

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МИСАК СТЕПАН ЙОСИФОВИЧ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

УДК 621.311.22;
662.933.1

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

05.14.06 "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика"

Дисертація на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ С.Й. Мисак

Науковий керівник: Пістун Євген Павлович, доктор технічних наук, професор,
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

Львів - 2018

АНОТАЦІЯ

Мисак С.Й. Підвищення ефективності роботи систем пиллоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроєктних видів палива - Кваліфікаційна наукова праця 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 пиллоприготування котлів енергоблоків ТЕС шляхом створення нових мало затратних та більш достовірних способів визначення основних характеристик систем пиллоприготування під час спалювання непроєктних видів палива, що призводить до ресурсо- та енергозбереження. В роботі детально розглянуто роботу вугільних млинів, сепараторів, циклонів та іншого котельного устаткування. Проаналізовано кожний з технологічних процесів і виділено його особливості. Проведено розширений аналіз роботи ТЕС України, вироблення електроенергії за останні роки, та якості вугілля яке поступає на електростанції. На основі проведеного аналізу встановлено ключову роль роботи системи пиллоприготування з точки зору якості горіння, а, відповідно, і паропродуктивності котла. Базуючись на даних з літературних джерел встановлено, що дана проблематика є новою і раніше ґрунтовно не досліджувалась, що призвело до певних труднощів у розв’язанні поставлених завдань. Виявлено недостатнє вивчення питання щодо способів визначення продуктивності кульових барабанних млинів чи визначення часток складових суміші палива двох марок вугілля.

Проведено теоретичний розрахунок витрати непроєктного палива, який показав перевитрату вугілля на 20%, що ще раз підкреслює важливість вирішення даної проблеми. Задача була гостро поставлена після втрати Україною контролю над шахтами (орієнтовно 80) які добувають вугілля марки АШ, на яке спроектовано велика кількість ТЕС нашої держави. Відповідно за останній рік Україна вводила надзвичайний стан в енергетиці, викликаний браком вугілля марки АШ і неможливім спалювання вугілля марки Г яким, Україна забезпечена повністю.

Основне завдання, яке було поставлено, це перевести усі блоки, які розраховані для спалювання вугілля марки АШ, на газову групу палива, тобто марки Г. Очевидно у вирішенні цього завдання зацікавлено багато підприємств. Надзвичайно важливим тут є визначення та підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС, на основі чого і сформована дана дисертаційна робота.

На Трипільській ТЕС проведено експериментальне спалювання палива з Південно - Африканської Республіки. Було розроблено програму проведення експерименту на основі відомих методик. Проведений аналіз палива та вугільного пилу, показав що характеристики даного палива відповідають представленому сертифікату і по елементарному складу схожі на вугілля марки П. Труднощі у проведенні експерименту виникали у зв'язку з тим, що усі роботи проводились на діючому обладнанні ТЕС. Після проведення дослідів було сформовано подальші дії, щодо розроблення мало затратних методів для підвищення ефективності роботи систем пилоприготування.

Також було проведено експериментальні дослідження роботи кульового барабанного млина на Бурштинській ТЕС, в наслідок чого розроблено аналітичний метод визначення зношення броні кульового барабанного млина.

Втрату металу від зношення броні барабана розраховували за темпом зношення броні та тривалістю максимального міжремонтного періоду роботи млина. При цьому пропонується проводити під час ремонту заміну окремих броньованих плит.

Вперше розроблені аналітичні залежності зношення броні до часу, для різних заводів виготовлювачів броні які дозволяють проводити діагностику роботи кульових барабанних млинів та планувати ремонтні роботи з найбільшою ефективністю, а значить забезпечувати ефективну роботу кульового барабанного млина.

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. Сучасні методи відбору проб і хімічного аналізу палива є

трудомісткими і довготривалими. При цьому вони дають загальну усереднену характеристику суміші палив, що спалюється в паливній котла, а визначення складових двох марок палива як таке є неможливим. Тому розроблено нові методи визначення часток складових двох видів палива за результатами хімічного аналізу вугільної проби, яку відбирають безпосередньо з вугільного потоку перед млином. Ці методи запатентовано і впроваджено у виробництво. Вони є простими та ефективними. Їх можна застосовувати не лише в режимах проведення експериментів, а і в процесі довготривалої експлуатації пилосистем котлів автоматизувавши технологічні процеси для дискретної або не перервної інформації.

Одним із основних вирішених завдань дисертаційної роботи є розроблення нових ефективних методів визначення продуктивності кульових вентильованих млинів пилувугільних котлів потужних енергоблоків ТЕС.

Вугілля, що поступає в паливню котлів проходить відповідну попередню підготовку і в кульових вентильованих млинах відбувається підсушування та розмелювання його до відповідної тонини з подальшою подачею його в пальники котла і в паливню, де проходить його спалювання.

Ефективність спалювання залежить від якості підготовленого вугільного пилу в кульових вентильованих млинах, робота яких в процесі їх експлуатації погіршується, через те потрібно періодично їх перевіряти і налагоджувати .

Продуктивність млинів, що розмелюють тверде паливо, пил якого подається в паливню котлів теплових електростанцій для спалювання, визначають за єдиним відомим методом шляхом відбору проби вугілля з фіксованої ділянки стрічки живильника сирого вугілля і вимірювання швидкості переміщення стрічки. Недоліком цього методу є значна трудомісткість операцій і робота персоналу в антисанітарних умовах : ручний відбір вугілля, переміщення (доставка) в ручну і зважування проби вугілля масою 50-80 кг поблизу працюючого устаткування. Цей метод застосовувався для перевірки нових методів.

На цьому фоні були розроблені, запатентовані і впроваджені 3 нових методи визначення продуктивності кульового барабанного млина : 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 та метод визначення продуктивності млина методом його зупинки.

Розроблені методи визначення продуктивності КБМ 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.

Розроблений алгоритми та програма розрахунку сушильної та розмелювальної продуктивності пилосистем котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210, ТПП-312 енергоблоків 150 – 300 МВт дозволяє проводити розрахунки пилосистем в залежності від якості палива та готовності пилосистем. За допомогою розробленої методики та відповідної програми можна додатково визначити параметри, замір яких в пилосистемі неможливий або недостовірний, провести аналіз впливу окремих характеристик палива та стану пилосистеми на сушильну та розмелювальну їх продуктивність, а також вплив окремих характеристик роботи пилосистеми на питомі витрати електроенергії для приготування пилу.

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

Список опублікованих праць за темою дисертації:

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 непроектних 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 / Клуб М.В., Мисак С.Й. // «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 розмелоздатності 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 пилю 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)*

SUMMARY

Mysak S.Yo. The improvement of the efficiency of the sawing systems boilers of TPP power units during non-project fuel types burning- Qualifying scientific paper on the rights of the 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 TPP 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. Each of the technological processes is analyzed and its features are highlighted. An extensive analysis of the work of the Ukrainian TPP, the outturn of electricity for the recent years and the quality of the coal that comes to power station has been done. On the basis of the analysis the key role of the sawing preparation in terms of the burning quality, and the boiler's steam efficiency was established too. According to the literature resources this topic is new and has not been researched yet, what led to certain difficulties in solving the problems. The methods for determining ball drum crumbles efficiency and components of fuel mixture of two types of coal are not investigated enough.

A theoretical calculation of the non-project fuel use was carried out, which showed the over-utilization of coal by 20%, what emphasizes the importance of solving this problem. After Ukraine lost the control over the mines (approximately 80) which extract coal AIII it became a top issue, since the high number of thermal power stations were designed to this type of coal. Accordingly, over the past year Ukraine declared a state of emergency in energy sector, caused by the lack of coal AIII and impossibility of burning coal Γ , which is stored enough in Ukraine.

The main task was to transfer all blocks designed to burn coal AIII to coal Γ , gas group fuel. Obviously many enterprises were interested in solving this problem. It is extremely important to determine and increase the efficiency of the systems of sawing boilers of TPP, what was taken as the basis for this dissertation paper.

The experimental combustion of fuel from the North African Republic was carried out at Trypillya TPP. An experimental program was developed based on well-known techniques. The analysis of the fuel and coal dust has shown that the characteristics of this fuel correspond to the presented certificate and is similar to coal II by components. The

difficulties in the experiment occurred due to the fact that all the works were carried out on the active equipment of TPP. After conducting the experiments, the action plan was created, to develop methods with less expense to increase the efficiency of the saw preparation systems.

Also, the experimental research was carried out on the operation of the ball drum mill at Burshtyn TPP, as a result the analytical method of determining of the usage of a ball drum protection was created. The loss of metal from the usage of drum protection was calculated by the rate of the protection usage and the maximal duration of the inter-repair period. It is suggested to carry out repairs during the replacement of individual protection plates.

For the first time, the analytical dependencies of the protection usage on time were designed, for various protection manufactures, which allow the diagnostics of ball drum mills and to plan repair works with the highest efficiency, what means to provide efficient ball mill performance.

Nowadays different methods of optimizing fuel combustion are used for permanent work of Ukrainian thermal power station. One of them is to mix different types of coal, what requires constant monitoring and analysis of the particles of the fuel mixture component. Modern methods of sampling and chemical analysis are laborious and time consuming. They also give a general averaged characteristic to fuel mixture burned in a fuel boiler, and the definition of components of two types of fuel as such is impossible. Therefore, the new methods of determining the particles of the two fuel types are developed based on the results of the chemical analysis of coal sample which is taken directly from the coal flow in front of the mill.

These methods are patented and implemented in production. There are simple and effective. They can be used not only for experiments, but also for long-term use of sawing system boilers by automating the technological processes for discrete or unceasing information.

One of the main solved tasks of this dissertation is the development of new effective methods of determining the productivity of ball ventilated mills of pulverized coal boilers of powerful power units of the TPP.

After getting into the fuel boiler the coal undergoes appropriate preliminary preparation and the drying and grinding of it to the appropriate ton is carried out in ball ventilated mills with further distribution to the boiler burner and to the паливня where it is burnt.

The efficiency of its combustion depends on the quality of the prepared coal dust in the ball ventilated mills, the work of which is deteriorating during its use, because of the need in periodical check and adjusting.

The productivity of the grinding mills of solid fuel, the dust of which is given to the fuel boilers of the thermal power stations to burn, is determined by the single known method by sampling the coal from a fixed section of the power supply of raw coal and measuring the velocity of the tape transfer.

The disadvantage of this method is the considerable complexity and working under unsanitary conditions: manual coal selection, manual transfer (delivery) and weighing of sample of coal with a 50-80 kg weigh near the working equipment. This method was used to test new methods.

On this basis 3 new methods for determining the ball drum mill productivity were developed, patented and implemented: a method of determining the mill productivity in schemes with direct coal dust injection, on in example of boiler TP-92 of a power unit of 150 MW, a method for determining the productivity of a CBM with bunker of coul in the example of boiler TP-100 TPP-210A and CCI-312 power units of 200-300 MW and a method for determining the productivity of the mill by stopping it.

The developed methods of determining the productivity of CBM allow to determine the productivity of the mill quickly, regardless of the conditions and modes of the sawing system. Unlikely to existing methods they can reduce human needs and provide further opportunity to automatize this process.

The developed algorithms and the program for calculating drying and grinding productivity of sawing boilers TP-92, TP-100, TPP-210, TPP-312 of 150-300 MW units allow to calculate sawing systems depending on fuel quality and sawing system preparation.

With the help of developed methodology and corresponding program, it is possible to determine parameters, what is impossible or inaccurate to do in sawing system, to analyze the influence of the separate characteristics of the fuel and the sawing system condition on its drying and grinding productivity, also the impact separate sawing system characteristics on specific electricity consumption for the dust preparation.

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ, ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ТА СПАЛЮВАННЯ НЕПРОЕКТНИХ ВИДІВ ПАЛИВА В ПАЛИВНЯХ ПИЛОВУГІЛЬНИХ КОТЛАХ.....27

1.1. Теплова енергетика України, технічний стан устаткування.....27

1.1.2 Сучасний стан розвитку енергетики України.....32

1.1.3 Розвиток галузей ПЕК та технічний стан підприємств.....34

1.2. Основні тенденції розвитку теплоенергетики України.....36

1.3. Технологічний парк пиловугільного устаткування енергоблоків ТЕС та технічний ресурс їх експлуатації.....39

1.4. Вибір та обґрунтування теми дисертаційної роботи.....44

Висновки до розділу 1.....45

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПАЛИВА НА ТЕС УКРАЇНИ, ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПИЛОСИСТЕМ З КУЛЬОВИМИ БАРАБАННИМИ МЛИНАМИ (КБМ) ПИЛОВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ.....47

2.1. Технічний аналіз палива на ТЕС України, та порівняльний аналіз з проектними показниками.....48

2.2 Підготовка вугільного пилу та вплив зміни якості палива на котельне устаткування.....54

2.2.1. Вологість вугілля.....54

2.2.2. Зольність вугілля.....56

2.2.3. Леткі речовини.....59

2.3. Розрахунок витрати непроектного палива для забезпечення заданого навантаження котла та енергоблоку.....61

2.4. Організація зміни паливного режиму пиловугільних котлів при використанні непроектних видів палива.....65

2.4.1. Основні положення що потрібно враховувати при спалюванні непроектних видів палива.....	65
2.4.2. Підготовка до проведення експериментального спалювання непроектного палива.....	66
2.4.3. Проведення експериментального спалювання палива.....	68
2.4.4. Оформлення результатів експериментального спалювання непроектного палива.....	69
2.5. Експериментальне спалювання непроектного палива з Південно африканської республіки (ПАР) на котлі ТПП-210А енергоблоків 300 МВт Трипільської ТЕС.....	70
2.5.1. Коротка характеристика обладнання.....	71
2.5.2. Методика випробувань і обсяг вимірювання.....	74
2.5.3 Стан і характеристика роботи обладнання.....	75
Висновки до розділу 2.....	78

РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ПИЛОПРИГОТУВАННЯ З КУЛЬОВИМИ БАРАБАННИМИ МЛИНАМИ ПРИ СПАЛЮВАННІ НЕПРОЕКТНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ТА ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ.....

3.1. Деякі технічні характеристики систем пилоприготування котлів ТПП-210А.....	80
3.2 Розробка аналітичного методу визначення зношення броні кульового барабанного млина.....	81
Висновки до розділу 3.....	89

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ПИЛОПРИГОТУВАННЯ ПРИ СПАЛЮВАННІ НЕПРОЕКТНИХ ВИДІВ ПАЛИВА.....

90

4.1. Метод визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу на прикладі котла ТП-92 енергоблоку 150 МВт.....	91
4.2. Метод визначення продуктивності КБМ з промбункером вугільного пилу на прикладі котлів ТП-100, ТПП-210А та ТПП-312 енергоблоків 200-300 МВт.....	93
4.3. Спосіб визначення продуктивності млина методом його зупинки.....	95
4.4. Розроблення методу визначення часток складових суміші двох марок вугілля.....	96
4.5. Розроблення та впровадження програми розрахунку продуктивності пилосистем з кульовими вентиляльованими млинами при спалюванні непроекtnих видів палива.....	105
4.5.1. Програма розрахунку продуктивності пилосистем котлів ТП-92 енергоблоків 150 МВт з кульовими барбанними млинами.....	107
4.5.1.1. Реалізація програми розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми котла ТП-92 з млинами 6М75U.....	108
4.5.2. Програма розрахунку продуктивності пилосистем котлів ТП-100 енергоблоків 200 МВт.....	112
4.5.2.1. Розрахунок розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистем з млинами Ш-50.....	115
4.5.3. Програма розрахунку продуктивності пилосистем котлів ТПП-210А та ТПП-312 енергоблоків 300 МВт.....	120
4.5.3.1. Коротка характеристика устаткування систем пилоприготування котлів.....	121
4.5.3.2. Розрахунок розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистем з млинами Ш-50.....	122
4.5.3.3. Приклад розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми.....	126
Висновки до розділу 4.....	130
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	131

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ДОДАТКИ:

1. ДОДАТОК А
2. ДОДАТОК Б
3. ДОДАТОК В

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОЕС – об'єднана енергосистема;

ГАВ – графік аварійного відключення;

ПАР – південно Африканська республіка;

КБМ – кульовий барабанний млин;

АТО – антитерористична операція;

АСУ ТП – автоматизація системи керування технологічним процесом;

ПВК – пил високої концентрації;

КПП ВТ – конвективний пароперегрівник високого тиску;

РПП – регенеративний повітропідігрівник;

ЖСВ – живильник сирого вугілля;

R_{90} , R_{200} – величина залишку пилу на ситі з розмірами вічок 90 мкм і 200 мкм.

E_{q4} - ефективність спалювання палива шляхом вигорання пилу, %

E_M - втрати електроенергії на пилоприготування, кВт/год

D_K - паропродуктивність котла, т/год;

$B^{розр}$, $B^{факт}$ - розрахункова і фактична продуктивність кульового барабанного млина, т/год;

Q_n^p - нижча робоча теплота згорання вугілля, ккал\кг;

$K_{ло}$ - коефіцієнт размелоздатності;

ВСТУП

Наявність значних потужностей теплових електростанцій та їх перехід на спалювання вугілля потребує більш поглибленого дослідження процесів підготовки та горіння твердого палива і розроблення нових заходів щодо підвищення ефективності спалювання вугілля в існуючих паливних котлів.

У зв'язку зі зменшенням запасів енергетичного палива, підвищення ефективності роботи пилосистеми з кульовими барабанными млинами та енергоблоку в цілому є важливим завданням сучасної науки та виробництва. Промисловість нашої держави серед інших країн відрізняється високою енергозатратністю. Саме тому заходи щодо раціонального використання первинних енергоресурсів, насамперед енергетичного вугілля, повинні розглядатись як основний елемент забезпечення національної безпеки і створення сприятливих умов розвитку енергетики.

Обсяг виробництва електроенергії в Україні за оперативними даними становить 187,9 млрд. кВт год, з якого: виробництво на АЕС-51,2%; ТЕС та ТЕЦ -39,3%; ГЕС-3,8%; інші джерела. - 5,7%. Виробництво електроенергії на ТЕС та ТЕЦ орієнтовано на споживання органічних енергоносіїв, в першу чергу, на використання вугілля власних родовищ [1,2,3]. Проте втілення заходів щодо економії палива для ефективного енергогенерування значно ускладнюється зниженням якості вугілля вітчизняних родовищ [4, 5]

Впровадження заходів, спрямованих на енергозбереження в електроенергетиці, і зокрема на ТЕС з пилувугільними котлами полягає у: зменшенні втрат в електричних та теплових мережах, зменшенні витрат енергії на власні потреби, в тому числі і на кульові барабанні млини, та економії палива на ТЕС, як основного чинника.

За таких умов доцільним стає впровадження енергозберігаючої політики щодо зменшення питомих витрат палива на вироблення електричної та теплової енергії. На сьогоднішній день важливим питанням ТЕС України є заміщення проектного палива на вугілля з відмінними від проектного значення характеристиками, тобто

енергетичним вугіллям марки Г, так як постачання палива марки А яке є проектним паливом для багатьох ТЕС, є на сьогоднішній день обмежене (див. рис 1).

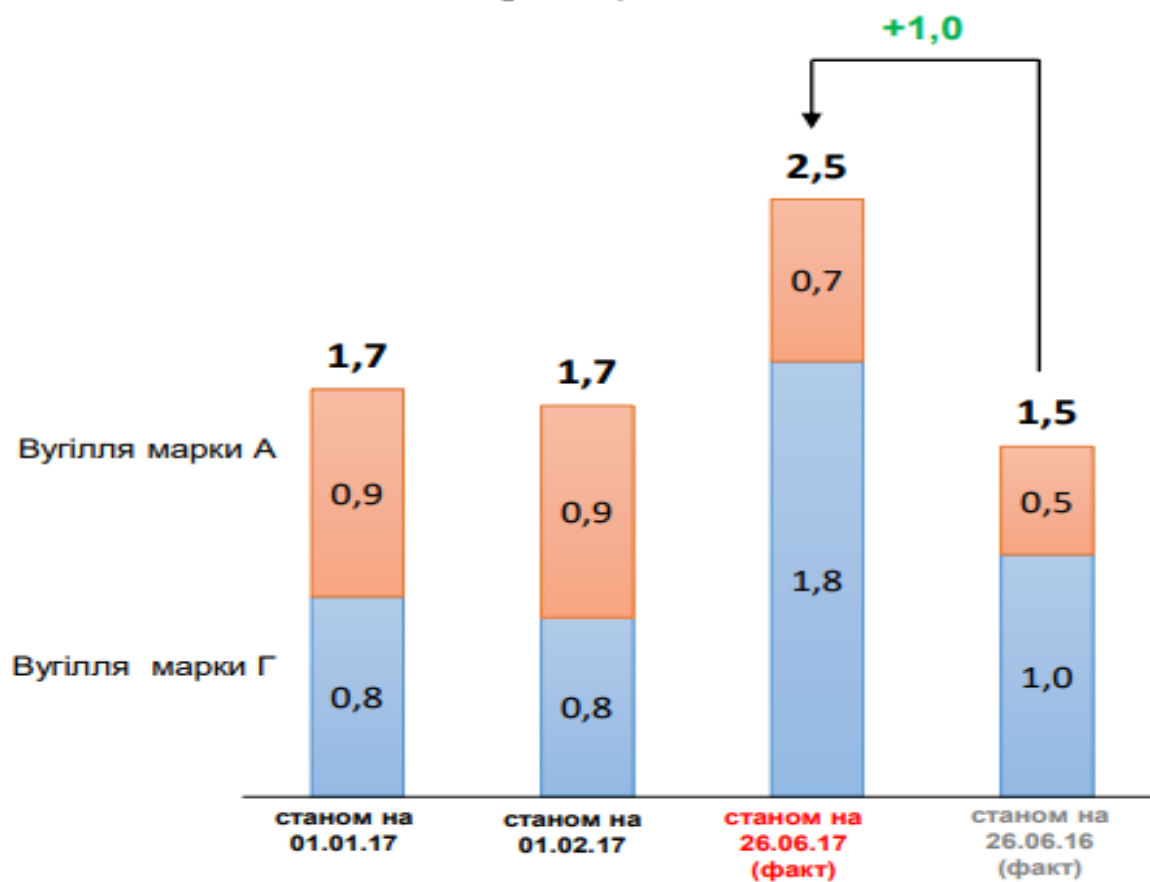


Рис.1 Динаміка запасів вугілля на ТЕС у 2017 році, млн.т.

На тлі зазначених тенденцій нестабільне забезпечення ТЕС твердим паливом українських вугледобувних басейнів призводить до абсолютно нових умов експлуатації існуючого тепломеханічного устаткування електростанцій нашої держави. Необхідно зазначити, що у зв'язку із зменшенням обсягів промислового виробництва, зумовленого економічною кризою в державі і, як наслідок, зменшенням споживання електричної і теплової енергії, (починаючи з 90-х років) об'єми постачання вугілля на ТЕС також суттєво скоротились.

Ключовою складовою стратегічної мети України щодо входження в ЄС, є інтеграція відчизняної енергосистеми до європейської. Наша держава має достатньо розвинені енергогенеруючі потужності, нафто-газотранспортні трубопроводи та електричні мережі, поєднані з мережами країн СНД та ЄС, що дозволяє їй брати

участь у формуванні спільного європейського енергетичного ринку. Сьогодні такі великі енергогенеруючі компанії як "Центренерго", "Західенерго" орієнтуються в майбутньому на продаж електроенергії країнам ЄС завдяки використанню дешевого низькосортного вугілля місцевих родовищ.

Підвищення ефективності роботи ТЕС - природній процес, що диктується необхідністю компенсації постійно зростаючих витрат паливного циклу.

Збільшення обсягів спалюваного твердого палива ставить питання пошуку нових перспективних технологій, які в умовах складного фінансування ТЕС мають бути ефективними при малих капітальних затратах [6,7]. Однак проблема ефективного та економічного спалювання різних видів твердого палива ускладнюється частою зміною його якості і режимів роботи електростанцій. На сьогодні в енергетичному комплексі нашої держави виникли складні задачі, пов'язані зі зміною якості вугілля та нестачею маневрених потужностей, що створило нові умови експлуатації діючих електростанцій [8].

Спалювання низькоякісного вугілля в нестандартних умовах формує особливо актуальними питання узагальнення накопиченого досвіду експлуатації в режимі оптимальної підготовки палива в кульових-барабанних млинах (КБМ) до його спалювання, розроблення нових схем та технічних рішень, що представлено в даній роботі.

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 пиловугільними паровими котлами енергозбереження

полягає у: зменшенні втрат в електричних та теплових мережах, зменшенні витрат енергії на власні потреби та ефективній підготовці і спалюванні палива.

Наявність значних потужностей теплових електростанцій та врахування того, що зараз в Україні з'явилась проблема із запасами вугілля, виникає 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.

Тема даної роботи є актуальною оскільки на ефективність роботи електростанцій (ТЕС) України впливає підготовка та організація спалювання органічного палива (вугілля), що є основним паливом для ТЕС України.

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

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, формування завдання підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроектованих видів палива за рахунок розроблення нових методів визначення продуктивності, зношення куль і броні кульових барабанних млинів, визначення часток складових суміші палива двох марок вугілля, уточнення програм розрахунку основних технологічних параметрів 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 332-3Э-БуТЭС/0514 від 26.08.2015 та 0485 від 20.06.2014р.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є визначення впливу використання непроєктного 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 непроєктними характеристиками.

- Розробка методики визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів пиловугільних котлів при спалюванні непроєктних 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 вентиляваними млинами при спалюванні непроєктних 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.

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 отриманих результатів полягає у наступному:

- Розроблено методи визначення продуктивності кульових барабанних млинів , які можна використовувати для різних типів пиловугільних котлів (Патенти України на винахід № 103924, № 99219, № 111129)

- Уточнено програми розрахунку продуктивності пилосистем котлів ТП-92, ТП-100, ТПП-210А, ТПП-312.

- Розроблено метод визначення кульового завантаження барабанного млина (Патент України на винахід №100616)

Впровадження результатів роботи виконано:

- На Добротвірській, Трипільській та Зміївській ТЕС, ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС».

Особистий внесок автора

Всі наукові результати, викладені в дисертації, отримані автором самостійно. Автору належить аналіз стану проблеми, розробка й обґрунтування основних наукових положень дисертації у постановці та вирішенні завдань теоретичного та практичного характеру, виконання експериментальних досліджень та впровадження отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації

1. Всеукраїнський конкурс «Молодь-енергетиці України», дипломи 1-го ступеня (м.Київ 2010-2013р)

2. Науково-практична конференція. (м.Львів. – 7 -8 квітня, 2011р.)

3. Науково-технічна конференція «70-та студентська конференція». (м.Львів. – жовтень-листопад, 2012 р.)

4. Міжнародна науково-практична конференція «Вугільна теплоенергетика». (м.Алушта. – 2013р.)

5. Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії». (м.Львів. –2013р,2015р)

6. Міжнародна науково-практична конференція. (м.Київ-Пуща-Водиця. – 18-22 вересня, 2014р.)

7. Міжнародна науково-практична конференція «Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії» (м.Львів. – 2015р.)

8. 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 науко-метричних баз даних (Scopus, Index Copernicus), 7

публікацій у матеріалах вітчизняних та міжнародних конференцій, отримано 7 Патентів України (3 з яких одноосібні)

Структура і об'єм дисертації

Дисертація включає вступ, 4 розділи, висновки список літератури, та додатки. Загалом об'єм дисертаційної роботи складає ??? сторінок, машинописаного тексту з яких: ??? сторінок основної текстової частини, яка містить ?? рисунка та ?? таблиць, ?? сторінок списку літератури з ??? найменувань.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ, ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ТА СПАЛЮВАННЯ НЕПРОЕКТНИХ ВИДІВ ПАЛИВА В ПАЛИВНЯХ ПИЛОВУГІЛЬНИХ КОТЛАХ

1.1. Теплова енергетика України, технічний стан устаткування

Енергетика є базовою складовою економіки України, без ефективної роботи якої неможливий прогрес держави. Основою енергетики є теплова електроенергетика, яка використовує як первинне джерело енергії вугілля. На вугільних електростанціях виробляється близько 50% всієї електроенергії. Така кількість виробництва електроенергії вимагає ефективного спалювання органічного палива, тобто вугілля.

Національна стратегія розвитку теплової енергетики України має визначити шляхи розв'язання ключових проблем, які стримують та послаблюють стійкий розвиток сфери в довгостроковій перспективі. Тому, виходячи з цього, головним завданням є визначення пріоритетів та стратегічних напрямів реформування сфери енергетики країни, реалізація якої сприятиме сталому розвитку промисловості, житлово-комунального господарства та економіки в цілому.

По силі сьогоднішніх обставин свого вугілля не вистачає, і велику частину його приходиться закупляти за кордоном, зокрема у Південно Африканській республіці та США. Паливна складова собівартості практично всіх товарів, вироблених в Україні, виросла майже в три-чотири рази, на 30 — 70% упав їхній експортний потенціал. ККД теплових електростанцій залишаються на рівні 35 — 39%.

У результаті в Україні склалася парадоксальна ситуація, коли значний ріст цін на паливо, низька ефективність його використання створили могутній економічний стимул для впровадження нових енергозберігаючих технологій у практику. З іншої сторони в ряді інститутів нагромадилося багато нових розробок, упровадження яких могло б істотно скоротити витрати палива в Україні.

Одною із задач даної дисертаційної роботи і являється створити і впровадити у виробництво нові наукові розробки які допоможуть в першу чергу зменшити використання палива, збільшити термін та економічність роботи устаткування ТЕС.

У результаті помилкової енергетичної політики, що проводилася в Радянському Союзі, розвиток паливної енергетики зупинився, по суті справи, у 60-х роках. А оскільки в Україні в минулому були зосереджені великі теплоенергетичні об'єкти в різних галузях народного господарства, то при розпаді Союзу нам дісталася в спадщину відсталася теплоенергетика.

У результаті ми не маємо сучасних котлів, здатних ефективно спалювати низькосортне вугілля, що ще раз аргументує актуальність даної дисертаційної роботи. Немає в нас високоефективних парових, газових турбін, парогазових установок, газифікаторів для одержання газу з вугілля, дров, торфу і т.д. Розрив у розвитку теплоенергетики України і Заходу сьогодні складає 30 — 40 років, перебороти які в доступний для огляду час навряд чи вдасться. Незважаючи на велике відставання в розвитку української теплоенергетики від західної його все-таки можливо значно скоротити в найближчі 20 років.

Для цього вже зараз створюється така необхідна нашій державі стратегія розвитку теплоенергетики. На підставі згаданої стратегії підготовлені конкретні програми виходу теплоенергетики з кризи, що враховує регіональні особливості всіх областей і районів країни.

«Комплексною державною програмою енергозбереження України» передбачені науково обґрунтовані потреби у паливі до 2010 р., можливі обсяги ресурсозбереження в галузях економіки та комунально-побутовому господарстві, заходи щодо модернізації галузей для того, щоб зменшити енергоспоживання, механізм реалізації програми та вирішення екологічних питань.

За січень-липень 2015 р., за звітними даними, електростанціями України вироблено 89587,4 млн. кВт год, що на 14033,2 млн. кВт год, або на 13,5% менше ніж за січень-липень 2014 р. При цьому, тепловими електростанціями енергогенеруючих компаній вироблено 29523,9 млн. кВт год, що на 13559,8 млн. кВт год, або на 31,5% менше ніж за 7 місяців 2014 року. Теплоелектроцентралями вироблено 3626,6 млн. кВт год, що на 531,2 млн. кВт год, або на 12,8% менше ніж за відповідний період 2014 р. Атомними електростанціями вироблено 51044,9 млн. кВтг, що у порівнянні з січнем-липнем 2014 р. більше на 1826,1 млн. кВт год, або на

3,7%. Гідроелектростанціями та гідроакумуючими електростанціями за 7 місяців 2015 року вироблено 4464,5 млн. кВт год, що на 1690,2 млн. кВт год, або на 27,5% менше ніж за 7 місяців 2014 р.

Виробіток ТЕС та ТЕЦ за 7 місяців 2015 року від загального по ОЕС складав 37,0%, виробіток електроенергії АЕС складав 57,0%, а виробіток ГЕС та ГАЕС – 5,0%. За 7 місяців 2014 р. частка виробітку ТЕС та ТЕЦ, АЕС, ГЕС та ГАЕС складала відповідно 45,5%, 47,5% і 6,2% [9].

Слід зауважити, що виробництво електроенергії блок-станціями та іншими джерелами за 7 місяців 2015 року склало 3491,8 млн. кВт год, що на 1676,0 млн. кВтг, або на 32,4% менше ніж за відповідний період 2014 року.

Виробництво електроенергії альтернативними джерелами за 7 місяців 2015 року склало 927,6 млн. кВт год, що на 78,2 млн. кВт год, або на 7,8% менше ніж за відповідний період 2014 року.

За 7 місяців 2015 року тепловими та атомними електростанціями і районними котельнями Міненерговугілля відпущено 13692,1 тис. Гкал, що на 98,6 тис. Гкал або на 0,7% менше ніж за відповідний період минулого року.

Динаміка і структура виробництва електроенергії по Україні наведено в таблиці 1.1

На початок 2015 року запаси палива на електростанціях склали: вугілля – 1457,9 тис. тонн, мазуту – 112,1 тис. тонн.

Загальний обсяг вуглепостачання на теплоелектростанції протягом січня-липня 2015 року склав 16288,7 тис. тонн, що на 3944,9 тис. тонн менше ніж за січень-липень 2014 року. Витрати вугілля склали 16220,5 тис. тонн.

Запаси вугілля на 01.08.2015 р. на складах ТЕС становили 1526,1 тис. тонн, що на 1580,7 тис. т менше ніж на 01.08.2014 р. при номінальній місткості вугільних складів 5080 тис. т, а залишок вугілля на 01.09.2015р. становить 1724,6 тис. т.

Запас мазуту на 01.08.2015 р. склав 90,9 тис. тонн, що на 16,6 тис. тонн менше ніж у минулому році (107,5 тис. тонн), а на 01.08.2015р. витрачено 127,7 тис. тонн топкового мазуту. Динаміка і структура виробництва електроенергії по Україні зображена у табл. 1.1.

Використання природного газу на теплових електростанціях України за січень-липень 2015 р. становило 2631,9 млн. куб.м, що на 331,3 млн. куб.м менше ніж за січень-липень минулого року. При цьому ТЕС енергогенеруючих компаній спожили 156,1 млн.куб.м, що на 34,2 млн.куб.м менше ніж у січні-липні 2014 року.

Таблиця 1.1. Динаміка і структура виробництва електроенергії по Україні

	7 місяців 2015 року		7 місяців 2016 року		+/- до 2015 р.	
	кВт год	у % до заг. виробн.	кВт год	у % до заг. виробн.	млн. кВт год	%
Виробіток електроенергії – всього	108796,3	100,0	93204,6	100,0	-15591,7	-14,3
у тому числі:						
ТЕС та ТЕЦ, з них:	47221,5	43,4	33256,4	35,7	-13965,1	-29,6
ТЕС ГК - всього	43083,6	39,6	29639,6	31,8	-13444,0	-31,2
ТЕЦ	4137,9	3,8	3616,8	3,9	-521,1	-12,6
ГЕС та ГАЕС, з них:	6158,1	5,7	4462,3	4,8	-1695,8	-27,5
ГЕС	5681,2	5,2	3509,6	3,8	-2171,6	-38,2
ГАЕС	476,9	0,4	952,7	1,0	475,8	99,8
АЕС	49218,8	45,2	51044,9	54,8	1826,1	3,7
Альтернативні джерела (ВЕС,СЕС,біомаса)	1030,1	0,9	953,7	1,0	-76,4	-7,4
Блок-станціями та іншими джерелами	5167,8	4,7	3487,3	3,7	-1680,5	-32,5

Станом на 01.08.2015 в українських підземних сховищах знаходиться близько 12,88 млрд. куб. м природного газу, що на 1,9 млрд. куб. м, або на 13,5% менше порівняно з минулорічним показником.

За 7 місяців 2015 року спостерігається зменшення електроспоживання (брутто), яке склало 89044,0 млн. кВт год, що на 11767,3 млн. кВт год, або на 11,7% менше ніж за 7 місяців 2014 року. Споживання електроенергії (нетто) галузями національної економіки та населенням становить 70514,3 млн. кВт год, що на 10070,2 млн. кВт год або на 12,5% менше аналогічного показника 2014 року.

Загалом зменшення електроспоживання (нетто) відбулося, переважно, за рахунок зменшення споживання паливною промисловістю (на 42,4%), хімічною та нафтохімічною (на 23,3%), металургійною (на 16,0%), харчовою та переробною (на 11,8%), машинобудівною промисловістю (на 18,7%), будівництвом (на 14,0%), транспортом (на 9,6%), комунально-побутовими споживачами (на 9,8%), населенням (на 4,6%). Динаміка і структура споживання електроенергії по Україні зображено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 Динаміка і структура споживання електроенергії по Україні

Групи споживачів	Ел.споживання 2016р. млн. кВт год	+ / - до 2015 р. млн. кВт год	+ / - до 2015 р. %	Питома вага, % 2015 р.	Питома вага, % 2016 р.
Споживання ел.ен. (брутто)	89044,0	-11767,3	-11,7		
Споживання ел.ен. (нетто)	70514,3	-10070,1	-12,5	100	100
у тому числі:					
1.Промисловість	29741,6	-7160,1	-19,4	45,8	42,2
у тому числі:					
Паливна	2750,5	-2021,9	-42,4	5,9	3,9
Металургійна	17175,9	-3281,2	-16,0	25,4	24,4
Хімічна та нафтохімічна	1828,7	-555,6	-23,3	3,0	2,6
Машинобудівна	2119,4	-488,1	-18,7	3,2	3,0
Будів.матеріалів	1146,1	-136,6	-10,6	1,6	1,6
Харчова та переробна	2292,9	-306,1	-11,8	3,2	3,3
Інша	2428,1	-370,8	-13,2	3,5	3,4
2.Сільгоспспоживачі	1878,6	-154,0	-7,6	2,5	2,7
3.Транспорт	3953,9	-419,4	-9,6	5,4	5,6
4.Будівництво	442,8	-72,2	-14,0	0,6	0,6
5.Ком.-побутові споживачі	8934,2	-967,7	-9,8	12,3	12,7
6.Інші непромисл.споживачі	3573,1	-239,0	-6,3	4,7	5,1
7.Населення	21990,1	-1057,7	-4,6	28,6	31,2

За січень-липень 2016 року вугледобувними підприємствами України видобуто 29,5 млн. тонн вугілля, що на 16750,5 тис. тонн (або на 36,2%) менше

порівняно з відповідним періодом 2014 р. В цілому видобуток енергетичного вугілля зменшився на 7537,6 тис.т (або на 22,3%), коксівного – на 9212,9 тис.т (або на 73,4%).

