

Г.Б. Варламов, д-р. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002- 4818-2603

А.О. Капустянський, асп., ORCID 0000-0002-2771-2505

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК НЕПРОЕКТНОГО ТВЕРДОГО ПАЛИВА НА ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ КОТЕЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

*На основі прикладного аналізу досліджено вплив якості непроектного твердого палива та режимних факторів на процес його спалювання у топці з оцінкою показників енерго-екологічної ефективності експлуатації котла. Проаналізовано можливість використання в короткостроковій перспективі непроектного вугілля шляхом його факельного спалювання в енергетичних котлах теплових електростанцій. Розроблено універсальну методичку аналітичних розрахунків для визначення рівня енергетичної ефективності спалювання вугільного палива зі складанням відповідних схем та номограм для спрощених оперативних розрахунків персоналом електростанцій. Доведено, що підвищення зольності та вологості вугілля створюють проблеми в роботі системи подачі і приготування палива та збільшують механічний недопал при факельному спалюванні вугільного пилу. Виявлено проблеми, що виникають при спалюванні такого непроектного твердого палива та запропоновано шляхи підвищення рівня енерго-екологічної ефективності роботи котлів, визначено основні задачі для збереження функціональності вугільної галузі. Отримані результати оцінюють можливість спалювання непроектного вугілля на існуючих котлах теплових електростанцій шляхом дотримання нових режимних алгоритмів та проведенням маловитратних реконструкцій.*

**Ключові слова:** котел, непроектне вугілля, якість вугілля, факельне спалювання, електростанція.

### Вступ.

Змушене з об'єктивних причин використання у «великій» енергетиці непроектного твердого палива (НТП) із застосуванням традиційних способів підготовки та факельного спалювання супроводжується значними труднощами, пов'язаними із непристосованістю устаткування для ефективної роботи при високих показниках зольності та вологості.

В реальних умовах експлуатації при спалюванні вугілля погіршеної якості сильно ускладнюється робота пилоприготувального устаткування [1], топки котла, пальників та конвективних поверхонь нагріву [2-4]. Надійність роботи котла та допоміжного устаткування при цьому різко знижується, а затрати на ремонт зростають [5-7]. Крім того, експлуатація котельного устаткування в умовах спалювання НТП супроводжується збільшенням присмоктів повітря і, як наслідок, зростанням тепловтрат з відхідними газами ( $q_2$ ). Зростання втрати тепла з механічним недопалом ( $q_4$ ) може сягати 15% замість проектних 2-5%, суттєво знижуючи ККД бруто котельної установки [8, 9].

### Мета та завдання роботи

Метою роботи є визначення впливу якості твердого палива на надійність та ефективність роботи теплових електростанцій (ТЕС) та теплоелектроцентралей (ТЕЦ), розроблення методів оцінювання впливу якості палива на роботу котельного устаткування та способів забезпечення його оптимальної роботи.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувались такі задачі:

- аналіз технічного стану, проблем та перспектив розвитку ТЕС і ТЕЦ;
- аналіз змін якості палива, що постачається на електростанції та характер впливу його якості на умови та надійність експлуатації котельного обладнання;
- комплексний аналіз впливу характеристик палива на надійність та ефективність роботи котлів.

### Виклад основного матеріалу

В результаті тривалого виробітку шахт та значного виснаження якісних пластів вугільних басейнів внаслідок переходу на механізоване вуглевидобування якісні характеристики палива більшості вугільних басейнів України погіршилися. Загальне зниження якісних характеристик вугілля спричинене комплексним процесом, обумовленим зростанням його баласту [10]. Як правило, на ТЕС та ТЕЦ використовують марки вугілля А (антрацит), П (пісне) та частково Г (газове), Д (довгополум'яне), решта вугілля надходить на процес коксування.

За своїми реакційними властивостями А та П належать до категорій найбільш інертних твердих

видів палива, а відповідно до числа важких для спалювання у зв'язку зі слабким розвитком пористої структури і малим вмістом легких речовин, низькою реакційною здатністю і необхідністю тонкого помелу, низькою розмельною здатністю і великою абразивністю, високою температурою займання [11].

Труднощі, що виникають впродовж багатьох років при спалюванні вищевказаного вугілля ускладнюються погіршенням його характеристик. Тенденцію погіршення теплотехнічних характеристик твердого палива (теплота згоряння  $Q_i^p$ , зольність  $A$ , вологовміст  $W$ ), що надходить на ТЕС та ТЕЦ України в порівнянні з його проектними показниками можна спостерігати на рис. 1.

