. С. 106–110.]
 15. Chernyavsky M., Dunaievskaya N., Provalov O., Babenko I., Kravets P., Moyiseenko O., Miroshnychenko Ye., Maistrenko O. Scientific bases and technologies of anthracite replacement at thermal power plants. <https://bit.ly/3yAF8pK> [Чернявський М.В., Дунаєвська Н.І., Провалов О.Ю., Бабенко І.А., Кравець П.П., Моїсеєнко О.В., Мірошніченко Є.С., Майстренко О.Ю. Наукові основи інноваційних технологій заміщення антрациту в тепловій енергетиці та їх впровадження. (Робота, відзначена Державною премією України в галузі науки і техніки за 2019 рік.)]
 16. Dunaievskaya N., Chernyavskiy M., Shchudlo T. Co-combustion of solid biomass in pulverized anthracite-coal firing boilers. *Ukrainian Food Journal*. 2016. 5(4): 748–764. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2016-5-4-14>
 17. Dunayevska N.I., Bondzyk D.L., Nekhamin M.M., Miroshnichenko Ye.S., Bestsenyi I.V., Yevtukhov V.Ya., Shudlo T.S. Technology of Anthracite and Solid Biofuels Co-Firing in Pulverized Coal Boilers of TPP and CHP. *Science and Innovation*. 2020. 16(5): 86–96. <https://doi.org/10.15407/scine16.05.079>
 18. Nekhamin M., Beztcennyi I., Dunayevska N., Vyfatnyuk V. On using the ANSYS FLUENT software for calculating the process of burning a mixture of particles from different types of solid fuels. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 4(8): 48–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209762>
 19. Vorobyov N., Baranyuk A., Dunayevska N. CFD Modeling of Water Heating Boiler Operation with Different Types of Fuel Pellets. *Int. J. Energy Clean Environ*. 2023. 24(1): 115–127. <https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043888>
 20. Chernyavskiy M., Miroshnychenko Y., Provalov O. Conversion of low and medium power boilers for combustion of solid fuel biomass. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2021. (1): 71–80. <https://doi.org/10.33070/etars.1.2021.08> [Чернявський М.В., Мірошніченко Є.С., Провалов О.Ю. Переведення котлів малої та середньої потужності зі щільним шаром на спалювання твердої паливної біомаси. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2021. № 1. С. 71–80.]
 21. Vyfatnyuk V.G. Development and implementation of technology for the production of fuel pellets from hydrolyzed lignin. In: *Coal thermal power: ways of reconstruction and development*: Proc. XVII Int. Sci. Conf. Kyiv, 2021.