Упродовж 7 місяців 2015 року вугледобувними підприємствами, що підпорядковані Міненерговугілля України, видобуто вугілля 5,1 млн. тонн, що на 7793,4 тис.тонн (або на 60,3%) менше, ніж за цей період 2014 року. Видобуток енергетичного вугілля зменшився на 5500,0 тис. тонн (або на 59,4%) порівняно з відповідним періодом 2014 р., а коксівного – на 2293,4 тис. т (або на 62,7%) і видобуток відповідно склав 3,7 та 1,3 млн. тонн.

1.1.2. Сучасний стан розвитку енергетики України

Основною специфікою роботи електростанцій є те, що будь-який момент часу вся вироблена електроенергія повинна бути спожита . Іншими словами, повинен бути енергетичний баланс між виробництвом і споживанням електроенергії заданої якості. Зміна споживання електроенергії відбувається при підключенні або відключенні споживачів.

Підтримування балансу між виробником та споживачем електроенергії досягається за рахунок зміни виробничої електроенергії.

Практично всі теплові електростанції України побудовані 30-40 років тому, через те устаткування потребує реконструкції.

З цією метою було виконано великий обсяг робіт по підвищенню ефективності роботи систем пиллоприготування яка забезпечить надійну роботу теплових електричних станцій і в свою чергу надасть такий потрібний резерв маневрених потужностей. Такі коливання, як відомо, відбуваються протягом доби (день-ніч) протягом тижня (робочі-вихідні) дні, та сезонні протягом року (зима-літо).

Окрім того, можливі і непередбачувані зміни потужності, наприклад, через обриви ліній електропередач , або аварійні відключення генеруючих об'єктів і т.д. Для забезпечення надійної роботи генеруючої системи потрібно передбачити аварійний резерв маневреної потужності, який повинен швидко вводитися в

експлуатацію в залежності від ситуації. На рис.1.1 зображено добовий графік виробництва електроенергії в ОЕС України за 1 березня 2016р [8].

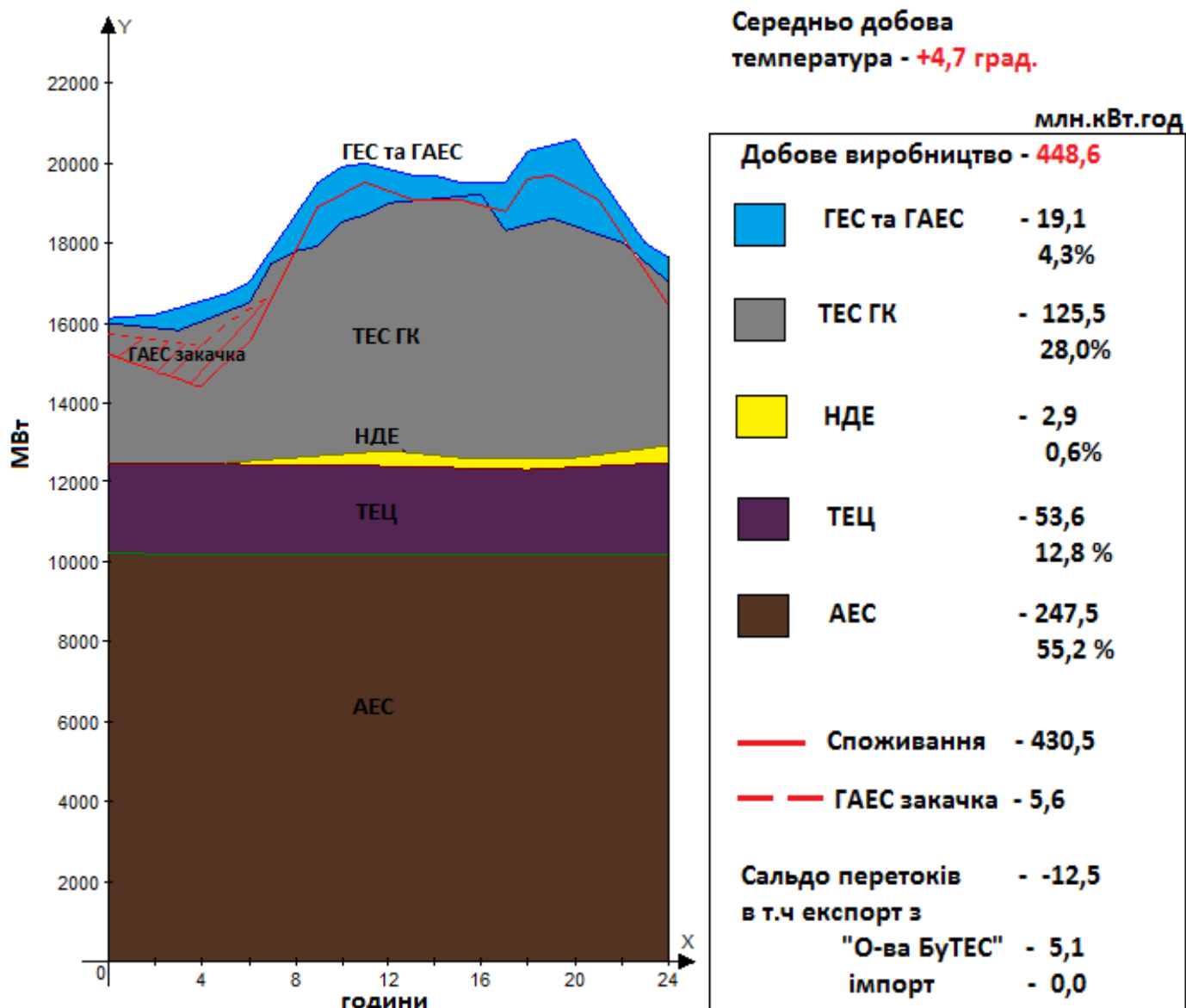


Рис.1.1 Добовий графік виробництва/споживання електроенергії в ОЕС України за 1 березня 2016 р

Як видно із графіка, мінімальне значення споживання енергії є в нічний період доби з (0 до 4 год) і становить 16 тис.МВт , а під час максимального споживання енергії (19-20 год) 20,5 тис. МВт, що становить біля 37% від сумарної потужності генерації в ОЕС України – 56 тис.МВт. При цьому загальна потужність ТЕС на сьогоднішній день становить 27 тис. МВт, що дозволяє констатувати про

можливість забезпечення споживачів виключно енергією, що виробляється на ТЕС України.

Для раціонального використання первинних енергоносіїв та їх заощадження ДП «Енергоринок» формує структуру генерації електроенергії і складає графік роботи енергооб'єктів на кожен день.

При цьому в першу чергу до роботи залучають енерго об'єкти альтернативних джерел, у зв'язку з гарантією держави викупу всієї електроенергії, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС, виключаються по графіку, потім АЕС і в останню чергу ТЕС [9], тобто ТЕС працюють в маневреному режимі.

При цьому заявлена потужність АЕС до графіка електроспоживання в повному обсязі лише за умов збалансовано графіка впродовж кожної доби тижня. При цьому ТЕС встановлюється графік роботи такий, щоби забезпечити «живучість» ТЕС з мінімальними навантаженнями роботи енергоблоків.

Під час повного навантаження і споживання електроенергії близько 19 години, сумарна потужність всіх видів генерації становить 20500 МВт.

Потрібно відзначити, що ГАЕС сприяють полегшенню проходження нічних провалів графіків навантажень. Без роботи ГАЕС в пусковому режимі в період нічного мінімуму споживання електроенергії потрібно було би значно зменшувати потужність енергоблоків ТЕС з пилувугільними котлами, або частково зупиняти енергоблоки на 4-6 годин з подальшим їх пуском. Такі режими роботи негативно впливають на технічний стан устаткування та економічні показники роботи ТЕС.

1.1.3 Розвиток галузей ПЕК та технічний стан підприємств

Виконання інвестиційних програм енергопостачальними компаніями За 1 півріччя 2015 року енергопостачальні компанії виконали інвестиційні програми на суму 1194,5 млн. грн., або 41,0 % від плану I півріччя 2015 року (2855,4 млн.грн.),що на 102,2% біль від виконання I півріччя 2014р. (331,5 млн.грн.).

За розділом 5.1. “Технічний розвиток, модернізація та будівництво електричних мереж” виконання за I півріччя 2015 року складає 559,4 млн. грн., або 60,7 % від плану I півріччя 2015 року (921,17 млн. грн.).

За 12 місяців 2014 р. ДП «НЕК «Укренерго» виконало інвестиційну програму на суму 1794,0 млн. грн., або 85,2% від плану року (2405,7 млн. грн.), у т. ч.:

- нове будівництво – 1307,8 млн. грн., або 88,2% від плану року (1482,4 млн. грн.);
- модернізація, реконструкція, технічне переоснащення обладнання електричних мереж – 486,2 млн. грн., або 78,0% від плану року (623,2 млн. грн.).

На 2015 рік ДП «НЕК «Укренерго» передбачено освоїти капіталовкладень на загальну суму 4 779,9 млн. грн.

За I півріччя 2015 р. ДП «НЕК «Укренерго» виконало інвестиційну програму на суму 1194,5 млн. грн. або 41,8% від плану I півріччя (2855,4 млн. грн.), що на 102,2% більше від виконання I півріччя 2014 р. (590,8 млн. грн.).

В тому числі:

- нове будівництво – 1156,7 млн. грн. або 44,7 % від плану I півріччя (2587,2 млн. грн.), що на 169,7% більше від виконання I півріччя 2014 р. (428,9 млн. грн.).

- технічне переоснащення та реконструкція обладнання електричних мереж – 37,9 млн. грн. або 14,1% від плану I півріччя (268,3 млн. грн.), що на 76,6% менше від виконання I півріччя 2014 року (161,9 млн. грн.).

Найвищий коефіцієнт використання встановленої потужності за звітний період мають блоки потужністю 200 МВт – 35,1% (у минулому році – 44,9%). По блокам потужністю 100 МВт коефіцієнт використання встановленої потужності за звітний період – 31,2% (у 2014 році – 40,0%), по блокам потужністю 250 МВт – 26,3% (у минулому – 23,4%), по блокам потужністю 150 МВт – 32,6% (у минулому році – 43,2%), по блокам потужністю 300 МВт – 21,5% (у минулому році – 32,1%).

Зменшився коефіцієнт використання встановленої потужності по генкомпаніях: по ПАТ «Донбасенерго» на 6,7%, по ТОВ «ДТЕК Східенерго» на 16,9%, по ПАТ «Центренерго» на 11,0%, по ПАТ «ДТЕК Дніпроенерго» на 9,8%. А збільшився по ПАТ «ДТЕК Західенерго» на 5,8%.

Питомі витрати умовного палива на відпуск електроенергії по тепловим електростанціям України (ТЕС ГК та ТЕЦ) складають за 7 місяців 2015 року 384,8 г/кВтг, що менше в порівнянні з відповідним періодом 2014 р. на 2,0 г/кВтг.

На сьогодні Об'єднана енергетична система України продовжує працювати у вкрай складних умовах через критичну ситуацію з паливозабезпеченням теплових електростанцій та велику кількість пошкоджень об'єктів електромереж різних класів напруги внаслідок бойових дій на Сході України.

Станом на 01.08.2015 року запаси вугілля на складах ТЕС склали 1526,1 тис. тонн, залишок мазуту склав 90,9 тис. тонн.

Для збалансування режимів ОЕС України в умовах дефіциту потужності введені графіки аварійного відключення (ГАВ).

Відпрацьовуються шляхи вирішення питання добровільного зниження обсягів споживання електроенергії, зокрема енергоємними підприємствами, з метою уникнення негативного впливу раптового вимкнення споживачів з центрів живлення.

Станом на 30.08.2015 в результаті бойових дій у Донецькій та Луганській областях знеструмлено 44 населених пункти (частково або повністю). Обсяги пошкоджень в електричних мережах значні. Для проведення аварійно-відновлювальних робіт ліній електропередачі, підстанцій необхідні значні фінансові вкладення.

Повний обсяг пошкоджень в електромережах і визначення обсягів необхідного додаткового фінансування відновлювальних робіт може бути уточнено тільки після припинення бойових дій. Загальний орієнтовний обсяг необхідних коштів, за попередніми розрахунками станом на 01.01.2015 р., складає більше 3920 млн. грн.

1.2 Основні тенденції розвитку теплоенергетики України.

Враховуючи сьогоднішній стан в теплоенергетиці України, коли в Східному регіоні відбувається АТО та Донецький вугільний басейн практично перестав постачати на ТЕС України вугілля виникає проблема їх паливозабезпечення.

При цьому потрібно відзначити, що виробництво електроенергії в Україні до кінця 20 сторіччя базувалося на тепловій та атомній енергетиці.

Починаючи з 1991 р. разом із занепадом економіки відбувалось зниження попиту на електроенергію. В цілому споживання електроенергії в Україні, як і її вироблення, за період 1990-2000 рр. зменшились на 40-45% і тільки на початку 3-го тисячоліття намітилась стійка тенденція зростання.

В табл. 1.3 приведена структура енергетичних потужностей електричних станцій України за період 2005-2013 р.р

Протягом 70-80-х років основним видом палива, на ТЕС було вугілля, частка якого в структурі загального споживання складала біля 2/3, а впродовж 90-х років ситуація кардинально змінилася,- загальний обсяг виробництва енергії зменшився майже вдвічі [11,12]. Обсяг виробництва електроенергії в Україні становив за 2013р становив 183,7 млрд. кВт-год, з якого: виробництво на АЕС-47,6%; ТЕС та ТЕЦ-44,1%; ГЕС-3,6%; іншими джерелами - 4,7%.

Таблиця 1.3 Структура енергогенеруючих потужностей електростанцій України

Рік	Сумарна встановлена потужність, млн. кВт	АЕС		ТЕС і великі ТЕЦ		ГЕС і ГАЕС		Блок-станції та інші джерела	
		млн. кВт	%	млн. кВт	%	млн. кВт	%	млн. кВт	%
2005	52	13,8	26,5	30,2	58,1	4,7	9,1	3,3	6,3
2010	51,5	13,8	26,8	29,0	56,3	5,4	10,5	3,3	6,4
2011	53,2	13,8	26,0	28,9	54,3	5,5	10,3	5,0	9,4
2012	53,8	13,8	25,6	29,3	54,5	5,5	10,2	5,2	9,7
2013	54,5	13,8	25,4	29,3	53,7	5,5	10,1	5,9	10,8

На сьогодні основним: програмним документом з розвитку енергетики є Енергетична стратегія України на період до 2030 року [13]. В ній передбачені значні інвестиції для модернізації основних технічних фондів галузі (табл. 1.4)

Таблиця 1.4 Заплановані інвестиції в ПЕК України в період 2011-2030 років

Напрями фінансування ПЕК України	2011-2020 роки	2021-2030 роки	2006-2030 роки
Всього (<i>млрд. грн.</i>) у тому числі:	431,0	455,9	1045,0
Теплова енергетика	75,8	90,9	183,4
Гідроенергетика	5 6	10.6	19
Розвиток електричних мереж	43,3	25,9	82,9
Ядерна енергетика	79	117,6	208,2
Розвиток відновлювальних	3,0	3,0	70
Ядерно-паливний цикл	13,3	4,4	21,7
Вугільна промисловість	87,9	91,4	221,7
Нафтогазовий комплекс	122,6	112,1	300,3

Наведені дані підтверджують важливість, а із врахуванням незамінності для регулювання графіка споживання електроенергії, пріоритетність розвитку теплової енергетики, як складової ОЕС України. Дана думка підтверджується прогнозом зростання генеруючих потужностей електростанцій, що до 2030 року досягнуть рівня 88,5 млн. кВт.. Це дозволить задовольнити попит споживання електричної енергії та її експорт згідно з базовим сценарієм розвитку економіки країни до 2030 року.

Питомі витрати умовного палива на відпуск електроенергії ТЕС, і блок-станцій (з урахуванням локальних джерел у цілому по Україні) на даний період досягли 378,9 г у.п./кВт год і перевищують показники 1990 року більш ніж на 10% (у тому числі, в наслідок зміни методики розрахунку та зниження частки використання газомазутних енергобоків), в той час як середньосвітовий показник становить 315 г у.п./ кВт год [8].

Важаємо, що для виконання поставлених задач потрібно врахувати всі недоліки, виявлені в процесі реалізації попередніх програм, і розроблення комплексного підходу до технічного переозброєння галузі з врахуванням

диференціації рівня модернізації, вибору базової технології, відповідної паливної бази, екологічних міроприємств для кожного конкретного устаткування. Обов'язковою умовою такого підходу є аналіз технічного стану і особливостей експлуатації існуючих енергоблоків ТЕС та котельних установок.

1.3. Технологічний парк пилувугільного устаткування енергоблоків ТЕС та технічний ресурс їх експлуатації.

Основна частина технологічного устаткування електростанцій України була введена в експлуатацію в 1960-1980 роках.

На сьогоднішній день більше 80% енергоблоків відпрацювала свій технічний ресурс не рахуючи тих газомазутних блоків потужністю 300-800 МВт які законсервовані із-за відсутності подачі на ТЕС газомазутного палива.

При цьому із 104 енергоблоків які були введені в експлуатацію 86 це енергоблоки, що працюють на вугіллі.

Встановлена електрична потужність основних діючих блоків становить: Бурштинська — 12х200 МВт, Старобешівська - 10 х 200 МВт, Придніпровська- 4х150 МВт + 4х300 МВт, Запорізька - 4х300 МВт, Ладижинська -6х300 МВт, Зміївська - 6х200 МВт + 4х300 МВт, Курахівська - 1 х200 МВт + 6х210 МВт, Слов'янська — 1 х720 МВт, Луганська - 8х200 МВт, Трипільська - 4х300 МВт, Добротвірська - 2х150 МВт, Криворізька - 10х 300 МВт, Вуглегірська - 4х300МВт. Коефіцієнт використання встановленої потужності в загальному по ТЕС не перевищує 30% [14,15].

Регулювання добового графіку споживання електроенергії практично забезпечується ТЕС, що часто працюють з мінімальним складом устаткування вугільних блоків і з низьким регулювальним діапазоном. Доводиться зупиняти в резерв ряд блоків 150-200 МВт чи корпусів на блоках 300 МВт. Особливо складним є режим роботи ТЕС в період мінімальних навантажень (нічний провал, вихідні та святкові дні), коли частка базисних АЕС доходить до 65% від електроспоживання [16,17]. Фактичне напруження блоків ТЕС потужністю 200 і 300 МВт у

відповідності з їх ресурсом наведено на рис. 1.2 та 1.3. Статистичний аналіз стану основного устаткування показує, що найбільш спрацьованими елементами вузлів котельних установок, які потребують подальшої реконструкції нижня радіаційна частина, економайзер, пароперегрівач, пальники, вентильовані млини та ін. В незадовільному стані знаходяться паропроводи свіжої пари і перепускні труби високого тиску, метал яких, втратив початкові механічні властивості внаслідок роботи в умовах високих температур і тисків.

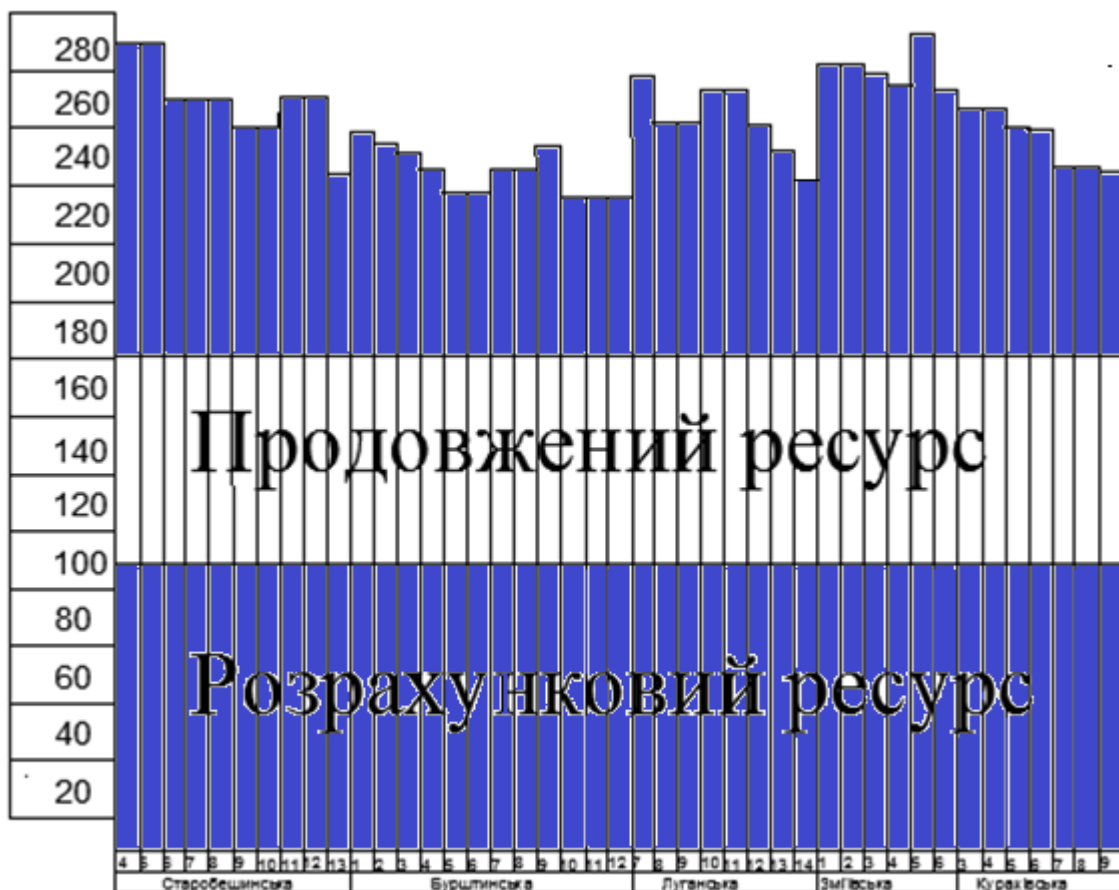


Рис.1.2 Відпрацювання ресурсу енергоблоками ТЕС потужністю 200МВт

У відповідності із стратегією розвитку теплової енергетики України базуватиметься на переважному використанні твердого палива [18]. У 2030 році прогнозована частка використання вугілля ТЕС, блок-станціями становитиме 85,1%, частка природнього газу – 14,5%, тоді як частка мазуту та решти видів органічного палива – 0,4% .



Рис. 1.3 Відпрацювання ресурсу енергоблоками ТЕС потужністю 300МВт

Тверде паливо є практично єдиним стабільним енергоносієм, запасів якого в Україні (52,6 млрд.т) при сьогоднішніх темпах споживання вистачить на довготривалу перспективу [19,20]. Теплова енергетика України споживає в основному вугілля марок А, П (близько 60%), Г, ДГ, Д, (близько 40%) [3,19]. У Львівсько-Волинському басейні зосереджено до 1,4 млрд.т вугілля, в основному марок Г та Ж, в Дніпропетровському басейні – до 2,2 млрд. т здебільшого марки Б (з вологістю 52-58%), в тому числі для відкритих робіт є придатними більш ніж 0,5 млрд.т, в той час як у Донецькому – більш ніж 90% всіх основних запасів вугілля, від марки Д до марки А.

Енергетичним вугіллям є вугілля марок А, П, та частково Ж, Г, ДГ, Д, решта вугілля надходить на процес коксування [21,22]. В табл. 1.5 представлено географічно видобування вугілля в шахтах України

Таблиця 1.5 Географічно видобування вугілля в шахтах України

Область	Марка вугілля		Видобуток	Зольність
			рядового вугілля, <i>тис. т</i>	рядового вугілля A^a , %
Донецька	Енергетичне	Д, ДГ, Г	8100	42,7
		П, А	8702	37,6
		Всього	16802	39,4
	Коксівне	Всі марки	19871	37,7
Луганська	Енергетичне	ДГ, Г	4191	40,9
		П, А	14745	34,6
		Всього	18936	36,3
	Коксівне	Всі марки	5420	40,0
Дніпропетровська	Енергетичне	Всього	6224	41,1
	Коксівне	Всі марки	4036	36,5
Львівська	Енергетичне	Г, Ж	2895	48,9
Волинська	Енергетичне	ДГ	530	39,8
Кіровоградська	Енергетичне	Г	313	2:2,8
Україна в цілому	Енергетичне	Д, ДГ, Г, Ж	21940	42,3
		П, А	23447	35,5
		Б	313	22,8
		Всього	45700	38,5
	Коксівне	Всі марки	29327	38,3
Всього вугілля			75027	38,4

Як видно із рис. 1.4. основними споживачами вугілля є ТЕС України.

За період 2011 року вугледобувними підприємствами України видобуто 6760,4 тис. тонн вугілля. Видобуток енергетичного вугілля збільшився на 5920,4 тис. тонн (або на 11,6%), коксівного – збільшився на 840,0 тис.тонн (або на 3,5%)

На Рис.1.5 показано фактичний видобуток вугілля за період 2013-2014 р.р

Однозначно із збільшенням обсягів спалювання вугілля на ТЕС постає питання про суттєве покращення культури його використання за рахунок, як розвитку новітніх ефективних технологій [23,24], так і пошуку шляхів покращення існуючих способів підготовки та спалювання [25,26,27]. Спалювання низькоякісного вугілля супроводжується погіршенням умов для режимів роботи ТЕС [28,29]. Мала кількість маневрених потужностей, непроектна якість та його не якісна підготовка призводить до перевитрат палива та прискороного зношення кульових барабанних

млинів та котельного устаткування.

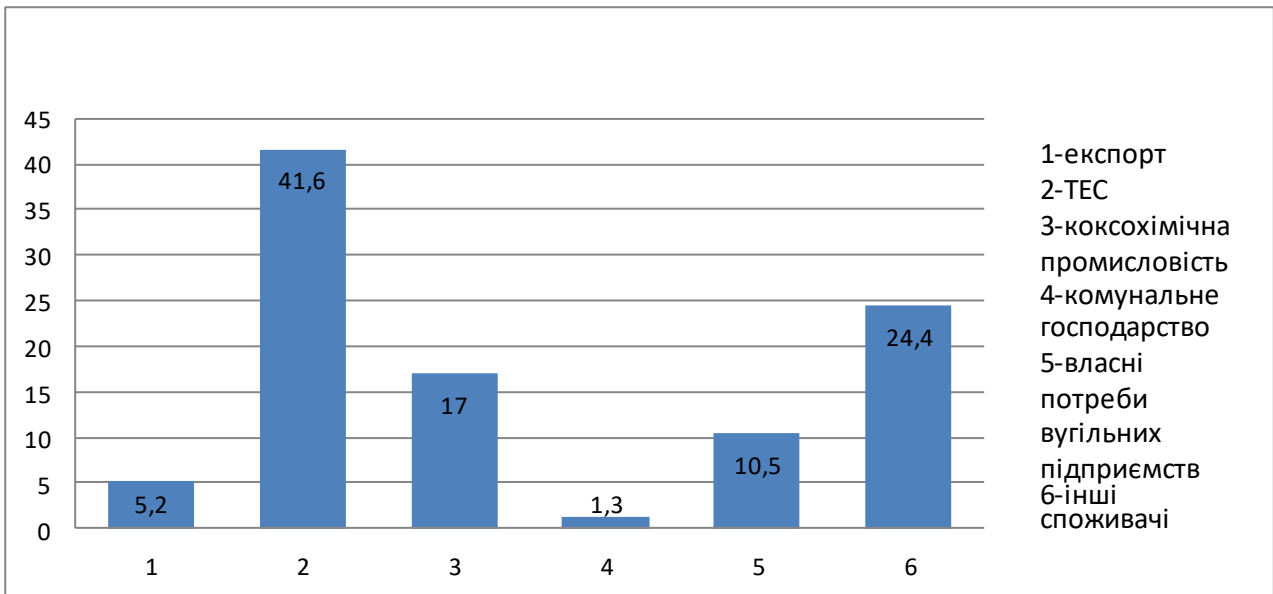


Рис.1.4. Споживання вугілля в Україні

За останні 20 років продуктивність вуглевидобування в нашій державі і якість вугілля, що надходить на електростанції не відповідає діючим проектним вимогам котлоагрегатів [30,31] створюючи суттєво інші умови їх роботи.

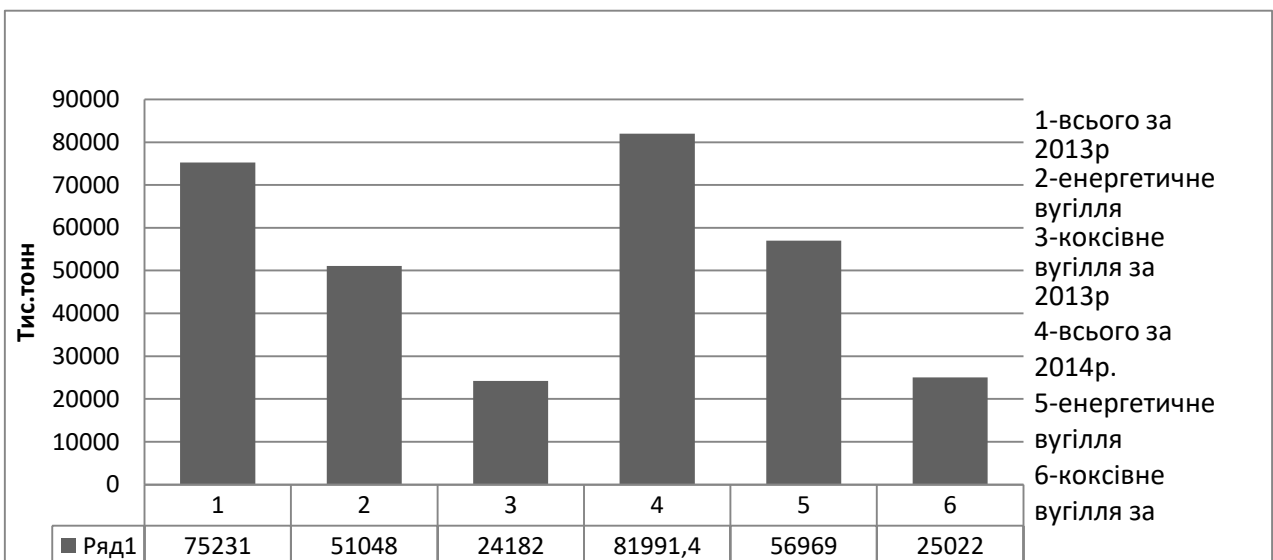


Рис 1.5 Видобуток вугілля в Україні за 2013-2014 роки

Враховуючи це, більшість пропозицій по технічному переоснащенню ТЕС стосувались впровадження новітніх технологій спалювання непроектованих видів

палива в пиловугільному факелі, його якісної підготовки до спалювання.

Існуючі потужності сучасних фабрик по збагаченні твердого палива можуть забезпечити переробку більшої частини енергетичного вугілля, хоча їх завантаження на сьогоднішній час становить лише 40-45% проектною потужності [32].

Одночасне забезпечення паливом ТЕС та збільшення обсягів видобутку енергетичних марок вугілля має супроводжуватись випереджуваним збільшенням кількості збагачення його на збагачувальних фабриках (ЗФ). Виробнича потужність ЗФ, що переробляють енергетичне вугілля, становить до 90 млн. тон в рік, що суттєво перевершує обсяги його видобування. Із 43-ох ЗФ тільки 15 обладнані сучасним устаткуванням, що придатне для збагачення фракцій до 0 (0,5) мм. В 1995-2000 роках всі ЗФ були завантаженні ~ на 40-45%. В 2002 році вперше було досягнуто збільшення частки збагачення енергетичного вугілля за рахунок зниження завантаження старіших та збільшення завантаження більш нових ЗФ.

Підсумовуючи наведені вище дані констатуємо, що споживання непроєктних видів палива буде актуальним ще досить значний період часу, тому особливо доцільним постає питання його економічного та екологічного використання шляхом малозатратних нововведень на діючому обладнанні ТЕС.

1.4. Вибір та обґрунтування теми дисертаційної роботи.

Аналіз літературних джерел показує те, що питання підвищення ефективності роботи систем пилоприготування потужних енергоблоків ТЕС на сьогоднішній день є важливим і актуальним. У зв'язку з тим, що більшість вугільних шахт, які забезпечували вугіллям ТЕС України, тимчасово залишаються не під контролем нашої держави, Українські ТЕС вимушені працювати в маневрених режимах з низьким навантаженням і частими зупинками не тільки в резерв але і на довготривалі простої, що однозначно зумовлено браком вугілля як такого, чи поступленням на ТЕС непроєктного палива.

Попри це проводяться роботи і дослідження по ефективному використанню непроектного палива і з точністю можна сказати, що ТЕС України суттєво збільшили споживання вугілля Львівсько-Волинського басейну та ПАР (Південно Африканської республіки). Мазут та природній газ використовується тільки для розпалювання котлів, чи при аварійних зупинках вугільних млинів.

Тому тема даної дисертаційної роботи як ніколи актуальна на сьогоднішній день.

1.5.Висновки до розділу 1

Практично всі теплові електростанції України побудовані 30-40 років тому, через те їх устаткування потребує реконструкції а технологічні режими потребують вдосконалення. Окрім цього, як було показано вище, на сьогоднішній день виникла необхідність роботи теплових електростанцій на непроектному виду палива, що також висуває додаткові завдання щодо їх реконструкції та вдосконалення, зокрема систем пилоприготування.

Отже метою роботи є визначення впливу використання непроектного 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 непроектними характеристиками.

- Розробка методики визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів пиловугільних котлів при спалюванні непроектних 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 вентиляльованими млинами при спалюванні непроєктних видів палива енергоблоків 200-300 МВт.

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

При цьому слід виконати аналіз якості непроєктного палива, що поступає на теплові електричні станції, та його вплив на ефективність роботи пилосистем з КБМ.

Слід зазначити, що не завжди вдається працювати виключно на одному непроєктному виді палива, у зв'язку з цим, починають застосовувати схеми пилоприготування з одночасною подачею двох видів вугілля: проектного і непроєктного. Це формує необхідність визначення часток складових суміші палива в реальному масштабі часу, а отже необхідність розроблення методу визначення часток складових суміші палива.

Також слід відмітити, що на ефективність роботи пилосистем з КБМ безпосередньо впливає сама їх продуктивність. Через те, на дослідження ефективності роботи систем пилоприготування слід мати нові і більш ефективні методи визначення продуктивності КБМ при роботі з непроєктними видами палива.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПАЛИВА, НА ТЕС УКРАЇНИ, ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПИЛОСИСТЕМ З КУЛЬОВИМИ БАРАБАННИМИ МЛИНАМИ (КБМ) ПИЛОВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ.

2.1. Технічний аналіз палива на ТЕС України та порівняльний аналіз з проектними показниками.

Якість твердого палива, що надходить на ТЕС впродовж багатьох років, погіршувалась, а з підвищенням тарифів на транспортування все частіше виявляються конкурентоспроможними місцеві енергоресурси. Тому, для теплоенергетики сформувався актуальне завдання пошуку технології, що забезпечить ефективне спалювання широкого спектру палива в енергетичних котлах з екологічно прийнятними характеристиками викидів.

Багато ТЕС спроектовано для спалювання вугілля марки АШ в камерних паливнях, однак сьогодні переважна більшість теплових електростанцій отримують неprojektне чи низькосортне місцеве тверде паливо, що не відповідає вимогам якості.

Використання низькоякісних палив в паливно-енергетичному балансі стає суттєвою, і в перспективі неprojektне вугілля стане основним серед твердих органічних палив, що спалюють на ТЕС [33]. Україна володіє суттєвими запасами низькосортного палива, в першу чергу бурого вугілля у Дніпропетровському та Львівсько-Волинському басейнах та високозольного антрациту у Донецькому басейні (тимчасово обмеженого у постачанні на ТЕС), тому постає необхідність відстежувати тенденцію зміни якісних характеристик палива впродовж останніх років [34,35,36]. Перехід на використання у електроенергетиці палив погіршеної якості на основі традиційних шляхів підготовки і спалювання пов'язаних із конкретними та певними труднощами. Котли недостатньо пристосовані для ефективного спалювання неprojektного вугілля з високою вологістю, зольністю та вмістом дрібної фракції, що призводить до зниження економічності роботи ТЕС, де використовується технологія факельного спалювання [37,38]. Незгорівший, але

висушений до цілковитої втрати вологи, вугільний пил виноситься з паливни разом із димовими газами. Експериментальне дослідження котлів при спалюванні несортованого вугілля в паливнях котлів пов'язане із понаднормативними тепловими втратами і в першу чергу з механічним недопалом, рівень якого досягає 15-30% [39,40,41,42].

Необхідно зазначити, що основні види твердого палива, що використовується на ТЕС України поділяються на природні та штучні. Природне паливо-вугілля добувають в основному шахтним або відкритим способом. Чим більший відсоток вмісту горючих елементів в паливі, і в першу чергу, вуглецю та водню, тим вища його теплота згоряння. Кисень «O», що знаходиться в паливі, теплоти не виділяє, проте завдяки його наявності в структурі вугілля частина складових палива виявляється вже окисленою, золу «A» і вологу «W» вважають баластом палива. Волога, що знаходиться в паливі, знижує частку горючих елементів в одиниці маси чи об'єму і на своє випаровування при горінні палива відбирає близько 600 ккал на 1 кг вологи. При проведенні випробувань котлів склад палива і його теплоту згоряння визначають експериментально.