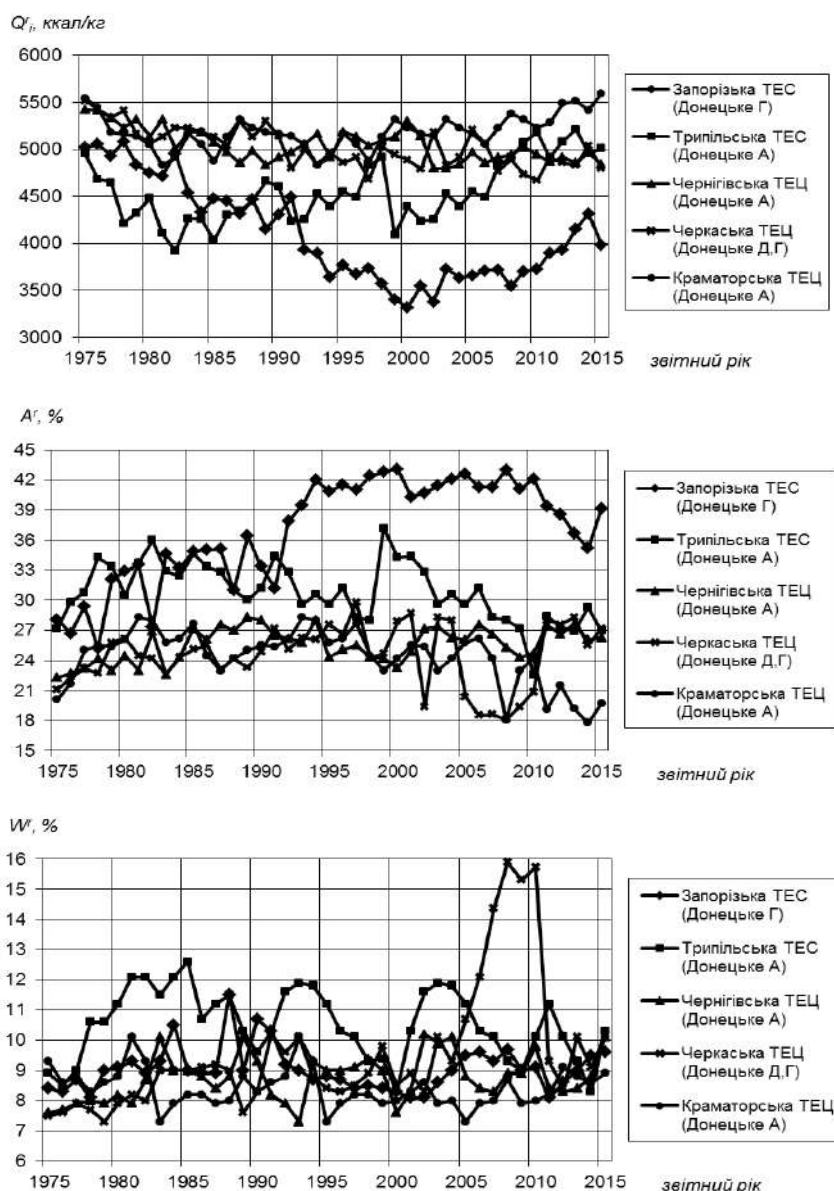


Рисунок 1 – Показники якості вугілля ( $Q_i^p$ ,  $A$ ,  $W$ ), що спалювалось на ТЕС та ТЕЦ

Очевидним є той факт, що середня нижча теплота згоряння вугілля, що спалювалось на ТЕС та ТЕЦ у 1975 році, коливалась в межах 5200-5400  $kcal/kg$ , в той час як у 2015 році вона становила 4700-4900  $kcal/kg$ . Погіршення якості відбувалось за рахунок збільшення середніх значень вологості з 8-9% у 1975 році до 10-11% у 2015 році та зольності - з 23-25% у 1975 році до 26-28% у 2015 році (див. рис.1). Аналіз статистичних даних, зображених графіками на рисунку 1, констатує суттєве погіршення теплотехнічних показників якості твердого палива, що надходило на наведені на рисунку ТЕС та ТЕЦ протягом останніх 40 років.

В сучасних умовах ринкової економіки більшість українських ТЕС та ТЕЦ вимушені шукати нові джерела постачання вугілля з мінімальним відхиленням його якісного складу від проектного палива. Навіть незначні відхилення у теплових та компонентних характеристиках спалювання непроектного типу

палива (НТП) можуть призвести до значних ускладнень у процесі експлуатації котла та надійності його роботи. Схема взаємозв'язків технологічних процесів пилеприготування, пилеподачі, спалювання та видалення продуктів спалювання з котла зі зміною концентрацій та кількості компонентів у димових газах у обладнанні твердопаливних електростанцій схематично представлена на рис.2.

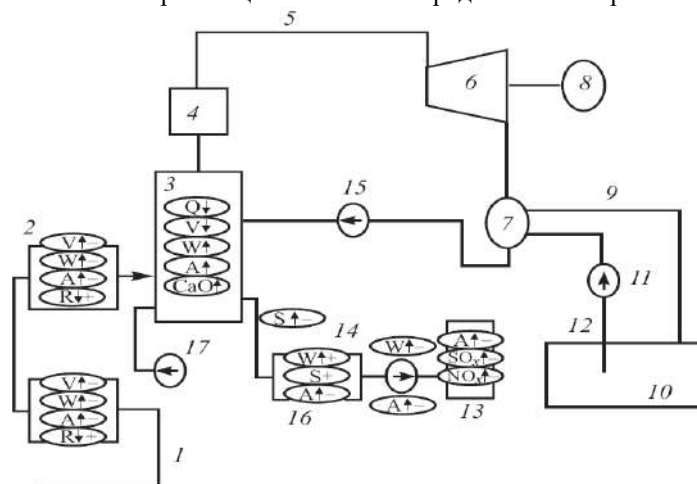


Рисунок 2 – Принципова схема взаємозв'язків компонентів палива з технологічними процесами котлів:

