

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Львівська політехніка»

**МИСАК СТЕПАН ЙОСИФОВИЧ**



УДК 621.311.22;  
662.933.1

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ПИЛОПРИГОТУВАННЯ  
КОТЛІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ ТЕС ПРИ СПАЛЮВАННІ НЕПРОЕКТНИХ ВИДІВ  
ПАЛИВА**

Спеціальність 05.14.06 – технічна теплофізика промислова теплоенергетика

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукописом

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор  
**Пістун Євген Павлович**  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Міністерства освіти і науки України, (м.Львів),  
зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих  
технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Кєсова Любов Олександрівна,**  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Міністерства освіти і науки України, (м.Київ),  
професор кафедри теплоенергетичних установок теплових і  
атомних електричних станцій

кандидат технічних наук  
**Сміхула Анатолій Володимирович**  
Інститут газу НАН України, (м.Київ),  
заступник директора з наукової роботи

Захист відбудеться «6» березня 2018 року о 16 годин 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.04 у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 79013, м.Львів, вул. Устияновича,5 , ауд. 51.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м.Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано « 2 » лютого 2018 року

*Вчений секретар*  
*спеціалізованої вченої ради*  
*Д 35.052.04*  
*к.т.н., доцент*



Ю.З. Вашкурак

**Актуальність теми.** Технічний прогрес людства та застосування все більшої кількості технічних пристроїв, які споживають електричну енергію, зумовили стійке зростання кількості спожитої електроенергії в останні десятиліття. При цьому в Україні основна частка електроенергії виробляється тепловою та атомною енергетикою.

Оскільки промисловість нашої держави порівняно з іншими розвиненими країнами відрізняється високою енергозатратністю, то впровадження заходів, спрямованих на енергозбереження в теплоенергетиці є надзвичайно актуальним питанням. Так на ТЕС з пилувугільними паровими котлами енергозбереження полягає у: зменшенні витрат енергії на власні потреби та ефективній підготовці і спалюванні палива.

Наявність значних потужностей теплових електростанцій з одного боку та виникнення проблеми із запасами вугілля з іншого боку створює необхідність більш поглибленого дослідження процесів підготовки та горіння твердого палива, розроблення нових заходів щодо підвищення ефективності роботи систем пилоприготування і підвищення ефективності спалювання вугілля в існуючих паливних котлів.

Із 104 енергоблоків потужністю (150-300 МВт) 94 є пилувугільними.

В ситуації, що склалася на 2017 рік, 83 шахти знаходяться не під контролем України. Тому наша держава змушена купувати вугілля в інших країнах світу в тому числі і в південній Африці та США, які за технічними характеристиками не відповідають проектним значенням, на які були розраховані котли енергоблоків ТЕС України.

Отже, завдання підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроекtnих видів палива за рахунок розроблення нових методів визначення продуктивності, зношення куль і броні кульових барабанних млинів, визначення часток складових суміші палива 2 марок вугілля, уточнення програм розрахунку пилосистеми, є важливою **науковою задачею**, вирішення якої, однозначно дозволить підвищити ефективність роботи теплових електричних станцій.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалась за науковим напрямом кафедри «Теплотехніки теплових та атомних електричних станцій» Національного університету «Львівська політехніка», за планами робіт ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС», які враховували положення координаційних планів галузі, рішень науково-технічних конференцій, семінарів, нарад з проблем енергозбереження, а також згідно з держбюджетною темою за номером держаної реєстрації 0115U000439 та ряду господарських договорів за номерами реєстрації 332-ЗЭ-БуТЭС/0514 від 26.08.2015, 0485 від 20.06.2014р та №1020-ЗЭ-БуТЭС/0567 від 12.01.2017 р.

#### **Мета і задачі дослідження.**

Метою роботи є визначення впливу використання непроекtnого палива на ефективність і техніко-економічні показники потужних енергоблоків ТЕС та розробка заходів щодо зниження енерговитрат та підвищення ефективності роботи котельного устаткування.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувались наступні задачі:

- Виконання аналізу якості палива, що поступає на ТЕС України, та його вплив на ефективність роботи пилосистем з КБМ.

- Проведення аналітичних розрахунків та експериментальних досліджень ефективності роботи КБМ при використанні палива з непроекtnими характеристиками.

- Розробка методики визначення продуктивності кульових вентильованих млинів пилувугільних котлів при спалюванні непроекtnих видів палива та впровадження їх на ТЕС, а саме:

- Розроблення методу визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу на прикладі котла ТП-92 енергоблоку 150 МВт.

- Розроблення методу визначення продуктивності КБМ з промбункером вугільного пилу на прикладі котлів ТП-100, ТПП-210А, та ТПП-312 енергоблоків 200-300 МВт.

- Розроблення та впровадження програми розрахунку продуктивності пилосистем з кульовими вентильованими млинами при спалюванні непроекtnих видів палива енергоблоків 200-300 МВт.

- Розробка методу визначення часток складових суміші палива двох марок вугілля.

*Об'єкт дослідження:* системи пилоприготування теплових електричних станцій.

*Предмет дослідження:* підвищення ефективності роботи систем пилоприготування потужних енергоблоків ТЕС та методи їх аналізу.

#### **Методи дослідження.**

У процесі виконання дисертаційної роботи були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень процесів пилоутворення у кульових барабанних млинах та визначення коефіцієнту надлишку повітря при спалюванні непроєктного виду палива. Застосовані методи теорії невизначеності для оцінювання факторів, що впливають на точність визначення часток складових суміші двох марок вугілля.

#### **Наукова новизна одержаних результатів**

- сформульовано комплексну задачу аналізу ефективності роботи систем пилоприготування, яка полягає в сумісному врахуванні витрати палива у кульових барабанних млинах, визначенні величини присмоктів у пилопроводах, визначенні і корегуванні кульового завантаження, що дозволяє забезпечити номінальну проектну пилоподачу при мінімальній затраті електроенергії.

- вперше розроблені методи визначення продуктивності кульових барабанних млинів, які дозволяють мінімізувати трудозатрати виробничого персоналу і підвищити оперативність визначення продуктивності КБМ.

- уточнено аналітичний метод визначення зношення броні кульового барабанного млина, який дозволяє під час ремонту проводити часткову заміну броньових плит без повного відновлення броньового покриття циліндричної або торцевих поверхонь барабана і економити кошти на ремонт обладнання.

- уточнено алгоритм та розроблена програма розрахунку основних технологічних параметрів системи пилоприготування для котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312, які можна використовувати на більшості ТЕС України.

- розроблено метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла, що дозволяє оперативно отримувати дані по складу вугільної суміші з метою корегування роботи систем пилоприготування, за рахунок подачі палива у порціях, які забезпечують підвищення ефективності роботи кульового барабанного млина та котла.

**Практичне значення одержаних результатів** Розроблені методи застосовано для ефективного керування котельним устаткуванням під час спалювання палива з відмінними від проектних технічними характеристиками, а розроблені методи та алгоритми застосовано для збільшення ефективності роботи систем пилоприготування з кульовими барабанними млинами та роботи котельного устаткування в цілому за рахунок корегування фізико-механічних характеристик обладнання.

На Трипільській, Добротвірській, Зміївській ТЕС та ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС» впроваджені наступні результати дисертаційної роботи:

- нові способи визначення продуктивності кульового барабанного млина;

- новий метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла;

- уточнений алгоритм та програма розрахунку продуктивності пилосистеми котлів ТПП-210А, ТПП-312, яка дозволила автоматизувати процес розрахунків пилосистеми в повному обсязі.

- аналітичний метод визначення зношення броні та кульового завантаження кульового барабанного млина

Усі впровадження підтверджені відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дисертаційної роботи здобувачем отримані самостійно. Серед них, виконано розширений аналіз літератури по існуючому котельному устаткуванні, зокрема системах пилоприготування; проведено дослідження роботи кульового барабанного млина; здобувач брав участь у експериментальному спалюванні непроєктного палива на Трипільській ТЕС; розроблено нові методи визначення продуктивності млинів типу КБМ; проведено експериментальні

дослідження та розроблено аналітичні методи визначення зношення броні кульового барабанного млина; здобувач приймав участь у розробці алгоритму та програми розрахунку основних технологічних параметрів системи пилоприготування котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312; розроблення методу визначення часток складових суміші двох марок вугілля.

### **Апробація результатів дослідження**

Основні результати роботи доповідались на таких конференціях та конкурсах: Всеукраїнський конкурс «Молодь-енергетиці України» (м. Київ 2010р, 2011р, 2012р, 2013р), Науково-практична конференція. (м. Львів. – 7-8 квітня, 2011р.), Науково-технічна конференція «70-та студентська конференція». (м. Львів. – жовтень-листопад, 2012 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Вугільна теплоенергетика». (м. Алушта. – 2013р.), Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії». (м. Львів. – 10-11 квітня, 2013 р.), Міжнародна науково-практична конференція. (м. Київ-Пуща-Водиця. – 18-22 вересня, 2014р.), Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії» (м. Львів. – 2015р.), Науково-технічна конференція «Дністер» (м. Львів. 20-22 квітня, 2016р).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано **24** наукові публікації, з них 10 статей у наукових фахових виданнях України (зокрема 4 одноосібні), 3 статті у виданнях, які включені до міжнародних науково - метричних баз даних (Scopus, Index Copernicus), 7 публікацій у матеріалах вітчизняних та міжнародних конференцій, отримано 7 Патентів України (3 з яких одноосібні)

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається із вступу та чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 160 сторінок машинописного тексту і містить 31 рисунок, 23 таблиці, список використаних літературних джерел зі 100 найменувань та три додатки.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, зазначено її зв'язок з науковими програмами, темами. Визначено мету та основні задачі дослідження. Наведено практичне значення отриманих результатів, наукову новизну, апробацію роботи і публікації.