При нагріванні тверде паливо розпадається на газоподібні леткі речовини і твердий нелеткий залишок (кокс). В коксі практично залишаються лише вуглець та зола. Кількість летких речовин в твердому паливі визначають у відсотках по відношенню їх маси до робочої чи сухої беззольної маси палива і позначають V .

Згідно з [43] за своїми теплотехнічними характеристиками тверде паливо можна класифікувати наступним чином:

- паливо високовологе - тверде паливо з високим вмістом вологи, приведена (на 1000 ккал/кг), волога якого більше 8%;

- паливо високозольне - тверде паливо з високим вмістом золи та різних гірничих домішок, приведена (на 1000 ккал/кг) зольність якого більша 10%;

- паливо низькосортне - тверде паливо, що характеризується високою зольністю та вологістю, з нижчою теплотою згоряння менше 3500 ккал/кг (15МДж/кг).

В результаті тривалої роботи шахт, значного спрацювання вугільних басейнів, та переходу на механізоване вуглевидобування, погіршення геологічно- гірничих

умов видобування, якісні характеристики твердого палива більшості вугільних басейнів України погіршились. Загальне зниження якісних характеристик вугілля [44,45] спричинене комплексним процесом, обумовленим зростанням його баласту. Найбільш наглядно характер зміни якості вугілля простежується в останні роки у Львівсько-Волинському та Донецькому вугільних басейнах [46].

На рис.2.1 Показано географічне розташування енергетичних об'єктів України в тому числі і теплових електричних станцій.

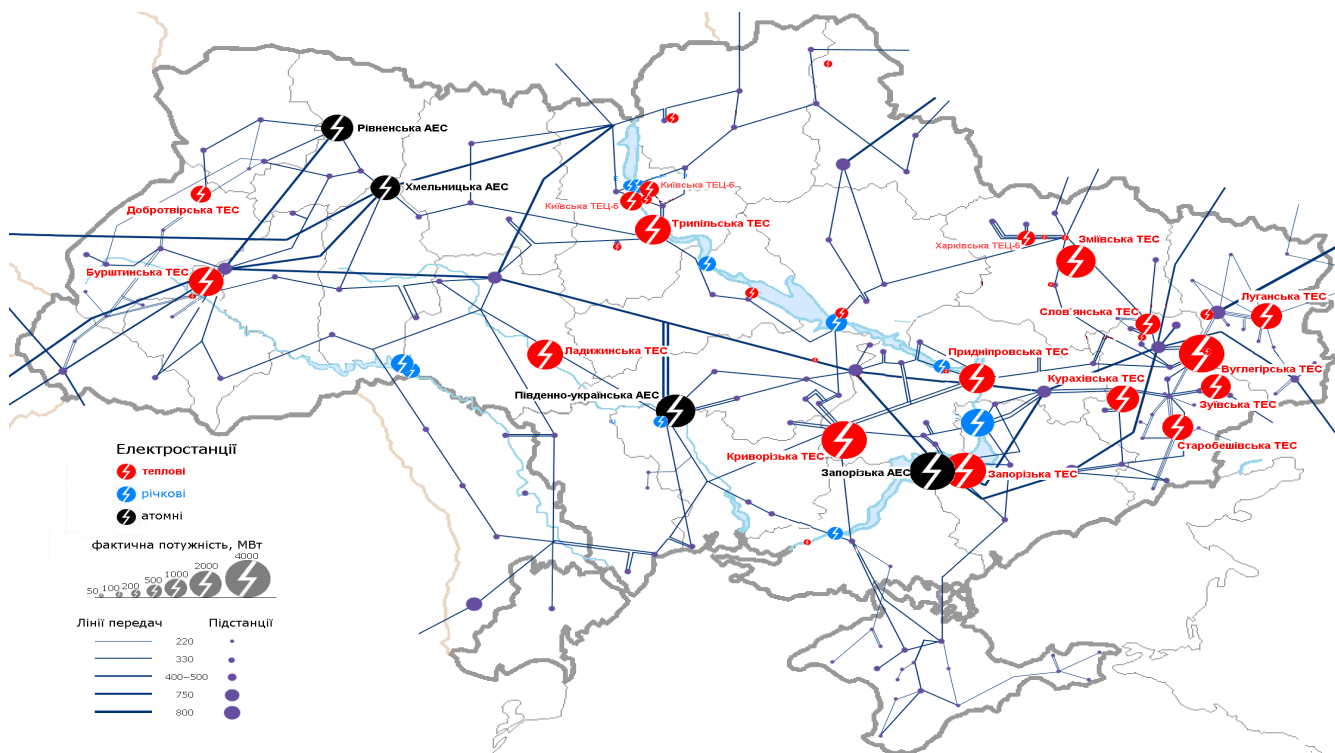


Рис.2.1 Географічне розташування енергетичних об'єктів України

За своїми реакційними властивостями [47,48] антрацит та пісне вугілля належать до категорій найбільш інертних твердих видів палива, і відповідно, до числа важких для спалювання. У зв'язку зі слабким розвитком пористої структури і малим вмістом летких речовин, низькою реакційною здатністю і необхідністю тонкого помелу, низькою розмелювальною здатністю і великою абразивністю, високою температурою займання.

Труднощі, що виникають впродовж багатьох років при спалюванні такого вугілля ускладнюються погіршенням його характеристик.

Середня нижча теплота згоряння вугілля, що спалювалось на ТЕС у 1975 році коливалась в межах 5200-5400 ккал/кг, у 2010 році – 4700- 4900 ккал/кг. Погіршення

якості відбувалось за рахунок збільшення середніх вологості з 8-9% у 1975 році до 10-11% у 2010 році, та зольності з 23-25% у 1975 році до 26-28% у 2010 році. Аналіз статистичних даних показує суттєве погіршення теплотехнічних показників якості твердого палива, що надходило на наведені на рисунку ТЕС протягом звітних 35 років.

Зміна якісних характеристик вугілля часто відбувається і протягом однієї доби чи робочої зміни. Приклади типової для Трипільської ТЕС щодобової зміни якості вугілля наведено в Таблиці 2.1. (фіксувалася протягом дослідів)

Таблиця 2.1. Середня щодобова зміна характеристик вугілля, що спалювалось під час проведення експериментів на Трипільській ТЕС (2010 р)

Характеристика АШ			Витрата газу на підсвічування одного корпусу, тис. м ³ /год
Q_i^r , ккал/кг	A^r , %	W , %	
5577	18,1	9,8	7,4
4372	32,5	10,6	5,8
5254	25,3	6,7	10,0
4512	34,4	7,1	10,0
5337	21,0	9,7	10,0
5534	18,8	9,4	10,0
4962	26,9	8,7	10,0
4897	-	9,3	5,5
4839	31,1	6,1	5,5
4755	-	-	5,5
3963	41,3	7,1	10,0
4742	30,7	7,6	5,5
4922	30,3	6,0	6,0
5394	23,5	6,5	6,0
4972	28,3	7,1	6,0
5287	23,7	7,6	6,0
5539	19,7	8,3	6,0
5426	23,3	7,1	6,0
4961	28,9	7,4	6,0
5605	20,3	7,4	6,0

Це пов'язано з частим надходженням енергетичного вугілля одночасно з кількох збагачувальних фабрик та шахт. При чому діапазон коливання значення

робочої зольності протягом: 20 робочих днів становить ~ 23%, вологості ~ 6%, калорійності ~ 1600 ккал/кг.

В таблиці 2.2 показана зміна структури енергетичних ресурсів у виробництві електроенергії тепловими електростанціями [21]

Таблиця 2.2 Зміна структури енергетичних ресурсів

Енергоресурс	Роки											
	1991	1994	1997	2002	2005	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2017
Вугілля млн.т ум.п.	22,7	21,6	18,1	19,8	19,8	23,7	26,3	22,7	24,8	26,5	28,5	28,3
%	31,3	45,1	52,5	66,4	66,4	75,7	79,2	79,9	79,7	80,1	82,1	83,3
Мазут млн.т ум.п.	15,1	4,1	1,8	0,4	0,1	0,1	0,1	1,1	0,1	0,06	0,06	0,07
%	20,8	8,6	5,2	0,4	0,3	0,3	0,3	3,9	0,3	0,2	0,2	0,2
Природний газ млн.т ум.п.	34,7	22,2	14,6	9,9	9,9	7,5	5,3	4,6	6,2	6,5	6,2	5,6
%	47,9	46,3	42,3	33,2	33,2	24,0	20,5	16,2	20	19,7	17,7	16,5
На ТЕС України в 1991-2017 роках												
% вугілля в структурі палива	1991	1997	2002	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2017
	31,3	52,3	65,7	66,4	76,2	77,7	93,6	96,9	96,3	97,7	97,7	98,6

Неконтрольована подача різноякісного вугілля ускладнює організацію режиму горіння та змушує оперативний персонал забезпечувати надійну роботу котлів режимними факторами.

Під час аналізу теплотехнічних характеристик твердого палива деякі автори [49] використовують також показники якості, такі як відносна вологість, зольність та нижча робоча теплота згоряння палива.

Ці коефіцієнти являють собою відношення фактичного значення показника за звітний період часу до його проектної величини, а саме:

- Коефіцієнт відносної теплоти згоряння вугілля $K(Q_i^r)$ становитиме :

$$K(Q_i^r) = \frac{(Q_i^r)_\phi}{(Q_i^r)_n} \quad (2.1)$$

де $(Q_i^r)_\phi$, $(Q_i^r)_n$ – відповідно, фактична та проектна нижча теплота згорання на робочу масу палива.

- Коефіцієнт відносної зольності вугілля $K(A^r)$ становитиме :

$$K(A^r) = \frac{(A^r)_\phi}{(A^r)_n}, \quad (2.2)$$

де $(A^r)_\phi$, $(A^r)_n$ – відповідно, фактична та проектна зольність на робочу масу палива.

- Коефіцієнт відносної вологості вугілля $K(W^r)$ становитиме :

$$K(W^r) = \frac{(W^r)_\phi}{(W^r)_n}, \quad (2.3)$$

де $(W^r)_\phi$, $(W^r)_n$ – відповідно, фактична та проектна вологість на робочу масу палива.

Аналізуючи літературні дані, можна стверджувати, що за останні 35 років коефіцієнт відносної зольності палива вугільних басейнів України зріс на ~ 0,25-0,30, коефіцієнт відносної калорійності вугілля знизився на ~ 0,10-0,15 у порівнянні з проектними показниками при $K(Q_i^r) = 1$, коефіцієнт відносної вологості зріс на ~ 0,10-0,15.

Зміна якості вугілля що поступає на ТЕС України наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Зміна якості вугілля що поступає на ТЕС України

Показники	Роки				
	2009	2010	2012	2014	2015
Антрацитовий штиб і пісне вугілля					
Постачається на: Придніпровську, Криворізьку, Старобешівську, Слов'янську, Зміївську, Трипільську, Луганську.					
$W_i^r, \%$	7,2	7,8	7,9	7,9	8,1
$A^d, \%$	23,1	23,7	24,4	23,0	23,3
Q_i^r ккал/кг	5640	5550	5465	5575	5528
$S^d, \%$	-	-	-	-	1,83
Газове та довгополуменеве вугілля					
Постачається на: Запорізьку, Вуглегірську, Добротвірську, Бурштинську, Ладижинську, Зуївську, Курахівську ТЕС					
$W_i^r, \%$	11,3	11,2	11,2	11,0	10,8
$A^d, \%$	23,3	24,9	25,2	23,4	23,2
Q_i^r ккал/кг	4880	4870	4860	4930	4944
$S^d, \%$	-	-	-	-	1,84

В цілому сучасний стан вугільної промисловості України може бути охарактеризовано як суттєво складний. Не краща ситуація і з проблемою розвитку галузі. Розглянемо перспективу в 20-30 років. За минуле століття в Україні (в основному-в Донецькому басейні) добуто 9,4 млрд. тонн вугілля, тобто більше чверті наявних запасів. Цілком природно, що опрацьовувались пласти з відносно найбільш сприятливими умовами. Майже повністю опрацьовані запаси антрацитів в Донецькій та Луганській областях, зменшився видобуток дефіцитного коксівного вугілля. Саме через такого роду причини на даний час відбувається погіршення теплотехнічних показників якості енергетичного вугілля.

Проте залишається проблема стану шахтного фонду. Шахти ще більше постарішають, і через 20-30 років перетворяться у вельми складні та обтяжливі в підприємства, що працюють з низькою ефективністю і небезпечними умовами праці. Донбас в значній мірі вичерпує свої вуглевидобувні можливості. Це відноситься і до Львівсько-Волинського басейну. Для збереження (не кажучи вже розвитку) вугільної галузі необхідні реконструкції підприємств з відносно сприятливими гірничо-геологічними умовами та будівництво нових шахт.

На найближчу перспективу потрібно зробити акцент на переважаюче видобування енергетично більш цінних марок вугілля: і поступовий перехід на їх повне збагачення; облагородження низькосортного бурого і кам'яного вугілля; укрупнення дрібної вугільної фракції з метою переведення її в висококалорійний і зручний для споживання продукт.

2.2 Підготовка вугільного пилу на ТЕС та вплив зміни якості палива на котельне устаткування.

В сучасних умовах ринкової економіки більшість українських ТЕС вимушені шукати можливість використання вугілля з подібними до нероектних якісними характеристиками із забезпеченням ефективності виробництва електроенергії та без завдання шкоди устаткуванню.

Вплив зміни теплотехнічних характеристик твердого палива(наприклад, A, W, V, Q) на роботу котла та його вузлів можна оцінити за відомими методами, але охопити вплив усього відомого їх переліку для нестабільних та невизначених сумішей вугілля складно.

Розглянемо деякі із них.

2.2.1 Вологість вугілля

Робоча вологість вугілля W^r - є однією з найважливіших якісних характеристик палива [50] і суттєво погіршує його технологічні характеристики, знижує теплоцінність, створює значні труднощі, при транспортуванні та підготовці до спалювання .

Вологість, за якої паливо набуває якостей налипання на поверхні [51], називається розрахунковою вологістю налипання $W_{p.n.}$. Значення для високо вологого палива набагато більше значення їх робочої вологості W^r . Для твердого палива з високим ступенем вуглефікації (кам'яного вугілля марок Ж,П,А) $W_{p.n.}$ значення близьке до W^r . Різниця $W_{p.n.} - W^r$ називається резервною вологомісткістю $\Delta W_{рез}^r$, яка показує на скільки може бути допустимим зволоження палива вище значення W^r без здатності до налипання. Значення $W_{p.n.}$ та $\Delta W_{рез}^r$ деяких марок українського вугілля наведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4. Характеристика показників вологості деяких марок вугілля

Вугілля	Марка	$W^r, \%$	$W_{p.n.}, \%$	$\Delta W_{рез}^r, \%$
Донецьке	Д	13,0	18,0	5,0
Донецьке	ГСШ	7,5	12,0	4,5
Донецьке	П	4,5	6,0	1,5
Донецьке	АШ	8,5	12,0	3,5
Львівсько-Волинське	Г	10,0	15,5	5,5

Спостерігається деяка залежність між резервною вологомісткістю та ступенем вуглефікації палива. Зі збільшенням вмісту вуглецю в паливі $\Delta W_{рез}^r$ знижується.

В зимовий період за низької температури високо вологе вугілля здатне до змерзання. Надходження на ТЕС такого палива надзвичайно ускладнює роботу тракту паливоподачі [52,53]

Найбільший вміст вологи в паливі, за якого ще не виникає його змерзання, характеризується так званою вологою змерзання $W_{зм}$, яка для всіх видів палива близька до гігроскопічної і менша за робочу. Характеристика енергетичних палив за показником $W_{зм}$, наведена в табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Вологість змерзання деяких марок вугілля

Тверде паливо	Вихід летких $V_{daf}, \%$	Зольність $A^d, \%$	Волога, %			
			робоча $W^r, \%$	сипучості $W_{сип}, \%$	гігроск. $W_{ггп}, \%$	змерзання $W_{зм}, \%$
Торф фрезерний	70,0	17,1	50,0	53,0-58,0	35,0	44,0
Дніпровське буре вугілля	59,0	36,0	54,0	57,0-62,0	39,0	48,0
Донецький антрацит	4,0	19,5	7,5	9-10	5,5	10,4
Львів. -Волин. газове вугілля	39,0	30,0	10,0	12,0-17,0	8,0	17,5

Як бачимо, волога змерзання зменшується при зниженні виходу летких речовин та зольності.

При нормативній приведеній вологості вугілля можливе обмеження сушильної продуктивності систем пилоприготування, що, в свою чергу, приводить до збільшення вологості готового пилу і до зниження надійності та економічності його спалювання в котлах [54,55]. Збільшення робочої вологи приводить до збільшення об'єму випарів води та швидкостей димових газів в конвективних поверхнях нагріву. Таке підвищення швидкостей посилює абразивне зношення поверхонь нагріву та газоходів і може спричинити обмеження: продуктивності димосмоків і, як наслідок, продуктивності котлів.

2.2.2. Зольність вугілля, A^r

Робоча зольність вугілля A^r практично повністю визначається мінеральними домішками, внесеними в поклади викопного палива в процесі його формування (вторинні домішки), і гірською породою, що потрапляє в паливо при видобуванні (третинні домішки) [56]. При горінні вугілля в умовах підвищеної температури ($>1000^\circ\text{C}$) утворюється декілька видів так званих осередкових залишків: жужіль, летка зола і провал.

При обмеженому доступі повітря повне вигорання вугілля і залишений в золі вуглець, виконуватиме функцію клейкого чинника. Такі процеси призводять до інтенсивного жужелювання поверхонь нагріву і, як результат, погіршення їх тепловідведення.

Збільшення загальної зольності при підвищенні частки абразивних складових SiO_2 , Al_2O_3 , та ін. зазвичай призводить до зношення устаткування ТЕС: системи транспортування вугілля, дробильного вуглерозмельювального устаткування, конвективних поверхонь нагріву котлів, лопаток димосмоків. Збільшення зольності ускладнює також роботу зололовлювальних установок і погіршує екологічні показники електростанції.

Згідно рекомендацій масові концентрації суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом, для існуючих установок під час спалювання твердого палива не повинні перевищувати значень, наведених у табл. 2.6.

Таблиця 2.6. Норми допустимих викидів суспендованих твердих частинок

Тип паливні парогенератора	Тип пиловловлювача	Технологічні нормативи допустимих викидів суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом, мг/м^3
З рідким видаленням жужелю	Електрофільтр з довжиною електродів 12 м і більше	400
	Електрофільтр з довжиною електродів менше 12 м	1000
З твердим видаленням жужелю	Електрофільтр	1000
Для усіх типів	Мокрі зололовлювачі	1300
	Батарейні циклони	2000

При цьому гранулометричний склад вихідного палива і готового вугільного пилу (R_5 , R_{10} , R_{90} , R_{200}) характеризує відповідно вихідне паливо та вугільний пил за залишках на ситах з розмірами вічок 5 і 10 мм для вугілля, та 90 і 200 мкм для готового вугільного пилу.

Надійність займання пилу пов'язана безпосередньо з величиною його повного залишку (R_{90}), а повнота вигорання - з наявністю грубих фракцій 200 мкм (R_{200}), що визначає втрати тепла з механічним недопалом. Вирішення рівняння Розіна-Раммлера, дозволяє отримати залежність між

$$R_{200} = 100 \left(\frac{R_{90}}{100} \right)^{2,2}, \quad (2.4)$$

де R_{90} , R_{200} - відповідно величина залишку пилу на ситі з розмірами вічок 90 мкм та 200 мкм, n - показник полі - дисперсності (залежить від типу млина).

Економічна тонина помелу вугілля вибирається на підставі рішення оптимізаційної задачі, яка забезпечує, з одного боку, ефективність спалювання палива шляхом повноти вигорання пилу E_{q4} а з іншого - мінімумом витрат електроенергії на пилоприготування E_M , (рис. 2.2)

Процес займання і горіння вугільного пилу при інших рівних умовах, наприклад, при однаковій тонині помелу, в значній мірі визначається кількістю летких речовин.

На підставі численних експлуатаційних даних у запропоновано залежності між кількістю летких речовин (V) та необхідною тониною помелу пилу (R_{90}), що забезпечує його стійке займання та вигорання.

$$R_{90} = \alpha + \beta V, \quad (2.5)$$

де $\alpha = 8 - 6$, $\beta = 0,7 - 0,9$ - безрозмірні коефіцієнти за експериментальними даними [49].

Різні значення R_{90} для одного і того ж виду і марки палива пов'язані з тим, що потрібно враховувати не тільки величину виходу летких, але і тип розмельного пристрою, що використовується для отримання пилу.

На рис. 2.2 показано вибір тонини помелу палива для різних марок вугілля з різним виходом летких речовин.

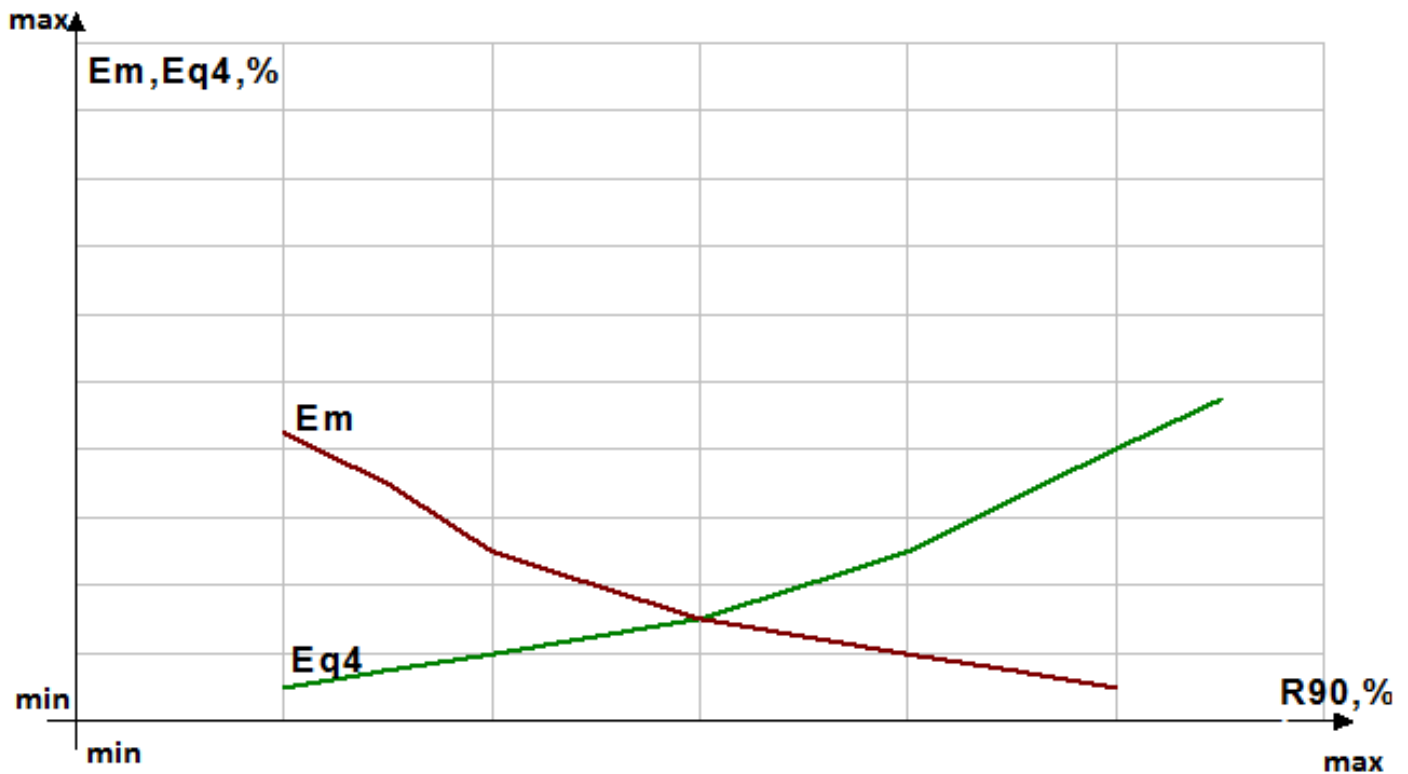


Рис 2.2 Залежність витрат на пилоприготування від тонини помелу палива.

2.2.3.Леткі речовини, V.

Вихід летких речовин характеризує марку та реакційну здатність вугілля. Завдяки цьому визначаються: конструктивні особливості паливні та пальників, потрібна тонину помелу ($R_{90} > R_{200}$) при факельному спалюванні, а також здатність до займання твердого палива та стійкість його горіння. За низьких значень V виникає потреба підсвічування факелу мазутом чи газом.

В об'єм летких речовин, по методиці їх визначення входять не тільки горючі леткі гази (в основному, вуглеводні), але й негорючі гази, наприклад, азот і випари води. Для визначення марочної належності величину V визначають в сухій знезоленій пробі.

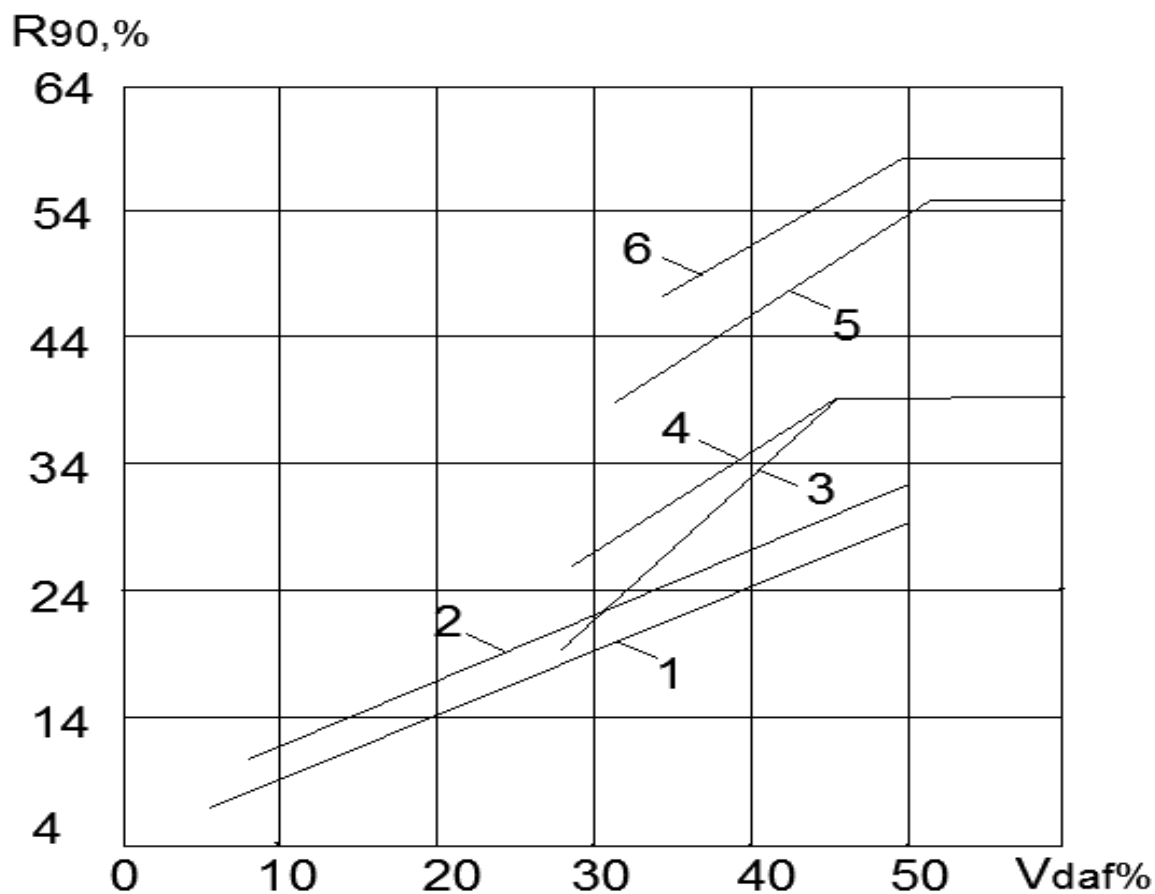


Рис 2.3 Вибір тонини помелу пилу в залежності від виходу летких речовин.

1 - АШ, напівантрацит, пісне; кам'яне вугілля при розмелюванні в КБМ; 2 - пісне і кам'яне вугілля при розмелі в СМ; 3 - кам'яне вугілля при розмелі в ММ; 4 - буре вугілля при розмелі в КБМ; 5 - буре вугілля при розмелі в СМ; 6 - буре вугілля при розмелі в ММ та М-В.

Деякі залежності для шахт Донецького басейну з вугіллям марок П та Г отримані під час випробувань на ТЕС України [51], наведені в таблиці 2.7

Таблиця 2.7. Залежність характеристик вугілля від вмісту летких речовин

Зольність A^d %	Вихід летких V %	Елементарний склад, %				Теплота згоряння, ккал/кг	
		С	Н	О+Н	S	Q_H^p	
Шахта Південнодонбаська №1							
20	41,0	80,67	5,52	12,06	1,75	7950	5547

30	41,2	79,04	5,66	13,16	2,14	7860	4789
46,5	42,9	77,73	5,78	13,74	2,75	7648	3815
Шахта Південнодонбаська №3							
20	39,5	83,28	5,31	10,03	1,38	8050	5620
30	40,5	81,87	5,52	11,18	1,43	7950	4847
42,3	42,5	79,14	5,85	12,97	2,04	7755	3581
Шахта Добропільська							
20	36,8	81,14	5,35	11,36	2,25	8000	5583
30	38,0	79,52	5,48	12,43	2,57	7850	4783
41,6	40,8	77,32	5,76	14,02	2,90	7571	3818
Шахта Білозерська							
20	35,5	82,03	5,47	10,25	2,25	7900	5510
30	36,5	80,68	5,84	10,91	2,57	7750	4719
45,2	41,6	79,48	6,08	11,43	3,01	7570	3531

Як видно із табл. 2.7 теплота згорання палива Q_p характеризується комплексом горючих та негорючих компонентів в ньому.

2.3. Розрахунок витрати непроектного палива для забезпечення заданого навантаження котла та енергоблоку.

Задля забезпечення заданої паропродуктивності котла при спалюванні непроектного палива, перед експериментальним спалюванням потрібно провести розрахунки витрати палива.

Кожний котел розрахований на спалювання вугілля визначеної марки з розрахунковою теплою горіння Q_i^g і витратою палива $B_k^{\text{розрах}}$. Для котла ТП-92:

$$D_k = D_{\text{нор}} = 500 \text{ т/год} \quad (2.6)$$

Однак в теперішні час має місце зниження теплоти горіння вугілля, яке спалюється на ТЕС. У зв'язку з цим, для забезпечення навантаження, яке задане для заповнення недостатньої теплоти з вугіллям погіршеної якості, необхідна кількість палива, яка б доповнила в порівнянні з $B_k^{\text{розрах}}$.

Визначення доповненої кількості твердого палива, яке необхідне для забезпечення заданих навантажень, при роботі котла на вугіллі погіршеної якості ($Q_{\text{нфакт}}^p$ є більше від $Q_{\text{нрозрах}}^p$). Причому, кам'яне вугілля як правило подається із $Q_{\text{н}}^p = 3500$ ккал/кг. Відношення годинної витрати вугілля, необхідного для несення заданих навантажень при фактичній теплоті горіння, до годинної витрати вугілля розрахункової якості $B_k^{\text{розрах}}$, який забезпечує нормальну паропродуктивність котла, виражаємо через коефіцієнт N. Цей коефіцієнт показує в скільки разів більше необхідно пилоповітряної суміші палива фактичної якості для підтримування заданого навантаження в порівнянні з фактичної якості для підтримування заданого навантаження в порівнянні з витратою вугілля і розрахункової кількості і якості.

$$N = \frac{B_k^{\text{факт}}}{B_k^{\text{розрах}}} \quad (2.7)$$

Котел ТП-92 номінальної паропродуктивністю 500 т/год. Розрахункова теплота горіння $Q_{\text{нрозрах}}^p = 5250$ ккал/кг. Розрахункова витрата вугілля $B_k^{\text{розрах}} = 90,4$ т/год. На котлі використовуються шість млинів, чотири кульові і два валкові. З них один завжди знаходиться в резерві, і на поточному ремонті (припустимо, що ці млини є валкові тихохідні). Номінальна продуктивність млинів 6М75У $B_{\text{мл}}^{\text{ном}} = 17$ т/год. Фактична теплота горіння $Q_{\text{н}}^p = 4200$ ккал/кг.

Визначаємо, що

$$B_k^{\text{факт}} = \frac{Q_k^{\text{факт}}}{Q_{\text{нфакт}}^p} \times \frac{10^{-3}}{\eta_{\text{факт}}}, \quad (2.8)$$

$$V_K^{\text{розрах}} = \frac{Q^{\text{ном}}}{Q_{\text{нрозрах}}^p} \times \frac{10^{-3}}{\eta_{\text{факт}}^{\text{бр}}}, \quad (2.9)$$

Оскільки для початку розрахунку ми задаємось певними значеннями, для спрощення вважаємо, що $Q_K^{\text{факт}} = Q^{\text{ном}} = \text{const}$; $\eta_{\text{факт}}^{\text{бр}} = \text{const}$, отже

$$\frac{Q_{\text{нфакт}}^p}{Q_{\text{нрозрах}}^k} = \frac{4200}{5250} = 0,8, \quad (2.10)$$

Визначаємо $V_{\text{ном}}$ – сумарну номінальну продуктивність млина, розрахункову з урахуванням коефіцієнта готовності (т/год) по формулі :

$$V_{\Sigma}^{\text{ном}} = V_{\text{мл}}^{\text{ном}} \times Z \times g_{\text{гот}}, \text{ т/год}, \quad (2.11)$$

де $V_{\text{мл}}^{\text{ном}}$ – номінальна (розмелювальна) здатність виробництва млина (по документації), $V_{\text{мл}}^{\text{ном}} = 19$ т/год; Z – число млинів на котел, $Z = 6$; $g_{\text{гот}}$ – коефіцієнт готовності до роботи млин, $g_{\text{гот}} = 0,94$; отже

$$V_{\Sigma}^{\text{ном}} = 19 \cdot 6 \cdot 0,94 = 109,04 \text{ т/год}, \quad (2.12)$$

Визначаємо коефіцієнт запасу виробництва млина:

$$K_{\text{зап}} = \frac{V_{\Sigma}^p}{V_K^{\text{ном}}} = \frac{109,04}{90,04} = 1,21, \quad (2.13)$$

Знаходимо коефіцієнт, який обмежує подачу пилової суміші в котел $M=1,06$. Користуючись значенням, отримаємо :

$$\frac{Q_{\text{нфакт}}^p}{Q_{\text{нрозрах}}^k} = \frac{4200}{5250} = 0,8 \quad (2.14)$$

$D_K = D_{\text{ном}} = 500$ т/год; $M= 1,06$ – визначаємо, що $N = 1,26$. Отже N більше за M , звідси виходить, що повна витрата пилу з бункера готового пилу рівна сумі витрати пилу на технологічні потреби $V_{\text{мл/ехн.}} = 1,5$ і витраті пилу на заповнення недостатньої кількості пилу при спалюванні вугілля погіршеної якості (витрата пилу $V_{\text{пл/зам}}$ – 17 відсотків витрати вугілля в умовному розрахунку). Витрата палива в натуральному розрахунку складає (при умовах, що котел працював 16 годин з номінальним навантаженням, $D_{\text{ном}} = 400$ т/год.

Витрата твердого палива в дійсному розрахунку складає:

$$V_K^{\text{факт}} 16 = V_K^{\text{розрах}} \times N \times 16 = 90,4 \cdot 1,26 \cdot 16 = 1822,5 \text{ т}, \quad (2.15)$$

де, N – коефіцієнт, який показує в скільки разів більше необхідно пило повітряної суміші фактичної якості; $V_{\text{к}}^{\text{факт}16}$ – витрата твердого палива у фактичному розрахунку.

$$V_{\text{к}}^{\text{ум}(16)} = \frac{Q_{\text{факт}}^{\text{р}}}{7000} \cdot V_{\text{к}}^{\text{факт}(16)} = \frac{1822,5 \cdot 4200}{7000} = 1093,5 \text{т}, \quad (2.16)$$

де $V_{\text{к}}^{\text{ум}(16)}$ – витрата твердого палива в умовному розрахунку.

$$V_{\text{пл}}^{\text{зам}} = \frac{V_{\text{к}}^{\text{ум}(16)}}{100} = \frac{17 \cdot 1093,5}{100} = 185,9 \text{ т/год}, \quad (2.17)$$

де $V_{\text{к}}^{\text{зам}}$ – витрата пилу в умовному розрахунку з бункера готового пилу на заповнення тепла.

При роботі котла $D_{\text{ном}} = 400$ т/год за 8 годин.

$$D_{\text{факт}} = \left(\frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{к}}}\right) \cdot D_{\text{к}} = \frac{400}{500} D_{\text{к}} = 0,8 D_{\text{к}}, \quad (2.18)$$

З номограми при $Q_{\text{нфакт}}^{\text{р}} = 0,8$, $Q_{\text{нфакт}}^{\text{р}} = 0,8$, $Q_{\text{нрозрах}}^{\text{р}}$; $D_{\text{факт}} = 0,8 D_{\text{к}}$ визначаємо, що $N = 1,00$ з умови $M = 1,06$. M більше N – витрата допоміжного палива на заповнення тепла з вугіллям погіршеної якості не потрібна і витрата пилу з бункера готового пилу дорівнює 0.