1 - паливоподача; 2 - пилоприготування; 3 – топка котла; 4 - пароперегрівник; 5 - паропровід; 6 - парова турбіна; 7 - конденсатор; 8 - електрогенератор; 9 – охолоджувальна зворотня вода; 10 - водосховище; 11 – циркуляційний насос; 12 – охолоджувальна пряма вода; 13 - димова труба; 14 - димосос; 15 - живильний насос; 16 - зололовник; 17 - дуттьовий вентилятор

Вплив складу компонентів та теплотехнічних характеристик твердого палива (наприклад, виходу легких речовин чи  $A^r$ ,  $W^r$ ,  $Q^r_i$ ) на роботу котла та його вузлів можна оцінити за існуючими методиками [12], проте охопити вплив усього їх переліку для нестабільних та невизначених за складом сумішей вугілля дуже складно.

Слід зазначити, що оптимальні показники роботи ТЕС здебільшого спостерігаються тільки при спалюванні палива у топці котла проектної якості. При спалюванні проектного (паспортного) виду вугілля, на яке був розрахований та побудований котел [13, 14], його енергетичні показники мають високо якісні показники (табл. 1). Суттєва відмінність спостерігається лише у втратах теплоти від механічного недопалу, яка знижується для палива з високим виходом легких (буре і кам'яне вугілля) ~0,5-1,0% і підвищується для такого малореакційного палива, як антрацит до ~6%.

Таблиця 1 - Розрахункові експлуатаційні характеристики котлів з рідким жухелевидаленням

№ п/п	Вугілля	Надлишок повітря у топці, $a_m$	Теплове напруження об'єму топки $q_v$ , $кВт/м^3$	Тонина помолу $R_{90}$ , %	Втрата теплоти від механічного недопалу $q_4$ , %	Частка виносу золи $a_{вин}$
1	Відкриті топки					
1.1	Антрацит	1,20÷1,25	145	6÷7	6	0,9
1.2	Пісене	1,20÷1,25	185	8÷10	4	0,85
1.3	Кам'яне	1,15÷1,20	185	20÷25	0,5	0,8
1.4	Буре	1,15÷1,20	210	40÷50	0,3	0,8
2	Напіввідкриті топки					
2.1	Антрацит	1,20÷1,25	170	6÷7	5	0,9
2.2	Пісене	1,20÷1,25	200	8÷10	4	0,85
2.3	Кам'яне	1,15÷1,20	200	20÷25	0,5	0,8
2.4	Буре	1,15÷1,20	230	40÷50	0,3	0,7

Примітки:

- в діапазоні 100÷70% паропроодуктивності котла  $q_4$  приймають згідно таблиці 1;
- значення  $q_4$  для антрацитового штибу (АШ) і пісного вугілля (П) дані для нормативного палива;
- при зниженні паропроодуктивності на 50% від номіналу  $q_4$  збільшуються в 1,5 рази;
- при спалюванні суміші вугільного пилу з газом (мазутом):  
частка газу чи мазуту 0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5;

частка нормативних втрат  $q_4$  1 1,4 1,6 1,4 1,1 0,3.

Значення  $q_4$  збільшується при зниженні продуктивності котлоагрегату.

Відхилення компонентного та хімічного складу вугільного палива від проектного може негативно впливати як на роботу котельного обладнання, так і на роботу енергетичного блоку електростанції.

Доцільно розглянути вірогідність негативного впливу на котельне обладнання зміни концентрації різних компонентів у складі вугільного палива, яке відрізняється від проектного.

#### Дослідження впливу вологовмісту у вугільному паливі на роботу котельного обладнання

Для визначення впливу вологості на теплову цінність вугілля, наприклад, Донецького антрациту побудуємо відповідну номограму (рис. 3) на якій показано, як розділяється суха маса та волога в 1 кг вугілля. Робоча вологість палива згідно [14, 15] прийнята для АШ на рівні 8,5%.