У **першому розділі** відзначено, що енергетика є базовою складовою економіки України, без ефективної роботи якої неможливий прогрес держави. Основою енергетики є її тепла електроенергетика, яка використовує як первинне джерело енергії вугілля. На вугільних електростанціях виробляється близько 50% всієї електроенергії. Така кількість виробництва електроенергії вимагає ефективного підготовлення та спалювання органічного палива, тобто вугілля.

Розглянуто сучасний стан та розвиток енергетики України, розвиток галузей паливо енергетичного комплексу та технічний стан підприємств. Проаналізовано споживання вугілля на ТЕС, та за допомогою добових графіків навантаження обґрунтовано, яку важливу роль відіграють ТЕС та їх стабільна робота для енергонезалежності нашої держави. Сконцентровано увагу на основні тенденції розвитку теплоенергетики України, зокрема з огляду на теперішню нестабільну політичну ситуацію у нашій державі. У зв'язку з тимчасовим обмеженням постачання на ТЕС України вугілля марки АШ з вугільних шахт Донецького басейну постає гостре питання про переведення енергоблоків, які спроектовані на даний вид палива, на вугілля з відмінними від проектного значення характеристиками.

Це дозволило сформулювати задачі, які були досліджені в дисертаційній роботі.

У **другому розділі** був проведений технічний аналіз палива на ТЕС України та порівняльний аналіз з проектними показниками. Складено середню щодобову зміну характеристик вугілля, що спалювалось під час проведення експериментів на Трипільській ТЕС і зміну якості палива за останні 10 років. Звідки чітко видно, що використання

низькоякісних палив в паливно-енергетичному балансі стає суттєвою, і в перспективі непроектне вугілля стане основним серед твердих органічних палив, що спалюють на ТЕС.

Виконано аналіз підготовки вугільного пилу на ТЕС та вплив зміни якості палива на роботу котельне устаткування. При цьому аналіз вугілля проводився детально по кожній складовій палива, а саме визначалось як впливає вологість, зольність чи вихід летких речовин на процес горіння.

Експериментально встановлено вплив тонини вугільного помелу на втрати з механічним недопалом в котлі і визначено оптимальну тонину  $R_{90}$ .

В даному розділі виконані експериментальні дослідження процесу спалювання непроектних видів палива. При цьому виконувався розрахунок витрати непроектного виду палива. Експериментально встановлено, що робота котла на такому непроектному паливі зумовлює перевитрату вугілля в межах 20%. Розроблена програма проведення експериментального спалювання та запропоновано удосконалення основних положень, які потрібно враховувати при спалюванні непроектних видів палива. Оскільки досліди проводились на працюючому устаткуванні ТЕС були також удосконалені організаційно-технічні заходи щодо підготовки устаткування і персоналу електростанції до експериментального спалювання непроектного палива. Під час експериментального спалювання також було досліджено роботу системи пилоприготування (рис 1).

Під час експериментального спалювання особливу увагу приділялося досліді по визначенню оптимального надлишку повітря у режимному січенні. Змінюючи витрату повітря до пальників, було визначено критичні коефіцієнти надлишку повітря в режимному перерізі, при яких з'являються сліди хімічного недопалу палива. Критичний надлишок повітря в усьому діапазоні навантажень котла становив 1,08-1,09.

Оптимальний надлишок повітря в режимному перерізі було вибрано з умов надійної роботи обладнання, задовільного плавлення жужелю, мінімального вмісту горючих у виносі і відсутності продуктів хімічного недопалу в димових газах та температури промперегріву максимально наближеної до номінальної (рис 2).

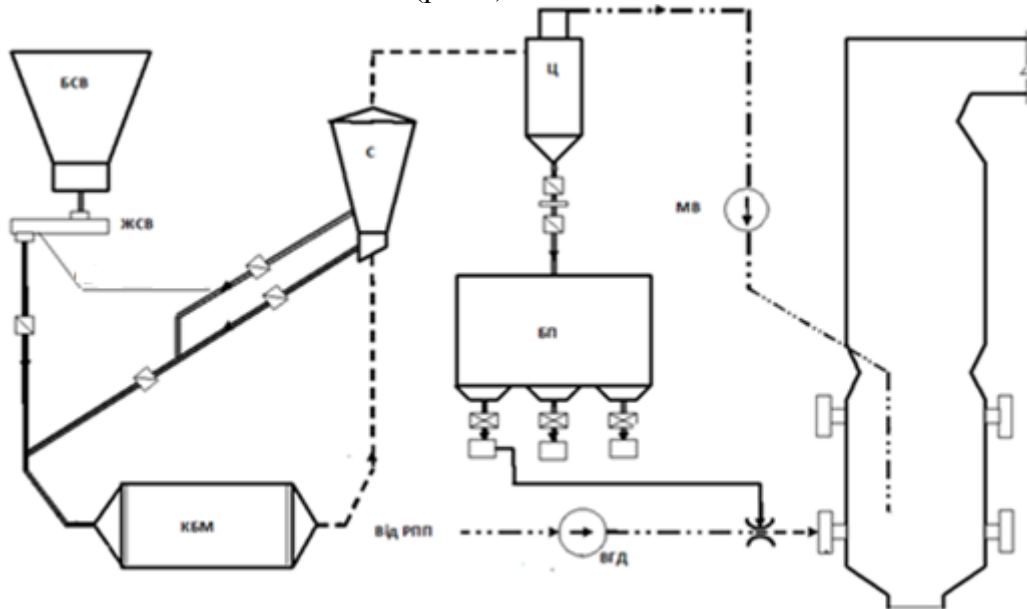


Рис.1. Схема системи пилоприготування котла ТПП-210А

БСВ – бункер сирого вугілля; ЖСВ – живильник сирого вугілля; КБМ – кульовий барабанний млин; С – сепаратор; Ц – циклон; БП – бункер пилу; ВГД – вентилятор гарячого дуття; МВ – млиновий вентилятор; РПП – регенеративний повітропідігрівач;

Після проведення дослідів були складені наступні висновки:

- Температуру повітря перед РПП підтримувати на рівні  $30^{\circ}\text{C}$  для уникнення низькотемпературної корозії холодних пакетів РПП. Виконати ревізію та відновити

можливість регулювання шиберами на лінії рециркуляції гарячого повітря у всмоктувальний повітропровід дуттьового вентилятора корпусів.

- Виконувати очищення пакетів РПП від золених відкладень, поверхонь конвективної шахти згідно з інструкцією з експлуатації котла.
- Підтримувати коефіцієнт надлишку повітря у встановленому оптимальному режимі.
- Присмоккти повітря в пилосистеми, паливну і газовий тракт котла підтримувати на номінальному рівні.

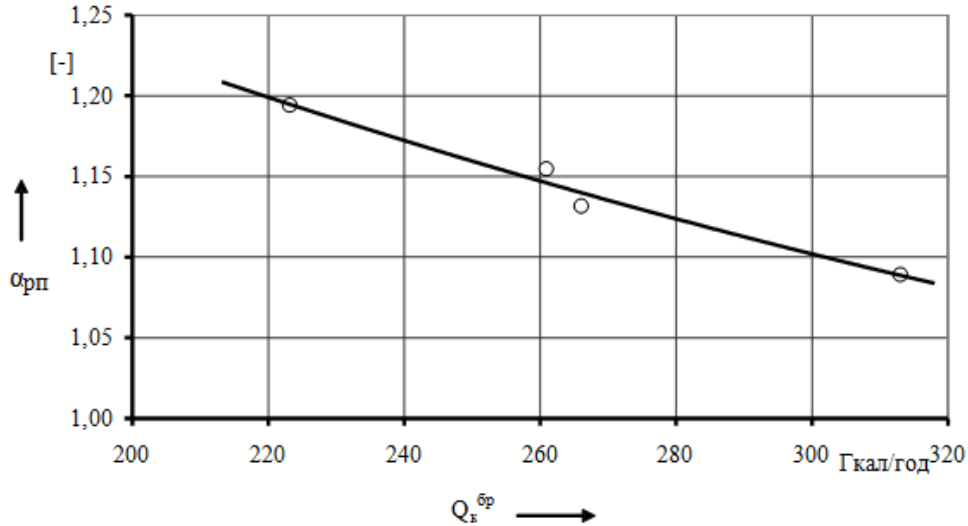


Рис. 2 - Залежність оптимального коефіцієнта надлишку повітря у режимному перерізі від теплопродуктивності котла

У **третьому розділі** було розглянуто особливості експлуатації систем пилоприготування з кульовими барабаними млинами при спалюванні непроектованих видів палива та, на основі експериментальних даних, розроблено аналітичні методи визначення зношення броні та куль.