Витрата твердого палива в дійсному розрахунку:

$$V_{\text{к}}^{\text{факт}(8)} = V_{\text{к}}^{\text{розрах}} \cdot N \cdot 8 = 90,4 \cdot 1,00 \cdot 8 = 723 \text{т}, \quad (2.19)$$

або в умовному розрахунку:

$$V_{\text{к}}^{\text{ум}(8)} = \frac{732 \cdot 4200}{7000} = 433,9 \text{т} \quad (2.20)$$

Добова витрата твердого палива:

$$V_{\text{к}}^{\text{ум}(8)} = V_{\text{к}}^{\text{ум}(16)} + V_{\text{к}}^{\text{ум}(8)} = 1093,5 + 433,9 = 1527,4 \text{т} \quad (2.21)$$

З номограми при $Q_{\text{нфакт}}^{\text{р}} = 0,8$, $Q_{\text{нрозрах}}^{\text{р}}$ визначаємо витрату готового пилу на технологічні потреби, які складають 1,5% добової витрати твердого палива в умовному розрахунку.

Витрата вугільного пилу на технологічні потреби за 1 добу складає:

$$V_{\text{пл}}^{\text{техн}} = \frac{V_{\text{к}}^{\text{ум}(24)} \cdot V_{\text{техн}}}{1000} = \frac{1527,4 \cdot 1,5}{100} = 22,9 \text{ т/доб} \quad (2.22)$$

Добова витрата пилу із промбункера складає:

$$V_{\text{пл}}^{\Sigma} = V_{\text{пл}}^{\text{зам}} + V_{\text{пл}}^{\text{техн}} = 185,9 + 22,9 = 208,8 \text{ т/доб} \quad (2.23)$$

2.4. Організація зміни паливного режиму пиловугільних котлів при використанні непроекtnих видів палива.

2.4.1. Основні положення, які потрібно враховувати при спалюванні непроекtnих видів палива.

Зміна паливного режиму електростанції з використанням непроектного вугілля повинна допускатися тільки після проведення спеціалізованою організацією дослідного спалювання й оформлення відповідного акта по його результатах.

Ухваленню рішення про проведення експериментального спалювання конкретної марки непроектного палива повинне передувати проведення електростанцією наступного: аналізу теплотехнічних характеристик непроектного вугілля для з'ясування сумісності його з проектним по технологічних особливостях котельного устаткування, лабораторних досліджень непроектного вугілля (аналіз палива), оцінки обсягів реконструктивних робіт або модернізації основного і допоміжного устаткування для спалювання нового палива в “чистому” виді або в суміші з проектним, оцінки особливостей устаткування паливо підготовки і можливостей паливно-транспортного господарства для організації одночасного спалювання непроектного і проектного палива в роздільному або змішаному виді в залежності від організації постачання й умов складування вугілля, оцінки зміни екологічних показників електростанції по шкідливих викидах (газоподібних і твердих) і при необхідності узгодження цих питань у відповідних регіональних органах, оцінки зміни екологічних показників електростанції по шкідливих викидах (газоподібних і твердих) і при необхідності узгодження цих питань у відповідних регіональних органах, попереднього узгодження з постачальниками палива, Департаментом електричних станцій і Департаментом паливо забезпечення

перспективи постачання непроектного палива в прогнозованих річних обсягах Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

2.4.2. Підготовка до проведення експериментального спалювання непроектного палива.

Для організації експериментального спалювання вугілля електростанцією розробляється комплексна програма організаційно-технічних заходів щодо підготовки устаткування і персоналу до експериментального спалювання непроектного палива.

Комплексна програма організаційно-технічних заходів представляється в Департамент Міністерства енергетики та вугільної промисловості України для обов'язкового узгодження.

В обсязі комплексної програми встановлюється необхідність: розробки і виконання реконструктивних і інших технічних заходів щодо підготовки паливно-транспортного господарства, основного і допоміжного котельного устаткування до прийому і експериментального спалювання непроектного палива, коректування діючої або розробки тимчасової експлуатаційної документації, додаткової підготовки експлуатаційно-ремонтного персоналу до роботи на непроектному паливі, залучення на договірній основі для участі в організації підготовки і проведенні експериментального спалювання галузевих інститутів, спеціалізованих налагоджувальних організацій ТЕП або їхніх регіональних підрозділів, що мають досвід налагоджувальних робіт на призначеному до спалювання або подібному виді і марці палива, визначення обсягів постачання непроектного палива до початку експериментального спалювання, розробки технічної і робочої програм проведення експериментального спалювання, фінансування додаткових витрат на підготовку і проведення експериментального спалювання.

Комплексною програмою також визначаються: терміни початку проведення експериментального спалювання й особи, відповідальні за виконання встановлених

заходів, станційний номер котла, що виділяється для проведення експериментального спалювання, склад робочої групи для вирішення питань підготовки експериментального спалювання і технічний керівник проведення експериментального спалювання.

В обсяг реконструктивних робіт і інших технічних заходів щодо підготовки устаткування до експериментального спалювання непроектного палива включається: усунення дефектів устаткування, штатного контролю і АСУ ТП, забезпечення пожежної та вибухової безпеки по тракті паливо подачі, пилоприготування і котла відповідно до нормативних документів та інструкцій, установка додаткових засобів для аналізу і контролю якості палива, пилу, продуктів згоряння, опору елементів газового тракту котла і температури металу труб пароперегрівника й іншого в залежності від властивостей нового палива, відновлення або установка додаткових засобів експлуатаційного очищення поверхонь нагрівання котла у випадку експериментального спалювання палива, що шлакує поверхні нагріву.

Обсяг необхідних реконструктивних робіт і технічних заходів узгоджується з технічними експертами в Департаменті Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

Технічна програма експериментального спалювання повинна містити: основні задачі й етапи експериментального спалювання з урахуванням характеристик непроектного палива, діапазони навантажень, що перевіряються, з визначенням мінімально- допустимих по стійкості горіння і виходу рідкого жужелю і максимально можливих з продуктивності або без шлакової роботи котла, спосіб організації змішаного спалювання непроектного і проектного палив і їхньої пропорції, організацію вибору й аналізу проб сирого вугілля і продуктів спалювання палива, тривалість експериментального спалювання з метою виявлення без шлакової роботи котла.

Технічна програма іспитів підписується відповідальним виконавцем з боку електростанції і відповідальної організації, що бере участь у роботі, затверджується технічним керівником електростанції погоджується технічним керівником

2.4.3. Проведення експериментального спалювання вугілля.

До початку експериментального спалювання оформляється акт готовності устаткування, що погоджується з відповідальним представником сторонньої організації, що бере участь у роботі, і затверджений технічним керівником електростанції.

Також до початку експериментального спалювання повинно бути отримано все паливо, призначене для експериментального спалювання або більша його частина.

Експериментальна партія вугілля повинна забезпечувати експериментальне спалювання протягом не менш 30 діб для виявлення характеру й інтенсивності шлакування поверхонь нагрівання котла.

Експериментальне спалювання проводиться по робочих програмах, що затверджуються технічним керівником робіт, призначеним наказом по електростанції.

Основними запропонованими задачами проведення експериментального спалювання непроектного палива є визначення :

- умов безаварійної вибухобезпечної роботи систем пилоприготування з підтримкою температури аеросуміші за млинами в допустимих межах;
- можливості одержання, що рекомендується для випробування палива тонини помелу вугілля за рахунок заходів режимного характеру;
- обмежень по сушильній і розмелювальній продуктивності млинів;
- максимального навантаження котла при роботі його на непроектному паливі;
- рівня без шлакового навантаження котла на непроектному паливі, що шлакує, характеру й інтенсивності шлакування поверхонь нагрівання на номінальному навантаженні;
- мінімального навантаження за стійкістю горіння без підсвічування мазутом або газом у випадку експериментального спалювання низькорекційного палива;
- можливості підтримки допустимих температур середовища по пароводяному

тракту котла і номінальної температури пари за котлом при існуючих засобах регулювання;

- можливого ступеня заносу систем гідрозоловловлення і при наявності зверхпроектного вмісту оксидів кальцію в золі випробуваного вугілля.

При експериментальному спалюванні необхідно здійснювати :

- контроль за виходом жужелю роботою систем золовловлення і золожужелевидалення;

- оцінку можливості в умовах існуючого паливно-транспортного господарства забезпечити роботу котлів на суміші палив;

- визначення техніко-економічних показників котла з урахуванням проведення режимного налагодження в процесі експериментального спалювання вугілля.

2.4.4. Оформлення результатів експериментального спалювання непроектного палива.

За результатами експериментального спалювання і внутрішнього огляду устаткування складався технічний акт із по вузловою оцінкою роботи устаткування на непроектному паливі і висновками, по можливості, й умов його використання з додатком необхідних графіків, діаграм, фотографій і інших документів, що характеризують стан котельного устаткування і золошлаковидалення.

Технічний акт, був погоджений відповідальними представниками налагоджувальних організацій, що беруть участь у експериментальному спалюванні, затверджується технічним керівником і один примірник направляється в Міністерстві енергетики та вугільної промисловості.

У технічному акті подаються :

- кількість спаленого непроектного палива, його фактичні основні характеристики в порівнянні з паспортними або договірними. При непроектному паливі, що шлакує, додатково вказуються температури плавлення золи;

- терміни проведення експериментального спалювання, етапи і їхня тривалість;

- діапазони навантаження котла і причини їхнього обмеження;

- вміст вуглецю палива у проектному і непроєктному паливі при номінальних, або близьких до них навантаженнях;
- вміст оксидів азоту і сірки в димових газах - (приведене до нормальних умов) у порівнянні з роботою на проектному паливі;
- забезпечення номінальних параметрів пари за котлом у діапазоні робочих навантажень і температури середовища по пароводяному тракту у встановлених допустимих межах;
- оцінка умов роботи і “вузькі місця” тракту паливо подачі, пилеприготування, власне котла і систем золошлаковидалення;
- розташовані засоби і забезпечення вибухової безпеки систем паливо подачі і пилеприготування;
- можливість використання непроєктного палива враховуючи паливно-транспортне господарство і вугільний склад;
- оцінка роботи котла по стійкості горіння без підсвічування, виходу шлаку і шлакування;
- можливість організації змішаного спалювання проектного і непроєктного палив і їхні допустимі пропорції;
- висновки про можливість і умови використання непроєктного палива на існуючому устаткуванні і необхідних заходах;
- зведені таблиці з основними характеристиками режимів.

2.5. Експериментальне спалювання непроєктного палива з ПАР на котлі ТПП-210А енергоблоків 300 МВт Трипільської ТЕС.

2.5.1. Коротка характеристика обладнання.

Котел ТПП-210А – прямотоковий, П-подібного компонування, двохкорпусний, симетричний, підключений до турбіни К-300-240 ХТГЗ по схемі дубль-блока. Кожний корпус представляє собою самостійний агрегат надкритичного тиску, паропродуктивністю 475 т/год, пиловугільний з рідким жужелевидаленням,

розрахований на спалювання антрацитового штибу Донецького родовища або природного газу. В кожному корпусі розташований свій первинний і вторинний пароперегрівники.

Проектні характеристики вугілля для спалювання в котлі:

- нижча теплота згорання на робочу масу ($Q_{н}^P$) – 5790 ккал/кг;
- зольність на робочу масу (A_p) – 19,0%;
- вологість на робочу масу (W_p) – 7,5%;
- вихід летких (V_{daf}) – 4,0%;
- вміст сірки (S_p) – 1,57%;
- вміст вуглецю (C) – 68,0%.

Паливня кожного корпусу котла обладнана шістьма пилогазовими вихровими триканальними по повітрю пальниками потужністю 70 МВт кожний, розташованими в один ярус (по три пальники на фронтівій і задній стінці передпаливні), спроектованими на три види палива: основне – вугілля, резервне і розпалювальне – мазут і природний газ. Для підсвітки факелу може використовуватись природний газ або мазут.

Природний газ подається в паливню з двох кільцевих колекторів. До центрального колектора підключені 12 газороздаючих трубок діаметром 22х3мм, до периферійного – 24 того ж діаметру. Кожен з колекторів обладнаний двома штуцерами підводу природного газу для рівномірного розподілу газу по газороздаючих трубках.

Під час проведення випробовувань в паливні корпусів подавався вугільний пил високої концентрації (ПВК) по пилопроводах з пилотивильниками аераційного типу максимальною продуктивністю 16 т/год (Розробка НТУУ «КП»). Система пилоприготування зображена на рис. 2.4.

Крім природного газу, для підсвічування пиловугільного факелу або розпалу котла може використовуватись мазут, для чого під кожним вихровим пальником розміщена розпалювальна мазутна форсунка продуктивністю 1000 кг/год з механічним розпилюванням.

По висоті паливні фронтний і задній екрани утворюють аеродинамічний виступ, який розділяє її на камеру горіння (передпаливня) і камеру догорання. Для відведення рідкої жувелі в поді передпаливні, виконаної з ухилом 80° , є дві охолоджувані льотки.

Сушильний агент млиновим вентилятором (МВ) типу МВ-160/850 (продуктивність $Q = 126 \cdot 10^3$ м³/год, напір $H = 890$ кгс/м²) подається в паливню через скидні пальники прямокутної форми, які розташовані над основними пальниками на відмітці 13 300 мм.

Кожен корпус котла оснащений одним дугтьовим вентилятором (ДВ) типу ВДН-24х2 з електродвигуном типу ДАЗО 15-69-8/10 потужністю 400/800 кВт, одним димосмоком (ДС) типу ДО-31,5 ($Q=900 \cdot 10^3$ м³/год, $H=348$ мм вод. ст.) з електродвигуном типу ДАЗО 1910-12 потужністю 1 700 кВт і двома обертовими регенеративними повітропідігрівниками типу РПП-68 МА.

По ходу димових газів в конвективній шахті розміщені: конвективний пароперегрівник високого тиску (КПП ВТ), конвективний пароперегрівник низького тиску (КПП НТ)-II ар., КПП НТ-I ар., аро паровий теплообмінник (ППТО) і водяний економайзер (ВЕ).

Димові гази очищаються від золи в електрофільтрах (ЕФ) типу УГ-2-4-53 і скидаються в атмосферу через димову трубу висотою 180 м і діаметром вихідного устя 9,6 м.

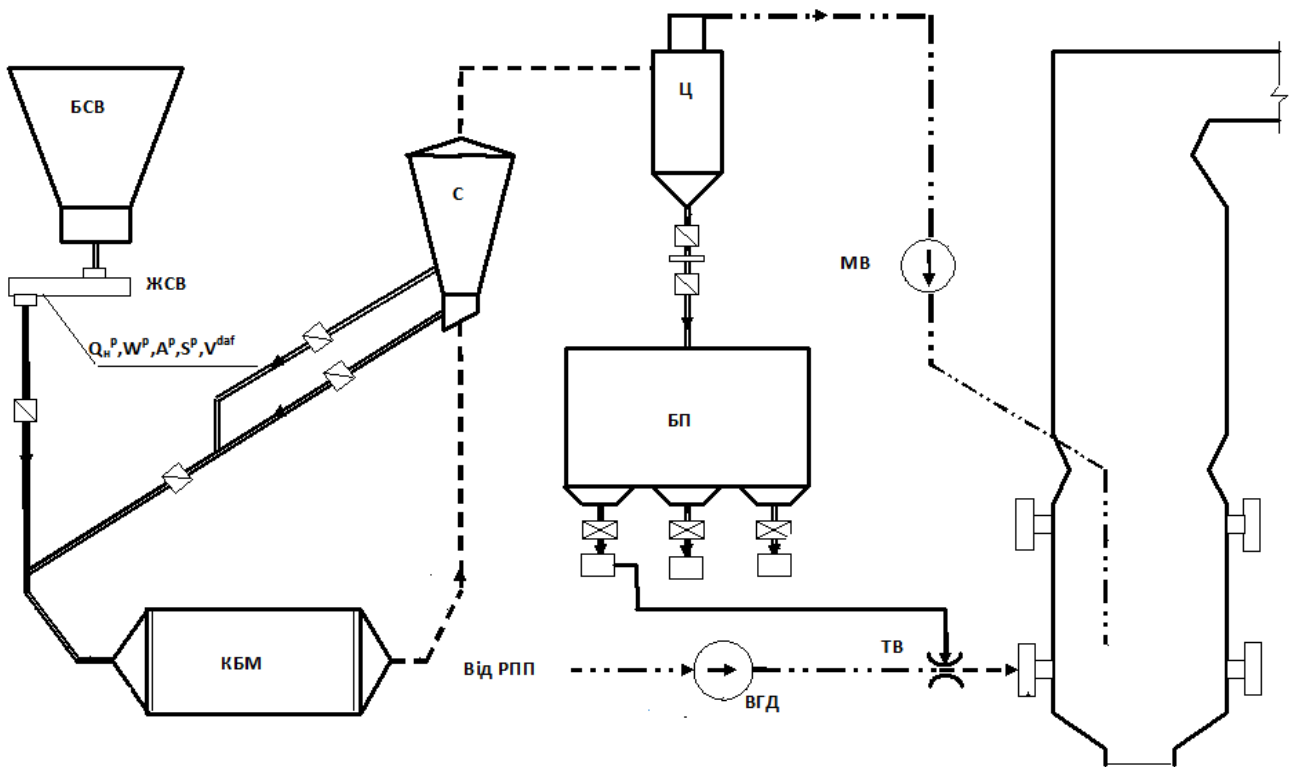


Рис.2.4. Схема системи пилоприготування котла ТПП-210А

БСВ – бункер сирого вугілля; ЖСВ – живильник сирого вугілля; КБМ – кульовий барабанний млин; С – сепаратор; Ц – циклон; БП – бункер пилю; ВГД – вентилятор гарячого дуття; МВ –млиновий вентилятор.

Основні проектні параметри роботи корпусу котла ТПП-210А наведені в таблиці 2.8

Таблиця 2.8 Основні параметри котла ТПП-210А

Найменування показника	Розмірність	Значення
1	2	3
Витрата перегрітої пари	т/ГОД	475
Температура перегрітої пари	°С	565
Тиск перегрітої пари	кгс/см ²	255
Температура живильної води	°С	260
Витрата пари промперегріву	т/ГОД	400
Температура пари промперегріву за котлом	°С	570
Тиск пари промперегріву за котлом	кгс/см ²	37

Температура пари промперегріву перед котлом	°C	307
Тиск пари промперегріву перед котлом	кгс/см ²	39,5
Температура повітря перед РПП	°C	30
Температура гарячого повітря	°C	390

2.5.2.Методика випробувань і обсяг вимірювання

Режимно-налагоджувальні випробування проводились на прямотоковому котлі ТПП-210А ст. № 2 згідно загальноприйнятої методики [57].

Обробка результатів випробувань виконувалась згідно з [58, 59, 60].

Спалювання вугілля з відмінним від технічного проектними характеристиками із ПАР і проведення режимно-налагоджувальних випробування проводились після отримання сертифікату якості вугілля .

Досліди проводились в двокорпусному та однокорпусному режимах:

- у двохкорпусному режимі по визначенню оптимального надлишку повітря на обох корпусах одночасно;
- у однокорпусному режимі по визначенню оптимального надлишку повітря на корпусі Б;

Основні параметри роботи котла та допоміжного обладнання визначались програмно-технічним комплексом системи керування і управління.

Проби вугільного пилу для визначення технічних характеристик відбирались з-під пилживильників, а сирого вугілля – з живильника сирого вугілля. Відбір проб виносу золи з котла виконувався за допомогою штатних виносних уставок в газоходах після водяного економайзера. Одночасно з відборами золи у дослідах відбирались проби жужеля з-під льоток корпусів котла.

Аналізи проб твердого палива ($Q_{н}^p$, A^p , W^p , S^p , V^{daf}), пилу ($W^п$, R_{90}), вмісту горючих у виносі, жужеля ($\Gamma_{вин.}$, $\Gamma_{жуж.}$) проводились паливною лабораторією хімічного цеху Трипільської ТЕС. Значення температури зовнішнього повітря та барометричного тиску визначались загальностанційними приладами.

Під час проведення випробувань обсяг вимірювань охоплював усі величини, необхідні для отримання потрібних залежностей і характеристик режиму роботи обладнання. Схема основних вимірювань по пароводяному, газоповітряному трактах котла зображені у (додатку 2).

Вміст O_2 , CO , SO_2 , NO_x в димових газах визначали повіреним переносним газоаналізатором TESTO-340.

Тиски гарячого і запиленого повітря для визначення присмоктів в пилосистемі замірялись пневмометричними трубками та мікроманометрами в попередньо протарованих перерізах.

2.5.4 Стан і характеристика роботи обладнання

Досліди та режимно-налагоджувальні випробування котла проводились в січні 2016 року згідно з розробленою та затвердженою робочою програмою .

В період проведення випробувань в котлі спалювалось паливо із ПАР з характеристиками, що відповідають характеристикам вугілля марки П: теплотворна здатність $Q_H^p = 5003 \div 5144$ ккал/кг; вологість $W^p = 7,2 \div 9,7$ %; зольність $A^p = 24,9 \div 27,7$ %; вихід летких $V^{daf} = 13,0 \div 15,2$ %;

Визначення присмоктів повітря в паливню проводилось 27.01.2016 р. Присмокти, приведені до номінального навантаження становили 7,1/9,2 % (корпус А/корпус Б відповідно) при нормативних значеннях 5 %, згідно з [61]. Приведені до номінального навантаження присмокти повітря в газовий тракт на ділянці від режимного перерізу – до балансового перерізу становлять –41,0/44,0% Присмокти в РПП – 20,0/22,0% (корпус А/корпус Б відповідно) при нормативі – 20%. Присмокти в пилосистемі наступні: в котлі «А» – 33,0% і в котлі «В» – 36,0%, при нормативних значеннях - 22 %. Присмокти в пилосистему „Б” не визначені, оскільки для достовірних замірів відсутні прямі ділянки повітропроводів.

Температура аеросуміші за КБМ під час проведення випробувань при спалюванні вугілля з ПАР підтримувалась не вище 110 °С.

Досліди по визначенню оптимального надлишку повітря у режимному січенні проводились при постійних навантаженнях котла в діапазоні навантажень від 331/334 т/год до 495/499 т/год (відповідно, корпус А/корпус Б) у двокорпусному режимі роботи та в однокорпусному режимі (корпус Б) 415 т/год.

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 1,04-1,06.

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. При виборі оптимального надлишку враховано також стан обладнання і амплітуду коливання концентрації кисню в режимному перерізі при роботі АСУ ТП.

Залежності оптимального коефіцієнта надлишку повітря в режимному перерізі від теплопродуктивності котла приведено на рисунку 2.6. Оптимальний надлишок повітря знаходиться у межах від 1,20 до 1,09 в діапазоні навантажень 223-315 Гкал/год.

Вміст оксиду вуглецю у відхідних газах не перевищував 0,006 % (50 ppm). Втрати тепла з хімічним недопалом менше 0,015 %.

Залежність концентрації оксидів азоту у відхідних газах приведеної до $\alpha_{\text{оп}}=1,4$ від коефіцієнта надлишку повітря у режимному перерізі при різній теплопродуктивності корпусу 2А котла. Як видно з рисунку, при збільшенні коефіцієнта надлишку повітря у режимному перерізі збільшується приведена концентрація оксидів азоту у відхідних газах.

Під час проведення випробувань з визначення оптимального надлишку повітря в режимному перерізі здійснювався контроль за виходом рідкого шлаку. Було встановлено, що при зменшенні коефіцієнту надлишку повітря в режимному перерізі вихід рідкого шлаку покращувався.

В діапазоні теплопродуктивності кожного з корпусів котла 260-315 Гкал/год, при всіх працюючих пилосистемах, спостерігався хороший вихід рідкого шлаку при оптимальному коефіцієнті надлишку повітря. При підвищенні коефіцієнта надлишку повітря в режимному перерізі вихід рідкого шлаку погіршувався.

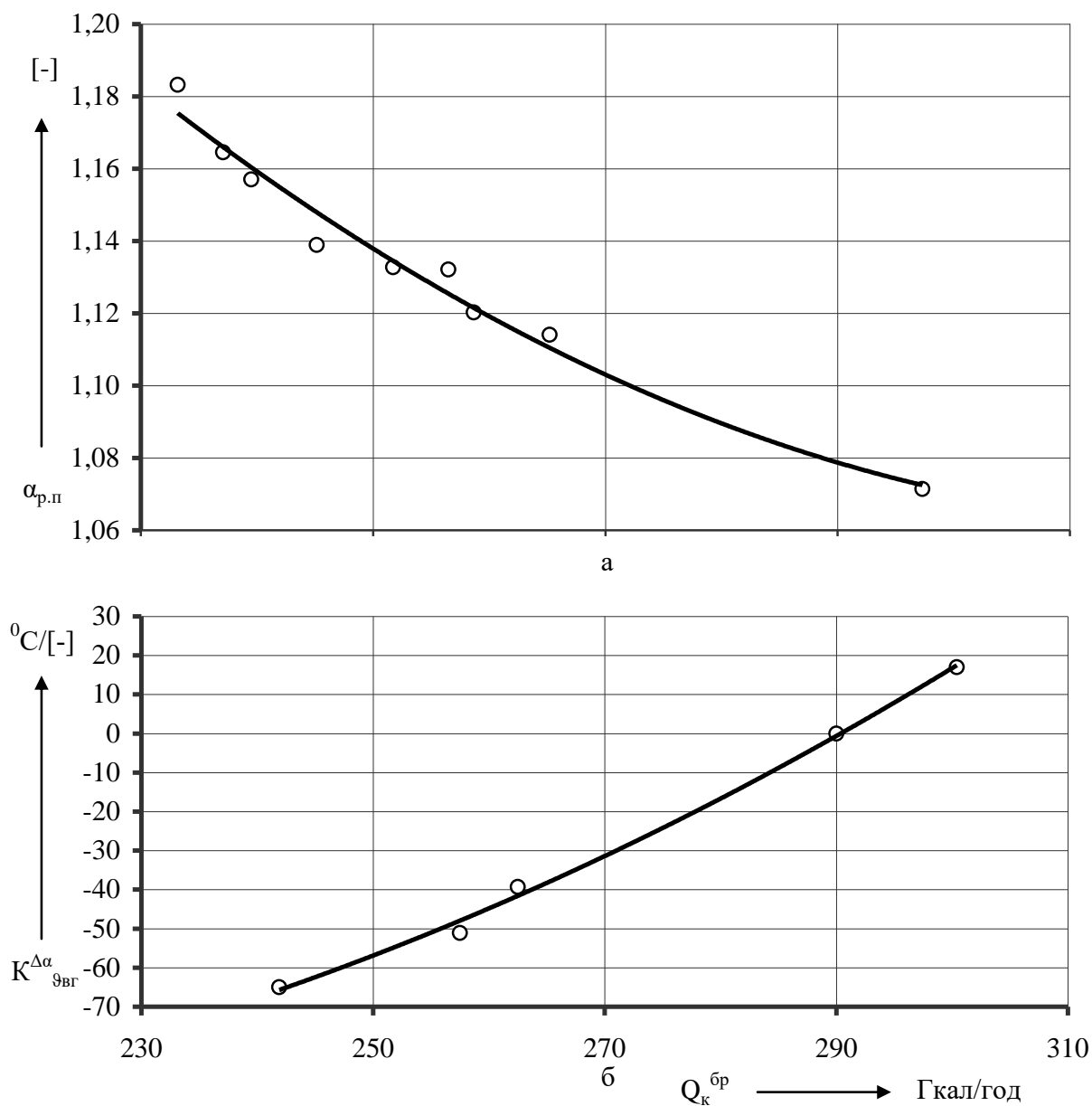


Рисунок 2.6 - Залежність оптимального коефіцієнта надлишку повітря у режимному перерізі від теплопродуктивності котла

При теплопродуктивності корпусів котла по 225 Гкал/год і працюючих усіх пилосистемах, виходу рідкого шлаку практично не було. Вихід рідкого шлаку на мінімальному навантаженні появився при вимкненні пилосистеми 2Б.

В усьому діапазоні навантажень зменшення надлишку повітря призводить до зменшення втрат з відхідними газами, збільшення втрат з механічним недопалом і збільшення коефіцієнта корисної дії котла.

Для безпечної і економічної роботи котлів при спалюванні вугілля з відмінними від проектних технічними характеристиками (вугілля ПАР) пропонується:

1 Температуру повітря перед РПП підтримувати на рівні 30⁰С 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.

2 Виконувати очищення пакетів РПП від золових відкладень, поверхонь конвективної шахти згідно з інструкцією по експлуатації котла.

3 Присмоккти повітря в пилосистеми, паливню і газовий тракт котла підтримувати на рівні норм, згідно з [62].

4 Режим роботи котла вести згідно з розробленою режимною картою.

2.6 Висновки до розділу 2

1. Проведений аналіз якості палива та його запасів, який надав чітку картину забезпечення України вугіллям. Якість твердого палива, що надходить на ТЕС, впродовж багатьох років погіршувалась, що також дало свій негативний результат на роботу ТЕС України. Встановлено, що використання низькосортного палива, в паливно-енергетичному балансі України стає суттєвим, а в перспективі непроекне вугілля стане основним серед твердих органічних палив, що спалюють на ТЕС.

2. Проведений розрахунок витрати непроекного палива задля забезпечення заданої паропроодуктивності парогенератора (розрахунки проводились на прикладі котла ТП-92), який показав явно збільшену витрату непроекного палива на добу що підтверджує необхідність розроблення заходів що до підвищення ефективності роботи систем пилоприготування.

3. Виконано аналіз підготовки вугільного пилу на ТЕС та вплив зміни якості палива на роботу котельного 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 тинини вугільного помелу на втрати з механічним недопалом в котлі і визначено оптимальну тинину R_{90} .

4. Проведено підготовку до експериментального спалювання непроектного палива на котлі ТПП – 210А енергоблоку 300 МВт Трипільської ТЕС. Розроблена комплексна програма організаційно-технічних заходів щодо підготовки устаткування і персоналу електростанції до експериментального спалювання непроектного палива.

5. Виконано експериментальне дослідження процесу спалювання непроектного палива з ПАР на котлі ТПП-210А енергоблоку 300 МВт Трипільської ТЕС згідно розробленій програмі. На базі цих досліджень встановлено оптимальне значення надлишку повітря у режимному січенні котла та сформульовано наступні вимоги щодо забезпечення ефективності роботи котельного устаткування:

- Температуру повітря перед РПП підтримувати на рівні 30 °С для уникнення низькотемпературної корозії холодних пакетів РПП. Виконати ревізію та відновити можливість регулювання шиберами на лінії рециркуляції гарячого повітря у всмоктувальний повітропровід дугтьового вентилятора корпусів.

- Виконувати очищення пакетів РПП від золових відкладень, поверхонь конвективної шахти згідно з інструкцією по експлуатації котла.

- Присмоккти повітря в пиросистеми, паливню і газовий тракт котла підтримувати на рівні норми.

РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ПИЛОПРИГОТУВАННЯ З КУЛЬОВИМИ БАРАБАННИМИ МЛИНАМИ ПРИ СПАЛЮВАННІ НЕПРОЕКТНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ

3.1. Деякі технічні характеристики систем пилоприготування котлів ТПП-210А.

Двокорпусний котел ТПП-210А обладнано трьома індивідуальними системами пилоприготування з кульовими барабанними млинами, пиловим бункером, замкненим циклом сушіння і пневмотранспортом вугільного пилю гарячим повітрям під тиском.

За проектом пилосистема розрахована на розміл вугілля марки АШ з такими характеристиками: $Q_n^P=24,24$ МДж/кг (5700 ккал/кг), $A^P=19\%$, $W^P=7,5\%$, $V^r=3,5\%$, $K_{ло}=0,95$. В котел має подаватися готовий пил з тонкістю помелу $R_{90}=7\pm 1\%$ і вологістю $W^{nl}=0,5 - 1,0\%$.

Основне устаткування пилосистеми є кульовий барабанний млин типу КБМ 370/850 (Ш – 50 А) з такими характеристиками: діаметр барабана $D_{\sigma}=3700$ мм, граничне максимальне кульове завантаження барабана $G_K^{макс}=108$ т, вага млина без куль і електродвигуна 168 т, швидкість обертання барабана $n_{\sigma}=17,6$ об/хв, номінальна продуктивність $B_M^n=50$ т/год для АШ з $K_{ло}=0,95$ і $R_{90}=7\%$, електродвигун типу CDC3–2000–100, потужністю 2000 кВт, швидкістю обертання 100 об/хв.

Допоміжне устаткування пилосистеми: бункер сирого вугілля (БСВ), стрічковий живильник сирого вугілля (ЖСВ), відцентровий сепаратор типу СП – 2 з двома ступенями сепарації вугільного пилю і поверненням грубих фракцій на домелювання у млин, циклон типу НІГАЗ діаметром 3750 мм з ККД $\eta_u=88 - 90\%$ при уловлюванні вугільного пилю $R_{90}=7 - 9\%$, пиловий бункер (БП), млиновий

вентилятор типу ВМ 100/1200 (МВ) з $Q = 113 \cdot 10^3$ м³/год, $H = 1090$ кгс/м² ;
електродвигун типу АЗО-13-67-6, $N = 630$ кВт, $n = 985$ об/хв.

За нормами проектування [63] Регламентовано максимальні значення присмоктів холодного повітря в пилосистемах з млинами типу КБМ 370/850 (Ш–50А), пиловим бункером і сушінням повітрям – 20% а за ПТЕ [64] – 22%.

Для запобігання злежування пилу в бункері рекомендовано при розмелюванні вугілля АШ підтримувати температуру аеросуміші за млином не нижче 110 °С.

3.2 Розробка аналітичного методу визначення зношення броні кульового барабанного млина

Втрату металу від зношення броні барабана розраховували за темпом зношення броні та тривалістю максимального міжремонтного періоду роботи млина. Таким чином, втрату металу розраховували у випадку заміни під час ремонту окремих броньових плит без повного демонтажу броні циліндричної або торцевої поверхонь.

Розглянуто особливості експлуатації систем пилоприготування з кульовими барабанними млинами при спалюванні неprojektних видів палива та, на основі експериментальних даних, розроблено аналітичні методи визначення зношення броні та куль.

Темп зношення броні барабана млина (g_{δ}) визначається за формулою:

$$g_{\delta} = \frac{\Delta G_{\delta}}{\Delta \tau}, \quad (3.1)$$

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

темп зношення куль (g_k) визначається аналогічно:

$$g_k = \frac{\Delta G_k}{\Delta \tau}, \quad (3.2)$$

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

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

$$\frac{g_{\delta}}{g_k} = \frac{\Delta G_{\delta}}{\Delta \tau} : \frac{\Delta G_k}{\Delta \tau} = M_{\Pi}, \quad (3.3)$$

де M_{Π} – 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 (3.4):

$$g_{\delta} = M_{\Pi} \cdot g_k, \quad (3.4)$$

Встановлено, що відношення темпу зношення броні до темпу зношення куль є сталою величиною. На основі експериментальних даних визначено, що значення коефіцієнта M_{Π} , 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_{Π} 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_{Π} 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 :

$$\Delta G_{\delta}^{МП} = K_{\delta} \cdot \Delta \tau_{МП} , \quad (3.5)$$

де K_{δ} - коефіцієнт пропорційності, що характеризує зношення броні барабана млина.

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

Значення K_{δ} - знаходилось на базі опрацювання великої кількості даних з експериментальних досліджень, що виконувались на станціях. Для прикладу у табл.3.2 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_{δ} для броні Донецького виробництва складає $K_{\delta} = \frac{22,17 \cdot 10^3}{25194} = 0,879$ кг/год . Аналогічно були знайдені значення коефіцієнта K_{δ} 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 молотьних куль. Згідно з нормативними документами ця додаткова маса куль, що змінює масу металу від зношення броні барабана (так звана перевитрата куль), знаходиться як:

$$\Delta G_{\kappa}^n = M_p \cdot \Delta G_{\delta} , \quad (3.6)$$

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 ΔG_{δ} в залежності від часу τ є:

$$\Delta G_{\delta} = 0,88 \cdot \tau , \quad (3.7)$$

а перевитрата куль буде визначатися за формулою :

$$\Delta G_{\kappa}^n = 0,32 \cdot \tau \quad (3.8)$$

Таблиця 3.1 Деякі дані з експериментальних досліджень КБМ

Місце виробництва броні	Млин ст. №	Міжремонтний період роботи млина		Коефіцієнт пропорційності K_{δ}
		тривалість τ , год	середнє значення тривалості τ , 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.

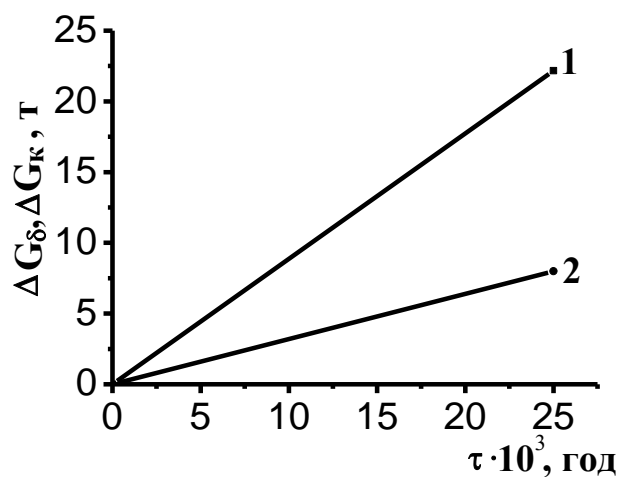


Рис. 3.1 Залежність втрати металу броні барабана і перевитрати куль від тривалості роботи досліджуваного млина: 1 – втрата металу броні барабана; 2 – перевитрата куль.

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

За результатами розрахунку побудовано залежність перевитрати куль ΔG_k від тривалості роботи млина і місця виробництва броні (рис. 3.2).

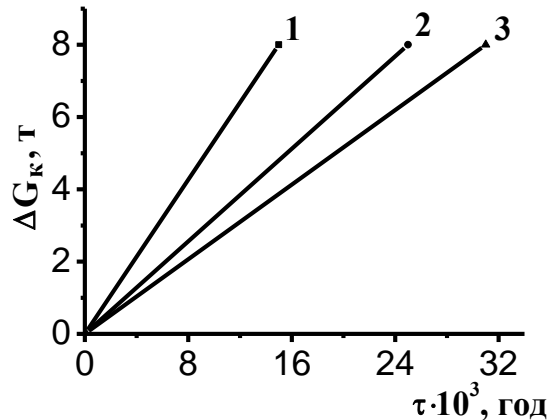


Рис.3.2 Залежність перевитрати куль від тривалості роботи млина і місця виробництва броні:

1 – Дніпропетровськ; 2 – Донецьк; 3 – Білозерськ

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

$$\Delta G_k^n = B \cdot \tau, \quad (3.9)$$

де B – ваговий коефіцієнт, т/год;

τ – час роботи млина, год.