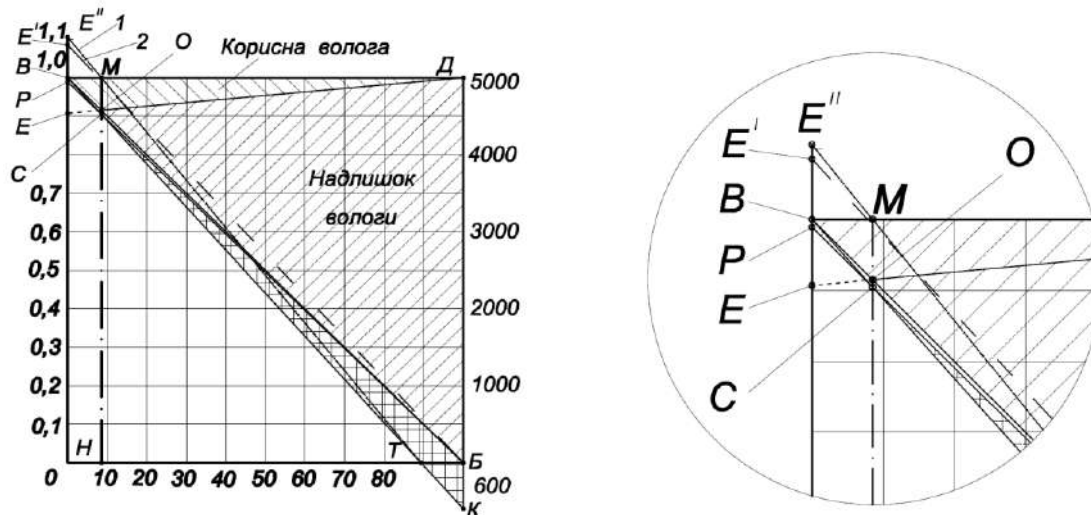


Рисунок 3 – Діаграма теплової цінності Донецького АШ підвищеної зольності в залежності від його вологості:

1 - еквівалент по калорійності; 2 - еквівалент по сухій масі від його вологості

На рис. 3 точка  $H$  відповідає розрахунковій волозі 8,5%. Відрізок  $OM$  становить масу вологи 0,085 кг, а відрізок  $OH$  – 0,915 кг сухої маси. Лінія  $ED$  становить необхідну частину вологи (додаток до сухої маси) для дотримання співвідношення умовної вологості  $W_y$  (на одиницю сухої маси 0,085 вологи). Це співвідношення існує при будь-якій вологості АШ. Надлишок вологи характеризується відрізками, що формують трикутник  $DOB$ , а її недостача  $OH$  міститься в області  $BOE$ . Прямая  $E'MB$  відповідає постійному умовному співвідношенню вологи та сухої маси антрациту. Можна сказати, що це лінія масового еквіваленту АШ, яким можна користуватись для перерахунку натуральної маси в масу з умовною вологістю  $W_y$ . Такий перерахунок можна застосувати при обліку палива та плануванні його постачання. Лінія  $TM$  є лінією калорійного еквіваленту. Площа трикутника  $BVK$  становить витрату сухої маси та тепла на випаровування всієї робочої вологи АШ. Надлишку вологи, виділеному в області  $BD$ , відповідає втрата, розміщена в трикутнику  $KCB$ . Недостачі вологи в області  $BOE$  відповідає величина понижених втрат в трикутнику  $VCP$ . Лінія  $PB$  відповідає зміні теплоти згорання палива без врахування втрат на випаровування вологи.

На підставі проведених аналітичних та розрахункових досліджень визначено поправку: перерахунок вологості за масовою формулою при  $W_{\phi}=10\%$  становить  $\sim 10$  ккал/кг, при  $W_{\phi}=15\%$  становить  $\sim 43$  ккал/кг, а у відсотковому співвідношенні спостерігається тенденція до зменшення похибки разом з підвищенням  $Q'_f$ , що й відображено в таблиці 2.

Таблиця 2.- Поправка на перерахунок вологості АШ по масовій формулі

$Q'_f$ , ккал/кг	Похибка масової формули, % при вологості АШ		
	5%	10%	15%
4000	-0,547	+0,246	+1,066
5000	-0,459	+0,197	+0,852
6000	-0,383	+0,164	+0,710

Економічність роботи котлоагрегатів знижується з підвищенням вологості палива, оскільки понад приховану теплоту пароутворення вологи, враховану в робочій нижчій теплоті згорання вугілля, в топці

котла витрачається ще й тепло на нагрівання та випаровування водяної пари до температури відхідних газів. Водяна пара у топці займає певний об'єм, зменшуючи корисний об'єм димових газів, що передають теплоту до поверхонь нагріву топки, знижуючи температуру горіння, збільшуючи механічний недопал, що дестабілізує процес горіння палива при змінних концентраціях вологи в окремих партіях НТП.

Таким чином, зміна концентрації вологи у вугіллі здатна впливати на технологічний процес спалювання вугілля у топці котла та на показники його експлуатації.

На рис. 4 зображено можливий принциповий вплив підвищення вологості вугілля на деякі показники експлуатації котла та енергетичного блоку електростанції.