Втрату металу від зношення броні барабана розраховували за темпом зношення броні та тривалістю максимального міжремонтного періоду роботи млина.

Темп зношення броні барабана млина ( $g_{\delta}$ ) визначається за формулою:

$$g_{\delta} = \frac{\Delta G_{\delta}}{\Delta \tau}, \quad (1)$$

де  $\Delta G_{\delta}$  - втрата металу від зношення броні барабана за час роботи  $\Delta \tau$ .

темп зношення куль ( $g_{к}$ ) визначається аналогічно:

$$g_{к} = \frac{\Delta G_{к}}{\Delta \tau}, \quad (2)$$

де  $\Delta G_{к}$  – втрата металу від зношення куль у кульовому барабанному млині за час роботи млина  $\Delta \tau$ .

Для отримання аналітичних залежностей зміни значення  $g_{\delta}$  і  $g_{к}$  проведені експериментальні дослідження, за якими встановлено, що вказані залежності носять прямолінійний характер, тобто

$$\frac{g_{\delta}}{g_{\kappa}} = \frac{\Delta G_{\delta}}{\Delta \tau} : \frac{\Delta G_{\kappa}}{\Delta \tau} = M_{\Pi}, \quad (3)$$

де  $M_{\Pi}$  – коефіцієнт пропорційності між темпами зношення броні та куль барабана.

Отже взаємозв'язок між темпом зношення броні барабана та темпом зношення молоткових куль має лінійний характер і визначається за формулою (4):

$$g_{\delta} = M_{\Pi} \cdot g_{\kappa}, \quad (4)$$

Встановлено, що відношення темпу зношення броні до темпу зношення куль є сталою величиною. На основі експериментальних даних визначено, що значення коефіцієнта  $M_{\Pi}$ , для млина типу КБМ 370/850 (Ш–50А) при розмелюванні вугілля марки АШ і ГСШ буде рівним 0,069 і 0,073 відповідно.

За експериментальними даними встановлено, що для кульових барабанних млинів типу КБМ 370/850 (Ш–50А) коефіцієнт пропорційності  $M_{\Pi}$  між темпами зношення броні та куль барабана залежить від характеристик броні заводу виготовлювача, а також марки вугілля.

Від темпу зношення броні барабана буде залежати фактичний ресурс броні. Очевидно він залежить від якості її виготовлення. Броня, що використовується в млинах, за місцем виготовлення в Україні, поділяється на Білозерську, Донецьку і Дніпропетровську. Відомо, що ресурс броні характеризує фактична тривалість максимального міжремонтного періоду роботи млина.

За існуючими даними для млинів з бронею Білозерського і Дніпропетровського виробництва коефіцієнти  $M_{\Pi}$  рівні 0,05 і 0,1 відповідно.

За основний вихідний показник для розрахунку темпу зношення броні прийнято тривалість максимального міжремонтного періоду роботи досліджуваного млина, барабан якого обладнаний броньованими плитами Донецького виробництва.

Отже втрату металу від зношення броні барабану за міжремонтний період роботи вираховуємо як :

$$\Delta G_{\delta}^{МП} = K_{\delta} g \Delta \tau_{МП}, \quad (5)$$

де  $K_{\delta}$  - коефіцієнт пропорційності, що характеризує зношення броні барабана млина.

$\Delta \tau_{МП}$  - тривалість міжремонтного періоду.

Значення  $K_{\delta}$  - знаходилось на базі опрацювання великої кількості даних з експериментальних досліджень, що виконувались на станціях. Для прикладу у табл.2 наведена частина з них по Бурштинській ТЕС.

Оскільки втрата металу від зношення броні за даними цих же експериментів в середньому складає 22,17 т/год то значення коефіцієнту  $K_{\delta}$  для броні Донецького виробництва складає  $K_{\delta} = \frac{22,17 \cdot 10^3}{25194} = 0,879$  кг/год. Аналогічно були знайдені значення коефіцієнта  $K_{\delta}$  для броні Білозерського та Дніпропетровського виробництва, що складає 0,69 кг/год і 1,37 кг/год.

Для компенсації зношення броні барабана млина необхідно збільшувати масу молоткових куль. Згідно з нормативними документами ця додаткова маса куль, що змінює масу металу від зношення броні барабана (так звана перевитрата куль), знаходиться як:

$$\Delta G_{\kappa}^n = M_p \cdot \Delta G_{\delta}, \quad (6)$$

де  $M_p$  – коефіцієнт перерахунку втрати металу броні на еквівалентну за енергетичними затратами перевитрату куль; для млина типу КБМ 370/850 (Ш-50А) коефіцієнт  $M_p=0,36$ .



Отже зв'язок між втратою металу броні барабана  $\Delta G_{\delta}$  в залежності від часу  $\tau$  є:

$$\Delta G_{\delta} = 0,88 \cdot \tau, \quad (7)$$

а перевитрата куль буде визначатися за формулою :

$$\Delta G_{\kappa}^n = 0,32 \cdot \tau \quad (8)$$

Таблиця 2

Місце виробництва броні	Млин ст. №	Міжремонтний період роботи млина		Коефіцієнт пропорційності $K_{\sigma}$
		тривалість $\tau$ , год	середнє значення тривалості $\tau$ , год	
Донецьк	8Б	25194	25194	0,879
Білозерськ	9А	34823	31165	0,69
	10А	27507		
Дніпропетровськ	1А	14175	15283	1,37
	1Б	17160		
	3Б	13761		
	5А	16318		
	6Б	8046		
	12А	18318		
	12Б	19200		

Таким чином, для своєчасного попередження збільшення маси куль в барабані необхідно під час визначення кульового завантаження млина, відповідним чином, врахувати фактичне зношення броні барабана.

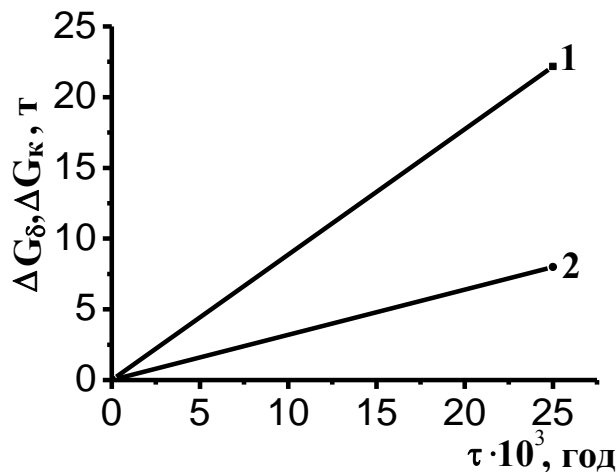


Рис. 3. Залежність втрати металу броні барабана і перевитрати куль від тривалості роботи досліджуваного млина: 1 – втрата металу броні барабана; 2 – перевитрата куль.

Також були проведені розрахунки і отримані результати визначення кульового завантаження з урахуванням зношення броні барабана млина.

За результатами розрахунку побудовано залежність перевитрати куль  $\Delta G_k$  від тривалості роботи млина і місяця виробництва броні (рис. 4).

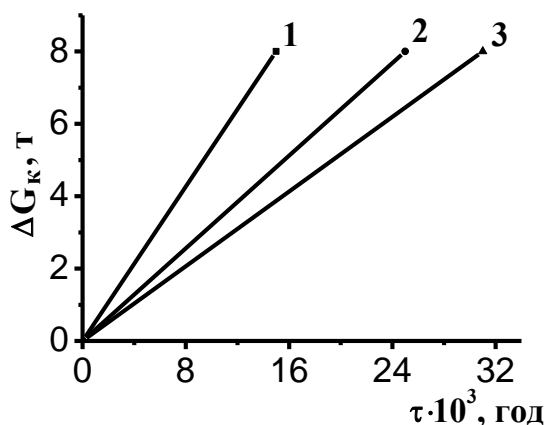


Рис.4 Залежність перевитрати куль від тривалості роботи млина і місяця виробництва броні:

1 – Дніпропетровськ; 2 – Донецьк; 3 – Білозерськ

Загальний вигляд аналітичної залежності перевитрати куль від тривалості роботи млина буде мати вигляд :

$$\Delta G_k^n = B \cdot \tau, \quad (9)$$

де  $B$  – ваговий коефіцієнт, т/год;  
 $\tau$  – час роботи млина, год.

Для млина КБМ 370/850 (Ш–50А) з бронєю Дніпропетровського виробника аналітична залежність буде:

$$\Delta G_k^n = 0,5 \cdot \tau, \quad (10)$$

для млина з бронєю Донецького виробника

$$\Delta G_k^n = 0,32 \cdot \tau, \quad (11)$$

а для млина з бронєю Білозерського виробника

$$\Delta G_k^n = 0,25 \cdot \tau \quad (12)$$

Отримані аналітичні залежності дозволяють проводити діагностику роботи кульових барабанних млинів та планувати ремонтні роботи з більшою ефективністю.

У **четвертому розділі** були розроблені нові ефективні методи визначення продуктивності кульових барабанних млинів пилувугільних котлів потужних енергоблоків ТЕС та методи визначення часток складових суміші палива двох марок вугілля, а також алгоритми та програму розрахунку основних параметрів систем пилоприготування, як з промбункером так і без нього, блоків 150 – 300 МВт з котлами ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312.