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

$$\Delta G_k^n = 0,32 \cdot \tau, \quad (3.10)$$

для млина з бронєю Донецького виробника

$$\Delta G_k^n = 0,32 \cdot \tau, \quad (3.11)$$

а для млина з бронєю Білозерського виробника

$$\Delta G_k^n = 0,25 \cdot \tau \quad (3.12)$$

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

За методикою для проведення аналітичного розрахунку зношення броні барабана млина типу КБМ 370/850 (Ш–50А) необхідні наступні вихідні дані:

- тип броньового покриття барабана (броньові плити або шпальна броня) і місце виробництва броні;
- марка кам'яного вугілля, яке розмелюється млином;
- значення тривалості максимального міжремонтного періоду роботи млина.

Розрахунок зношення броні млина ст. № 8Б, барабан якого обладнано броньовими плитами Донецького виробництва, проведено за розробленою методикою і вихідними даними.

Протягом міжремонтного періоду режимні умови роботи млина змінювалися у межах:

– характеристика вугілля: $Q_n^p = (17,09–20,18)$ МДж/кг (4081–4819 ккал/кг), $W^p = (9,4–12,5)$ %, $A^p = (25,4–35,2)$ %, $V^r = (38,4–40,3)$ %.

- кульове завантаження барабана $G_k = 53–63$ т;
- твердість куль 534 НВ;

За вихідні дані для проведення розрахунку прийнято:

- млин з броньованими плитами Донецького виробництва;
- кам'яне вугілля марки «Г» ;
- тривалість максимального міжремонтного періоду роботи млина $\tau = 25194$ год.

Результати розрахунку показників зношення броні барабана млина ст. № 8Б Бурштинської ТЕС наведено в табл. 3.2

Таблиця 3.2 Вихідні дані та результати розрахунку показників зношення броні барабана млина ст. № 8Б Бурштинської ТЕС

Показник	Розрахунок	Результат розрахунку
Вихідні дані		
Початкова маса броні G_{δ}^n , т	–	44
Експлуатаційне максимальне кульове завантаження G_k^{max} , т	–	70
Темп зношення куль у разі розмелювання вугілля ГСШ g_{k1} , кг/год	–	15,7
Нормативна питома витрата куль у разі розмелювання вугілля марки	Г a_{norm} , Г/Т	– 224
	ГСШ a_{norm1} , Г/Т	
Коефіцієнт пропорційності M_{Π}	–	0,067
Коефіцієнт перерахунку M_p	–	0,36
Тривалість максимального міжремонтного періоду τ , год	–	25194
Розрахунок показників зношення броні барабана		
Темп зношення куль g_k , кг/год	$15,7 \cdot \frac{196}{224}$	13,7
Темп зношення броні g_{δ} , кг/год	$0,064 \cdot 13,7$	0,88
Втрата металу від зношення броні барабана ΔG_{δ} , т	$0,88 \cdot 25,194$	22,17
Міра зношення броні барабана, b_{δ}	$\frac{22,17}{44}$	0,50
Перевитрата куль ΔG_k , т	$0,36 \cdot 22,17$	8
Перевантаження барабана кулями $G_k^{пер}$, т	70+8	78
Розрахункове максимальне кульове	70–8	62

завантаження G_k^p , т		
--------------------------	--	--

За результатами розрахунку стан броні в кінці міжремонтного періоду роботи млина характеризувався :

- мірою зношення броні барабана $b_\delta=0,5$ і максимально можливою втратою металу від її зношення $\Delta G_\delta=22,17$ т;
- темпом зношення броні барабана $g_\delta=0,88$ кг/год;
- неконтрольованою перевитратою куль в барабані $\Delta G_k=8$ т і перевантаженням барабана кулями $G_k^{пер}=78$ т.

Залежності втрати металу броні барабана ΔG_δ та перевитрати куль ΔG_k від тривалості роботи τ млина ст. № 8Б зображено на рис. 3.1.

Значення темпів зношення броні g_δ для млинів, барабани яких обладнано Білозерською і Дніпропетровською бронею, становлять 0,69 і 1,37 кг/год, відповідно.

Зв'язок між втратою металу броні барабана ΔG_δ в залежності від часу τ є:

$$\Delta G_\delta = 0,89 \tau \quad (3.13)$$

а перевитрата куль буде визначатися за формулою (3.14):

$$\Delta G_k = 0,32 \tau \quad (3.14)$$

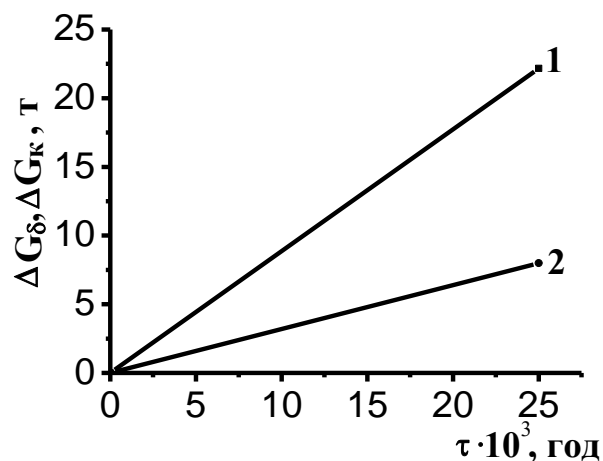


Рис. 3.3. Залежність втрати металу броні барабана і перевитрати куль від тривалості роботи млина ст. № 8Б: 1 – втрата металу броні барабана; 2 – перевитрата куль

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

Висновки до розділу 3

1. Проведені експериментальні дослідження роботи кульового барабанного млина на Бурштинській ТЕС, на основі яких вперше був розроблений аналітичний метод щодо визначення зношення броні та куль кульового барабанного млина, зокрема для різних заводів що виготовляють броньовані плити для кульових барабанних млинів.

2. Для отримання аналітичних залежностей зміни значення темпу зношення броні та куль кульового барабанного млина, проведені дослідження, за якими встановлено, що вказані залежності носять лінійний характер. Встановлено також, що відношення темпу зношення броні до темпу зношення куль є сталою величиною.

3. Фактичний ресурс броні 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.

4. Розроблена аналітична залежність коефіцієнта перевитрати куль від тривалості роботи млина в залежності від заводу виготовлювача броні кульового барабанного млина.

5. Розроблені аналітичні залежності дозволяють проводити діагностику роботи кульових барабанних млинів та планувати ремонтні роботи з умови найбільшої ефективної роботи кульового барабанного млина.

РОЗДІЛ 4. Розроблення та впровадження нових методів підвищення ефективності роботи систем пилоприготування при спалюванні непроектного виду палива.

Одною із основних завдань даної дисертаційної роботи є розроблення нових ефективних методів визначення продуктивності кульових вентильованих млинів пиловугільних котлів потужних енергоблоків ТЕС.

Вугілля, що поступає в паливню котлів проходить відповідну попередню підготовку і в кульових вентильованих млинах відбувається підсушування та розмелювання його до відповідної тонкості з подальшою подачею його в пальники котла і в паливню, де проходить його спалювання [63,64,65].

Ефективність його спалювання залежить від якості підготовленого вугільного пилу в кульових вентильованих млинах робота яких в процесі їх експлуатації погіршується, через те потрібно періодично їх перевіряти і налагоджувати .

Однією з складових ефективності роботи є визначення їх пилопродуктивності, яка повинна відповідати проектній величині при заданій якості палива.

Продуктивність млинів, що розмелюють тверде паливо, пил якого подається в паливню котлів теплових електростанцій для спалювання визначають за єдиним відомим методом шляхом відбору проби вугілля з фіксованої ділянки стрічки живильника сирого вугілля і вимірювання швидкості переміщення стрічки [66,67] .

Недоліком цього методу є значна трудомісткість операцій і робота персоналу в антисанітарних умовах : ручний відбір вугілля, переміщення (доставка) в ручну і зважування проби вугілля масою 50-80 кг поблизу працюючого устаткування.

Актуальність дослідження полягає в розробленні нових достатньо ефективних методів визначення продуктивності кульових вентильованих млинів, які не потребують втручання додаткового персоналу, та фізичної праці.

Експериментатор-налагоджувальник із оператором котла проводять відповідні заміри і аналітичним способом визначають продуктивність млина . Способи мають більшу точність виміру і ефективність.

Дані методи вже впроваджені у виробництво, що дозволить зменшити трудозатрати персоналу порівняно з існуючим методом визначення продуктивності млинів, а відповідно підвищити їх ефективність роботи.

Як було відмічено за відомим методом визначення продуктивність кульового вентилязованого млина, що розмелює тверде паливо яке в подальшому поступає в паливню котла теплової електростанції проводять відбір проб вугілля з фіксованої ділянки стрічки живильника сирого вугілля (ЖСВ). При цьому вимірюється швидкість переміщення стрічки. Основним недоліком цього методу є значна трудомісткість, пов'язана з відбором проб вугілля [68,69] . У відповідності з методикою [12] потрібно повторити експеримент декілька разів для отримання достовірності результатів.

Враховуючи це, визначення продуктивності кульових вентилязованих млинів в експлуатаційних умовах практично не виконують [70,71]. Як правило, таку процедуру виконують при налагоджуванні котельного агрегату (режимні або балансові дослідження).

Для спрощення процедури, підвищення ефективності роботи а відповідно економічності, в даній роботі досліджено і розроблено нові методи визначення продуктивності млинів

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

- Метод визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу на прикладі котла ТП-92 енергоблоку потужністю 150 МВт (Патент України № 111129). 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 згорянні вугілля до призупинення млина.

$$\frac{B_M \cdot Q_{H(\text{вуг})}^p}{\eta_{(\text{вуг})}} = \frac{\Delta G \cdot Q_{H(\text{газ})}^p}{\eta_{(\text{газ})}} \quad (4.1)$$

де: B_M - продуктивність млина, кг/год.

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

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

$Q_{H(\text{вуг})}^p$ – 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 :

$$B_M = \Delta G \frac{Q_{H(\text{газ})}^p}{Q_{H(\text{вуг})}^p} \quad (4.2)$$

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.

Конкретне виконання способу.

При номінальному електричному навантаженні, наприклад енергоблока 150 МВт, у роботі знаходяться п'ять млинів пилосистеми "прямого вдування" котла ТП-92. Перед проведенням операцій з визначення продуктивності досліджуваного млина попередньо відбирають проби вугілля та природного газу та проводять їх аналіз.

Одночасно з розвантаженням досліджуваного млина по вугіллю (зменшенням обертів живильника сирого вугілля та його зупинці) в паливну котельної установки подають природній газ . При цьому режим роботи решти

працюючих чотирьох млинів залишається без змін. Після відключення досліджуваного млина незмінна електрична потужність енергоблока 150 МВт досягається подачею природного газу в такій кількості, щоби паропродуктивність $G_{\text{пар}}$ котла оставалась незмінною. За визначеними, наприклад, теплотою згоряння природного газу $Q_{\text{н(газ)}}^{\text{р}}$ та теплотою згоряння вугілля $Q_{\text{н(вуг)}}^{\text{р}}$ визначають продуктивність досліджуваного млина:

$$B_{\text{м}} = 10100 \cdot \frac{8079}{5100} = 16000 \text{ кг/год.} \quad (4.3)$$

Отже, продуктивність млина $B_{\text{м}}$ пилосистеми "прямого вдування" котельної установки становить 16000 кг/год.

Даний спосіб є простим у виконанні, не вимагає додаткових затрат для експлуатації пилосистем, а це значно спрощує визначення продуктивності млина.

4.2. Метод визначення продуктивності КБМ з промбункером вугільного пилу 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 [72]. 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 $N_{\text{в}}$ на переміщення в барабані вугільного матеріалу визначається як різниця між навантаженнями електродвигуна млина в режимах робочого і неробочого ходу:

$$N_B = N_M - N_K \quad (4.4)$$

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

$$B_M = \frac{N_B}{e_B} \quad (4.5)$$

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 барабані 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.

Реалізація способу виконується наступним чином.

Спочатку вимірюють витрати електроенергії на розмелювання вугілля, які споживає електродвигун млина в режимах робочого ходу N_M і неробочого ходу N_K . Після цього визначають витрату електроенергії на переміщення в барабані вугільного матеріалу N_B . Далі з відношення витрати електроенергії на переміщення в барабані вугільного матеріалу N_B до сталого значення показника витрати електроенергії на переміщення в барабані 1 т/год. вугільного матеріалу e_B визначають продуктивність млина , що дає можливість достовірно визначати і підтримувати на максимально можливному рівні продуктивність млина та економічність пилосистеми.

4.3. Спосіб визначення продуктивності млина методом його зупинки.

У випадку , коли немає резервного палива (природнього газу або мазуту) продуктивність млина визначається наступним чином (Патент України №103924). 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 ΔG_n при незмінній ентальпії пари за котлом i_n та коефіцієнту корисної дії котла $\eta_{к.а}$. Тоді продуктивність зупиненого млина визначаємо за формулою :

$$B_{\text{вуг}} = \frac{\Delta G_n \cdot i_n}{\eta_{к.а} \cdot Q_{n(\text{вуг})}^p} \quad (4.6)$$

де :

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

ΔG_n – зменшення продуктивності котла кг/год;

i_n – ентальпія пари за котлом , ккал/кг;

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

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

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

Конкретне виконання способу.

Визначення продуктивності палива проводиться в такій послідовності. При номінальному електричному навантаженні, наприклад, енергоблоку 150 МВт у роботі знаходяться п'ять млинів пилосистеми котельної установки ТП-92. Перед

проведенням операцій з визначення продуктивності досліджувального млина попередньо відбираються проби вугілля на аналіз.

Одночасно з розвантаженням досліджувального млина по вугіллю (зменшенням обертів живильника сирого вугілля та його зупинці) режим роботи решти працюючих чотирьох млинів залишається без змін. Після відключення досліджувального млина електрична потужність енергоблока 150 МВт зменшиться на 30 МВт, а витрата пари на турбіну зменшиться на 90 т/год або на 25 кг/с. За визначеною нижчою теплотою згорання вугілля $Q_n^p = 5100$ ккал/кг, ентальпії перегрітої пари за котлом $h_{п} = 826$ ккал/кг та ККД котла $\eta_{к.а} = 0,87$. Визначають продуктивність досліджувального млина :

$$B_{\text{вуг}} = \frac{25 \cdot 826}{0,87 \cdot 5100} = 4,65 \text{ кг/с} \quad (4.7)$$

Отже, продуктивність млина пилосистеми “прямого вдування” становить 4,65 кг/с або 16740 кг/год.

Даний спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми наприклад прямого вдування є простим та не вимагає додаткових включень чи використання інших видів палива (наприклад, природнього газу або мазуту).

4.4 Розроблення методу визначення часток складових суміші двох марок вугілля

Відомий спосіб визначення часток складових двох марок вугілля пилосистеми котла, в якому спалюється суміш з цих двох марок вугілля, полягає в неперервному вимірюванні витрати кожної марки вугілля, які подаються в пилосистему, зазвичай, масової витрати, з наступним розрахунком кількості вугілля кожної марки, що поступила в пилосистему за певний проміжок часу, а, відтак, розрахунку часток цих двох марок вугілля [73,74]. Для вимірювання масової витрати вугілля можна застосовувати метод неперервного зважування, а для розрахунків – відповідний обчислювальний пристрій.

В цьому методі склад вугільної суміші знаходять за залежностями [73]

$$r_1 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}; \quad r_2 = \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2}, \quad (4.8)$$

де r_1 , r_2 – частка вугілля першої та другої марки у суміші відповідно; Q_1 і Q_2 – кількість вугілля кожної марки, що подається в пилосистему за певний проміжок часу t :

$$Q_1 = Q_{m1} \cdot t, \quad Q_2 = Q_{m2} \cdot t,$$

де Q_{m1} і Q_{m2} – масові витрати кожної марки вугілля, які подаються в пилосистему.

Слабким місцем тут є недосконалість методу вимірювання масової витрати вугілля, відсутність сертифікованого обладнання, за допомогою якого можна з наперед заданою точністю реалізувати цей метод.

В той же час відомі методи визначення тих чи інших характеристик суміші вугілля (теплоти згорання, вмісту летких речовин на горючу масу, вологості, температурних характеристик золи, характеристик розмелювання та ін.) [73]. Для цього у відповідності з прийнятими настановами відбирають проби вугілля на відповідний аналіз в спеціалізованих лабораторіях. Методи відбору та опрацювання проб вугілля для хімічного аналізу визначаються державними стандартами та рекомендаціями міжнародних організацій [75,76,77,78], що є обов'язковими в галузі теплоенергетики. При цьому застосовують такі терміни, як партія, первинна проба, точкова проба або порція палива та інші [73]:

партія – це кількість палива, яке відвантажено споживачеві за певний проміжок часу і усереднена якість якого характеризується одною первинною пробую;

первинна проба – проба, що складається із необхідної кількості точкових проб (порцій), відібраних безпосередньо з партії палива, і характеризує його усереднену якість;

точкова проба (порція) – це кількість палива, відібрана з певного місця одноразовим рухом пристрою для відбору проб.

Підготовка проб палива до відбору полягає в оснащенні місця відбору вугілля спеціальними відбірними пристроями, перевірку та очищення від залишків вугілля місця відбору і виконання відповідних розрахунків, що визначають кількість порцій вугілля в досліді. Оскільки від якості відбору проб залежать результат хімічного аналізу, то при його плануванні слід чітко визначити методику відбору, кількість проб, точність відбору, необхідність перевірки точності повторним відбором проб тощо.

Відповідно до [77,78,79] відбір проб палива можна здійснювати з потоку палива у місцях його перепаду або з рухомого потоку (з полотна стрічкового конвеєра чи живильника сирого вугілля), а також з нерухомого шару у вагонах чи бункерах. Найкраща якість відбору досягається при його відборі з падаючого потоку. Як правило, відбір проб палива виконують механізованим способом, а за відсутності відповідних умов – вручну.

Для забезпечення представницьких вимірювань проби окремих порцій палива слід відбирати по всій глибині потоку з відбором вугілля з верхніх, середніх та нижніх шарів палива та по всій ширині потоку. Для цього зазвичай застосовують короткочасне (2–3с) відведення потоку палива через розраховані проміжки часу у спеціальний лоток. При цьому отримуємо усереднену технічну характеристику суміші палив. Сумарна похибка визначення певного параметра проби (сума похибок, що виникають при відборі, опрацюванні та аналізі проб) для довірчої ймовірності 95% не повинна перевищувати допустимих базових значень, які є регламентовані для кожного параметра палива [73].

Згідно з вимогами державних і міжнародних стандартів [75,76,77,78,79] проби палива слід відбирати у певній кількості рівномірно в часі. Так, для проведення загального аналізу палива із базовою точністю слід відбирати $n=32$ порції незбагаченого палива та $n=16$ порцій збагаченого палива. Якщо слід забезпечити точність, що відрізняється від базової, то кількість порцій палива n_1 , яку слід відбирати, визначають як:

$$n_1 = n \cdot A_0^2 (5A_1^2 - A_0^2), \quad (4.10)$$

де n – рекомендована кількість порцій для певного виду палива, необхідна для відбору у пробу; A_0 – базова точність вимірювання, A_1 – потрібна точність вимірювання.

Маса кожної точкової проби m_1 , кг, що відбирається у первинну пробу, відповідно до [73] повинна бути не меншою ніж

$$m_1 = 0,06 \cdot D, \quad (4.11)$$

де m_1 – маса точкової проби, кг; D – розмір максимальних кусків, мм, який приймають умовно рівним розміру отворів сита, на якому при просіюванні проби залишається не більше 5 % маси вугілля.

Інтервал часу τ між порціями, що відбираються із рухомої стрічки, визначають за формулою

$$\tau = \frac{60 \cdot m}{G \cdot n}, \quad (4.12)$$

де, крім відомих, m – маса досліджуваної партії палива, т; G – продуктивність досліджуваного потоку, т/год;

Щоб паливо не втрачало вологу відібрані, первинні проби слід правильно зберігати під час перерви між стадіями підготовки проби. Пробу палива рекомендовано тримати в чистих щільних ящиках, всередині оббитих сталевим листом або у сталевих банках із щільними кришками, що розташовані в неопалювальних приміщеннях. Проби вугілля слід зберігати при температурі, яка не перевищує температуру відбору проби, не довше 6 годин перед проведенням аналізу.

Подальший процес підготовки проби згідно з [8] передбачає її подрібнення і розділення для лабораторного аналізу. Правильно відібрана і підготовлена проба є запорукою подальшого якісного визначення характеристик палива.

Нові методи визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла

Враховуючи те, що на сьогодні метод визначення якісних характеристик палива, яке поступає в кульові барабанні млини пилосистеми котла, є унормованим і на практиці відпрацьованим, то ставилась задача використати його результати для визначення часток складових суміші двох марок вугілля, що поступає в кульові барабанні млини пилосистеми котла. Такі методи визначення часток складових суміші двох марок вугілля, що поступає в кульові барабанні млини пилосистеми котла, запропоновані нами в [79,80].

В першому методі склад вугільної суміші знаходимо 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 [79]

$$V_C = r_1 \cdot V_1 + (1 - r_1) \cdot V_2, \quad (4.13)$$

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:

$$r_1 = \frac{V_C - V_2}{V_1 - V_2}, \quad (4.14)$$

а частку вугілля другої марки r_2 як:

$$r_2 = 1 - r_1. \quad (4.15)$$

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

Згідно з [81] сумарну стандартну невизначеність u_{r_1} результату непрямих вимірювань частки r_1 першої марки вугілля визначають за залежністю

$$u_{r_1} = \sqrt{a_1^2 \cdot u_{V_C}^2 + a_2^2 \cdot u_{V_1}^2 + a_3^2 \cdot u_{V_2}^2}, \quad (4.16)$$

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 (8) 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

$$u_{r_1} = \frac{u_V}{(V_1 - V_2)^2} \sqrt{(V_1 - V_2)^2 + (V_2 - V_C)^2 + (V_C - V_1)^2}. \quad (4.17)$$

Відносну стандартну невизначеність результату визначення частки r_1 вугілля першої марки у вугільній суміші знаходимо за залежністю [81]:

$$u'_{r_1} = \frac{u_{r_1}}{r_1} \cdot 100\% = \frac{u_V \cdot 100\%}{(V_1 - V_2) \cdot (V_C - V_1)} \sqrt{(V_1 - V_2)^2 + (V_2 - V_C)^2 + (V_C - V_1)^2}. \quad (4.18)$$

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 1 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.

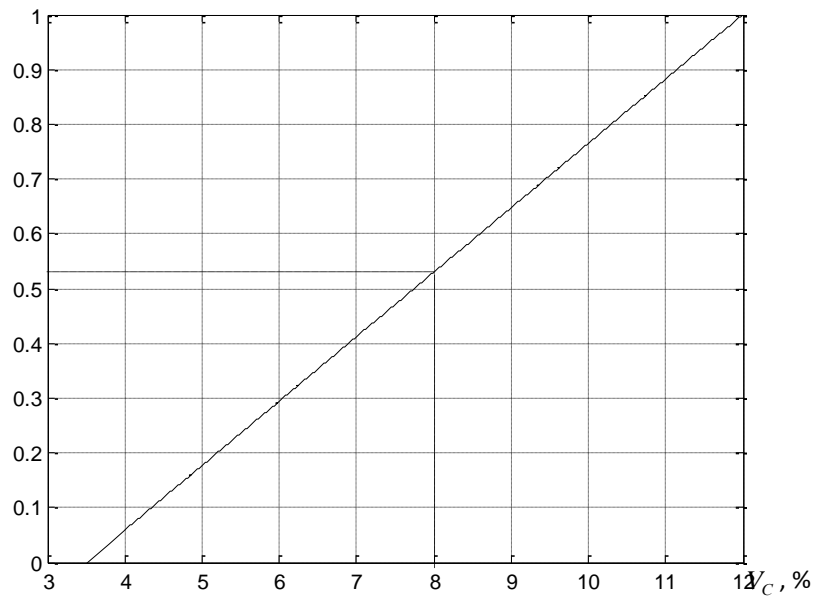


Рис. 4.1. Залежність частки r_1 пісного вугілля марки «П» у вугільній суміші, яка складається із пісного вугілля марки «П» та антрациту марки «А», від значення вмісту летких речовин V_C на горючу масу вугільної суміші

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. 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. 4.2 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 $u'_{r_1} \rightarrow \infty$.

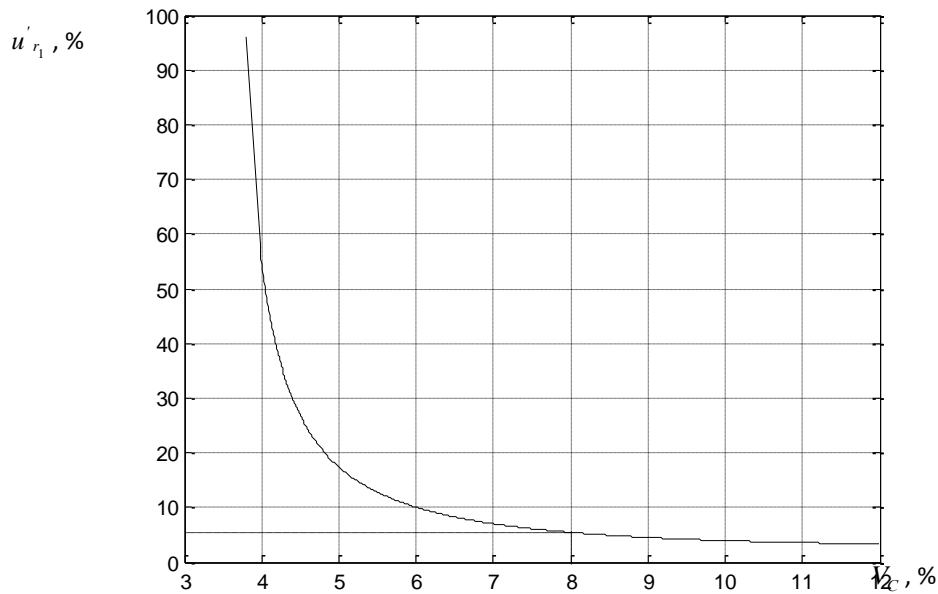


Рис. 4.2. Залежність відносної стандартної невизначеності u'_{r_1} результату визначення частки r_1 вугілля марки «П» у вугільній суміші, яка складається із пісного вугілля марки «П» та антрациту марки «А», від значення вмісту летких речовин V_C на горючу масу вугільної суміші

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 [80]:

$$Q_{н.сум} = r_1 \cdot Q_{н.1} + (1 - r_1) \cdot Q_{н.2}, \quad (4.19)$$

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.

Таким чином частку вугілля першої марки визначаємо як:

$$r_1 = \frac{Q_{н.сум} - Q_{н.2}}{Q_{н.1} - Q_{н.2}}, \quad (4.20)$$

а частку вугілля другої марки у вугільній суміші:

$$r_2 = 1 - r_1. \quad (4.21)$$

Оскільки залежність (4.20) для визначення частки вугілля у суміші аналогічна за виглядом до залежності (4.14), то для оцінки можливої невизначеності результату визначення часток складових суміші двох марок вугілля другим методом можна скористатися залежностями (4.16 – 4.18).

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

$$u_{r_1} = \sqrt{a_1^2 \cdot u_{Q_{н.сум}}^2 + a_2^2 \cdot u_{Q_{н.1}}^2 + a_3^2 \cdot u_{Q_{н.2}}^2}, \quad (4.22)$$

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 (15) на результат непрямого вимірювання частки r_1 вугілля першої марки:

$$a_1 = \frac{\partial r_1}{\partial Q_{н.сум}} = \frac{1}{Q_{н.1} - Q_{н.2}}; \quad a_2 = \frac{\partial r_1}{\partial Q_{н.1}} = \frac{Q_{н.2} - Q_{н.сум}}{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2}; \quad a_3 = \frac{\partial r_1}{\partial Q_{н.2}} = \frac{Q_{н.сум} - Q_{н.1}}{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2}.$$

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

$$u_{r_1} = \frac{u_Q}{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2} \sqrt{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2 + (Q_{н.2} - Q_{н.сум})^2 + (Q_{н.сум} - Q_{н.1})^2}. \quad (4.23)$$

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

$$u'_{r_1} = \frac{u_{r_1}}{r_1} \cdot 100\% = \frac{u_Q \cdot 100\%}{(Q_{н.1} - Q_{н.2}) \cdot (Q_{н.сум} - Q_{н.1})} \sqrt{(Q_{н.1} - Q_{н.2})^2 + (Q_{н.2} - Q_{н.сум})^2 + (Q_{н.сум} - Q_{н.1})^2}. \quad (4.24)$$

Отримані залежності (4.18) та (4.24) для оцінки невизначеності результату визначення часток складових вугільної суміші за розробленими методами дозволяють прогнозувати точність реалізації цих методів для вугільної суміші різного складу.

Розроблені методи визначення часток складових суміші палив впроваджені у технологічний процес спалювання непроектного палива на Бурштинській, Добротвірській та Трипільській теплових електростанціях.

4.5. Розроблення та впровадження програми розрахунку продуктивності пилосистем з кульовими вентиляльованими млинами при спалюванні непроектних видів палива.

У відповідності з [82] різні марки вугілля характеризуються різними показниками зольності A^P та вологістю W^P на робочу масу. Чим більші ці показники тим менша загальна теплотворна здатність Q_n^P вугілля.

Для розмелювання вугілля використовують млини різного типу. Широке розповсюдження на ТЕС України набули кульові вентиляльовані млини, зокрема на котлах ТП-92 енергоблоків 150 МВт Добротвірської ТЕС встановлені млини типу 6М75U пилосистем з прямим вдуванням пилу в паливню котла.

Ефективна робота цих млинів при подачі в них палив різної якості є важливою складовою економічної роботи котлів та енергоблоків в цілому.

Для спалювання вугільного палива в паливнях енергетичних котлів незалежно від способу спалювання потрібно його підсушити та розмолоти до відповідної тонини [82,83,84]. Як показано [85] перспективами розвитку паливної бази теплової енергетики в Україні залишається вугілля з українських вугільних шахт. В той же час у вугільній теплоенергетиці України широкого впровадження набувають технології спалювання твердих палив в киплячому шарі [86,87,88]. Такі технології спрямовані на вирішення двох основних проблем - ефективного використання енергії палива та зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище [89,90,91].

В енергетиці України працюють в основному енергоблоки з пилувугільними котлами, які практично відпрацювали свій технічний ресурс з факельним спалюванням вугільного пилу. При такій ситуації важливим фактором є оптимальна

підготовка вугільного пилу особливо при надходженні на ТЕС палив з різною технічною характеристикою [92].

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.

Сушильна продуктивність визначається частиною тепла сушильного агенту, яка витрачається безпосередньо на сушіння млинового продукту в млині, а решта тепла сушильного агенту витрачається для підтримування теплового стану тракту пилосистеми, який потрібний для надійного транспортування вугільного пилу в паливню котла.

Очевидно, що чим більша технічна готовність пилосистеми, що відповідає зазначеним величинам, тим менше потрібно теплової енергії на розмелювання та транспортування вугільного пилу.

Кількість теплової енергії сушильного агента у млині оцінюють за величиною температури аеросуміші після млина. При цьому сушильна продуктивність знижується у випадку збільшення вологості вугілля та незадовільному технічному стану пилосистем, а саме, коли завишені присмокти повітря зверх нормативного значення, зменшена щільність пиловугільного тракту, погіршений тепловий захист устаткування і т. д.

Враховуючи вищезгадану проблему була поставлена задача розробити та впровадити програму розрахунку сушильної та розмелювальної продуктивності (додаток 3), що дасть можливість оперативно визначити їх реальну пилопродуктивність та чинники, які впливають на її величину, що дасть можливість підвищити ефективність роботи пилосистеми котлів та енергоблоків в цілому.

4.5.1. Програма розрахунку продуктивності пилосистем котлів ТП-92 енергоблоків 150 МВт.

Котел ТП-92 розрахований для роботи в блоці з турбогенератором потужністю 150 МВт. Котел пиловугільний з твердим жужелевідведенням, однобарабаний з природною циркуляцією, вторинним перегрівом пари, з однією конвективною шахтою і одноступеневим трубчатим повітропідігрівником. Паливня котла розділена двосвітним екраном на дві половини (пів паливні). На фронтних та задніх стінах у кутах кожної пів паливні на висоті 14 м встановлені прямотокові пилогазові пальники з розсікачами пилоповітряної суміші. Завдяки кутовому розміщенню пальників в центрі кожної півпаливні створюється ядро факела. Пальники являють собою блоки, які складаються з чотирьох каналів вторинного повітря і трьох каналів пилоповітряної суміші з розсікачами. У кожній пів паливні знаходиться чотири блоки пальників. Загальна кількість каналів аеросуміші дорівнює 24, вторинного повітря 32.

При потребі природній газ подається в паливню газовими ріжками, які розміщені в каналах вторинного повітря.

Жужелевідведення на котлі безперервне. Годинна розрахункова витрата твердого палива при вищезазначеній теплотворній здатності становить 77,3 т, ККД - 91,78%.

На котлі встановлено шість середньоходових кільцево-кульових млинів типу 6М75U польського виробництва. Діаметр молотьних куль 750 мм, кількість – 6 шт. млини знаходяться під тиском повітря млинових вентиляторів (МВ). Максимальна проектна продуктивність млина 17 т/год, мінімальна – 9 т/год палива. Задана характеристика вугілля $A^P = 33,3\%$, $W^P = 12\%$ максимально допустима температура гарячого повітря 350°C, а фактична температура гарячого повітря перед млином знаходиться в діапазоні 200-230°C.

Діапазон температур аеросуміші на виході із млина 70-100 °С, робочий опір млина 4-8 кПа.

Потужність приводу млина 160 кВт. Продуктивність МВ-16,5 м³/с, потужність приводу 231 кВт, число обертів - 49,4 сек-1, напір - 1340 кг/м².

Живильники сирого вугілля (ЖСВ) мають мінімальну продуктивність 10 т/год, максимальну 16-19 т/год.

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

- нижча теплота згоряння = 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 $W_{п} = 1,5\%$.

Основними завданнями при розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми з млинами 6M75U були визначення наступних показників 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.

Визначення витрати електроенергії на розмелювання твердого палива та транспорт вугільного пилу. Алгоритм розрахунку наведений на рис. 4.1.

4.5.1.1 Реалізація програми розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми котла ТП-92 з млинами 6M75U

Для визначення найбільш характерних режимів роботи пилосистеми були вибрані характерні впродовж п'яти років характеристики вугілля у трьох варіантах (табл. 4.1.)

Таблиця 4.1 Варіанти характеристики вугілля

№ п/п	Величини	Розмірність	Варіанти		
			1	2	3
1	Калорійність, Q_n^p	ккал/кг	4570	4300	4560
2	Зольність, A^p	%	26,9	28,3	23,91
3	Вологість, W^p	%	12,5	12,5	14,0

4	Вміст вуглецю, C ^p	%	47,67	44,8	48,1
5	Вміст сірки, S ^p	%	3,0	3,0	3,0
6	Вміст водню, H ^p	%	3,45	3,45	3,45
7	Вміст азоту, N ^p	%	1,0	1,0	1,0
8	Вміст кисню, O ^p	%	5,48	6,95	6,25

Стартова витрата гарячого повітря підбиралася програмою для забезпечення витрати повітря через млиновий вентилятор в кількості 29500 нм³/год при температурі 230 °С, а в випадку, якщо сушильна продуктивність пилосистеми більша ніж розмелювальна, то підбирається витрата повітря до досягнення відповідності (рівності) розмелювальної та сушильної продуктивності.

Витрата повітря, в трубопроводі, на заходження перед млиновим вентилятором становила 50 нм³/год., а температура повітря на заходження перед млиновим вентилятором підтримувалася на рівні 160 °С.

Коефіцієнт розмелоздатності вугілля ($K_{\text{ло}}$) склав 1, 2.

Якість розмелювання у всіх розрахунках приймалась у відповідності до виду палива і становила в даному випадку $R_{90} = 25\%$, а $R_{200} = 6\%$. Розмір сирого вугілля по залишку на ситі 5x5 мм приймався $R_5 = 30\%$.

Температура сушильного агенту перед пальниками приймалася 80 °С, при цьому температура після млина згідно з рекомендаціями [75] приймалася на 5 °С вищою (врахування втрат теплової енергії в коробах).

Вологість готового пилу у всіх варіантах розрахунку приймалася $W_{\text{п}}=1,5\%$.

Температури після змішування сушильного агенту з іншими потоками окремих елементів тракту пилосистеми розраховувалися на базі теплового балансу потоків.

Сушильна продуктивність млина визначалася по тепловому балансу всіх потоків : сушильного агенту на вході в млин та на його виході, присмоктів повітря, повітря на пневмовідсікач, рециркуляції сушильного агенту, сирого вугілля та вугільного пилу.

Електрична потужність електроприводу млинового вентилятора визначалася при фактичній витраті сушильного агенту через нього та введених користувачем

тиску на всмокті млинового вентилятора і тиску сушильного агенту перед пальниками. При визначенні питомої витрати електроенергії на розмелювання сирого вугілля приймалося що тільки половина витрати електроенергії млинового вентилятора витрачається на дуття в схемах при прямому вдуванні пилу.