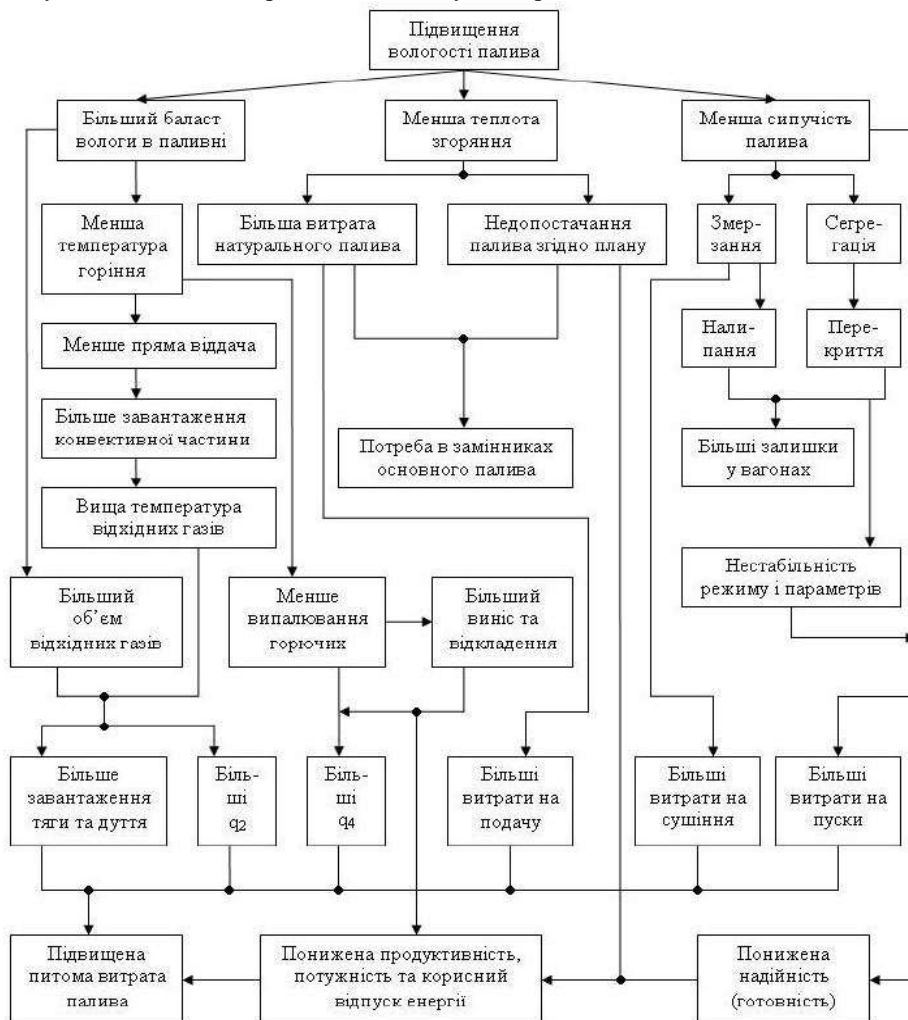


Рисунок 4 – Схема принципового впливу вологовмісту у вугіллі на деякі показники експлуатації котла

#### Дослідження впливу зольності вугілля на роботу котельного обладнання

Високозольне паливо може використовуватися на електростанціях при умові дотримання умов експлуатації котлоагрегатів та систем паливоподачі, що запроєктовані перед будівництвом котла, а саме: необхідно забезпечувати роботу запроєктованих засобів боротьби з жужелюванням; системи обдування, очищення та захисту від ерозійного зношення поверхонь нагріву газового тракту котла та димососів.

Діаграма теплоцінності палива (рис. 5) в залежності від його зольності створена по аналогії з діаграмою, що наведена на рис. 3.

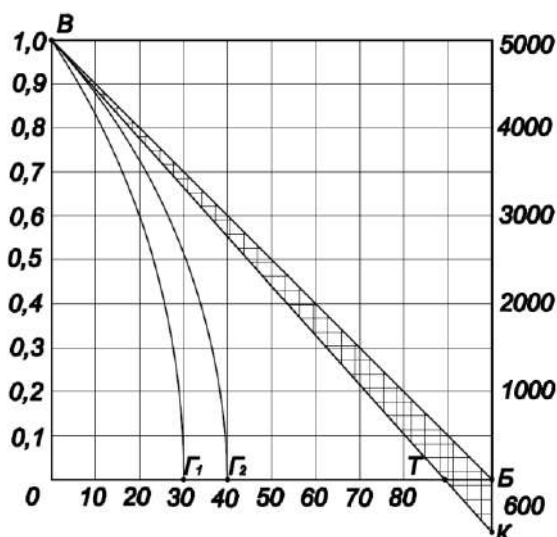


Рисунок 5 – Діаграма теплової цінності Донецького АШ в залежності від його зольності

Теплова цінність палива зменшується ще більше, ніж його робоча теплота згорання  $Q_i^r$  по лінії  $BG_2$ , оскільки з підвищенням зольності знижується економічність роботи котлів через сильне жужелювання, занесення золою та ерозію поверхонь нагріву. Тому гранична зольність ще більш обмежена точкою  $G_1$ . Для АШ зольність обмежується десятками відсотків (рис. 5, криві  $BG_1$  і  $BG_2$ ).

Відповідні дані аналітичних розрахунків для деяких видів палива наведені у табл. 3, де відносна зміна робочої теплоти згорання характеризує зміну витрати натурального палива на 1% золи.

При підвищенні зольності палива недопостачання його на 1% золи в сухій масі кам'яного вугілля становитиме близько 1,2% по вазі і в робочій масі до 1,3%, а бурого відповідно 1,5 і 1,8%.