Методи визначення продуктивності кульових барабанних млинів:

- Метод визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу на прикладі котла ТП-92 енергоблоку потужністю 150 МВт. Для реалізації запропонованого способу в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу в котельну установку (без промбункера) проводиться заміна вугільного пилу на рівнозначну величину, наприклад, природнього газу або мазуту. При цьому кількість теплоти при згоранні природнього газу повинна бути рівнозначною кількості теплоти при згоранні вугілля до призупинення млина.

$$\frac{B_M \cdot Q_{n(\text{вуг})}^p}{\eta_{(\text{вуг})}} = \frac{\Delta G \cdot Q_{n(\text{газ})}^p}{\eta_{(\text{газ})}} \quad (13)$$

де:  $B_M$  - продуктивність млина, кг/год.

$\Delta G$  – кількість природного газу, що подається в паливню котла,  $\text{нм}^3/\text{год}$ .

$Q_{n(\text{газ})}^p$  – нижча теплота згорання природного газу,  $\text{ккал}/\text{нм}^3$ .

$Q_{n(\text{вуг})}^p$  – нижча теплота згорання вугілля,  $\text{ккал}/\text{кг}$ .

$\eta_{(\text{вуг})}$ ,  $\eta_{(\text{газ})}$  – коефіцієнт корисної дії котельної установки під час спалювання вугілля і газу відповідно.

Звідки продуктивність млина при умові, що  $\eta_{(\text{вуг})} \cong \eta_{(\text{газ})}$  визначається за формулою :

$$B_M = \Delta G \frac{Q_{n(\text{газ})}^p}{Q_{n(\text{вуг})}^p} \quad (14)$$

При цьому незмінність парового навантаження котельної установки (електричної потужності енергоблоку) досягається подачею компенсуючого природного газу, кількість якого визначається стаціонарним витратоміром.

Теплоту згорання природного газу та вугілля визначають в хімічній лабораторії об'єкта теплоенергетики (електростанції), відбір проби природного газу здійснюється стаціонарним пробовідбірником з газопроводу котельної установки, а вугілля - з вуглепроводу досліджуваного млина.

- Метод визначення продуктивності КБМ з промбункером вугільного пилю на прикладі котлів ТП-100, ТПП-210А та ТПП-312 енергоблоків 200-300 МВт. При визначенні продуктивності млина, який не можна зупинити з технологічних причин, рекомендовано визначити його продуктивність наступним чином. Визначають відношення витрати електроенергії на переміщення вугільного матеріалу в барабані до сталого значення показника витрати електроенергії на переміщення в барабані 1 т/год. вугільного матеріалу.

Витрата електроенергії на розмелювання вугілля в режимі робочого ходу млина є сумою витрат електроенергії на обертання барабана з кульовим завантаженням і на переміщення в барабані вугільного матеріалу. Після звільнення барабана від вугільного матеріалу (неробочий хід млина) електроенергія витрачається тільки на обертання барабана з кульовим завантаженням.

Витрата електроенергії  $N_B$  на переміщення в барабані вугільного матеріалу визначається як різниця між навантаженнями електродвигуна млина в режимах робочого і неробочого ходу:

$$N_B = N_M - N_K \quad (15)$$

де  $N_M$  - витрата електроенергії на розмелювання вугілля в режимі робочого ходу млина;

$N_K$  - витрата електроенергії на обертання барабана з кульовим завантаженням в режимі неробочого ходу млина;

Продуктивність млина

$$B_M = \frac{N_B}{e_B} \quad (16)$$

де  $e_B$  - витрата електроенергії на переміщення в барабані 1 т/год. вугільного матеріалу.

Для конкретного типу млина і марки вугілля показник витрати електроенергії на переміщення в барабані 1 т/год вугільного матеріалу має сталі значення. Наприклад, за результатами випробування пилосистеми з млином типу ШБМ 370/850 (Ш-50А) сталі

значення показника витрати електроенергії на переміщення в барабан 1 т/год. вугільного матеріалу становили: у разі розмелювання вугілля марки ГСШ - 1,53 кВт год./т, промпродукту мокрого збагачування вугілля марок Г , ДГ - 1,22 кВт год./т.

- Спосіб визначення продуктивності млина методом його зупинки. У випадку , коли немає резервного палива (природного газу або мазуту) продуктивність млина визначається наступним чином. Проводять зупинку одного досліджуваного млина при незмінному початковому завантаженні всіх інших працюючих млинів, і режим роботи решти працюючих пилосистем залишається без змін. При цьому парове навантаження (паропродуктивність) котла зменшиться на величину  $\Delta G_n$  при незмінній ентальпії пари за котлом  $i_n$  та коефіцієнту корисної дії котла  $\eta_{к.а}$ . Тоді продуктивність зупиненого млина визначаємо за формулою :

$$B_{\text{вуг}} = \frac{\Delta G_n \cdot i_n}{\eta_{к.а} \cdot Q_{н(\text{вуг})}^p} \quad (17)$$

де :

$B_{\text{вуг}}$  – продуктивність млина, кг/год;

$\Delta G_n$  – зменшення продуктивності котла кг/год;

$i_n$  – ентальпія пари за котлом , ккал/кг;

$Q_{н(\text{вуг})}^p$  – нижча теплота згорання вугілля , ккал/кг;

$\eta_{к.а}$  – коефіцієнт корисної дії котельної установки.

При цьому теплоту згорання вугілля визначається в хімічній лабораторії об'єкта теплоенергетики (електростанції), ентальпія пари  $i_n$  визначають за тиском пари і її температурою по і-S діаграмі пари або з таблиць,  $\eta_{к.а}$  - визначають за результатами балансових досліджень котла, або з теплового розрахунку.

Для стабільної роботи ТЕС України, на сьогоднішній день, використовують різні способи оптимізації спалювання палива, одним яких є змішування різних марок вугілля, що в свою чергу вимагає постійного контролю і аналізу часток складових суміші палива.

Теперішні методи відбору проб і хімічного аналізу палива є трудомісткими і довготривалими. При цьому дають загальну усереднену характеристику суміші палив, що спалюється в паливні котла, а визначення складових двох марок палива є неможливим. Розроблено і запатентовано методи визначення часток складових двох видів палива за результатами хімічного аналізу вугільної проби, яку відбирають безпосередньо з вугільного потоку перед млином.

В першому методі склад вугільної суміші знаходять за відомими значеннями вмісту летких речовин на горючу масу вугільної суміші та вмісту летких речовин на горючу масу кожної із марок вугілля, з яких складається суміш, застосовуючи відому залежність

$$V_C = r_1 \cdot V_1 + (1 - r_1) \cdot V_2, \quad (18)$$

де  $V_1$  і  $V_2$  – вміст летких речовин на горючу масу кожної із марок вугілля, з яких складається вугільна суміш;  $V_C$  – вміст летких речовин на горючу масу вугільної суміші.

Відповідно частку  $r_1$  вугілля першої марки у суміші визначаємо як:

$$r_1 = \frac{V_C - V_2}{V_1 - V_2}, \quad (19)$$

а частку вугілля другої марки  $r_2$  як:

$$r_2 = 1 - r_1. \quad (20)$$

Оцінимо можливу невизначеність результату визначення часток складових суміші двох марок вугілля, що поступає в кульові барабанні млини пилосистеми котла, за допомогою розробленого методу.

Сумарну стандартну невизначеність  $u_{r_1}$  результату непрямих вимірювань частки  $r_1$  першої марки вугілля визначають за залежністю

$$u_{r_1} = \sqrt{a_1^2 \cdot u_{V_C}^2 + a_2^2 \cdot u_{V_1}^2 + a_3^2 \cdot u_{V_2}^2}, \quad (21)$$

де  $u_{V_C}$  - стандартна невизначеність результату визначення вмісту летких речовин на горючу масу вугільної суміші;  $u_{V_1}$  - стандартна невизначеність результату визначення вмісту летких речовин на горючу масу першої марки вугілля;  $u_{V_2}$  - стандартна невизначеність результату визначення вмісту летких речовин на горючу масу другої марки вугілля;  $a_i$  - відповідні вагові коефіцієнти, які враховують вплив кожної складової залежності на результат непрямого вимірювання частки  $r_1$  вугілля першої марки:  $a_1 = \frac{\partial r_1}{\partial V_C} = \frac{1}{V_1 - V_2}$ ;  $a_2 = \frac{\partial r_1}{\partial V_1} = \frac{V_2 - V_C}{(V_1 - V_2)^2}$ ;

$$a_3 = \frac{\partial r_1}{\partial V_2} = \frac{V_C - V_1}{(V_1 - V_2)^2}.$$

Якщо  $u_{V_C} = u_{V_1} = u_{V_2} = u_V$ , то сумарну стандартну невизначеність результату визначення частки  $r_1$  вугілля першої марки у вугільній суміші знаходимо за формулою:

$$u_{r_1} = \frac{u_V}{(V_1 - V_2)^2} \sqrt{(V_1 - V_2)^2 + (V_2 - V_C)^2 + (V_C - V_1)^2}. \quad (22)$$

Відносну стандартну невизначеність результату визначення частки  $r_1$  вугілля першої марки у вугільній суміші знаходимо за залежністю:

$$u'_{r_1} = \frac{u_{r_1}}{r_1} \cdot 100\% = \frac{u_V \cdot 100\%}{(V_1 - V_2) \cdot (V_C - V_1)} \sqrt{(V_1 - V_2)^2 + (V_2 - V_C)^2 + (V_C - V_1)^2}. \quad (23)$$

За даними лабораторії електростанції проаналізовано, як змінюється склад вугільної суміші та його відносна стандартна невизначеність  $u'_{r_1}$  при зміні значення вмісту  $V_C$  летких речовин на горючу масу вугільної суміші. На рисунку 5 наведено зміну складу вугільної суміші (частки  $r_1$ ), яка складається із пісного вугілля марки «П» ( $V_1 = 12\%$ ) та антрациту марки «А» ( $V_2 = 3,5\%$ ) залежно від значення вмісту летких речовин  $V_C$  на горючу масу вугільної суміші.