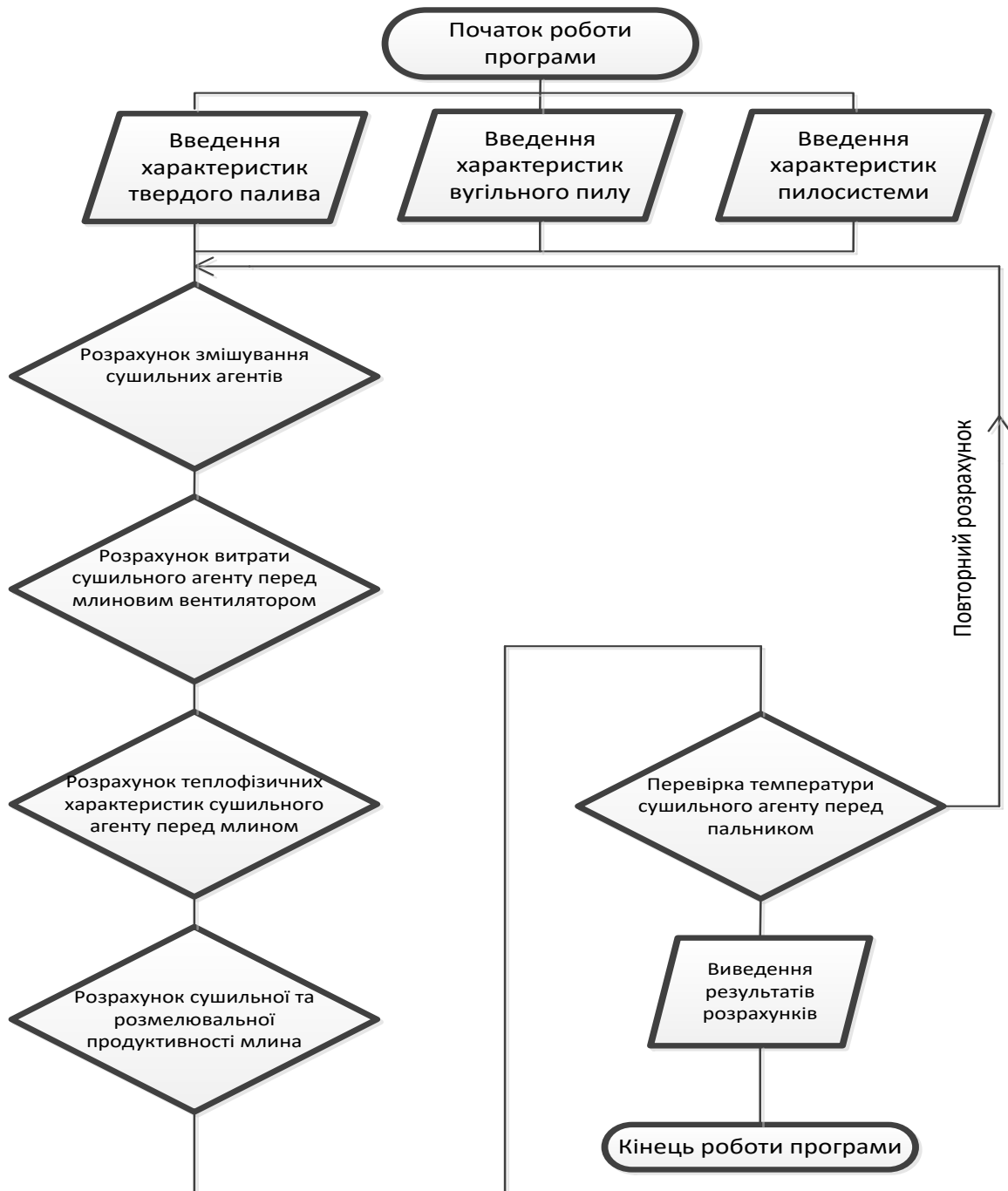


Рис. 4.3. Алгоритм розрахунку продуктивності пило системи котла ТП-92 з млином 6M75U енергоблоку 150 МВт

В табл. 4.2 наведені розрахунки розмелювальної продуктивності пилосистеми з врахуванням її сушильної продуктивності, режимних та конструктивних факторів.

Таблиця 4.2. Приклади розрахунку розмелювальної продуктивності пилосистеми котла ТП-92 з млинами типу 6М75U

№ п/п	Найменування	Розмірність	Варіанти		
			I	II	III
1	Середньоходовий кільцево-кульковий млин типу 6М75U	-	-	-	-
2	Пилосистема прямого вдування	-	-	-	-
3	Калорійність сирого вугілля	ккал/кг	4570	4300	4560
4	Вологість сирого вугілля	%	12,5	12,5	14,0
5	Зольність сирого вугілля	%	26,9	28,3	23,9
6	Витрата гарячого повітря на підсушування продукту	нм ³ /год.	29500,0	29500,0	29500,0
7	Температура гарячого повітря на підсушування продукту	°C	230,0	230,0	230,0
8	Витрата холодного повітря на заохолодження в трубопровід до МВ	нм ³ /год	50,0	50,0	50,0
9	Тиск перед млиновим вентилятором	мм вод. ст.	50,0	50,0	50,0
10	Температура сушильного агента перед МВ	°C	229,6	229,6	230,0
11	Температура сушильного агента перед млином	°C	237,7	237,7	237,7
12	Витрата сушильного агенту на пальники	нм ³ /год	32115,8	32115,8	32115,8
13	Тиск сушильного агенту перед	мм вод ст.	444,0	444,0	444,0

	пальниками				
14	Розмелювальна продуктивність пилосистем по сирому вугіллю	т/год	28,28	25,28	28,68
15	Сушильна продуктивність пилосистеми по сирому вугіллю	т/год	18,47	18,47	16,62
16	Сушильна продуктивність пилосистеми по вугільному пилу	т/год	16,40	16,40	14,51
17	Потужність приводу млина	кВт	160,00	160,00	160,00
18	Потужність приводу млинового вентилятора	кВт	172,72	172,72	172,72
19	Питома витрата електроенергії на розмелювання сирого вугілля	кВт*год/т н.п.	17,58	17,58	19,53

4.5.2. Програма розрахунку продуктивності пилосистем котлів ТП-100 енергоблоків 200 МВт.

Енергоблоки 200МВт укомплектовані барабанними котлами Таганрозького котельного заводу типу ТП-100 та ТП-100А продуктивність 640 т/год з вихідними параметрами перегрітої пари і пари промперегріву: тиском 140/22,3 кгс/см і температурою 570/570 °С. Згідно експлуатаційного циркуляру №Т-4/71 температури пари знижені до 545 °С.

Котли ТП-100 та пилосистеми спроектовані для роботи на кам'яному вугіллі Львівсько-Волинського басейну з наступними характеристиками:

- нижча робоча теплота згоряння $Q_{\text{н}}^{\text{р}}=5830$ ккал/кг;
- зольність на робочу масу $A_{\text{р}} = 22,4$ %;
- вологість на робочу масу $W_{\text{р}} = 7,4$ %;

- вміст сірки на робочу масу $S_p = 3,2 \%$;
- вихід летких горючих $V_p = 38,5 \%$.

Паливні котлів обладнані 16 прямотоковими пальниками з периферійним підводом природного газу розміщеними у два яруси. Подача вугільного пилу в пальники проводиться високими концентраціями під розрідженням з застосуванням парових ежекторів.

Схеми пилоприготування котлів розімкнуті із скидом відпрацьованого сушильного агента після млинових вентиляторів в газохід перед електрофільтрами або замкнуті зі скидом сушильного агента в скидні пальники.

Кожен з котлів обладнаний двома індивідуальними системами пилоприготування з проміжним бункером і кульовими барабанними млинами типу КБМ 370/850 (Ш-50). Сушіння палива в барабанах млинів виконується димовими газами, які відбираються із газоходів котла перед регулювальною ступінню за допомогою млинових вентиляторів типу ВМ 100/1200.

Забір димових газів на сушіння палива здійснюється через два прямокутних „вікна” в конвективних шахтах розмірами 1620 мм на 515 мм.

Для пилосистеми „А” забір газів виконаний з першої і другої шахти, а для пилосистеми „Б” — з третьої і четвертої шахти.

З місць відбору димові гази трубопроводом $d_u 1000$ мм, який далі переходить в трубопровід $d_u 1400$ мм, подаються до кульових барабанних млинів.

Вугілля з бункеру сирого вугілля стрічковими живильниками подається до млинів. Висота шару вугілля на стрічках дистанційно регулюється шиберами. Швидкість руху стрічок постійна.

В схему пилоприготування подається повітря, що забирається після регенеративних повітропідігрівників (або ступені трубчатого повітропідігрівника) трубопроводом $d_u 370$ мм в трубопроводі вхідних горловин КБМ під живильниками сирого вугілля.

Це повітря виконує функції пневматичного відсікача (для зменшення присмоктів холодного повітря через вхідну горловину млина), а також додаткового сушіння вугілля.

Після КБМ встановлено сепаратор, в якому здійснюється відділення недомелених частин вугілля від готового пилу з необхідним фракційним складом. Недомелені частинки подаються на повторне розмелювання в млині (повернення пилу), а готовий вугільний пил - в основний циклон (перша ступінь вловлювання пилу), де здійснюється відділення вугільного пилу від сушильного агента. На лініях повернення вугільного пилу з сепараторів встановлені мигалки з противагами. Після циклонів вугільний пил подається в бункер пилу, а звідти в пальники котла. З бункеру пилу виконана лінія відсмоктування, яка використовується в пускових режимах пилосистем.

Запилений потік після основних циклонів надходить в другу ступінь вловлювання пилу. В якості другої ступені вловлювання пилу після основних циклонів встановлені батарейні циклонні пиловловлювачі (БЦП) типу БЦУ-1х10х16 з 160 робочими елементами на кожен БЦП. Після батарейних циклонів вугільний пил подається в пальники: з пилосистеми „А” в пальник №11, а з пилосистеми „Б” в пальник №16. Відпрацьований сушильний агент млиновими вентиляторами подається в газоходи котла після повітропідігрівників або в скидні пальники для розімкнутих пилосистем. Для зменшення концентрації пилу (втрати палива) в потоці відпрацьованого сушильного агента виконана лінія рециркуляції (пилоконцентратор) з напірного коробу млинового вентилятора до вихідного пилопроводу після млина трубопроводом $du\ 370\text{ мм}$.

Млинові вентилятори типу ВМ 100/1200 мають такі паспортні характеристики:

- повний тиск - 1050 кгс/м² ;
- частота обертання - 1480 об/хв;
- продуктивність - 110000 м³/год при температурі перекачуваного середовища 90 °С та густині 1,32 кг/м³.

Для приводу млинових вентиляторів встановлені електродвигуни ДАЗО-18- 50-4 потужністю 630 кВт.

Стан устаткування пилосистем.

Одним з основних факторів, який визначає максимальну продуктивність котлів є сушильна продуктивність КБМ. Наприклад, максимальна продуктивність млинів

досліджуваного котла ТП-100 по сирому вугіллю складає: для млина „А” 37,9 т/год при вологості 9,1 %, а млина „Б” при вологості 9,8% на рівні 57,1 т/год

Елементи пилосистем, які працюють в умовах абразивного зношування, потребують постійного контролю їх стану для аналізу, прогнозування їх заміни або ґрунтового ремонту.

Згідно з дослідженнями температура димових газів, які відбираються на сушіння на ділянці газоходу „відбір з котла до відмітки 9,0 м перед млином” знижується на 86-90 °С. Пониження цієї температури обумовлене двома факторами: значними присмоктами повітря та недостатньою, а на деяких ділянках відсутньою тепловою ізоляцією на коробах димових газів. При температурі димових газів на виході з котла 455 - 460 °С в коробі перед млинами до сушильного пристрою температура дорівнює 368 - 370 °С для пилосистеми „А” і 377 - 400 °С для пилосистеми „Б”. Зниження температури сушильного агенту значно зменшує сушильну продуктивність млинів.

Загальні присмокоти холодного повітря в пилосистеми від місця відбору з котла до перерізу після млинових вентиляторів становлять значні величини і також потребують аналізу.

Важливим є прогнозування роботи пилосистем на підставі проведених вимірювань та визначення елементів, огляд та ремонт яких треба виконати першочергово. Прогнозування роботи пилосистем особливо актуальне при зміні якості твердого палива, яке поступає на електростанції України в останні роки.

4.5.2.1. Розрахунок розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистем з млинами типу КБМ (Ш-50)

На рис.4.2 представлено алгоритм розрахунку пилосистем котла ТП-100 з кульовими барабанными млинами енергоблока 200 МВт при використанні непроектних видів палива.

Вхідні дані для розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми, потужності електроприводів:

- температура димових газів на сушку палива після котла °С;
- витрата димових газів на сушку палива після котла, нм³/год;
- надлишок повітря в димових газів на сушку після котла;
- присоси холодного повітря в тракт від котла до млина, %;
- характеристики сирого вугілля;

Характеристика енерговугілля визначалась за таким технічними показниками:

- нижча теплота згорання на робочу масу, ккал/кг;
- вологість на робочу масу, %;
- вміст вуглецю на робочу масу, %;
- вміст сірки на робочу масу, %;
- вміст азоту на робочу масу, %;
- вміст кисню на робочу масу, %;
- вміст золи на робочу масу, %;
- коефіцієнт розмелювальної здатності вугілля, визначений по методиці ВТІ;
- температура сирого вугілля в бункері сирого вугілля, °С.
- тонина помелу (залишок на ситі 90 мк), %;
- тонина помелу (залишок на ситі 200 мк), %;
- розмір кусків сирого вугілля (залишок на ситі 5 мм), %;
- гігроскопічна вологість палива, %.

Характеристика млина визначалась:

- тип млина Ш-50.
- коефіцієнт форми і зносу броні;
- експлуатаційний коефіцієнт.
- коефіцієнт вентиляції млина може встановлюватися при розрахунку або вибиратися автоматично програмою.
- присмокти холодного повітря в млині %.

Характеристики пилосистеми:

- присмокти холодного повітря на ділянці від млина до млинового вентилятора, %;
- присмокти в млиновому вентиляторі, %;

- температура присмоктів, °С;
- барометричний тиск, мм рт. ст.;
- розрідження перед млиновим вентилятором, мм вод. ст.;
- максимальна продуктивність млинового вентилятора (м³/год) при температурі, згідно випробувань чи аеродинамічній характеристиці вентилятора.

Як відмічалось вище алгоритм розрахунку базувався на загальноприйнятих методиках розрахунку систем пилоприготування [93,94].

Температури димових газів після розрахункових елементів тракту пилосистеми - присмоктів холодного повітря, рециркуляції з напору млинового вентилятора, пневмовідсікача тощо, розраховувалися на базі теплового балансу потоків.

Сушильна продуктивність млина визначається по тепловому балансу всіх потоків: сушильного агенту на вході в млин та на його виході, присмоктів повітря, повітря на пневмовідсікач, рециркуляції сушильного агенту, сирого вугілля та вугільного пилу.

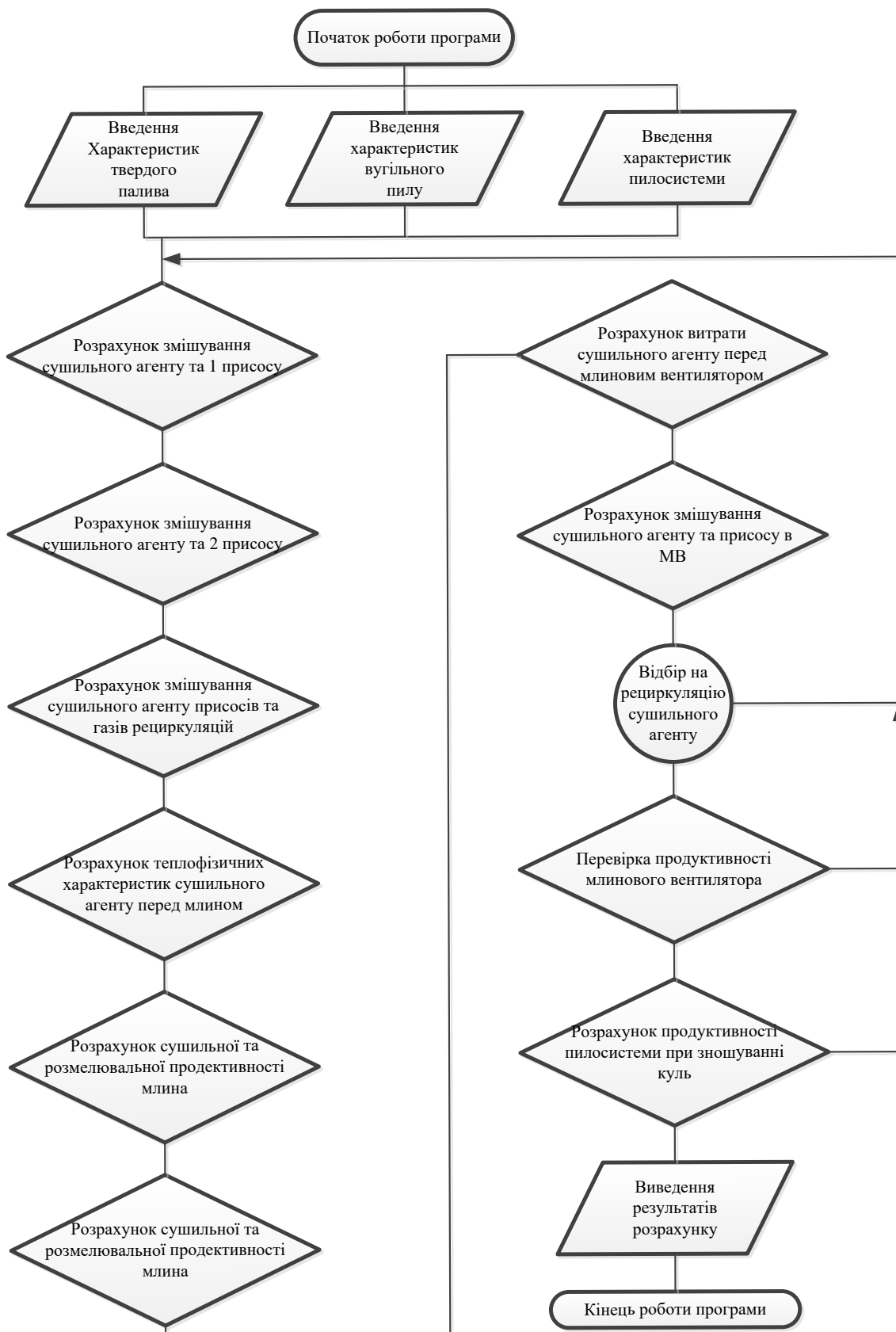


Рис.4.3 Алгоритм розрахунку пилосистеми котла ТП-100 з КБМ енергоблоку 200 МВт.

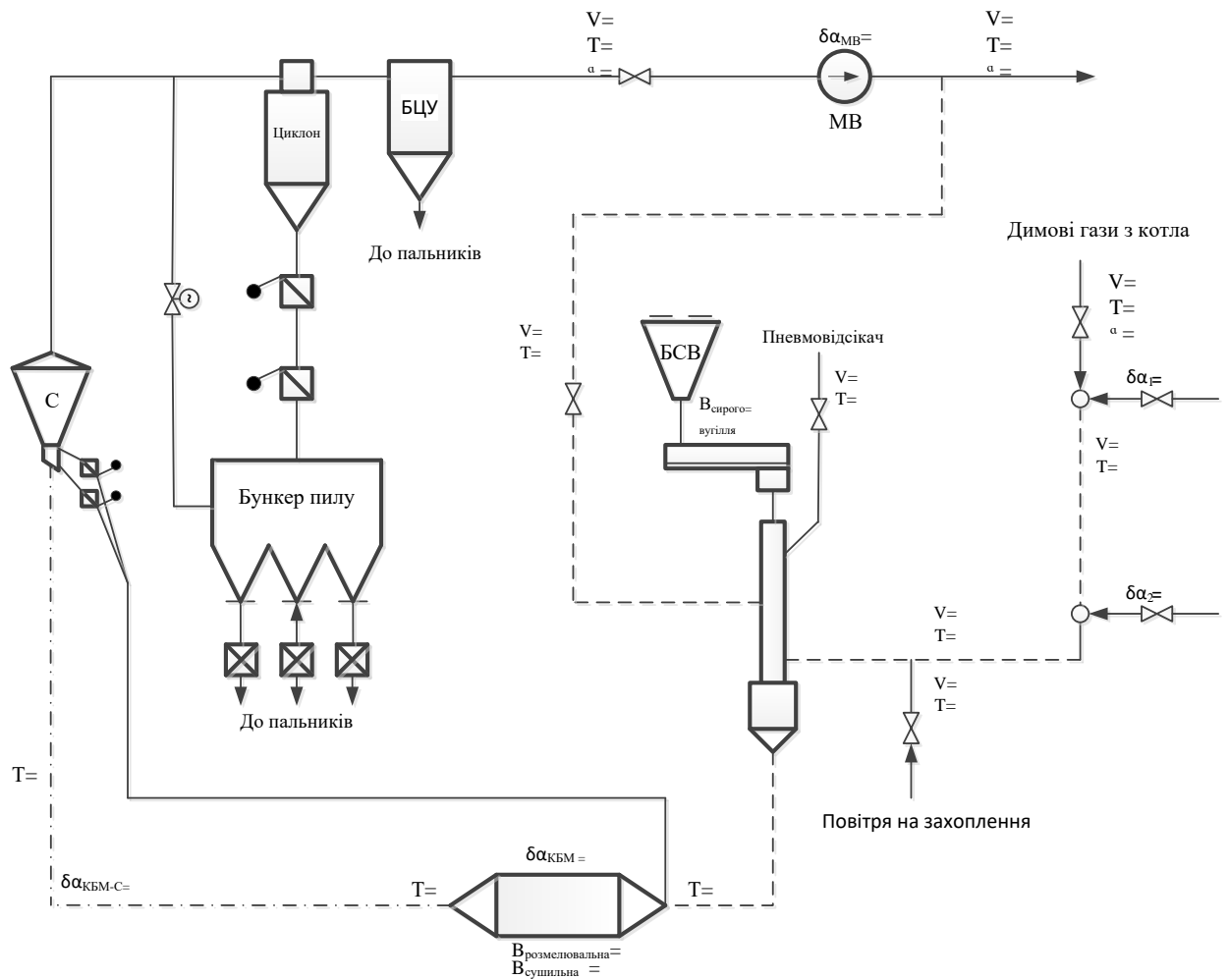


Рис.4.4 Розрахункова схема пилосистем з кульовими барабанними млинами типу Ш-50 і Ш-50А.

Електрична потужність електроприводу млинового вентилятора визначається при фактичній витраті сушильного агента через нього та введених користувачем розрідженню на всмокті млинового вентилятора і тиску (розрідженню) на його напорі, кВт.

При визначенні питомої витрати електроенергії на розмелювання сирого вугілля приймається, що тільки половина витрати електроенергії млинового вентилятора витрачається на дуття при замкнутій пилосистемі (друга половина повинна враховуватися в затратах електроенергії на дуття) і повністю відноситься на розмелювання при розімкнутій пилосистемі.

Розрахункова схема пилосистеми з КБМ котла представлена на рис.4.4.

4.5.3. Програма розрахунку продуктивності пилосистем котлів ТПП-210А та ТПП-312 енергоблоків 300 МВт.

4.5.3.1. Коротка характеристика устаткування, систем пилоприготування котлів

Котел ПП - 950 - 255Ж, ГОСТ 3619-69 (ТПП-312) виготовлений Таганрозьким котельним заводом (ТКЗ) «Красний котельщик», прямотоковий, пиловугільний, з рідким жухелевідведенням, однокорпусний, П-подібної компоновки, з проміжним перегрівом пари. Котел працює в моноблоці з турбіною К-300-240-2 ХТГЗ номінальною потужністю 300 МВт.

Допоміжне устаткування включає в себе пилосистеми з млинами типу Ш-50А (КБМ 370/850) і млиновими вентиляторами типу ВМ-180/1100. Два димотяги типу ДОД-31,5 Ф, два димотяги рециркуляції типу ГД-20-500-У, два дуттьові вентилятори типу ВДН-32Б.

Котел ТПП-312 обладнано двома індивідуальними системами пилоприготування з кульовими барабаними млинами, пиловими бункерами, замкненим циклом сушіння газоповітряною сумішшю і пневмотранспортування вугільного пилу до пальників відпрацьованим сушильним агентом за допомогою млинових вентиляторів.

За проектом пилосистему розраховано для розмелювання кам'яного вугілля марки ГСШ Донецького басейну з такими характеристиками: $Q_{\text{H}}^{\text{P}}=20,93$ МДж/кг (5000 ккал/кг), $W^{\text{P}}=11\%$, $A^{\text{P}}=22,3\%$, $V^{\text{Г}}=40\%$, $K_{\text{ЛО}} = 1,1$.

Розрахункові показники готового пилу: тонкість помелу на ситі – $R_{90}=25\%$, вологість $W^{\text{пл}} = 3,0\%$.

Основне устаткування пилосистеми - млин типу ШБМ 370/850 (Ш-50А) має такі характеристики:

- проектне кульове завантаження барабана млина $G_{\text{п}}^{\text{К}}=87\text{т}$;
- граничне максимальне кульове завантаження барабана млина $G_{\text{п}}^{\text{К}}=100$ т;

- максимальне експлуатаційне кульове завантаження барабана млина $G_K^{\text{макс}} = 72$ т;
- діаметр молільних куль $d = 40$ мм;
- проектна номінальна продуктивність млина при тонкості помелу $R_{90}^{\text{п}} = 25\%$ складає $B_M^{\text{п}} = 76$ т/год;
- внутрішній діаметр барабана $D_6 = 3700$ мм;
- частота обертання барабана $n_6 = 17,6$ об/хв;
- вага млина без куль і електродвигуна 163 т;
- електродвигун типу СДСЗ — 2000 — 100 потужністю 2000 кВт, частотою обертання 100 об/хв.

Схема пилоприготування приведена на рис. 4.5.

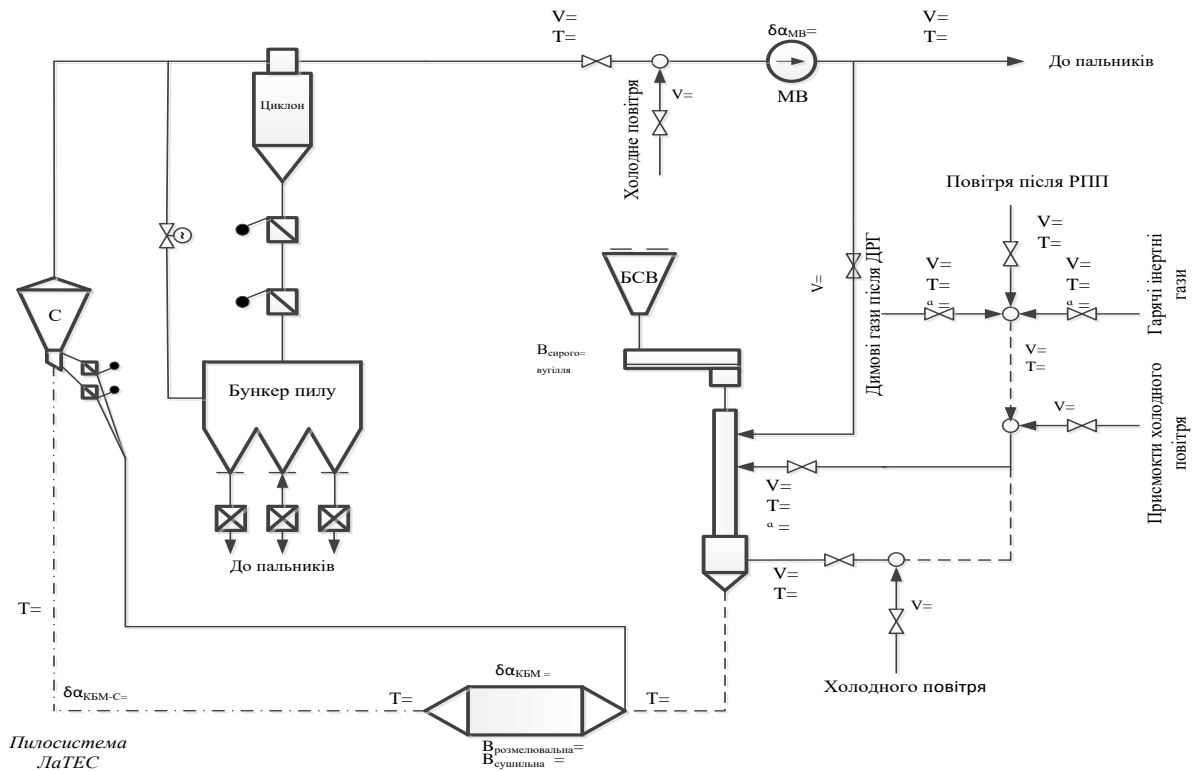


Рис.4.5 Розрахункова схема пилосистем з кульовими барабанними млинами типу Ш-50А.

Допоміжне устаткування пилосистеми:

- бункер сирового вугілля ємністю 565 м³;

- стрічковий живильник сирого вугілля типу В-1200 продуктивністю 80 т/год, швидкістю переміщення стрічки $\omega = 0,221$ м/с, довжина стрічки — 9050 мм, потужність двигуна - 17 кВт;

- відцентровий сепаратор типу СП-2-5500-II, повітро-прохідний, діаметром 5500 мм, з односхідчастою схемою повернення грубих фракцій на домелювання у млин;

- відцентровий циклон пилу типу НІІГАЗ діаметром 4250 мм;

- бункер вугільного пилу ємністю 458 м³;

-млиновий вентилятор типу ВМ-130/1100 продуктивністю 180-103 м³/год, напором 1100 кг/м² з електродвигуном тапу ДАП-14-49-61 потужністю 1250 кВт, частотою обертання 1500 об/хв.

В якості сушильного агента використовується газоповітряна суміш, що складається із гарячого повітря і димових газів, які подаються без і за допомогою димотягу рециркуляції газів типу ГД-20-500У продуктивністю 200 103м³/год і напором 570 кгс/м².

Вугільний пил дозується лопатевими пиложивильниками типу УЛПП-2-64И продуктивністю 12 т/год кожний і транспортується до 16 пальників котла двома млиновими вентиляторами, потужність електродвигунів пиложивильників - 2,4 кВт, частота обертання $n = 300 - 1500$ об/хв.

4.5.3.2. Розрахунок розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистем з млинами Ш-50А.

Основними завданнями при розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистем з млинами Ш-50А були визначення показників роботи пилосистем а саме: 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.

Алгоритм розрахунку базувався на загальноприйнятих методиках розрахунку систем пилоприготування [96,97]. Теплофізичні властивості складових димових газів та сушильного агенту визначалися з допомогою апроксимації табличних даних [98], а норми витрати молоткових куль приймалися згідно [99,100]

Вхідні дані для розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми, потужності електроприводів:

- температура гарячого повітря на сушіння палива, °С;
- витрата гарячого повітря на сушіння палива, $\text{нм}^3/\text{год}$;
- температура димових газів на сушіння палива після ДРГ, °С;
- витрата димових газів на сушіння палива після ДРГ, $\text{нм}^3/\text{год}$;
- надлишок повітря в димових газах, що подається на сушіння палива після ДРГ;
- температура димових газів на сушіння палива після котла, °С;
- витрата димових газів на сушіння палива після котла, $\text{нм}^3/\text{год}$;
- надлишок повітря в димових газів, що подається на сушіння палива після котла;
- присмоктки холодного повітря в тракт від котла до млина, %;
- витрата холодного повітря на заохолодження перед млином, $\text{нм}^3/\text{год}$;
- розрідження сушильного агенту перед млином, мм вод. ст.;
- тиск скидного сушильного агенту перед пальниками, мм вод. ст.

Алгоритм розрахунку наведений на рис. 4.6.

Температури димових газів після розрахункових елементів тракту пилосистеми - присмоктив холодного повітря, рециркуляції з напору млинового вентилятора, пневмовідсікача тощо, розраховувалися на базі теплового балансу потоків.

Сушильна продуктивність млина визначалася по тепловому балансі всіх потоків: сушильного агенту на вході в млин та на його виході, присмоктів повітря на пневмовідсікач, рециркуляції сушильного агенту, сирого вугілля та вугільного пилу.

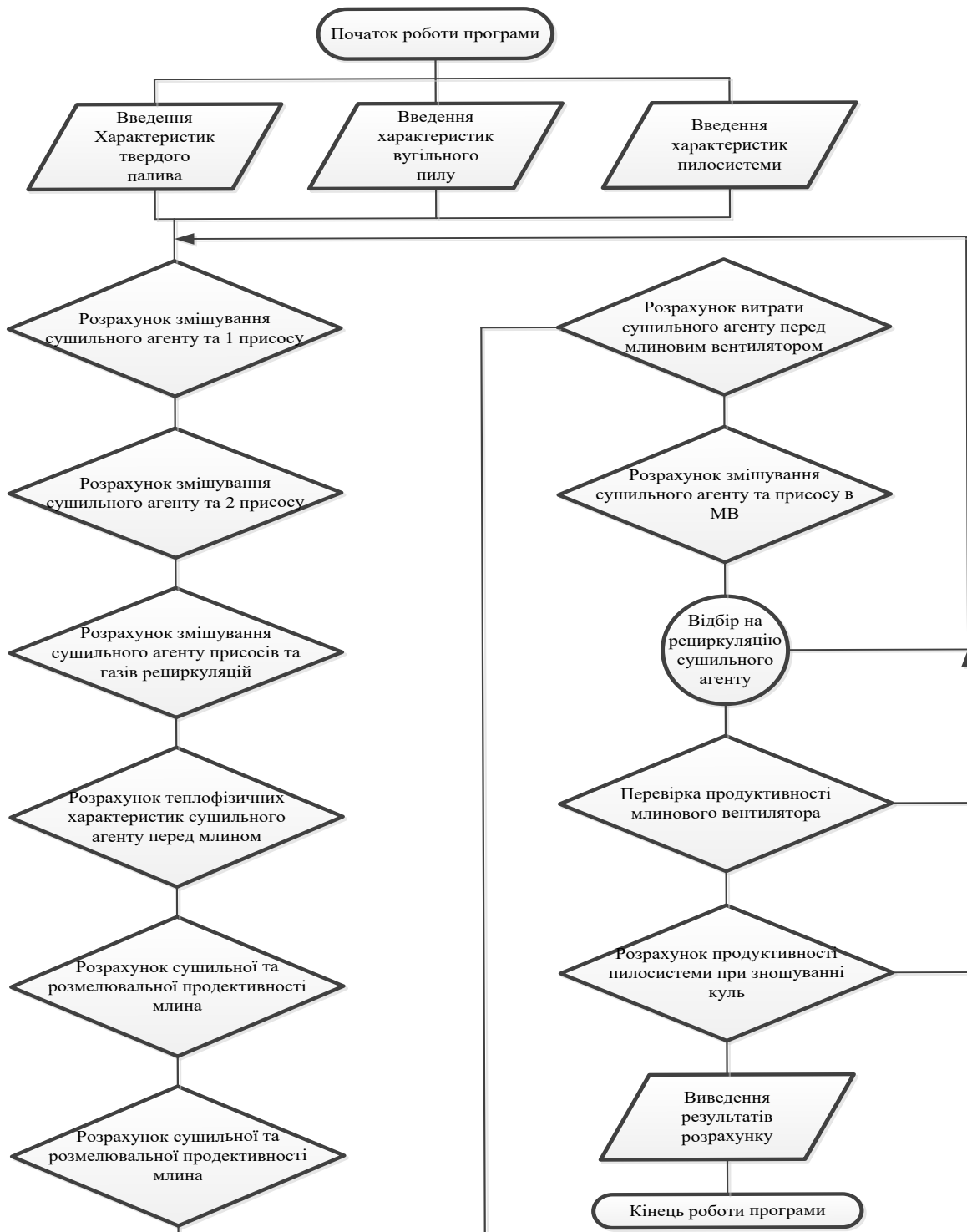


Рис.4.6 Алгоритм розрахунку пилосистеми котла ТПП-312 з КБМ енергоблоку 300 МВт.

Характеристики сирого вугілля.

- нижча теплота згорання на робочу масу, ккал/кг;
- вологість на робочу масу, %;
- вміст вуглецю на робочу масу, %;
- вміст сірки на робочу масу, %;
- вміст водню на робочу масу, %;
- вміст азоту на робочу масу, %;
- вміст кисню на робочу масу, %;
- вміст золи на робочу масу, %;
- коефіцієнт розмелювальної здатності вугілля;
- температура сирого вугілля в бункері сирого вугілля, °С;
- тонина помелу (залишок на ситі 90мк), %;
- тонина помелу (залишок на ситі 200 мк), %;
- розмір кусків сирого вугілля (залишок на ситі 5 мм), %;
- гігроскопічна вологість палива, %;

Характеристики млина:

- тип млина Ш-50А;
- коефіцієнт форми і зносу броні;
- експлуатаційний коефіцієнт;
- присмоктки холодного повітря в млині, %.

Характеристика пилосистеми.

- присмоктки холодного повітря на ділянці від млина до млинового вентилятора, %;
- присмоктки в млиновому вентиляторі, %;
- температура присмоктів, °С;
- барометричний тиск, мм.рт.ст.;
- розрідження перед млиновим вентилятором, мм.рт.ст.;
- максимальна продуктивність млинового вентилятора (нм³/год) при температурі, згідно випробувань по аеродинамічній характеристиці вентилятора;

- тиск скидного сушильного агенту перед пальниками, встановлюється по робочій формі розрахунку пилосистеми.

Електрична потужність електроприводу млинового вентилятора визначається при фактичній витраті сушильного агенту через нього та введених користувачем величини розрідження на всмокті млинового вентилятора і тиску (розрідженню) на його напорі, кВт.

При визначені питомої витрати електроенергії на розмелювання сирого вугілля приймається, що тільки половина витрати електроенергії млинового вентилятора витрачається на транспорт вугільного пилу при замкнутій пилосистемі (друга половина повинна враховуватися в затратах електроенергії на дуття).

4.5.3.3. Приклад розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми.

Робота програми відбувається в режимі реального часу кінцеві результати змінюються автоматичною при зміні вхідних значень [92]. Для зміни вхідних величин витрат сушильного агенту, заохолодження, рециркуляції та присмоктів холодного повітря в газохід сушильного агенту необхідно подіяти на засувку, що відповідає вказаному потоку. Для зміни інших вхідних величин (температур, присмоктів холодного повітря в млин, кульового завантаження тощо) необхідно натиснути вказівнику більше або менше біля параметру.