Таблиця 3 - Оцінка впливу зольності на теплоту згорання палива

Назва величини	Марка вугілля		
	Донецький АШ	Донецьке П	Новомосковське Б
Теплота згорання горючої маси $Q_i^{daf}$ , ккал/кг.	7950	7700	6750
Вологість $W^r$ , %	6,5	8,0	19,0
Теплота згорання знезоленої маси $D$ , ккал/кг	7395	7040	5360
Зміна теплоти згорання на 1% золи, ккал/(кг·%):			
в сухій масі палива $B$	74,2	71,0	55,0
в робочій масі палива $B_1$	79,5	77,5	77,5
Робоча нижча теплота згорання $Q_i^r$ , ккал/кг	6000	5900	3700
Відносна зміна $Q_i^r$ на 1% золи, %:			
в сухій масі палива	1,24	1,20	1,48
в робочій масі палива	1,33	1,30	1,83

На рис. 6 побудована функціонально-причинна послідовність, на якій наочно показані наслідки для експлуатації електростанціями НТП з підвищеною зольністю, коли знижується надійність, продуктивність та економічність їх роботи з одночасним зменшенням маневреності та вірогідністю збільшення кількості аварійних ситуацій.

Таким чином, проведені дослідження впливу відхилень концентрації деяких складових вугілля від показників проектного (паспортного) палива здатні впливати не тільки на ефективність роботи котла, а й на експлуатаційні характеристики і показники енергетичного блоку, до складу якого входить даний котел.

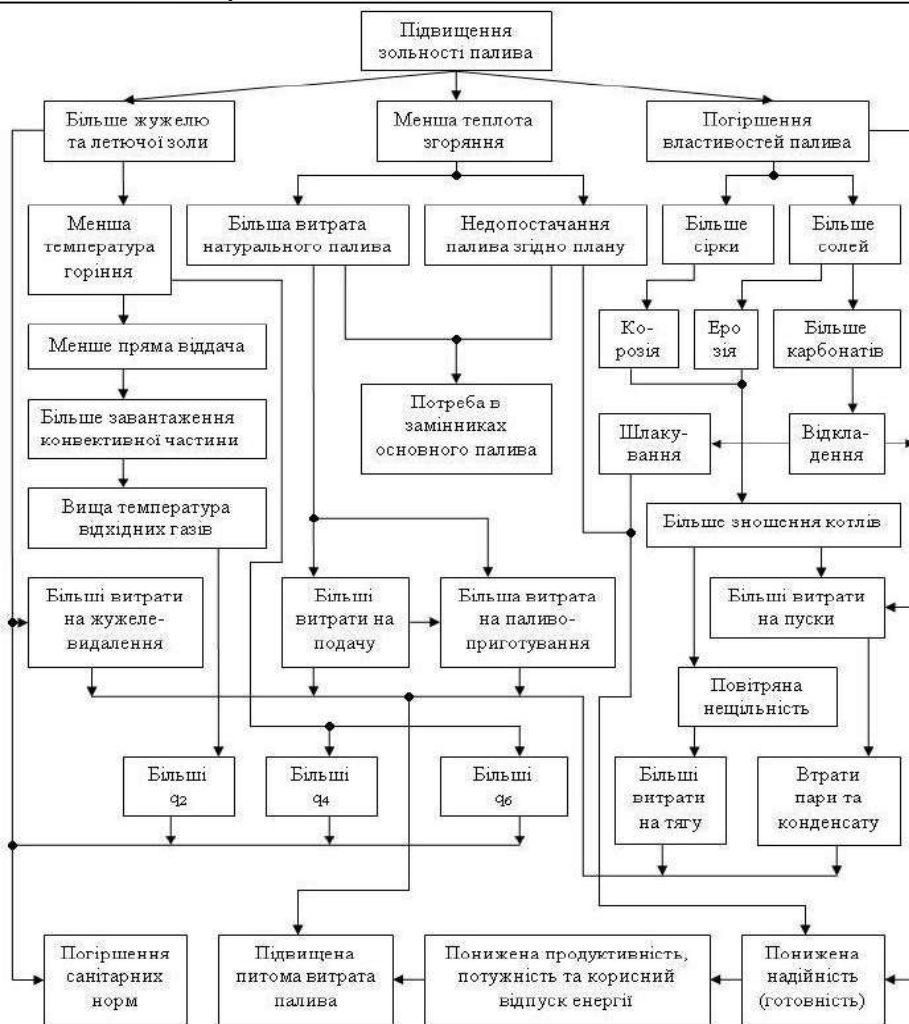


Рисунок 6 – Схема принципового впливу зольності вугілля на деякі показники експлуатації котла

### Висновки

1. Показано що в останні роки труднощі спалювання вугілля ускладнюються значним погіршенням його якості. За останні 40 років якість вугільного палива в порівнянні з його проектними показниками змінилась наступним чином: відбулось збільшення робочих значень вологості з 8-9% у 1975 році до 10-11% у 2015 році, та зольності з 23-25% у 1975 році до 26-28% у 2015 році, зниження калорійності вугілля склало 400-600 ккал/кг протягом 1975-2015 років. Одночасно з цим зниження ефективності експлуатації ТЕС та ТЕЦ також пов'язано зі зношенням обладнання та моральним старінням технологій пилувугільного спалювання.