- [Вифатнюк В.Г. Розробка та реалізація технології виробництва паливних гранул з гідролізного лігніну. В кн.: *Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку*: матер XVII Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ІТЕТ НАН України, 2021. С. 140–147.]
22. Dudnyk O.M., Sokolovska I.S. The development of the processes of conversion of solid organic waste into hydrogen-rich synthesis gas for renewable hydrogen energy and fuel cell power plants. In: *Fundamentalni aspekty vidnovliuvano-vodnevoi enerhetyky i palyvno-komirchanykh tekhnolohii (Fundamental aspects of renewable hydrogen energy and fuel cell technologies)*. Kyiv, 2018. P. 46–56. http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen/Book_printVer.pdf
[Дудник О.М., Соколовська І.С. Розроблення процесів конверсії твердих органічних відходів в збагачений воднем синтез-газ для відновлювано-водневої енергетики та паливно-комірчаних енергетичних установок. В кн.: *Фундаментальні аспекти відновлювано-водневої енергетики і паливно-комірчаних технологій*. Київ, 2018. С. 46–56.]
 23. Dudnyk O.M., Sokolovska I.S. Conversion of Ukrainian low grade solid fuels with CO₂ capture. In: Proc. 27th Annual International Pittsburgh Coal Conference 2010 (PCC 2010). P. 1012–1033.
 24. Volchyn I.A., Kolomiets A.M. Use of ammonia semidry technology for flue gas desulfurization in coal power plants. *Science and Innovation*. 2017. **13**(4): 19–26. <https://doi.org/10.15407/scine13.04.19>
 25. Volchyn I., Haronych L., Zhoran I. Selection of the technology of desulfurization of flue gases for Ukrainian coal-burning thermal power plants. *Scientific Works of NUFT*. 2018. **24**(4): 154–168. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-4-18>
[Вольчин І.А., Гапонич Л.С., Згоран І.П. Вибір технології десульфуризації димових газів для українських вугільних теплових електростанцій. *Наукові праці НУХТ*. 2018. Т. 24, № 4. С. 154–168.]
 26. Haronych L., Golenko I., Topal A. Legislation, current situation and prospects of using municipal solid waste as energy resource in Ukraine. *The Problems of General Energy*. 2019. (3): 45–54. <https://doi.org/10.15407/page2019.03.045>
[Гапонич Л.С., Голенко І.Л., Топал О.І. Нормативне регулювання, сучасний стан поводження та перспективи енергетичного використання твердих побутових відходів в Україні. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. № 3. С. 45–54.]
 27. Topal A., Holenko I., Haronych L. Selection of thermal treatment technologies to utilize municipal solid wastes and alternative fuels for the energy sector of Ukraine. *Scientific Works of NUFT*. 2020. **26**(6): 115–123.
[Топал О.І., Голенко І.Л., Гапонич Л.С. Вибір технологій термічної утилізації твердих побутових відходів та альтернативних палив для енергетичного сектору України. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26, № 6. С. 115–123.]
 28. Cherniavskiy M. State and prospects of thermal power generation in the conditions of Ukraine's course on carbon-free energy. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2021. (4): 4–16. <https://doi.org/10.33070/etars.4.2021.01>
[Чернявський М.В. Стан та перспективи теплової генерації в умовах курсу України на безвуглецеву енергетику. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2021. № 4. С. 4–16.]
 29. Chernyavskiy M.V., Provalov O.Yu., Kosyachkov O.V. Scientific and technical support for ensuring the operation of the Trypil'ska TPP using non-design fuels under martial law conditions. In: *Coal thermal power: ways of reconstruction and development*: Proc. XVIII Int. Sci. Conf. Kyiv, 2022. <https://doi.org/10.48126/conf2022>
[Чернявський М.В., Провалов О.Ю., Косячков О.В. Науково-технічний супровід забезпечення роботи Трипільської ТЕС з використанням непроєктних палив в умовах воєнного стану. В кн.: *Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку*: матер XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ІТЕТ НАН України, 2022. С. 48–54.]
 30. Chernyavskiy M.V., Miroshnychenko E.S., Provalov O.Yu. Technical solutions for the low-cost conversion of anthracite boiler units TP-15, TP-47 of the LLC «Yevro-Rekonstruktsiya» CHPP to bituminous coal burning. In: *Coal thermal power: ways of reconstruction and development*: Proc. XVIII Int. Sci. Conf. Kyiv, 2022. <https://doi.org/10.48126/conf2022>
[Чернявський М.В., Мірошніченко Є.С., Провалов О.Ю. Технічні рішення з маловитратного переведення антрацитових котлоагрегатів ТП-15, ТП-47 ТЕЦ ТОВ «Євро-Реконструкція» на спалювання газового вугілля. В кн.: *Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку*: матер XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ІТЕТ НАН України, 2022. С. 55–59.]
 31. Rokhman B., Dunaevska N., Vifatnyuk V. Development of conceptual technical solutions and methods of their implementation during the design of a dust coal steam generator of super-super critical parameters of steam 28 МРА/600°C/600°C for 300 MW energy unit. Part 1. *Energy Technologies & Resource Saving*. 2020. (4): 4–19. <https://doi.org/10.33070/etars.4.2020.01>
[Рохман Б.Б., Дунаєвська Н.І., Вифатнюк В.Г. Розробка концептуальних технічних рішень та способів їх реалізації при конструюванні пиловугільного парогенератора супернадкритичних параметрів пари 28

- МПа/600°С/600°С для енергоблока 300 МВт. Частина 1. Математичний опис робочого процесу, результати розрахунків та компоновки котла. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2020. № 6. С. 4–19.]
32. Dunaevska N.I., Bezzenyi I.V., Chernyavskiy M.V., Miroshnychenko E.S. Possibilities of using solid fuel in Ukraine in wartime conditions. In: *Coal thermal power: ways of reconstruction and development*: Proc. XVIII Int. Sci. Conf. Kyiv, 2022. <https://doi.org/10.48126/conf2022>
[Дунаєвська Н.І., Безценний І.В., Чернявський М.В., Мірошніченко Є.С. Можливості використання твердого палива в Україні в умовах воєнного часу. В кн.: *Вугільна теплоенергетика: шляхи реконструкції та розвитку*: матер. XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ІТЕТ НАН України, 2022. С. 226–231.]

Nataliya I. Dunayevska

Institute of Thermal Energy Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3271-8204>

PROBLEMS AND TECHNOLOGIES OF THERMAL PROCESSING OF FUELS IN ENERGY INSTALLATIONS OF THERMAL POWER PLANTS

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine,
February 22, 2023

The report presents the results of scientific and technical support for ensuring an uninterrupted operation of coal-fired power plants using non-design fuels. These works have been carried out by the Institute of Thermal Energy Technologies of the NAS of Ukraine since 2014. It is shown that solid fuel power generation is today a critically important factor of stable heat and power supply thanks to the possibility of using both local and available on the world market gas coal, as well as fuel biomass, which makes it possible to ensure distributed electricity generation that is less vulnerable in martial law conditions and to satisfy a significant part of heating needs. It is substantiated that in Ukraine, as well as in the world in general, for at least another 10-20 years, along with nuclear power plants, two systems of energy production will function in parallel – based, respectively, on renewable sources and fossil fuels, which, in particular, is due to the need to regulate power levels in power system and ensure an uninterrupted power supply during the transition period.

Keywords: thermal power plants, combined heat and power plants, boiler unit, anthracite, gas coal, fuel biomass.

Cite this article: Dunayevska N.I. Problems and technologies of thermal processing of fuels in energy installations of thermal power plants. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (4): 72–84. <https://doi.org/10.15407/visn2023.04.072>