Для прикладу розрахунку приймаються наступні реальні характеристики вугілля, що поступає на ТЕС.

- калорійність, Q_H^P (ккал).....	4570
- зольність, A_P (%).....	23,91
- вологість, W_P (%).....	14,0
- вміст вуглецю, C_P (%).....	48,1
- вміст сірки, S_P (%).....	3,0
- вміст водню, H_P (%).....	3,45
- вміст азоту, N_P (%).....	1,0

- вміст кисню, $O_p(\%)$6,52

Умови виконання розрахунків:

- стартова витрата гарячого повітря 0,0 $\text{нм}^3/\text{год}$;
- температура гарячого повітря 350,0 $^{\circ}\text{C}$;
- стартова витрата димових газів після ДРГ 50000 $\text{нм}^3/\text{год}$;
- коефіцієнт надлишку повітря в сушильному агенті з котла 1,5;
- температура димових газів на сушку палива в місці заміру 320,0 $^{\circ}\text{C}$;
- присмокоти холодного повітря в сушильний агент 50,0%;
- витрата повітря на заохолодження перед млином 0,00 $\text{нм}^3/\text{год}$;
- температура повітря на заохолодження і температура присмоктів 30,0 $^{\circ}\text{C}$;
- присмокт в млині 10,0%;
- присмокт на ділянці від сепаратора до млинового вентилятора 10,0%;
- присмокт в млиновому вентиляторі 10,0%;
- кульове завантаження млина 83,50 т;

Результати розрахунків зведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Результати розрахунку розмелювальної та сушильної продуктивності пилосистеми з КБМ котла ТПП-312

Найменування	Розмірність	Чисельні значення
Кульвий барабанний млин – КБМ 370/850(Ш50А)	-	-
Пилосистема замкнута	-	-
Пилосистема з проміжним бункером	-	-
Розмір кусків R_5 сирого вугілля	%	30,0
Коефіцієнт розмелювальної здатності сирого вугілля	-	1,10
Тонина помелу R_{90} вугільного пилю	%	25,0

Тонина помелу R ₂₀₀ вугільного пилю	%	6,0
Надлишок повітря в димових газів	-	1,5
Витрата димових газів на сушку палива з котла	нм ³ /год	38450,0
Температура сушильного агенту перед млином	°C	319,8
Присмокт в млині	%	10,00
Температура сушильного агенту після млина	°C	105,7
Температура сушильного агенту після циклона	°C	90,04
Витрата сушильного агенту перед млиновим вентилятором	нм ³ /год	118503,0
Температура сушильного агенту перед млиновим вентилятором	°C	90,0
Присмокт в млиновому вентиляторі	%	10,00
Розрідження перед млиновим вентилятором	мм.вод.ст	547,4
Витрата сушильного агенту після млинового вентилятора	нм ³ /год	130474,0
Температура сушильного агенту після млинового вентилятора	°C	87,5
Витрата сушильного агенту на рециркуляцію	нм ³ /год	0,0
Витрати сушильного агенту на пальники	нм ³ /год	130474,0

Розмелювальна продуктивність пилосистеми по сирому вугіллю	т/год	66,90
Сушильна продуктивність пилосистеми по вугільному пилю	т/год	59,80
Потужність приводу млина	кВт	1100,80
Потужність приводу млинового вентелятора	кВт	1081,00
Питома витрата електроенергії на розмелювання сирого вугілля	кВт·год/т.н.п.	26,16

При проектній номінальній продуктивності млина $B_m^п = 76$ т/год і при спалюванні кам'яного вугілля марки ГСШ Донецького басейну та при спалюванні непроектного вугілля з обмеженням продуктивності млина по сушильній продуктивності, що становить $B = 59,8$ т/год (див. таб.2) зменшення продуктивності млина становить $\Delta B^п = 16,2$ т/год або на 27% в порівнянні з номінальною продуктивністю.

Кількість електроенергії $\Delta E_{6л}$ недовироблена енергоблоком з врахуванням калорійності непроектного палива становитиме більше 30% від номінального значення, при інших рівних умовах.

Розрахунки показують, що в умовах експлуатації котлів при спалюванні непроектних видів палива для ТЕС України, невідпуск електроенергії може досягати 20% і більше відсотків, що в умовах осінньо-зимового максимуму негативно впливатиме на виконання графіка електричного навантаження енергосистемами України.

Висновки до розділу 4.

1. Розроблені нові методи визначення продуктивності кульових барабанних млинів, на які отримано Патенти України на винахід як на способи:

- 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.

Розроблені способи визначення продуктивності КБМ дозволяють оперативно визначати продуктивність млина незалежно від умов і режимів роботи пилосистеми. На відміну від існуючих методів дозволяють зменшити людські затрати і в подальшому забезпечують можливість автоматизації даного процесу.

2. Для стабільної роботи ТЕС України, на сьогоднішній день, використовують різні способи оптимізації спалювання палива, одним яких є змішування різних марок вугілля. У зв'язку з актуальністю даних заходів був розроблений новий метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля, на який отримано Патент України, який дозволяє, на відміну від існуючого методу, використовувати не лише в режимах проведення експериментів, а і в процесі довготривалої експлуатації пилосистем котлів. Також виконана оцінка невизначеності результату встановлення цих складових суміші.

3. Розроблений алгоритм та програма розрахунку сушильної та розмелювальної продуктивності пилосистем дозволяє проводити розрахунки пилосистем в залежності від якості палива та готовності пилосистем. За допомогою програми можна додатково визначити параметри, замір яких в пилосистемі неможливий або недостовірний, провести аналіз впливу окремих характеристик палива та стану пилосистеми на сушильну та розмелювальну їх продуктивність, а також вплив окремих характеристик роботи пилосистеми на питомі витрати електроенергії для приготування пилу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі на основі експериментальних і фактичних даних режимів роботи пилосистем, визначено вплив використання непроєктного 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 вентильованих 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 вентильованими млинами при спалюванні непроєктних видів палива енергоблоків 150-300 МВт.

Список використаної літератури

1. Тітенко С.М., Большаков Т.Я. Довгострокові перспективи розвитку енергетики України і заходи щодо науково-технічного забезпечення та розвитку // Енергетична стратегія України / Мінпаливенерго. Київ, 2003. С. 17.
2. Дуэль М.А., Кострыкин В.А., Шелепов И.Г. Диагностирование состояния и условий эксплуатации энергооборудования ТЭС // Энергетика и электрификация. 2006. №5. С.6.
3. Мисак Й.С., Янко П.І., Гут П.О. Бути завжди попереду // Энергетика и электрификация. 2000. №3. С. 3.
4. Тарасенко З.М., Васильченко В.Н., Мехед А.И., Ведв А.И., Романенко А.В. Устойчивость энергосистемы Украины по частоте и влияние на надежность и безопасность работы АЭС // Энергетика и электрификация. 2001. №12. С. 19.
5. Горбачевский В.В. Решение вопросов энергосбережения на ТЭС Украины // Энергетика и электрификация. 1999. №9. С. 7,8.
6. Левин М.М., Расюк Н.И., П.М. Канило, Д.М. Ваврив, К.В. Костенко. Проблемы сжигания низкорреакционного угля и некоторые пути их решения // Энергетика и электрификация. 2000. №2. С.23.
7. Тимошик А.М. До проблеми ефективної експлуатації спрацьованих енергоблоків // Энергетика и электрификация. 2002. №1. С. 16.
8. Борисенко А.В., Мисак И.С., Клуб М.В. Визначення ефективності перевантаження енергоблоків ТЕС у ринкових умовах. Налагоджувальні, експериментальні та науково-дослідні роботи ВАТ «ЛьвівОРГРЕС». Львів, 2004. С.99.
9. Шавлаков О. Проблеми формування прогнозованого балансу електроенергії // Енергоатом України. 2016. №1 (42). С. 10—12.
10. Островецкий Р.М., Гонобоблев А.С. Концептуальные вопросы обеспечения ТЭС Украины твердым топливом на период до 2010 года // Энергетика и электрификация. 1998. № 2/3. С. 2—8.

11. Дубовський С.В. Сучасні проблеми і перспективи розвитку теплової енергетики // Проблеми загальної енергетики. 2008. №18. С. 7—16.
12. Іншеков Є.М. та ін. Світовий досвід створення енергетичної стратегії. Українські реалії. Екологічний аспект // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2009. № 2. С. 7—72.
13. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. К. : Міністерство палива та енергетики ; НАН України, 2006. С. 20.
14. Паливо-енергетичний комплекс України. К. : Укрінформенерго, 2005. 32 с.
15. Стогній Б.С., Кулик Л.М., Дубковський С.В. Механізми та комплекс пріоритетних заходів щодо введення в дію Енергетичної стратегії України: стан і майбутнє енергетики України // Погляд громадськості : зб. наук. пр. Вип. 2. К. : НТСЕХ ; ГРІФФЕ, 2005. С. 66—74.
16. Праховник А.В. и др. Развитие маневренных генераций ОЭС Украины как фактор повышения энергетической безопасности государства // Энергетика и электрификация. 2008. №7. С. 9—12.
17. Борисов Н.А. Инвестиционно-инновационные аспекты развития теплоэнергетики Украины // Новини енергетики. 2004. № 12. С. 10—18.
18. Мамон Е.М., Проха Л.М. Економіка енергетики: теорія та практика: Навчальний посібник – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2005. – 52 с.
19. Новосельцев О.В., Каплін М.І. Загальні риси та спади фізичні відомості паливно-енергетичних балансів країн Європи та України в розрізі інтеграційних тенденцій в європейській енергетиці // Проблеми загальної енергетики. 2008. № 17. С. 21—23.
20. Програма «Українське вугілля» : Постанова КМУ № 1205 від 19.09.2001р. К., 2001. 70 с.
21. Вугілля та продукти його перероблення / Укр НД і вуглезабезпечення Мінвугілляпрому України ; Луганськ ТК-92. Луганськ, 2006. 50 с.
22. Майстренко А.Ю., Чорнявський Н.В., Стечний Н.Г. Технологическое обоснования нормативных тренировок к качеству энергетических углей и ценовая

шкала как средство их реализации // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2007. №6. С. 3—8.

23. Кравець Т.Ю., Мисак Й.С. Оцінка збитку блоків ТЕС через перевитрати палива при використанні вугілля погіршеної якості. // Енергетика та електрофікація. 2008. №2. С. 18—21.

24. Майстренко О.Ю. та ін. Ефективне спалювання на ТЕС високотемпературного Львівсько-Волинського вугілля за допомогою передтоків-запалювачів фронтального шару // Энерготехнологии и ресурсосбережения. 2003. №1. С. 10—13.

25. Борисов Н.А. Реконструкция ТЭС выбор приоритетов // Энергетическая политика Украины. 2004. № 2. С. 76—79.

26. Шепелов І.Г., Михайський Д.В. Про деякі проблеми оцінки енергозбереження при експлуатації застарілого обладнання ТЕС // Східно-європейський журнал передових технологій. 2006. № 1/2 (19). С. 173—175.

27. Гелетій З.С., Розколука А.І., Мисак Й.С та ін. Економічна ефективність використання низькоякісного твердого палива західного регіону України для виробництва електричної енергії // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2002. № 460. С.123—127.

28. Праховник А.В. и др. Развитие маневренных генераций ОЭС. Украины как фактор повышения энергетической безопасности государства // Энергетика и электрификация. 2008. №7. С. 9—12.

29. Шидловський А.К., Базеев Е.Т., Борисов Н.А. и др. Экспертная оценка проектов реконструкции Украинских ТЭС. К. : Министерство энергетики и электрификации Украины ; Научно-технический союз энергетиков и электротехников Украины, 1996. 46с.

30. Бойко Е.А. Котельные установки та парогенераторы. Красноярск : ФАОРФ ТО УВ ПО – КГТУ, 2003. 292 с.

31. Бойко Е.А. Конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов. Красноярск : ФАО РФ ГОУВПО – КГТУ, 2003. 230 с.

32. Макаров В.М. Аналіз стану засмічення вугілля в процесі його видобування // Проблеми загальної енергетики. 2008. № 17. С. 78—82.

33. Богосолький Б.С., Сополяк В.К. Энергетическое топливо. М. : Энергия, 1990. 257с.
34. Юренко В.В. Теплотехнические испытания котлов, работающих на газовом топливе Л.: Недра, 1987.
35. Узіюк В.І., Бик С.І., Ільчишин А.В. // Газогенераційний потенціал кам'яновугільних басейнів України / Геологія і геохімія горючих копалин – 2001. - № 2. – С. 110 – 121.
36. Гелетій З.С., Розколука А.І., Мисак Й.С та ін. Економічна ефективність використання низькоякісного твердого палива західного регіону України для виробництва електричної енергії // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2002. № 460. С. 123—127.
37. Алехнович А.Н., Артемова Н.В., Чернецький М.Ю. Уточнения показателей загрязнения и шлакования для слабошлакующих углей применительно к нормативному и зональным методам теплового расчета топочных камер и математических моделей // Теплоэнергетика. 2012. №6. С. 31—39.
38. Саломатов В.В. Результаты исследований топочных процессов в котлах с вихровой технологией сжигания // Теплоэнергетика. 2012. №6. С. 3—9.
39. Дрьомін В.П. та ін. Аналіз витрат палива енергоблоками // Проблеми загальної енергетики. К., 2008. № 7-15. С. 35.
40. Шепелов І.Г., Михайський Д.В., Про деякі проблеми оцінки енергозбереження при експлуатації застарілого обладнання ТЕС // Східно-європейський журнал передових технологій. 2006. № 1/2 (19). С. 173—175.
41. Кравець Т.Ю., Мисак Й.С. Оцінка збитку блоків ТЕС через перевитрати палива при використанні вугілля погіршеної якості // Енергетика та електрофікація. 2008. №2. С. 18—21.
42. Шелепов І.І., Михайській Д.В. та ін. Модернізація режимів експлуатації ТЕС із урахуванням якості палива // Східно-європейський журнал передових технологій. 2005. № 6/2 (18). С. 144—148.
43. ГДК 34.20.507 – 2003. «Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж». К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2003. 597.

44. Паливо-енергетичний комплекс України. К. : Укрінформенерго, 2005. 32с.
45. Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012 -2016 роки. Кабінет Міністрів України. Постанова від 17.05.2012 № 397 [Електронний ресурс].
46. Амоша А.И., Кабанов А.И., Стариченко Л.Л. Особенности и ориентиры развития угледобычи в Украине // Уголь Украины. 2005. № 1. С. 3—10.
47. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Токал А.П. Современное состояние развития чистых угольных технологий в энергетике // Энерготехнологии и ресурсосбережения. 2009. №4. С. 80—88.
48. Кукота Ю.П, Нехамин М.М., Дунаєвська Н.І та ін. Промислові випробування пальника з термoxімічною підготовкою на котлі ТПП – 210А Трипільської ТЕС // Енергетика та електрифікація. 2012. №2. С. 16—23.
49. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. К. : Наука, 1977. 344 с.
50. Гелетій З.С., Розколука А.І., Мисак Й.С та ін. Економічна ефективність використання низькоякісного твердого палива західного регіону України для виробництва електричної енергії // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2002. № 460. С. 123—127.
51. Гаврилов. Е.П. Топливно-транспортное хозяйство и золошлакоудаления на ТЭС. М. : Энергозатрат, 1987. 168 с.
52. Богосолький Б.С., Сополяк В.К. Энергетическое топливо. М. : Энергия 1990. 257с.
53. Бабкин Р.Л. Хранения угля и торфа на электростанциях. М. : Энергоатомиздат, 1982. 169 с.
54. Шелепов І.І., Міхайскій Д.В. та ін. Модернізація режимів експлуатації ТЕС із урахуванням якості палива // Східно-європейський журнал передових технологій. 2005. №6/2(18). С.144—148.
55. Литовкин В.В. О неиспользованных резервах повышения эффективности сжигания низкорекционных топлив в пылеугольных котлах // Энергетика и электрофикация. 1995. №5. С. 1—3.

56. Майстренок А.Ю. и др. Влияния физико-химических характеристик золы на параметры шлакоудаления для углей Донецкого бассейна // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. 2009. №1. С. 129—148.

57. Трёмбовля В.И., Финглер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. М. :Энергия, 1977. С.267

58. МУ 34-70-041-83 Методические указания по определению содержания окислов азота в дымовых газах котлов (экспресс-методы). М. : СПО «Союзтехэнерго», 1983. С. 280.

59. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). М. : Энергия, 1973. С. 240.

60. ГКД 34.09.103-96 Розрахунок звітних техніко-економічних показників електростанцій про Теплову економічність устаткування. Методичні вказівки. URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=61080.

61. Котел Пп-1000-25-545 (ТПП-210А). Реконструкция. Расчет теплогидравлический. КО434-011PP, КО434-014PP. ООО «Котлотурбопром». Филиал Харьковское Центральное конструкторское бюро «Энергопрогресс».

62. ГКД 34.20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. URL:https://dnaop.com/html/40913/doc%D0%93%D0%9A%D0%94_34.20.507-2003.

63. Дружбляк О.М., Пистун Е.П. Вибрационный контроль загрузки шаровых барабанных мельниц // Электрические станции. 1985. №3. С. 14, 15.

64. Дружбляк О.М., Пистун Е.П. Определение степени загрузки шаровой барабанной мельницы ШК-32 // Теплоэнергетические системы и устройства : вестн. Львов. политехн. ин-та. Львов, 1981. №153. С. 15—17.

65. Пистун Е.П., Дружбляк О.М. Анализ вибрационных характеристик подшипников мельниц с целью определение их загрузки // Энергетика и электрификация.1983. №2. С. 22—24.

66. Дружбляк О.М., Пистун Е.П. Системы загрузки шаровых барабанных мельниц размалываемым материалом // Энергетика и электрификация. 1983. №4. С. 13—15.

67. Дружбляк О.М., Пистун Е.П., Трусъ А.И. Системы загрузки шаровых барабанных мельниц // Энергетика и электрификация. 1984. №8. С. 29—32

68. Fedoryshyn R., Zagraj, V. & Pistun, Y. Automation and optimization of coal grinding by means of ball mills (2011). 0421-0422, Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, / Editor B. Katalinic. Vienna : Published by DAAAM International, 2011. P. 421. ISBN 978-3-901509-83-4, ISSN 1726-9679.

69. Pistun, Ye., Zahrai, V. & Skobalo, A. Automatic control and optimization of ball mills, Proc. of VIII Forum of Power Engineers, Techn. Univ. of Opole (May 29-31, 2002) / Kabza, Z. (Ed.). Opole : Publ. House of Tech. Univ. of Opole, 2002. P. 575-581. ISBN 83-88492-04-7.

70. Дружбляк О.М. Контроль и регулирование степени загрузки шаровых барабанных мельниц // Энергетика и электрификация. 1984. №4. С. 18—21.

71. Дружбляк О.М., Пистун Е.П. Оптимизация процесса помола топлива на ТЭС // Повышение экономичности, надежности и маневренности энергетического оборудования ТЭС, работающего на непроектном и ухудшенного качества топливе : тез. докл. на совещ. (Львов, 1984). М. : Союзтехэнерго, 1984. Ч.2. С. 32, 33.

72. Голишев Л.В., Коземко О.М., Мисак С.Й. Спосіб визначення продуктивності кульового барабанного млина : патент України на винахід №99219, бюл. №14 від 25.07.2012 р.

73. Трёмбовля В. И. Фингер Е. Д., Авдеева А. А. Теплотехнические испытания котельных установок. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1991. 416 с.

74. Герасименко И.Е., Герасименко А.Е., Герасименко В.Е. Справочник инженера по пуску, наладке и эксплуатации котельных установок. К. : Техника, 1986. 335 с.

75. ДСТУ ISO 13909-2:2005. Вугілля кам'яне, антрацит та кокс. Механізоване відбирання проб. Ч. 2 : Вугілля. Відбирання проб з рухомих потоків (ISO 13909-2:2001, IDT), 2005. 32 с. URL : http://ksv.do.am/publ/dstu/dstu_iso_13909_4_2005/3-1-0-636.

76. ДСТУ ISO 13909-3:2005. Вугілля кам'яне, антрацит та кокс. Механізоване відбирання проб. Ч. 3 : Вугілля. Відбирання проб з нерухомих партій (ISO 13909-3:2001, IDT), 2005. 22 с. URL : http://ksv.do.am/publ/dstu/dstu_iso_13909_4_2005/3-1-0-636.

77. ДСТУ ISO 13909-4:2005. Вугілля кам'яне, антрацит та кокс. Механізоване відбирання проб. Ч. 4 : Вугілля. Готування проб до випробування (ISO 13909-4:2001, IDT), 2005. 28 с. URL : http://ksv.do.am/publ/dstu/dstu_iso_13909_4_2005/3-1-0-636.

78. ДСТУ ISO 13909-7:2006. Вугілля кам'яне, антрацит та кокс. Механізоване відбирання проб. Ч. 7 : Методи визначення точності відбору, підготовки та аналізу проб (ISO 13909-7:2001, IDT), 2006. 38 с. (ISO 13909-7:2001 HARD COAL AND COKE. MECHANICAL SAMPLING. Part 7. Methods for determining the precision of sampling, sample preparation and testing, 2006. 38 p. URL : www.iso.org/standard/63913.html.

79. Омеляновський П.Й., Голишев Л.В., Мисак Й.С., Мисак І.В. Спосіб визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла : патент України на винахід № 90343, бюл. № 8 від 26.04.2010 р. F 23 K 1/00, G 01 N 25/00.

80. Мисак С.Й. Спосіб визначення часток складових суміші марок вугілля пилосистеми котла : Патент України на винахід № 104223, бюл. №1 від 10.01.2014. F 23K 1/00 , G 01N 33/22 (2006.01) , G 01 N 25/00.

81. Dorozhovets M. Processing of measuring results. Tutorial. Lviv : Publishing House of the National University "Lviv Polytechnic", 2007. 624 p.

82. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (ГКД 34.20.507-2003). К. : ОПЕ ; «ГРІФРЕ», 2003. 597 с.

83. Левит Г. Т. Испытания пылеприготовительных установок. М. : Энергия, 1977. 185 с.

84. Кузнецов, Н. В. Тепловой расчет котельный агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова. М. : Энергия, 1973. 295 с.

85. Чернявський, М. В. Сучасний стан та перспективи розвитку паливної бази теплової енергетики України // Перспективи впровадження частих вугільних

енерготехнологій в енергетику України. К. : ІВЕ НАН України ; ТОВ «Гнозіс», 2013. С. 75—130.

86. Belin F., Fuller T., Maystrenko A. et al. CFB combustion of High-Ash Ukrainian Anthracite-pilot testing and Design Implications // Proc. of 14-th Intern. Fluidized Bed Combustion Conf. Vancouver (Canada), 1997. Vol. 2. P. 789—794.

87. Чернявський, Н. В., Косячков А. В., Росколупа А. И. Направления утилизации углерода золоотвалов пылеугольных ТЭС // Современная наука. 2010. № 1 (3). С. 35—37.

88. Корчевой, Ю. П., Майстренко А. Ю., Топал А. И. Закономерности сжигания высокозольных углей в разных модификациях кипящего слоя // Горение и плазмохимия. Алма-Ата, 2006. Т. 4. №3. С. 180—186.

89. Jaasund, S. A. Electrostatic Precipitator: Better Wet than Dry // Chemical Engineering. 1987. Vol. 94. №. 17. P. 159—163.

90. Glarborg, P. Fuel nitrogen conversion in solid fuel fired systems // Progress in Energy and Combustion Science. 2003. Vol. 29. № 2. P. 89—113. Doi : 10.1016/s0360-1285(02)00031-x.

91. Korchevoy Y. P. Maystrenko O. Y., Dudnik O. M. Recommendations for design of CFB boilers // STCU Tehnical Report for the 23 Stage of the Project 2248. December. 2004. Т. 14. P. 8.

92. Теплова енергетика. Нові виклики часу / за ред. П.Й Омеляновського, Й.С Мисака. Львів : НВФ «Українські технології», 2010. 688 с.

93. Левит Г.Т. Испыния пылеприготовления установок. М. : Энергия, 1977. 185 с.

94. Расчет и проектирования пылеприготовительных установок котельных агрегатов (нормативные материалы). Ленинград, 1971. С. 170.

95. Норми витрат куль для вуглерозмельювальних млинів кульових барабанних на розмел антрациту, кам'яного та бурого вугілля «СОУ–НМПЕ 40.1.10.333:2005». К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. 17 с.

96. Левит Г.Т. Испытания пылеприготовительных установок. М. : Энергия, 1977, 185 с.

97. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова. М. : Энергия, 1973. 295 с.

98. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (нормативные материалы). Л. : 1971. 217с.

99. Норми витрат куль для вуглерозмелювальних млинів кульових барабанних на розмел антрациту, кам'яного та бурого вугілля. СОУ-НЄЄ 10.121.208. ОЄП «ГРІФРЕ». К., 2008. 18 с.

100. Мисак С.Й., Клуб М.В. Розроблення алгоритму та програми розрахунку сушильної та розмелювальної продуктивності пилосистем з КБМ (Ш-50А) котлів ТП-100 енергоблоків 200МВт // Вісник інженерної академії України. 2014. № 3/4. С. 200—206.

ДОДАТОК А

Акти впровадження

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер ВП «Добротвірська ТЕС»

ПАТ «ДТЕК Західенерго»

О.О. Івахів

27.03 2017р.



смт. Добротвір

АКТ

Про впровадження матеріалів наукових досліджень дисертаційної роботи «Підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроектних видів палива»

Ми, що нижче підписалися від ВП «Добротвірська ТЕС» ПАТ «ДТЕК Західенерго», керівник департаменту з операційних покращень, к.т.н. Брикайло Р.В. з однієї сторони і від Національного університету «Львівська політехніка» зав.каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, д.т.н. проф. Пістун Є.П. та аспірант кафедри Мисак С.Й. з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів роботи а саме:



Протягом 2015-2017 років аспірантом Мисаком С.Й. під керівництвом д.т.н. проф. Пістуна Є.П. проводились роботи по «Підвищенню ефективності роботи систем пилоприготування з КБМ під час спалювання непроектних видів палива». Результати роботи впроваджені на ВП «Добротвірська ТЕС» ПАТ «ДТЕК Західенерго»:

1. Під час визначення продуктивності кульового барабанного млина, задля зменшення споживання електроенергії млином.
2. При визначенні міжремонтного періоду кульового барабанного млина, з метою заміни броньованих плит та кульового завантаження.

Від ВП «Добротвірська ТЕС»

 Брикайло Р.В.

Від НУ «Львівська політехніка»

 Пістун Є.П.
 Мисак С.Й.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

Зміївської ТЕС

ПАТ «Центрэнерго»

Дьяченко Ю.М.

«20» 05 2017р.



смт. Слобожанське

АКТ

Про впровадження матеріалів наукових досліджень дисертаційної роботи «Підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроєктних видів палива»

Ми, що нижче підписалися від Зміївської ТЕС ПАТ «Центрэнерго», начальник виробничо-технічного відділу Корчинський О.О. з однієї сторони і від Національного університету «Львівська політехніка» зав.каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій д.т.н. проф. Пістун Є.П. та аспірант кафедри Мисак С.Й. з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів роботи а саме:

Протягом 2015-2017 років аспірантом Мисаком С.Й. під керівництвом д.т.н. проф. Пістуна Є.П. проводились роботи по «Підвищенню ефективності роботи систем пилоприготування з КБМ під час спалювання непроєктних видів палива»

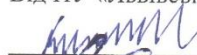
На Зміївській ТЕС ПАТ «Центрэнерго», результати впроваджені на устаткуванні з енергоблоками 200 та 300 МВт :

- Реалізовано способи визначення продуктивності кульового барабанного млина, що дозволило мінімізувати трудозатрати виробничого персоналу і підвищити оперативність визначення продуктивності КБМ.
- Реалізовано метод визначення часток складових суміші двох марок вугілля пилосистеми котла, який забезпечує оперативність визначення складу вугільної суміші, що в подальшому дозволяє корегувати подачу вугільної суміші у правильних порціях, що в свою чергу забезпечує підвищення ефективності роботи кульового барабанного млина та котла.

Від Зміївської ТЕС

 Корчинський О.О.

Від НУ «Львівська політехніка»

 Пістун Є.П.

 Мисак С.Й.



УКРАЇНА
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ЦЕНТРЕНЕРГО»
ТРИПІЛЬСЬКА ТЕС

08720, м.Українка, Обухівський район, Київська область. Телефон: (04572)5-53-59. Факс (04572)2-15-98
п/р26005305872 у ГОУ ВАТ "Державний ощадний банк України" м.Київ, МФО 300465,
код ЄДРПОУ 22927045, інд. № 229270426656, свідоцтво № 100335588 E-mail kanc@tptes.kvo.energy.gov.ua

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

«Трипільської ТЕС»

ПАТ «Центренерго»

Колесніков С.І.

«03» 06 2017р.



м. Українка

АКТ

Про впровадження матеріалів наукових досліджень дисертаційної роботи
«Підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів
енергоблоків ТЕС при спалюванні непроектних видів палива»

Ми, що нижче підписалися від Трипільської ТЕС ПАТ «Центренерго», начальник виробничо-технічного відділу Гаркавий Євген Анатолійович з однієї сторони і від Національного університету «Львівська політехніка» зав.каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій д.т.н. проф. Пістун Є.П. та аспірант кафедри Мисак С.Й. з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів роботи, а саме:

Протягом 2015-2017 років аспірантом Мисаком С.Й. під керівництвом д.т.н. проф. Пістуна Є.П. проводились роботи по «Підвищенню ефективності роботи систем пилоприготування з КБМ під час спалювання непроектних видів палива»


На Трипільській ТЕС ПАТ «Центренерго», результати впроваджені на устаткуванні з енергоблоками 300 МВт :

- Реалізовано уточнену програму розрахунку продуктивності пилосистеми котлів ТПП-210А, ТПП-312, яка дозволила автоматизувати процес розрахунків пилосистеми в повному обсязі.
- Реалізовано методи визначення продуктивності та кульового завантаження кульового барабанного млина, під час експериментального спалювання непроектного палива з Південно-Африканської Республіки (ПАР), що забезпечило ефективне розмелювання вугілля, а відповідно і підвищення ефективності спалювання палива.

Від Трипільської ТЕС


Гаркавий Є.А.

Від НУ «Львівська політехніка»


Пістун Є.П.

Мисак С.Й.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Генеральний директор
ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС»
Луцик І.Д.
«18» 10 2017р.



м.Львів

АКТ

Про впровадження матеріалів наукових досліджень дисертаційної роботи **«Підвищення ефективності роботи систем пилоприготування котлів енергоблоків ТЕС при спалюванні непроектних видів палива»**

Ми, що нижче підписалися від ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС» директор департаменту котлоагрегатів та охорони навколишнього середовища Клуб М.В. з однієї сторони і від Національного університету «Львівська політехніка» зав.каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій д.т.н. проф. Пістун Є.П. та аспірант кафедри Мисак С.Й. з другої сторони, склали цей акт про впровадження результатів роботи а саме:

Протягом 2015-2017 років аспірантом Мисаком С.Й. під керівництвом д.т.н. проф. Пістуна Є.П. проводились роботи з «Підвищення ефективності роботи систем пилоприготування з КБМ під час спалювання непроектних видів палива»

На ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС» результати досліджень використовуються під час пуска-налагоджувальних робіт на блоках ТЕС потужністю 150-300МВт при спалюванні непроектних видів палива а саме:

- Реалізовано новий аналітичний метод визначення зношення броні та кульового завантаження кульового барабанного млина, який дозволяє встановлювати оптимальний ремонтний період в залежності від заводу виготовлювача броні, яка встановлена на кульовий барабанний млин, та проводити часткову заміну броньових плит без повного відновлення броньового покриття циліндричної або торцевих поверхонь барабана, а також розраховувати оптимальне кульове завантаження млина, що дозволяє економити кошти на ремонт обладнання та підвищувати ефективність роботи системи пилоприготування.
- Реалізовано способи визначення продуктивності кульового барабанного млина, які дозволяють оперативно і ефективно проводити налагодження кульового барабанного млина та системи пилоприготування.

Від ПрАТ «ЛьвівОРГРЕС»

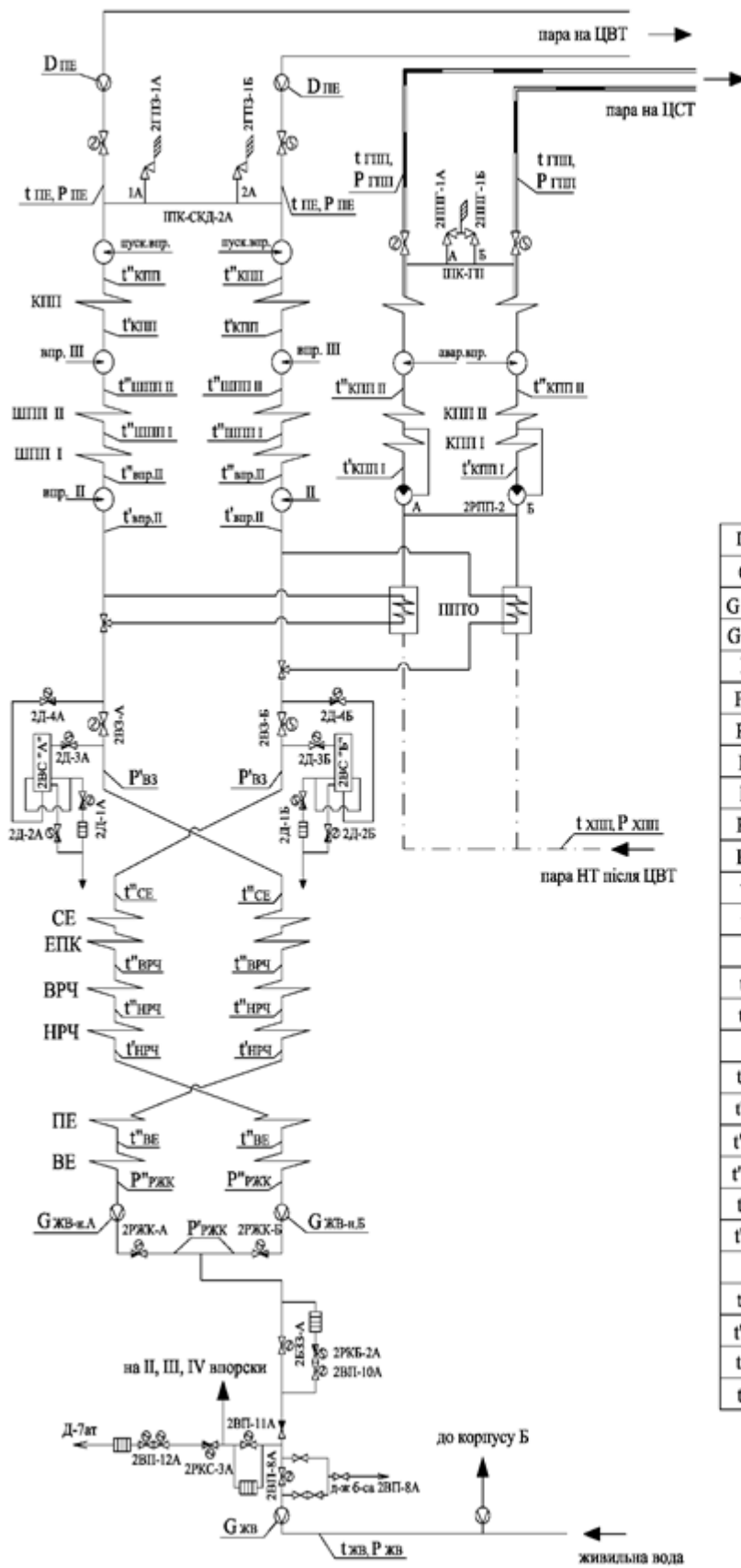
 Клуб М.В.

Від НУ «Львівська політехніка»

 Пістун Є.П.
 Мисак С.Й.