2. Досліджений вплив якісного складу непроектного вугілля на роботу котельного устаткування доводить необхідність врахування комплексу особливостей експлуатації котла при певних відхиленнях якості палива від проектних значень, що поставляється на електростанцію.

3. Навіть незначні збільшення зольності, вологовмісту та зниження калорійності вугілля здатні негативно вплинути не тільки на техніко-економічні і екологічні показники, а й на показники надійності роботи.

4. На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір напрямку роботи, який полягає в дослідженні впливу технічного стану обладнання, впливу якості палива та режимних факторів на ефективність роботи енергоблоків ТЕС і котлів ТЕЦ, розробці нових методів та засобів надійного спалювання непроектного твердого палива у топках енергетичних котлів із дотриманням показників надійності та ефективності роботи обладнання.

### Список використаної літератури

1. Левит Г.Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях. – М.: Энергоатомиздат – 1991 – 384 с

2. Гольшев Л.В., Белоцерковский В.Л., Вайнштейн А.П. Мероприятия по обеспечению работы паровых котлов на углях ухудшенного качества // Теплоэнергетика – 1983 – №4 – С. 7–10
3. Котлер В.Р. Качество топлива и его влияние на профиль энергетических котлов США // Теплоэнергетика – 1984 – №5 – С. 67–72
4. Мадоян А.А. и др. Эффективное сжигание низкосортных углей в энергетических котлах – М.: Энергоатомиздат – 1991 – 200 с.
5. Шелепов И.Г., Михайский Д.В., Павленко А.В. Модернізація режимів експлуатації ТЕС із урахуванням якості палива // Східно-європейський журнал передових технологій – 2005 – №6/2(18) – С. 144–148
6. Капельсон Л.М. Организация и проведение опытного сжигания непроектного топлива // Электрические станции – 2001 – №5 – С. 16–21
7. Эдельман В.И., Говсиевич Е.Р., Мельников А.П. О переводе ТЭС Урала, входящих в УралГЭК, с экибастузского на непроектные кузнецкие угли // Электрические станции – 2001 – №1 – С. 2–5
8. Саломатов В.В. Результаты исследований топочных процессов в котлах с вихревой технологией сжигания // Теплоэнергетика – 2012 – №6 – С. 3–9
9. Жуков Е.Б., Фурсов И.Д., Голубев В.Е. Исследование горения низкосортных топлив // Вестник алтайской науки – № 2(2) – 2008 – С. 89–95
10. Капустянський А.О. Динаміка зміни якості твердого палива, що надходить на ТЕС // Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми енергозбереження та шляхи їх вирішення», Харків, квітень 2013 р. – С. 131-135.
11. Кукота Ю.П., Нехамін М.М., Дунаєвська Н.І., Капустянський А.О. Промислові випробування паливника з термохімічною підготовкою на котлі ТПП-210А Трипільської ТЕС // Енергетика та електрифікація – 2012 – №2 – С. 16–23.
12. Капустянський А.О., Побігушка В.І. Шляхи підвищення надійності та економічності спалювання непроектного твердого палива // Науковий вісник НЛТУ України – 2013 – №23.1 – С. 172–176
13. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. НПО ЦКТИ, СПб: 1998 г.
14. Митор В.В., Маршак Ю.Л. Проектирование топков с твердым шлакоудалением (дополнение к нормативному методу теплового расчета котельных агрегатов). Руководящие указания – Л.: ВТИ-НПО ЦКТИ – 1981 – №42 – 118 с
15. Вугілля кам'яне та антрацит для пиловидного спалювання на теплових електростанціях. Технічні умови: ДСТУ 4083-2002. – [Чинний від 2002-09-01]. – К.: Держстандарт України, 2002 – 9 с – (Національний стандарт України)

**G. Varlamov**, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID** 0000-0002- 4818-2603

**A. Kapustyanskii**, Ph.D. student, **ORCID** 0000-0002-2771-2505

**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”**

### **INFLUENCE OF CHARACTERISTICS OF NON-PROJECT SOLID FUEL ON RELIABILITY AND EFFICIENCY OF BOILERS**

*On the basis of practical analysis, the influence of quality of non-project solid fuel and regime factors on the parameters of energy and ecological efficiency of steam boilers was investigated. The possibility of using a short-term perspective of non-project coal through its combustion in steam boilers of thermal power plants has been analyzed. It is substantiated that the damage caused by a decrease in the quality of the fuel from the design value is estimated on the basis of a decrease in coal parameters such as ash content, humidity and caloric content. The universal method of analytical calculations for determining the energy efficiency of a fuel with the drawing up of corresponding schemes and nomograms for simplified operational calculations by the personnel of power stations has been developed. It is proved that deterioration of coal characteristics such as ash content and humidity creates problems in the operation of the fuel feed and fuel system and increases the mechanical burnout of coal dust combustion. It is proved that increased humidity of the fuel leads to violations of normal technological processes, decrease of reliability and economy of the power equipment. With increasing ash content of fuel the reliability, efficiency and economy of operation of the boiler equipment decrease with simultaneous decrease of maneuverability and increase of quantity of emergency situations. The problems arising from combustion of non-projecting solid fuel and ways to increase the energy and ecological efficiency of boilers on coal of deteriorated quality have been identified, the main tasks for maintaining the functionality of the coal industry are determined. The results obtained during the calculations give an opportunity to assert that there is a fundamental possibility of burning low grade coal on existing boilers of thermal power plants, by observing regime instructions and carrying out little costly reconstructions.*