Значення вмісту  $V_C$  летких речовин на горючу масу вугільної суміші може змінюватись від значення вмісту летких речовин  $V_2$  на горючу масу першої марки вугілля до значення вмісту летких речовин  $V_1$  на горючу масу другої марки вугілля.

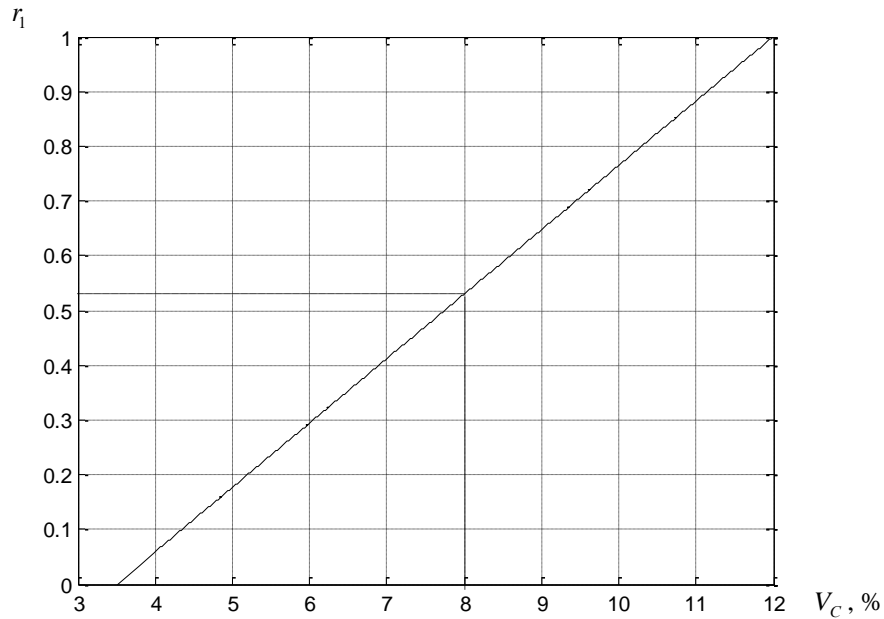


Рис. 5 Залежність частки  $r_1$  пісного вугілля марки «П» у вугільній суміші, яка складається із пісного вугілля марки «П» та антрациту марки «А», від значення вмісту летких речовин  $V_C$  на горючу масу вугільної суміші

Так, наприклад, вміст летких речовин  $V_C = 8\%$  відповідає значенню частки пісного вугілля марки «П»  $r_1 = 0,53$  та частки вугілля марки «А»  $r_2 = 1 - r_1 = 0,47$ .

На рис.6 показано зміну відносної стандартної невизначеності  $u'_{r_1}$  результату визначення частки  $r_1$  вугілля марки «П» у вугільній суміші в залежності від значення вмісту  $V_C$  летких речовин на горючу масу вугільної суміші. Так, наприклад, відносна стандартна невизначеність  $u'_{r_1}$  результату визначення частки  $r_1$  вугілля марки «П» у вугільній суміші вміст летких речовин при  $V_C = 8\%$  та  $r_1 = 0,53$  становить  $u_v = 5,4\%$ . При збільшенні частки вугілля марки «А» у вугільній суміші відносна стандартна невизначеність результату визначення складу суміші зростає і при  $V_C \rightarrow V_1$  відносна стандартна невизначеність  $u'_{r_1} \rightarrow \infty$ .

Другий метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла полягає у застосуванні відомої залежності, яка пов'язує склад вугільної суміші із нижчою теплотою згорання суміші палива на робочу масу та нижчою теплотою згорання вугілля двох марок палива:

$$Q_{н.сум} = r_1 \cdot Q_{н.1} + (1 - r_1) \cdot Q_{н.2}, \quad (24)$$

де  $Q_{н.сум}$  – нижча теплота згорання суміші вугілля на робочу масу;  $Q_{н.1}$ ,  $Q_{н.2}$  – відповідно нижча теплота згорання вугілля одної та другої марки.

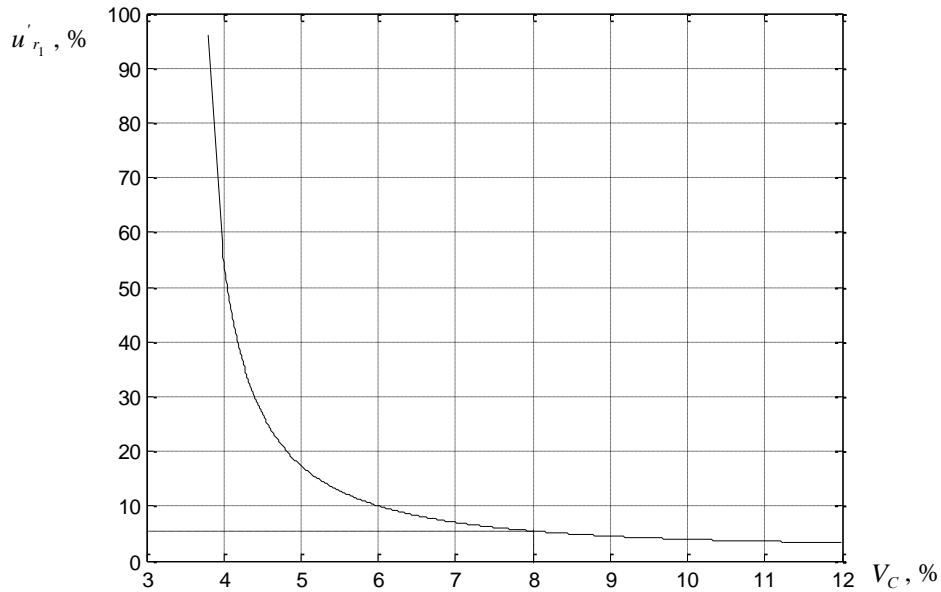


Рис. 6. Залежність відносної стандартної невизначеності  $u'_{r_1}$  результату визначення частки  $r_1$  вугілля марки «П» у вугільній суміші, яка складається із пісного вугілля марки «П» та антрациту марки «А», від значення вмісту летких речовин  $V_C$  на горючу масу вугільної суміші

Таким чином частку вугілля першої марки визначаємо як:

$$r_1 = \frac{Q_{н.сум} - Q_{н.2}}{Q_{н.1} - Q_{н.2}}, \quad (25)$$

а частку вугілля другої марки у вугільній суміші:

$$r_2 = 1 - r_1. \quad (26)$$

Оскільки залежність для визначення частки вугілля у суміші аналогічна за виглядом до залежності, то для оцінки можливої невизначеності результату визначення часток складових суміші двох марок вугілля другим методом, можна скористатися залежностями вказаними вище.

Таким чином, сумарну стандартну невизначеність  $u_{r_1}$  результату непрямих вимірювань частки  $r_1$  першої марки вугілля за другим методом визначають за формулою:

$$u_{r_1} = \sqrt{a_1^2 \cdot u_{Q_{н.сум}}^2 + a_2^2 \cdot u_{Q_{н.1}}^2 + a_3^2 \cdot u_{Q_{н.2}}^2}, \quad (27)$$

де  $u_{Q_{н.сум}}$  – стандартна невизначеність результату визначення нижчої теплоти згорання суміші вугілля на робочу масу;  $u_{Q_{н.1}}$ ,  $u_{Q_{н.2}}$  – стандартна невизначеність результату визначення нижчої теплоти згорання вугілля одної та другої марки відповідно;  $a_i$  – відповідні вагові коефіцієнти, які враховують вплив кожної складової залежності на результат непрямого вимірювання частки  $r_1$  вугілля першої марки:

$$a_1 = \frac{\partial r_1}{\partial Q_{н.сум}} = \frac{1}{Q_{н.1} - Q_{н.2}}; \quad a_2 = \frac{\partial r_1}{\partial Q_{н.1}} = \frac{Q_{н.2} - Q_{н.сум}}{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2};$$

$$a_3 = \frac{\partial r_1}{\partial Q_{н.2}} = \frac{Q_{н.сум} - Q_{н.1}}{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2}.$$

Якщо  $u_{Q_{н.сум}} = u_{Q_{н.1}} = u_{Q_{н.2}} = u_Q$ , то сумарну стандартну невизначеність результату визначення частки  $r_1$  вугілля першої марки у вугільній суміші знаходимо за формулою:

$$u_{r_1} = \frac{u_Q}{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2} \sqrt{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2 + (Q_{н.2} - Q_{н.сум})^2 + (Q_{н.сум} - Q_{н.1})^2}. \quad (28)$$

Відносну стандартну невизначеність результату визначення частки  $r_1$  вугілля першої марки у вугільній суміші знаходимо за залежністю:

$$u'_{r_1} = \frac{u_{r_1}}{r_1} \cdot 100\% = \frac{u_Q \cdot 100\%}{(Q_{н.1} - Q_{н.2}) \cdot (Q_{н.сум} - Q_{н.1})} \sqrt{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2 + (Q_{н.2} - Q_{н.сум})^2 + (Q_{н.сум} - Q_{н.1})^2}. \quad (29)$$

Отримані залежності (23) та (29) для оцінки невизначеності результату визначення часток складових вугільної суміші за розробленими методами дозволяють прогнозувати точність реалізації цих методів для вугільної суміші різного складу.

Розроблені нові методи визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла, є простими та ефективними. Їх можна застосовувати не лише в режимах проведення експериментів, але й в процесі довготривалої експлуатації пилосистем котлів.

Для забезпечення ефективної роботи систем пилоприготування потрібно знати основні її технологічні параметри. У зв'язку з цим нами розроблені алгоритми і програма розрахунку (рис. 7) основних параметрів для різних пилосистем енергоблоків ТЕС.

The screenshot shows a software window titled 'Milling' with a sub-window 'Розрахунок кульбарабанного млина'. The interface includes a menu bar with options like 'Вхідні дані', 'Продуктивність пилосистеми', 'Молольні кулі', 'Перегляд результатів', 'Налаштування', 'Про програму', and 'Вихід'. Below the menu, there are input fields for 'V=' and 'T=' with units 'δсмв°' and 'T='.

The main calculation area contains the following input fields:

- Температура аеросуміші за МВ, град: 90
- Присоси в млин, %: 11
- Кульове завантаження млина, т: 70
- Присоси від млина до МВ, %: 20
- Присоси в МВ, %: 11
- Барометричний тиск, мм рт.ст.: 740
- Розрідження перед МВ, мм вод.ст.: -425
- Тиск (розрідження) за МВ, мм вод.ст.: 150
- Рециркуляція газів, м куб./год: 0
- Температура повітря присосів, град: 30
- Надлишок повітря в газах на сушку, [-]: 1,5
- Присос 1 в газохід на сушку, %: 10
- Присос 2 в газохід на сушку, %: 0
- Витрата повітря на заходження, м куб./год: 0
- Температура повітря на заходження, град: 30
- Витрата газів на сушку, м куб./год: 54600
- Температура газів на сушку, град: 350
- Витрата повітря на пневмовідсікач, м куб./год: 3000
- Температура повітря на пневмовідсікач, град: 160

Below the input fields, there are buttons for 'Перегляд результатів' and 'Повторний розрахунок'. A table displays the calculated results:

Питома витрата електроенергії на помол вугілля, кВт*год/т. н.п.	18,965
Потужність приводу млина, кВт	960,062
Потужність приводу МВ, кВт	347,004
Витрата газів через МВ, мм куб./год.	91035,6
Витрата газів за МВ, мм куб./год.	91035,6
Розмелювальна продуктивність млина, т/год.	68,327
Сушильна продуктивність млина, т/год.	61,592
Температура газів перед млином, град:	315,464

At the bottom right of the table, there are buttons for 'Вхідні дані' and 'Закрити'.

Рис.7 Одне з вікон програми розрахунку системи пилоприготування

Для розмелювання вугілля використовують млини різного типу. Найбільше поширені в Україні це млини типу КБМ та 6М75U. Ефективна робота цих млинів при подачі в них палив різної якості є важливою складовою економічної роботи котлів та енергоблоків в цілому. Розмелювання вугілля в кульових вентильованих млинах відбувається одночасно із сушінням вугільного продукту. Враховуючи це, робоча продуктивність млина може обмежуватися розмелювальною або сушильною продуктивністю. Розмелювальна продуктивність залежить від комплексу конструктивних та режимних факторів, зокрема присмоктів повітря в пилосистему, своєчасних ремонтних робіт, що направлені на доведення готовності пилосистеми до проектних показників.



Розроблено алгоритм та впроваджено програму розрахунку сушильної та розмелювальної продуктивності млинів типу 6М75U пилосистеми котлів ТП-92 енергоблоків 150 МВт, що дає можливість оперативно визначати їх реальну пилопродуктивність та чинники, які впливають на її величину, що дає можливість підвищити ефективність роботи пилосистеми котлів та енергоблоків в цілому.

Для прикладу розраховано пилосистему для розмелювання кам'яного вугілля марки Г Львівсько-Волинського родовища з характеристиками:

- нижча теплота згоряння  $Q_H^P = 5000$  ккал/кг; зольність на робочу масу  $A_p = 22,8\%$ ; вологість на робочу масу  $W_p = 10,5\%$ ; вихід летких речовин  $V_p = 38,5\%$ ;

В пальники котла має подаватися готовий пил з тонкістю помолу  $R_{90} = 25\%$  і вологістю  $W_{II} = 1,5\%$ .

Для розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми з млинами 6М75U було визначено наступні показники роботи пилосистем: витрати сушильного агенту з котла (гарячого повітря після повітропідігрівника); витрати сушильного агенту перед млиновим вентилятором; робочої та гігроскопічної вологості вугілля та вугільного пилу; технічної характеристики сирого вугілля.

Розроблено алгоритм та програму розрахунку (рис. 8) розрахунку пилосистем котла ТП-100 з кульовими барабанними млинами енергоблоку 200 МВт при використанні непроєктних видів палива. На даних котлах схеми пилоприготування котлів бувають розімкнуті із скидом відпрацьованого сушильного агенту після млинових вентиляторів в газохід перед електрофільтрами або замкнуті зі скидом сушильного агента в скидні пальники.

Розроблений також алгоритм та програма розрахунку основних параметрів системи пилоприготування котлів ТПП-210А та ТПП-312 енергоблоків 300 МВт. Котел ТПП-312 обладнано двома індивідуальними системами пилоприготування з кульовими барабанними млинами, пиловими бункерами, замкненим циклом сушіння, газоповітряною сумішшю і пневмотранспортування вугільного пилу до пальників відпрацьованим сушильним агентом за допомогою млинових вентиляторів. Для прикладу розраховано пилосистему для розмелювання кам'яного вугілля марки ГСШ Донецького басейну з такими характеристиками:  $Q_H^P = 20,93$  МДж/кг (5000 ккал/кг),  $W^P = 11\%$ ,  $A^P = 22,3\%$ ,  $V^P = 40\%$ ,  $K_{ЛО} = 1,1$ .

При розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистем з млинами Ш-50А було визначено наступні показники роботи пилосистем: сушильної та розмелювальної продуктивності млинів з урахуванням, витрати суміші гарячого повітря та інертних газів з котла, присмоктів повітря в газохід сушильного агенту, присмоктів повітря в пилосистему, робочої і гігроскопічної вологості вугілля і пилу, характеристик сирого вугілля, визначення витрати електроенергії на розмелювання твердого палива та транспорт вугільного пилу, розрахунок аеродинамічних характеристик тракту сушильного агенту.

Розроблені програми дають можливість моделювати та досліджувати системи пилоприготування в різних режимах їх роботи, зокрема при різних її збуреннях. При цьому для систем які проектується, можна встановлювати режимні параметри з метою підвищення ефективності їх роботи. При моделюванні систем, що знаходяться експлуатації, програма дозволяє при введенні реальних показників роботи системи виявляти причини зменшення ефективності роботи системи пилоприготування (для цього очевидно у програму слід вводити значення реальних параметрів, що характеризують роботу систем).