**Key words:** boiler, unprocessed coal, coal quality, flare burning, power plant.



References

1. Levit G.T. Dust preparation at thermal power plants. – М.: Energoatomizdat – 1991 – 384 p
2. Golishev L.V., Belocerkovskiy V.L., Vainshtain A.P. Measures to ensure the operation of steam boilers on coals of deteriorated quality // *Теплоэнергетика* – 1983 – no.4 – pp. 7–10
3. Kotler V.R. Fuel quality and its impact on the profile of US energy boilers // *Теплоэнергетика* – 1984 – no.5 – pp. 67–72
4. Madoian A.A. и др. Effective burning of low-grade coals in power boilers – М.: Energoatomizdat – 1991 – 200 p
5. Shelepov I.G., Mikhaiskiy D.V., Pavlenko A.V. Modernization of operation modes of TPPs taking into account fuel quality // *East European Journal of Advanced Technology* – 2005 – no.6/2(18) – pp. 144–148
6. Kapelson L.M. Organization and conducting of polluted combustion of non-project fuel // *Electric power stations* – 2001 – no.5 – pp. 16–21
7. Edelman V.I., Govsevich E.R., Melnikov A.P. About the transfer of the thermal power plants of the Urals, which are part of the UralTEK, from Ekibastuz to non-project Kuznetsk Coal // *Electric power stations* – 2001 – no.1 – pp. 2–5
8. Salomatov V.V. Results of studies of furnace processes in boilers with vortex combustion technology // *Теплоэнергетика* – 2012 – no.6 – pp. 3–9
9. Zhukov E.B., Fursov I.D., Golubev V.E. Burning study of low-grade fuels // *Bulletin of the Altai science* – no. 2(2) – 2008 – pp. 89–95
10. Kapustyansky A.O. Dynamics of changes in the quality of solid fuel entering the TPP // *International scientific and technical conference "Problems of energy saving and ways of their solution"*, Kharkiv, April 2013 - P. 131-135.
11. Kukota Yu.P., Nekhamin MM, Dunaevskaya N.I., Kapustiansky A.O. Industrial testing of the burner with thermochemical preparation on the boiler TPP-210A of Trypylskaya HPS // *Power Engineering and Electrification* - 2012 - No. 2 - P. 16-23.
12. Kapustyanskiy A.O., Pobigushka V.I. Ways to increase the reliability and efficiency of non-project solid fuel combustion // *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine* – 2013 – no.23.1 – pp. 172–176
13. Thermal calculation of boiler units. Normative method. NGO CKTI, St. Petersburg: 1998 – 437 p.
14. Mitor V.V., Marshak G.L. Design of furnaces with solid ash removal (addition to the standard method of thermal calculation of boiler units). Guidelines. NGO CKTI, St. Petersburg – 1981 – no.42 – 118 p
15. Coal and anthracite for pyrolytic combustion at thermal power plants. Specifications: DSTU 4083-2002. – [Effective from 2002-09-01]. – К.: Gosstandart of Ukraine, 2002 – 9 p – (National standard of Ukraine)

UDC 662.6 / .9

Г.Б. Варламов, д-р. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002- 4818-2603

А.А. Капустянский, асп., ORCID 0000-0002-2771-2505

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕПРОЕКТНЫЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*На основании практического анализа исследовано влияние качества непроектного твердого топлива и режимных факторов на показатели энерго-экологической эффективности паровых котлов. Проанализирована возможность использования в краткосрочной перспективе непроектного угля путем его факельного сжигания в энергетических котлах тепловых электростанций. Разработана универсальная методика аналитических расчетов для определения энергетической эффективности топлива с составлением соответствующих схем и номограмм для упрощенных оперативных вычислений персоналом электростанций. Доказано, что ухудшение таких характеристик угля, как зольность и влажность создают проблемы в работе системы подачи и приготовления топлива и увеличивают механический недожог при факельном горении угольной пыли. Выявлены проблемы, возникающие при сжигании непроектного твердого топлива и найдены пути повышения энерго-экологической эффективности работы котлов на угле ухудшенной качества, определены основные задачи для сохранения функциональности угольной отрасли. Полученные в ходе проведения расчетов результаты дают возможность утверждать, что существует принципиальная возможность сжигания низкосортного угля на существующих котлах тепловых электростанций, путем соблюдения режимных указаний и проведением мало затратных реконструкций.*

**Ключевые слова:** котел, непроектные угли, качество угля, факельное сжигание, электростанция.

Надійшла 04.12.2017

Received 04.12.2017