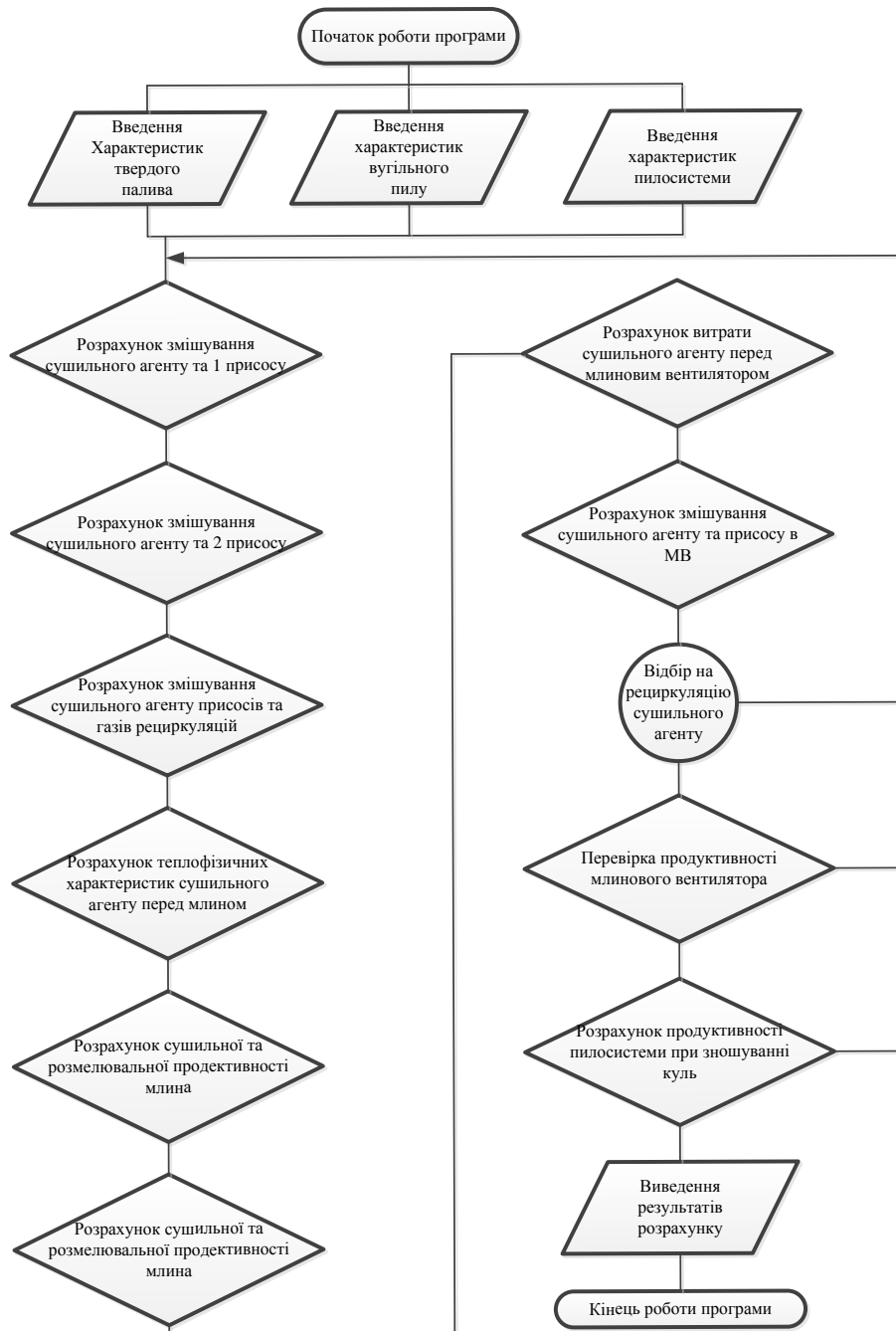


Рис.8 Алгоритм розрахунку пилосистеми котла ТП-100 з КБМ енергоблоку 200 МВт.

У додатках наведено відомості щодо впровадження результатів дисертації, схема замірів по пароводяному тракту котла та програма розрахунку основних технологічних параметрів системи пилоприготування.

## ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі на основі експериментальних і фактичних даних режимів роботи пилосистем, визначено вплив використання непроектного палива на ефективність і техніко-економічні показники горіння у паливні котла .

2. Виконано розширений аналіз якості палива, що поступає на ТЕС України, та його вплив на ефективність роботи пилосистем з КБМ.

3. Проведено експериментальне дослідження спалювання непроєктного палива на основі чого було визначено оптимальний надлишок повітря у режимному січені котла.

4. Уточнено аналітичний метод визначення зношення броні кульового барабанного млина, який дозволяє під час ремонту проводити часткову заміну броньових плит без повного відновлення броньованого покриття циліндричної або торцевих поверхонь барабана і економити кошти на ремонт обладнання.

5. Розроблено та впроваджено на ТЕС методи визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів пиловугільних котлів при спалюванні непроєктних видів палива, а саме:

- Метод визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу на прикладі котла ТП-92 енергоблоку потужністю 150 МВт.

- Метод визначення продуктивності КБМ з промбункером вугільного пилу на прикладі котлів ТП-100, ТПП-210А та ТПП-312 енергоблоків 200-300 МВт.

- Метод визначення продуктивності млина методом його зупинки.

6. Розроблений метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля та виконана оцінка невизначеності результату встановлення цих складових суміші.

7. Розроблено та впроваджено програми розрахунку продуктивності пилосистем з кульовими вентиляваними млинами при спалюванні непроєктних видів палива енергоблоків 150-300 МВт.

## ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у **24** друкованих працях:

1. Мисак С.Й. Розроблення та впровадження нових методів визначення продуктивності млинів пилосистем котлів. / Мисак С.Й. // Технологический аудит и резервы производства №3/4(17)/2014 с.8-11. (**Index Copernicus**) (*особистий внесок здобувача: розроблення нових методів продуктивності кульових барабанних млинів*).

2. Мисак С.Й. Розроблення алгоритму та і програми розрахунку продуктивності пилосистеми котла ТП-92. / Мисак С.Й. // Технологический аудит и резервы производства №6/5(20)/2014 с.31-34. (**Index Copernicus**) (*особистий внесок здобувача: розробка алгоритму та програми продуктивності*).

3. Y.Pistun. / Development of the analytical method for determining the armor wear of the drum ball mill / Y.Pistun, S.Mysak, T.Kovalenko, S.Lys // Eastern-European Journal of enterprise technologies 5/1(89) 2017 s.45-50. (**Scopus**) (*особистий внесок здобувача: проведено дослідження та сформульовано аналітичний метод*).

4. Голишев Л.В. Метод визначення продуктивності та кульового завантаження млина типу ШБМ / Голишев Л.В., Мисак С.Й., Коземко О.М. // Энергетика та електрифікація №11(339)/2011 с. 31-34. (*особистий внесок здобувача: виконання обрахунків, формування статті*).

5. Кравець Т.Ю. Дослідження та оптимізація роботи КБМ пиловугільних котлів/ Кравець Т.Ю., Мисак С.Й. // Энергетика та електрифікація №2(366)/2014 с.19-20. (*особистий внесок здобувача: проведення аналізу роботи кульового барабанного млина*).

6. Мисак С.Й. Метод визначення кульового завантаження та питомої витрати молотьних куль млина КБМ 370/850 (Ш-50А) пиловугільних котлів енергоблоків ТЕС/ Мисак С.Й. // Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит №3(134)/2015 с. 41-48 (*особистий внесок здобувача: проведення експериментів, розробка методу визначення кульового завантаження*).

7. S.Mysak. Investigation of Mill balls metal deterioration in mills KBM 370/850 (SH-50A) when fuel not envisaged in the mill design is used at thermal power plants // Energy engineering and control systems Volume 1/Number 1 – 2015 s.19-24 (*особистий внесок здобувача: дослідження та розроблення факторів які впливають на зношення молотьних куль в КБМ*).

8. Мисак С.Й. Програма розрахунку продуктивності пилосистеми котлів ТПП-312 енергоблоків 300 МВт при спалюванні непроєктних видів палива та оцінка недовідпуску енергії / Мисак С.Й. // «Енерготехнологія та ресурсозбереження» №4 – 2015р с.65-71

*(особистий внесок здобувача - проведено аналітичний аналіз та уточнення програми розрахунку).*

9. Y. Pistun. Methods for Defining the binary coal mixture composition in the pulverized coal-fired boiler. // Energy engineering and control systems Volume 3/Number 1 – 2017 s.1-8. *(особистий внесок здобувача: розроблення методу визначення часток складових суміші палива, проведення експериментів).*

10. Клуб М.В. Розроблення алгоритму та програми розрахунку сушильної та розмелювальної продуктивності пилосистем з КБМ (Ш-50) котлів ТП-100 енергоблоків 200 МВт // «Вісник» Інженерної академії наук України 3-4 2014 р. *(особистий внесок здобувача: проведення розрахунків, оформлення статті).*

11. Мисак С.Й. Патент України № 63296 UA МПК (2011) F23K 1/00. Пилосистема котла / С.Й. Мисак // опубл. 10.10.2011, Бюл. №19 (Модернізація пилосистеми котла). *(особистий внесок здобувача: розробка методу, оформлення)*

12. Голишев Л.В. Патент України № 99219 UA МПК (2012) B02C 25/00, G01F 3/00. Спосіб визначення продуктивності кульового барабанного млина. / Л.В. Голишев, О.М. Коземко, С.Й. Мисак / опубл. 25.07.2012, Бюл. №14 (Спосіб визначення продуктивності кульового барабанного млина) *(особистий внесок здобувача: проведення розрахунків, оформлення)*

13. Мисак С.Й. Патент України № 71852 UA МПК (2012) F23K 1/00. Пилосистема маневреного котла / С.Й. Мисак / опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14 (Модернізація пилосистеми маневреного котла) *(особистий внесок здобувача: розробка методу)*

14. Мисак С.Й. Патент України № 104223 МПК (2013) F23K 1/00, G01N 33/22, G01N 25/00. Спосіб визначення часток складових суміші марок вугілля пилосистеми котла. С.Й. Мисак / опубл. 10.01.2014, Бюл. №1 (Спосіб визначення часток складових суміші марок вугілля пилосистеми котла). *(Особистий внесок здобувача: розробка методу).*

15. Мисак С.Й. Патент України № 103924 UA МПК (2013) B02C 17/00. Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки. С.Й. Мисак, Р.В. Брикайло / опубл. 10.12.2013, Бюл. №23 (Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки). *(Особистий внесок здобувача: розробка методу).*

16. Голишев Л.В. Патент України № 100616 UA МПК (2013) B02C 17/00. Спосіб визначення кульового завантаження барабанного млина. Л.В. Голишев, С.Й. Мисак, О.М. Коземко. / опубл. 10.01.2013, Бюл. №1 (Спосіб визначення кульового завантаження барабанного млина) *(Особистий внесок здобувача: проведення розрахунків та аналіз їх результатів).*

17. Брикайло Р.В. Патент України № 101392 UA МПК (2013) B02C 25/00. Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки. Р.В. Брикайло, С.Й. Мисак. / опубл. 25.03.2013, Бюл. №6 (Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки.) *(Особистий внесок здобувача: проведення розрахунків та аналіз їх результатів).*

18. Івасик Я.Ф. Визначення темпу зношення куль кульового барабанного млина розрахунковим методом / Я.Ф. Івасик, С.Й. Мисак, Л.В. Голишев, М.Ф. Заяць. // Шоста міжнародна науково-практична конференція. Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. – м. Львів. – 2011. С. 183 – 187. *(Особистий внесок здобувача: участь у розробці методу, виконання чисельних досліджень та аналіз їх результатів)*

19. Голишев Л.В. Визначення оптимального режиму роботи пилосистеми під час розмелювання вугілля марки АШ. Шоста міжнародна науково-практична конференція. / Л.В. Голишев, С.Й. Мисак, Я.Ф. Івасик, Н.М. Лашковська. // Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. – м. Львів. – 2011. С. 169 – 173. *(Особистий внесок здобувача: виконання чисельних розрахунків дослідження та аналіз його результатів)*

20. Мисак Й.С. Визначення коефіцієнта розмелюватності для низько реакційного палива. / Й.С. Мисак, Л.В. Голишев, М.Ф. Заяць, С.Й. Мисак, Н.М. Лашковська, Н.І. Блашков. Шоста міжнародна науково-практична конференція. Нетрадиційні і

поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. – м. Львів. – 2011. С.223 – 227. (*Особистий внесок здобувача: формування вихідних даних, систематизація, аналіз та узагальнення результатів*)

21. Брикайло Р.В. Спосіб спалювання вугільного пилу в паливні котельної установки під час розвантаження. / Р.В. Брикайло, С.Й. Мисак. // Збірник тез доповідей 9-ої Міжнародної науково практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: проблеми реабілітації та розвитку». – м. Алушта. – 2013р. С. 96 – 97. (*Особистий внесок здобувача: постановка задачі дослідження, формування масиву вихідних даних та аналіз отриманих результатів.*)

22. Кравець Т.Ю. Дослідження та оптимізація роботи КБМ пиловугільних котлів. / Т.Ю.Кравець, С.Й. Мисак. // Збірник тез доповідей 9-ої Міжнародної науково практичної конференції «Вугільна теплоенергетика: проблеми реабілітації та розвитку». – м. Алушта. – 2013р. С. 45 – 47. (*Особистий внесок здобувача: виконання експериментального дослідження, аналіз отриманих результатів, розробка методу*)

23. Мисак С.Й. Підвищення ефективності пилосистеми з КБМ пиловугільних котлів. / С.Й. Мисак. // Збірник тез доповідей «71 студентська науково-технічна конференція». – м. Львів. – 2013 р. (*Особистий внесок здобувача – аналіз отриманих результатів, розробка методу*)

24. Кравець Т.Ю. Визначення бінарного кульового довантаження млина типу КБМ. / Т.Ю. Кравець, С.Й. Мисак. // 9 Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» – м. Львів. – 2015р. С.240 - 242. (*Особистий внесок здобувача: участь у розробленні методу, проведення обробки результатів дослідження*)

#### АНОТАЦІЯ

**Мисак С.Й. Підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроекtnих видів палива. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика” - Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, Львів, 2017.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС шляхом створення нових малозатратних та більш достовірних способів визначення основних характеристик систем пилоприготування під час спалювання непроекtnих видів палива, що призводить до ресурсо- та енергозбереження.

На Трипільській ТЕС проведено експериментальні дослідження процесу спалювання непроекtnого палива на основі чого визначено оптимальний надлишок повітря у режимному січені для даного виду палива.

На основі експериментальних даних уточнений аналітичний метод визначення зношення броні кульового барабанного млина, який дозволяє під час ремонту проводити часткову заміну броньових плит без повного відновлення броньового покриття циліндричної або торцевих поверхонь барабана і економити кошти на ремонт обладнання.

Розроблено нові методи визначення часток складових суміші двох видів палива за результатами хімічного аналізу вугільної проби, яку відбирають безпосередньо з вугільного потоку перед млином. Ці методи запатентовані і впроваджені у виробництво. Їх можна застосовувати не лише в режимах проведення експериментів, а і в процесі довготривалої експлуатації.

Розроблені нові ефективні методи визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів пиловугільних котлів потужних енергоблоків ТЕС. Вони дозволяють оперативно визначати продуктивність млина не залежно від умов і режимів роботи пилосистеми. На відміну від існуючих методів вони дозволяють зменшити людські затрати і в подальшому забезпечують можливість автоматизації даного процесу.

Уточнено алгоритм та розроблена програма розрахунку основних технологічних параметрів системи пилоприготування для котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312, які можна використовувати на більшості ТЕС України.

**Ключові слова:** система пилоприготування, вугільний котел, непроєктне паливо, визначення продуктивності, кульовий барабанний млин, підвищення ефективності.

### АННОТАЦИЯ

**Мысак С.И. Повышение эффективности работы систем пылеприготовления котлов энергоблоков ТЭС при сжигании непроектных видов топлива. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 "Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика" - Национальный университет «Львовская политехника» МОН Украины, Львов, 2017.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности работы систем пылеприготовления котлов энергоблоков ТЭС путем создания новых малозатратных и более достоверных способов определения основных характеристик систем пылеприготовления при сжигании непроектных видов топлива, что приводит к ресурсо- и энергосбережению.

На Трипольской ТЭС проведены экспериментальные исследования процесса сжигания непроектного топлива на основе чего определен оптимальный избыток воздуха в режимном сечении для данного вида топлива.

На основе экспериментальных данных уточненный аналитический метод определения износа брони шаровой барабанной мельницы, который позволяет при ремонте проводить частичную замену броневых плит без полного восстановления броневого покрытия цилиндрической или торцевых поверхностей барабана и экономить средства на ремонт оборудования.

Разработаны новые методы определения долей составляющих смеси двух видов топлива по результатам химического анализа угольной пробы, отбирают непосредственно из угольного потока перед мельницей. Эти методы запатентованы и внедрены в производство. Их можно применять не только в режимах проведения экспериментов, но и в процессе длительной эксплуатации.

Разработаны новые методы определения производительности шаровых вентилируемых мельниц пылеугольных котлов мощных энергоблоков ТЭС. Они позволяют оперативно определять производительность мельницы независимо от условий и режимов работы пылесистемы. В отличие от существующих методов они позволяют уменьшить человеческие усилия и в дальнейшем обеспечивают возможность автоматизации данного процесса.

Уточнен алгоритм и разработана программа расчета основных технологических параметров системы пылеприготовления для котлов ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312, которые можно использовать на большинстве ТЭС Украины.

**Ключевые слова:** система пылеприготовления, угольный котел, непроектные топливо, определение производительности, шаровой барабанной мельницы, повышение эффективности.

### SUMMARY

**Mysak S.Y. The improvement of the efficiency of the sawing systems boilers of TPS power units during non-project fuel types burning - manuscript.**

Thesis for a Candidate's Degree in Engineering by specialty 05.14.06 "Technical Thermophysics and Industrial Thermal Power Engineering"- Lviv Polytechnic National University Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

This dissertation is devoted to the issues of increasing sawing system efficiency of boilers of TPS power units by designing new less consuming and more reliable methods for determining the main characteristics of sawing systems during combustion of non-project types of fuel, which lead to resource and energy savings. In this paper the coal mills, cyclones and other boiler equipment are discussed in details.

At Trypilska TPS, experimental research was carried out on the process of combustion of non-project fuel on the basis of which the optimum excess air in the regime of cuttings for the given type of fuel was determined.

On the basis of experimental data, an analytical method for determining the wear of armor of a ball drum mill has been refined, which allows a partial replacement of armor plates during repair during repair without full restoration of the armor coating of the cylindrical or end surfaces of the drum and to save money on equipment repairs.

New methods for determining the particles of the components of a mixture of two types of fuel are developed based on the results of a chemical analysis of the coal sample, which is taken directly from the coal flow in front of the mill. These methods are patented and implemented in production. They can be used not only in the modes of experiments, but also in the process of long-term exploitation.

New effective methods of determining the performance of ball valves of pulverized coal boilers of powerful power units of TPS are developed. They allow you to quickly determine the productivity of the mill, regardless of the conditions and modes of operation of the sawing systems. Unlike existing methods, they can reduce human costs and further provide the opportunity to automate this process.

The algorithm has been refined and the program for calculating the main technological parameters of the sawing system for TP-92, TP-100, TPP-210A, TPP-312 boilers, which can be used on most TPS in Ukraine, is developed.

**Keywords:** sawing system, coal boiler, non-project fuel, efficiency determining, ball drum mill, increase of efficiency.