ДОДАТОК В

Схема замірів по пароводяному тракту



Позн.	Найменування параметра
$G_{жв}$	витрата живильної води
$G_{жв-н.А}$	витрата живильної води по нитці А
$G_{жв-н.Б}$	витрата живильної води по нитці Б
$P_{жв}$	тиск живильної води
$P''_{РЖК}$	тиск живильної води за РЖК
$P'_{РЖК}$	тиск живильної води до РЖК
$P'_{ВЗ}$	тиск середовища до ВЗ
$P_{пе}$	тиск перегрітої пари
$P_{гпш}$	тиск гарячого промперегріву
$P_{хпш}$	тиск холодного промперегріву
$t_{жв}$	температура живильної води
$t''_{ве}$	температура середовища за ВЕ
$t'_{нрч}$	температура середовища до НРЧ
$t''_{нрч}$	температура середовища за НРЧ
$t'_{врч}$	температура середовища за ВРЧ
$t''_{врч}$	температура середовища за ВРЧ
$t'_{се}$	температура середовища за СЕ
$t'_{впр.ІІ}$	температура середовища до ІІ впорска
$t'_{впр.ІІІ}$	температура середовища до ІІІ впорска
$t'_{шпп.І}$	температура середовища за І ШПП
$t'_{шпп.ІІ}$	температура середовища за ІІ ШПП
$t'_{кшп}$	температура середовища до КШП ВТ
$t'_{кшп.І}$	температура середовища за КШП ВТ-І
$t'_{кшп.ІІ}$	температура середовища за КШП ВТ-ІІ
$t_{хпш}$	температура холодного промперегріву
$t_{гпш}$	температура гарячого промперегріву

ДОДАТОК В

Програма розрахунку основних технологічних параметрів системи
пилоприготування

Модуль розрахунку пілосистеми Z_aerodinam.pas.

```
unit Z_aerodinam; //кульобарабанний млин
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Mask, Spin, fileCtrl, Controls, ComCtrls, jpeg;
type
  TaeroTripForm2 = class (TForm)
    -----//-----
    -----//-----
    Label41: TLabel;
    procedure Edit38Change(Sender: TObject);
    -----//-----
    -----//-----
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    Gs1,prs_mlyn1,Vv0:extended;
    -----//-----
    -----//-----
    S_tochka1, UPE1:extended;
    { Private declarations }
  public
  end;
var
  aeroTripForm2: TaeroTripForm2;
implementation
uses Gol_forma, Pro_prog, proglad, Pro_dopom, save1, TFSgazy,
  zakladka, nalashtuvannya, Povidomlennya, pylosus, aerodynam;
{$R *.DFM}
```

```

label m100;
procedure TaeroTripForm2.Button2Click(Sender: TObject);
begin
close;//Закрити форму
end;
procedure TaeroTripForm2.Button3Click(Sender: TObject);
begin
timer1.Enabled:=true;
end;
procedure TaeroTripForm2.Button1Click(Sender: TObject);
begin //перегляд
form3.Memo1.Lines.Clear;
form3.Memo1.Lines.Add("");
form3.Memo1.Lines.Add("");
form3.Memo1.Lines.Add("");
form3.Memo1.Lines.Add('      '+dateToStr(date)+'      '+timeToStr(time));
form3.Memo1.Lines.Add("");
form3.Memo1.Lines.Add('      '+stanc+'.');
form3.Memo1.Lines.Add("");
form3.Memo1.Lines.Add('      "Розрахунок розмелювальної та сушильної
продуктивності пилосистеми Ладижинської ТЕС.");
form3.Memo1.Lines.Add("");
form3.Memo1.Lines.Add('      "Виконавець: "'+vykon);
form3.Memo1.Lines.Add("");
if shbm=0 then
begin
end;
if shbm=1 then
begin
form3.Memo1.Lines.Add('      1.Кульобарабанний млин - ШБМ370/850 (Ш50А). ');

```

```

end
else
begin
end;
if typps=0 then
begin
form3.Memo1.Lines.Add('      2.Пилосистема розімкнута.');
```

end

```

else
begin
form3.Memo1.Lines.Add('      2.Пилосистема замкнута.');
```

end;

```

if bunker=0 then
begin
form3.Memo1.Lines.Add('      3.Пилосистема з проміжним бункером.');
```

end

```

else
form3.Memo1.Lines.Add('      3.Пилосистема прямого вдування.');
```

```

form3.Memo1.Lines.Add('      4.Калорійність сирого вугілля -
'+FloatToStrf((Qpn),ffixed,6,1)+' ккал/кг.');
```

```

form3.Memo1.Lines.Add('      5.Вологість сирого вугілля -
'+FloatToStrf((Wp),ffixed,4,1)+' %.');
```

```

form3.Memo1.Lines.Add('      6.Зольність сирого вугілля -
'+FloatToStrf((Ap),ffixed,4,1)+' %.');
```

```

form3.Memo1.Lines.Add('      7.Розмір кусків R5 сирого вугілля -
'+FloatToStrf((R5),ffixed,4,1)+' %.');
```

```

form3.Memo1.Lines.Add('      8.Коефіцієнт розмелювальної здатності сирого
вугілля - '+FloatToStrf((klo),ffixed,5,2)+' .');
```

```

form3.Memo1.Lines.Add('      9.Вологість вугільного пилу -
'+FloatToStrf((Wgi),ffixed,4,1)+' %.');
```



```

form3.Memo1.Lines.Add('      10.Тонина помолу R90 вугільного пилю -
'+FloatToStrf((R90),ffixed,4,1)+' %.');
form3.Memo1.Lines.Add('      11.Тонина помолу R200 вугільного пилю -
'+FloatToStrf((R200),ffixed,4,1)+' %.');
form3.Memo1.Lines.Add('      12.Завантаження кулями - '+
FloatToStrf(Gs1,ffixed,5,2)+' т. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      13.Витрата гарячого повітря на сушку -'+
FloatToStrf(Vpov_sush1,ffixed,8,1)+' нм3/год. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      14.Температура гарячого повітря на сушку - '+
FloatToStrf(tpov_sush1,ffixed,6,1)+' град. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      15.Витрата димових газів на сушку після ДРГ -'+
FloatToStrf(ggaz_sush1,ffixed,8,1)+' нм3/год. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      16.Температура димових газів на сушку після ДРГ -
'+ FloatToStrf(tgaz_sush1,ffixed,6,1)+' град. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      17.Надлишок повітря в димових газів на сушку після
ДРГ - '+ FloatToStrf(alfa_sush1,ffixed,6,1)+' [-]. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      18.Витрата димових газів на сушку з котла -'+
FloatToStrf(Vgaz_sush2,ffixed,8,1)+' нм3/год. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      19.Температура димових газів на сушку з котла - '+
FloatToStrf(tgaz_sush2,ffixed,6,1)+' град. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      20.Надлишок повітря в димових газів на сушку з
котла - '+ FloatToStrf(alfa_sush2,ffixed,6,1)+' [-]. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      21.Присос в трубопровід сушильного агента до
млина - '+ FloatToStrf((prisos_sush0),ffixed,4,2)+' %.');
form3.Memo1.Lines.Add('      22.Витрата холодного повітря на заходження в
трубопровід до млина - '+ FloatToStrf((V_zahol1),ffixed,4,1)+' нм3/год. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      23.Температура повітря на заходження в
трубопровід до млина - '+ FloatToStrf(txv,ffixed,6,1)+' град. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      24.Температура сушильного агента перед млином -
'+ FloatToStrf(t4_mlyn, ffixed,4,1)+' град. ');

```

form3.Memo1.Lines.Add(' 25.Присос в млині - '+
FloatToStrf((alfa_mlyn*100),ffixed,4,2)+' %.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 26.Температура сушильного агенту після млина '+
FloatToStrf((t2+dt2),ffixed,4,1)+' град.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 27.Присос на ділянці від сепаратора до млинового
вентилятора '+ FloatToStrf((prs_mlyn_mv),ffixed,4,2)+' %.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 28.Температура сушильного агенту після циклона '+
FloatToStrf((t7),ffixed,4,2)+' град.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 29.Витрата повітря на заходження в трубопровід
перед МВ - '+ FloatToStrf((Vzaxol2),ffixed,4,1)+' нм3/год.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 30.Витрата сушильного агенту перед млиновим
вентилятором '+ FloatToStrf((Vsa_do_mv),ffixed,8,1)+' нм3/год.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 31.Температура сушильного агенту перед млиновим
вентилятором '+ FloatToStrf((tdo_mv),ffixed,4,1)+' град.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 32.Присос в млиновому вентиляторі '+
FloatToStrf((prs_mv),ffixed,4,2)+' %.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 33.Розрідження перед млиновим вентилятором '+
FloatToStrf((S_do_mv),ffixed,4,1)+' мм вод.ст.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 34.Витрата сушильного агенту після млинового
вентилятора '+ FloatToStrf((Vsa_za_mv),ffixed,8,1)+' нм3/год.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 35.Температура сушильного агенту після млинового
вентилятора '+ FloatToStrf((t81),ffixed,4,1)+' град.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 36.Витрата сушильного агенту на рециркуляцію '+
FloatToStrf((Vrec1),ffixed,8,1)+' нм3/год.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 37.Витрата сушильного агенту на пальники '+
FloatToStrf((Vsa_mv_za_rec),ffixed,8,1)+' нм3/год.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 38.Розмелювальна продуктивність пилосистеми по
сирому вугіллю '+FloatToStrf((Bk),ffixed,5,2)+' т/год.');

form3.Memo1.Lines.Add(' 39.Сушильна продуктивність пилосистеми по
сирому вугіллю '+FloatToStrf((Bc),ffixed,5,2)+' т/год.');

```

form3.Memo1.Lines.Add('      40.Сушильна продуктивність пилосистеми по
вугільному пилю '+FloatToStrf((Bc-Gw/1000),ffixed,5,2)+' т/год. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      41.Потужність приводу млина
'+FloatToStrf((Nel),ffixed,5,2)+' кВт. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      42.Потужність приводу млинового вентилятора
'+FloatToStrf((NMV1),ffixed,5,2)+' кВт. ');
form3.Memo1.Lines.Add('      43.Питома витрата електроенергії на розмелювання
сирого вугілля '+FloatToStrf((E_ромол),ffixed,5,2)+'кВт*год/т н.п. ');
form3.showModal;
form1.N6.tag:=0;
end;
procedure TaeroTripForm2.Button4Click(Sender: TObject);
begin
with TForm4.create(self) do
try
    showmodal;
finally
    free;
end;
Form1.N8Click(Sender);
end;
procedure TaeroTripForm2.Edit12Change(Sender: TObject);
begin
    if Edit12.text='' then Edit12.text:='250';
    if Edit12.text=' ' then Edit12.text:='250';
    if Edit12.text='+' then Edit12.text:='250';
    timer1.Enabled:=true;
end;
-----//-----
-----//-----

```

```

procedure TaeroTripForm2.Edit9Change(Sender: TObject);
begin
  if Edit9.text="" then Edit9.text:='0';
  if Edit9.text=' ' then Edit9.text:='0';
  if Edit9.text='- ' then Edit9.text:='0';
  if Edit9.text='+' then Edit9.text:='0';
  if strToFloat(edit9.Text)< 0 then Edit9.text:='0';
  timer1.Enabled:=true;
end;

procedure TaeroTripForm2.FormCloseQuery(Sender: TObject; var CanClose: Boolean);
label m1;
var
  V1st_mlyn: Extended;
begin
  timer1.Enabled:=false;
  gaz:=8000;//strtofloat(edit2.text);
  t2:=strtofloat(edit3.text);
  maz:=9600;//strtofloat(edit4.text); { }
  Txv:=strtofloat(edit7.text);{ }
  Gs1:=strtofloat(edit8.text); {Кульове завантаження млина}
  prs_mlyn1:=strtofloat(edit9.text); {присоси в пиросистему}
  ggaz_sush1:=strtofloat(edit24.text);
  tgaz_sush1:=strtofloat(edit25.text);
  Vpov_sush1:=strtofloat(edit26.text);
  tpov_sush1:=strtofloat(edit27.text);
  alfa_sush1:=strtofloat(edit28.text);
  prisos_sush:=strtofloat(edit29.text);
  V_zaxol1:=strtofloat(edit30.text);
  t_zaxol:=30;
  Vrec1:=strtofloat(edit32.text);

```

```

tmobm:=strtof(float(edit33.text));
prisos_sush0:=strtof(float(edit34.text));
prs_mlyn_mv:=strtof(float(edit35.text));
prs_mv:=strtof(float(edit36.text));
Vpnevmo:= 0;
S_tochka1:=strtof(float(edit37.text));
UPE1:=strtof(float(edit38.text));
Pbar:=strtof(float(edit41.text));
S_do_mv:=strtof(float(edit42.text));
Pza_mv:=strtof(float(edit12.text));
Vzaxol2:=strtof(float(edit13.Text));
V1st_mlyn:=strtof(float(edit14.text));
Vmlyn:=strtof(float(edit15.text));
t7:=strtof(float(edit17.text));
Vgaz_sush2:=strtof(float(edit19.text)); //витрата газів на сушку без ДРГ
tgaz_sush2:=strtof(float(edit20.text)); //температура газів на сушку без ДРГ
alfa_sush2:=strtof(float(edit18.text)); //альфа в газах без ДРГ
words01:=tstringlist.Create;
words01.clear;
words01.Add(floattostr(gaz));
words01.Add(floattostr(t2));
words01.Add(floattostr(pidsv));
words01.Add(floattostr(defa));
words01.Add(floattostr(maz));
words01.Add(floattostr(Txv));
words01.Add(floattostr(Gs1));
words01.Add(floattostr(alfa_mlyn));
words01.Add(IntToStr(memostan));
words01.Add(floattostr(ggaz_sush1));
words01.Add(floattostr(tgaz_sush1));

```

```

words01.Add(floattostr(Vpov_sush1));
words01.Add(floattostr(tpov_sush1));
words01.Add(floattostr(alfa_sush1));
words01.Add(floattostr(prisos_sush));
words01.Add(floattostr(V_zaxol1));
words01.Add(floattostr(t_zaxol));
words01.Add(floattostr(Vrec1));
words01.Add(floattostr(tmobm));
words01.Add(floattostr(prisos_sush0));
words01.Add(floattostr(prs_mlyn_mv));
words01.Add(floattostr(prs_mv));
words01.Add(floattostr(S_tochka1)); //22
words01.Add(floattostr(UPE1)); //23 UPE1
words01.Add(floattostr(Pbar));
words01.Add(floattostr(S_do_mv)); //25
words01.Add(floattostr(Pza_mv));
words01.Add(floattostr(Vzaxol2));
words01.Add(floattostr(V1st_mlyn));
words01.Add(floattostr(Vmlyn));
words01.Add(floattostr(t7)); //30
words01.Add(floattostr(Vgaz_sush2)); //31:=strtofloat(edit19.text); //витрата газів на
сушку без ДРГ
words01.Add(floattostr(tgaz_sush2)); //32:=strtofloat(edit20.text); //температура газів на
сушку без ДРГ
words01.Add(floattostr(alfa_sush2)); //33 :=strtofloat(edit18.text); //альфа в газах без
ДРГ
if defa=1 then goto m1;
dirs:=extractfilepath(application.ExeName);
Fs:=dirs+'data\'+'mil_data.dat';
{$I-}

```

```

AssignFile(Fa,fs);
Reset(Fa);
CloseFile(Fa);
{$I+}
words01.savetofile(fs);
m1:
tstringlist(words01).Free;
close;
end;
procedure TaeroTripForm2.FormCreate(Sender: TObject);
label
m00;
var
    words1: tstringlist;
    word: string;
    ss: string;
    n_words1: Integer;
    nn: Integer;
    slovo: string;
    slovo1: string;
    words2: tstringlist;
    S_tochka1: Extended;
begin
edit29.Visible:=false;
edit21.Visible:=false;
spinButton12.Visible:=false;
spinButton14.Visible:=false;
    delta_temp:=0.5;
    delta_alfa:=0.01;
    delta_prs:=0.01;

```

```

delta_vytr:=10;
vykon:= form1.vykon;
stanc:=form1.stanc;
rezultaty:=form1.rezultaty;
dirs:=extractfilepath(application.ExeName);
Fs:=dirs+'data\'+'(mil_data.dat'); //створено в тріпмакс
m00:
{$I-}
AssignFile(Fa,fs);
Reset(Fa);
CloseFile(Fa);
{$I+}
words01:=tstringlist.Create;
words01.clear;//для подальшого використання
words1:=tstringlist.create;//нове
words1.clear;
words1.LoadFromFile(fs);
for nn := 0 to words1.count - 1 do
begin
slovo:= words1[nn];
if decimalseparator = ',' then slovo1:= StringReplace(slovo, ',', '.', [rfReplaceAll,
rfIgnoreCase]);
if decimalseparator = '.' then slovo1:= StringReplace(slovo, '.', ',', [rfReplaceAll,
rfIgnoreCase]);
words01.Add(slovo1);
end;
words1.free;
edit3.text:=words01.Strings[1];
pidsv:= StrToInt(words01.Strings[2]); //розрахунок по підсвітці
defa:=Strtoint(words01.Strings[3]); //стан по замовчуванню

```



```
edit7.text:=words01.Strings[5]; //температура присосів
edit8.text:=words01.Strings[6]; //кульове завантаження
edit9.text:=words01.Strings[7]; //присоси в млин
memostan:=strToint(words01.Strings[8]);
edit24.text:=words01.Strings[9]; //витрата газів на сушку за ДРГ
edit25.text:=words01.Strings[10]; //присоси від млина до МВ
edit26.text:=words01.Strings[11];
edit27.text:=words01.Strings[12];
edit28.text:=words01.Strings[13];
edit29.text:=words01.Strings[14];
edit30.text:=words01.Strings[15];
edit32.text:=words01.Strings[17];
edit33.text:=words01.Strings[18];
edit34.text:=words01.Strings[19];
edit35.text:=words01.Strings[20];
edit36.text:=words01.Strings[21]; //присоси в МВ
edit37.text:=words01.Strings[22];
edit38.text:=words01.Strings[23];
edit41.text:=words01.Strings[24]; //барометричний тиск
edit42.text:=words01.Strings[25]; //розрідження перед млином
edit12.text:=words01.Strings[26];
edit13.text:=words01.Strings[27];
edit14.text:=words01.Strings[28];
edit15.text:=words01.Strings[29];
edit17.text:=words01.Strings[30];
edit19.text:=words01.Strings[31]; //витрата газів без ДРГ
edit20.text:=words01.Strings[32]; //температура газів без ДРГ
edit18.text:=words01.Strings[33]; //надлишок в газах без ДРГ
gaz:=8000; //strtofloat(edit2.text);
t2:=strtofloat(edit3.text);
```

```

maz:=9600;//strtofloat(edit4.text);
Txv:=strtofloat(edit7.text);
Gs1:=strtofloat(edit8.text);
alfa_mlyn:=strtofloat(edit9.text);
ggaz_sush1:=strtofloat(edit24.text);
tgaz_sush1:=strtofloat(edit25.text); //
Vpov_sush1:=strtofloat(edit26.text); //витрата повітря на сушку
tpov_sush1:=strtofloat(edit27.text); //температура повітря на сушку
alfa_sush1:=strtofloat(edit28.text); //альфа в газах за ДРГ
prisos_sush:=strtofloat(edit29.text); //2 й присос в газохід на сушку
V_zaxol1:=strtofloat(edit30.text); //витрата на заходження
t_zaxol:= 30;
Vrec1:=strtofloat(edit32.text);
tmobm:=strtofloat(edit33.text);
prisos_sush0:=strtofloat(edit34.text);
prs_mlyn_mv:=strtofloat(edit35.text);
prs_mv:=strtofloat(edit36.text);
S_tochka1:=strtofloat(edit37.text); //22
Vpnevmo:=0;
UPE1:=strtofloat(edit38.text);
Pbar:=strtofloat(edit41.text); //25
S_do_mv:=strtofloat(edit42.text);
Pza_mv:=strtofloat(edit12.text);
V1st_mlyn:=strToFloat(edit14.Text);
Vmlyn:=strToFloat(edit15.Text);
Vzaxol2:=strtofloat(edit13.text); //30
Vgaz_sush2:=strtofloat(edit19.text); //31 витрата газів на сушку без ДРГ
tgaz_sush2:=strtofloat(edit20.text); //32 температура газів на сушку без ДРГ
alfa_sush2:=strtofloat(edit18.text); //33 альфа в газах без ДРГ
edit3.text:=words01.Strings[1]; //максимальна температура витрати МВ

```

```
pidsv:= StrToInt(words01.Strings[2]); //розрахунок по підсвітці
defa:=Strtoint(words01.Strings[3]); //стан по замовчуванню
edit7.text:=words01.Strings[5];
edit8.text:=words01.Strings[6];
edit9.text:=words01.Strings[7];
memostan:=strToint(words01.Strings[8]);
edit24.text:=words01.Strings[9];
edit25.text:=words01.Strings[10];
edit26.text:=words01.Strings[11];
edit27.text:=words01.Strings[12];
edit28.text:=words01.Strings[13];
edit29.text:=words01.Strings[14];
edit30.text:=words01.Strings[15];
//edit31.text:=words01.Strings[16];
edit32.text:=words01.Strings[17];
edit33.text:=words01.Strings[18];
edit34.text:=words01.Strings[19];
edit35.text:=words01.Strings[20];
edit36.text:=words01.Strings[21];
edit37.text:=words01.Strings[22]; //S_tochka1
edit38.text:=words01.Strings[23]; //UPE1
edit41.text:=words01.Strings[24];
edit42.text:=words01.Strings[25];
edit12.text:=words01.Strings[26];
edit13.text:=words01.Strings[27];
edit14.text:=words01.Strings[28];
edit15.text:=words01.Strings[29];
edit17.text:=words01.Strings[30];
edit19.text:=words01.Strings[31]; //витрата газів без ДРГ
edit20.text:=words01.Strings[32]; //температура газів без ДРГ
```

```

edit18.text:=words01.Strings[33]; //надлишок в газах без ДРГ
tstringlist(words01).Free;
dirs:=extractfilepath(application.ExeName);
Fs:=dirs+'\data\'+ 'mil_lad1.dat'; //створено в закладці
try
    {$I-}
    AssignFile(Fa,fs);
    Reset(Fa);
    CloseFile(Fa);
    {$I+}
except
    ShowMessage('Відсутній файл ' + Fs);
    halt;
end;
words01:=tstringlist.Create;
words01.clear;
//перетворення коми на крапку початок
words1:=tstringlist.create;//nove
words1.clear;
words1.LoadFromFile(fs);
for nn := 0 to words1.count - 1 do
begin
slovo:= words1[nn];
if decimalseparator = ',' then slovo1:= StrReplace(slovo, ',', '.');
if decimalseparator = '.' then slovo1:= StrReplace(slovo, '.', ',');
words01.Add(slovo1);
end;
words1.free;
defa:=strtoint(words01[1]); //запам'ятовувати дані чи ні
Wp:=strtofloat(words01[2]);

```

```
Ap:=strtofloat(words01[3]);
Qpn:=strtofloat(words01[4]);
memostan:=strtofloat(words01[6]);
Hp:=strtofloat(words01[7]);
Np:=strtofloat(words01[8]);
op:=strtofloat(words01[9]);
Wgi:=strtofloat(words01[10]);
cp:=strtofloat(words01[11]);
sp:=strtofloat(words01[12]);
r90:=strtofloat(words01[13]);
r200:=strtofloat(words01[14]);
R5:=strtofloat(words01[15]);
Kbr:=strtofloat(words01[16]);
Kek:=strtofloat(words01[17]);
Kven:=strtofloat(words01[18]);
shbm:=strtofloat(words01[19]); //тип ШБМ
typPS:=strtofloat(words01[20]); //розімкнута чи замкнута
typPs:=1;
bunker:=strtofloat(words01[21]); //бункер чи пряме вдвання
prs_mlyn_mv:=strtofloat(words01[22]); //присоси від млина до МВ
edit35.text:=words01[22];//присоси від млина до МВ
prs_mv:=strtofloat(words01[23]); //присос в млиновому вентиляторі
edit36.text:=words01[23];//присоси в МВ
Pbar:=strtofloat(words01[24]); //барометричний тиск
edit41.text:=words01[24]; //барометричний тиск
S_do_mv:=strtofloat(words01[25]);//розрідження перед млиновим вентилятором
edit42.text:=words01[25]; //розрідження перед млином
txv:=strtofloat(words01[26]);
Klo:=strtofloat(words01[27]);//розмельювальна здатність
alfa_mlyn:=strtofloat(words01[28]); //присоси в млині
```

```

edit9.Text:=words01[28]; //присоси в млині
ttl:= strtofloat(words01[29]);//температура палива
rezultaty:=(words01[30]);
V_mv_max:=strtofloat(words01[31]); //максимальна витрата агенту через МВ
t_max_mv1:=strToFloat(words01[32]);//температура для максимальної витрати через
МВ
vent:=strToInt(words01[33]); //розрахунок вентиляції по нормах
mu_za_mv1:= strtofloat(words01.Strings[34]);//концентрація пилю за МВ
typ_mv:= strtoint(words01.Strings[35]);//тип млинового вентилятора
tstringlist(words01).Free; //створено в закладці кінець зчитування
  dirs:=extractfilepath(application.ExeName);
  Fs:=dirs+'default\'+('mil_hint.dat'); //створено в тріпмакс
  {$I-}
AssignFile(Fa,fs);
Reset(Fa);
CloseFile(Fa);
  {$I+}
words2:=tstringlist.create;//нове
words2.clear;
words2.LoadFromFile(fs);
edit27.hint:=      copy(words2.Strings[ 0  ],17);
edit26.hint:=      copy(words2.Strings[ 1  ],17);
edit20.hint:=      copy(words2.Strings[ 2  ],17);
Edit18.hint:=      copy(words2.Strings[ 3  ],17);
Edit19.hint:=      copy(words2.Strings[ 4  ],17);
edit25.hint:=      copy(words2.Strings[ 5  ],17);
Edit28.hint:=      copy(words2.Strings[ 6  ],17);
Edit24.hint:=      copy(words2.Strings[ 7  ],17);
Edit34.hint:=      copy(words2.Strings[ 8  ],17);
Edit14.hint:=      copy(words2.Strings[ 9  ],17);

```

```

Edit30.hint:=      copy(words2.Strings[ 10  ],17);
Edit15.hint:=      copy(words2.Strings[ 11  ],17);
edit2.hint:=       copy(words2.Strings[ 12  ],17);
edit8.hint:=       copy(words2.Strings[ 13  ],17);
Edit9.hint:=       copy(words2.Strings[ 14  ],17);
Edit10.hint:=      copy(words2.Strings[ 15  ],17);
Edit41.hint:=      copy(words2.Strings[ 16  ],17);
Edit7.hint:=       copy(words2.Strings[ 17  ],17);
Edit5.hint:=       copy(words2.Strings[ 18  ],17);
Edit1.hint:=       copy(words2.Strings[ 19  ],17);
Edit11.hint:=      copy(words2.Strings[ 20  ],17);
Edit35.hint:=      copy(words2.Strings[ 21  ],17);
Edit17.hint:=      copy(words2.Strings[ 22  ],17);
Edit3.hint:=       copy(words2.Strings[ 23  ],17);
Edit21.hint:=      copy(words2.Strings[ 24  ],17);
Edit42.hint:=      copy(words2.Strings[ 25  ],17);
Edit36.hint:=      copy(words2.Strings[ 26  ],17);
Edit12.hint:=      copy(words2.Strings[ 27  ],17);
Edit16.hint:=      copy(words2.Strings[ 28  ],17);
Edit33.hint:=      copy(words2.Strings[ 29  ],17);
Edit32.hint:=      copy(words2.Strings[ 30  ],17);
Edit37.hint:=      copy(words2.Strings[ 31  ],17);
Edit38.hint:=      copy(words2.Strings[ 32  ],17);

//:='Витрата повітря на заохолодження в трубопровід перед млином. куб.м/год при
н.у.';
tstringlist(words2).Free;
end;

procedure TaeroTripForm2.Timer1Timer(Sender: TObject);
label m101, m102, m103, met_t2;
var

```

```

Vmax1: Integer;
-----//-----
-----//-----

kkd_sep: Extended;

begin
T00:=273.15;
Vmax:=0;
m102:
gaz:=8000;
maz:=9600;//strtofloat(edit4.text);
tpov_sush1:=strtofloat(edit27.text); //температура повітря на сушку
Vpov_sush1:=strtofloat(edit26.text); //витрата повітря на сушку
ggaz_sush1:=strtofloat(edit24.text); //витрата газів на сушку за ДРГ
tgaz_sush1:=strtofloat(edit25.text); //температура газів на сушку за ДРГ
alfa_sush1:=strtofloat(edit28.text); //надлишок в газах за ДРГ
Vgaz_sush2:=strtofloat(edit19.text); //витрата газів на сушку без ДРГ
tgaz_sush2:=strtofloat(edit20.text); //температура газів на сушку без ДРГ
alfa_sush2:=strtofloat(edit18.text); //альфа в газах без ДРГ
Txv:=strtofloat(edit7.text);//температура присосів
prisos_sush0:=strtofloat(edit34.text);// присос 1 в газохід з котла
alfa_mlyn:=strtofloat(edit9.text); //присоси в млин
prs_mlyn_mv:=strtofloat(edit35.text); //присос млин - МВ
prs_mv:=strtofloat(edit36.text); //присос в млиновому вентиляторі
Vzaxol2:=strtofloat(edit13.text);
Vrec1:=strtofloat(edit32.text); //рециркуляція
Pbar:=strtofloat(edit41.text);
S_do_mv:=strtofloat(edit42.text);
Pza_mv:= strtofloat(edit12.text);
t2:=strtofloat(edit3.text); //задана температура суміші за циклоном
met_t2:

```



```

t_zaxol:= 30;
V1st_mlyn:=strToFloat(edit14.Text); //витрата на сушарку
V_zaxol1:=strtofloat(edit30.text); //витрата повітря на заходження до млина
Vmlyn:=strToFloat(edit15.Text);
Gs1:=strtofloat(edit8.text); //кульове завантаження
Vpnevmo:=0;
S_tochka1:=strtofloat(edit37.text); //Витрата повітря після п/п 1 ст.
UPE1:=strtofloat(edit38.text); //UPE
prisos_sush:=strtofloat(edit29.text); // присос 2 в газохід з котла
tmobm:=strtofloat(edit33.text); //температура газів за млиновим вентилятором
z_aerodynam1 (Ap, Qpn, Wp, Cp, Op, Np, Hp, Sp, Wp); //повідомлення
  alfa_mlyn:=alfa_mlyn/100;
  if typps=0 then typ_ps:=0 else typ_ps:=1;//замкнута, 1 розімкнута
    Vv0:=1.1*(Qpn+6*Wp)/1000;//Пеккер стр.40
    Geom_Shbm(shbm, Dml, l, obert,Vb, Sb,q5ud, kkd_el_dv); // геометричні розміри
ШБМ400/800 (Ш-50)
  if r5=0 then pdr:= 1 else
  pdr:=0.1199*Ln(r5) + 0.6396;//графік з норм
  a:=0; //при наявності попередньої сушки, коеі а і б Норми
  b:=0;
  gama_nas:=4.9; //насипна густина куль
  if bunker=0 then dt2:=10 else dt2:=5;//10-падіння температури в тракті з бункером ,5
-при прямому вдуванні
  t211:=t2+dt2;//температура після млина,
  if Wgi=0 then //гігроскопічна вологість
  Wpl:=-0.0166667*(t2) + 2.3666667
  else Wpl:=Wgi;
  if vent=0 then kven:=-1 else kven:=kven;
Ps_Shbm(kkd_el_dv,
Sb,a,b,Dml,l,obert,Vb,kbr,kek,q5ud,

```

Vv0,Qpn,Cp, Sp, Hp, Np, Op, Ap,
Wp,r90,klo,Gs1,wpl,
kven,pdr, Wgi,gama_nas,
vent,typ_ps, //integer
Vpov_sush1,tpov_sush1, //повітря на сушку
alfa_sush1,tgaz_sush1,ggaz_sush1, //гази за дрг
alfa_sush2,tgaz_sush2,Vgaz_sush2, //гази без дрг
V_zaxol1,t_zaxol, //захождення перед млином
Vzaxol2,t_zaxol2, //захождення перед MV
prisos_sush0,
prisos_sush,alfa_mlyn,
prs_mlyn_mv,prs_mv,
Vpnevmo,tpnevmo, //резерв
V1st_mlyn,
Vmlyn0, //ne znaiu
vmv2,Vrec1,
tmobm, txv,t211,dt2,t1l,
S_do_mv,Pza_mv,pbar, V1st_mv,
Bm1, Bc,kprs1,t4_mlyn, alfa_sep,
Vsa_do_mv,t7,alfa_domv,Vsa_za_mv,t81,
alfa_zamv,kprs,Gw, Vsum710, Vsa_mv_1,Nel,
tdo_mv,
Vmlyn, Vsa_mv_za_rec,
V10, t10, ro10,
V20, t220, ro20,
V30, t330, ro30,
V40, t440, ro40,
V50, t50, ro50,
V60, t660, ro60);
Bk:=(Bm1);

```

if Bk<=1.000 then Bk:=0;
if Bc<=1.000 then Bc:=0;
d10:=1.4; L10:= 30; //підвід газів
w1_fakt:= w_fakt(d10,V10,t10,ro10);
d20_vhidn:=1.45; //перед млином з рециркуляцією вхідний патрубок млина
W20_vhidn:= w_fakt(d20_vhidn,V20,t220,ro20);
d20_mlyn:=1.61;
//t20_mlyn:=(t220+t330)/2; //МЛИН
//V20_mlyn:= (V20+ V30)/2;
t20_mlyn:=t220; //МЛИН
V20_mlyn:= V20*(t220+t00)/t00;
ro20_mlyn:=ro30;
W20_vhidn:= w_fakt(d20_vhidn,V20_mlyn,t220,ro20);
W20_mlyn:= w_fakt(d20_mlyn,V20_mlyn,t20_mlyn,ro20_mlyn);
d20_vyhidn:=1.61; //L40:= 30; //вихідний патрубок
V30_mlyn:= V30*(t330+t00)/t00;
W20_vyhidn:= w_fakt(d20_vyhidn,V30_mlyn,t330,ro30);
    dzita1:=0.5; //коефіцієнт опору барабана
    dzita_gorl1:=0.4; //коефіцієнт опору горловини
    dzita_rozsh1:=0.81; //коефіцієнт опору розширення
    dzita_zvug1:=0.42; //коефіцієнт опору звуження
    dzita_patrub1:=0.7; //коефіцієнт опору патрубка
    mu_pyly_do1:=1.77; //концентрація пилу до елемента
    ro_sa_do1:=ro20*t00/(t00+t220); //густина сушильного агента в реальних умовах
до елемента
    K_cyrk_pyly:= 2.2; //табл 7.3 норми
    mu_pyly_zal:=K_cyrk_pyly* 1000*(Bc-Gw/1000)/(V30*ro20); //концентрація
пилу за млином
    ro_sa_zal:=ro30*t00/(t00+t330); //густина сушильного агента в реальних умовах
за млином

```

```

D_barab1:=3.7; //діаметр барабана
L_barab1:=8.5; //довжина барабана
dH_mlyn:= opir_ps_shbm(dzita1,
mu_pyly_do1,ro_sa_do1, w20_vhidn,
mu_pyly_za1, ro_sa_za1,W20_vyhidn,
dzita_gorl1, dzita_rozsh1, dzita_zvug1,
dzita_patrub1,
D_barab1, L_barab1);
mu_pyly_do_sep:=mu_pyly_za1;
ro_sa_do_sep:= ro_sa_za1;
D_tr1:=1.61;
L_tr1:=34;
dzita_tr:=0.017;
V30_mlyn_sep:=V30*(t00+t330)/t00;
w_sa_do_sep:= w_fakt(d_tr1,V30_mlyn_sep,t330,ro30);
dH_ml_sep:=opir_ps_pyloprovid_sa(dzita_tr,
mu_pyly_do_sep,ro_sa_do_sep, w_sa_do_sep,
mu_pyly_do_sep,ro_sa_do_sep, w_sa_do_sep,
D_tr1, L_tr1);
dzita_sep:=3;
w_sa_za_sep:= w_fakt(d_tr1,V30_mlyn_sep,t330,ro30);
mu_pyly_za_sep:= 1000*(Bc-Gw/1000)/(V30*ro30);
ro_sa_za_sep:= ro_sa_do_sep;
dH_sep:= opir_ps_sep(dzita_sep,
mu_pyly_za_sep,ro_sa_za_sep, w_sa_za_sep,
mu_pyly_za_sep,ro_sa_za_sep, w_sa_za_sep);
mu_pyly_do_cykl:=1000*(Bc-Gw/1000)/(V40*ro40);
ro_sa_do_cykl:= ro40;
D_tr_do_cykl:=1.61;
L_tr_do_cykl:=50;

```

$dzita_tr:=0.017;$
 $t_sep_cicl:=(t330+t440)/2;$
 $V_sep_cicl:=((V30+V40)/2)*(t_sep_cicl+t00)/t00;$
 $ro_sa_do_cicl:=(ro30+ro40)/2;$
 $w_sa_do_cicl:=w_fakt(D_tr_do_cicl,V_sep_cicl,t_sep_cicl,ro_sa_do_cicl);$
 $dH_ml_sep_cicl:=opir_ps_pyloprovid_sa(dzita_tr,$
 $\quad mu_pyly_do_cicl,ro_sa_do_cicl, w_sa_do_cicl,$
 $\quad mu_pyly_do_cicl,ro_sa_do_cicl, w_sa_do_cicl,$
 $\quad D_tr_do_cicl, L_tr_do_cicl);$
 $dzita_cicl:=150;$
 $D_tr_cicl:= 3.5;$
 $mu_pyly_za_cicl:=1000*(Bc-Gw/1000)/(V40*ro40);$
 $ro_sa_za_cicl:= ro40;$
 $V40_cicl:= V40*(t00+t440)/t00;$
 $w_sa_za_cicl:= w_fakt(D_tr_cicl,V40_cicl,t440,ro40);$
 $dH_ml_cicl:=opir_ps_cyklon(dzita_cicl,$
 $\quad mu_pyly_za_cicl,ro_sa_za_cicl, w_sa_za_cicl,$
 $\quad mu_pyly_za_cicl,ro_sa_za_cicl, w_sa_za_cicl);$
 $T_sep_mv:=(t440+t50)/2;$
 $V_sep_mv:= ((V40+V50)/2)*(t00+t_sep_mv)/t00;$
 $ro_sa_sep_mv:= (ro40+ro50)/2;$
 $kkd_sep:=0.90;$
 $mu_pyly_sep_mv:=((1-kkd_sep)/kkd_sep)*1000*(Bc-$
 $Gw/1000)/(V_sep_mv*ro_sa_sep_mv);$
 $D_tr_sep_mv:=1.61;$
 $L_tr_sep_mv:=34;$
 $dzita_tr:=0.017;$
 $w_sa_sep_mv:= w_fakt(D_tr_sep_mv,V_sep_mv,t_sep_mv,ro_sa_sep_mv);$
 $dH_tr_sep_mv:= opir_ps_pyloprovid_sa(dzita_tr,$
 $\quad mu_pyly_sep_mv,ro_sa_sep_mv, w_sa_sep_mv,$

```

mu_pyly_sep_mv,ro_sa_sep_mv, w_sa_sep_mv,
D_tr_sep_mv, L_tr_sep_mv);
D_shyber:=1.61;
V_shyber:= V50*(t00+t50)/t00;
ro_sa_shyber:= ro50;
mu_pyly_shyber:= mu_pyly_sep_mv*(V_shyber*ro_sa_shyber)/(V_sep_mv
*ro_sa_sep_mv);
w_sa_shyber:= w_fakt(D_shyber,V_shyber,t50,ro_sa_shyber);
dH_shyber:=opir_ps_shyber( UPE1,
mu_pyly_shyber,ro_sa_shyber, w_sa_shyber,
mu_pyly_shyber,ro_sa_shyber, w_sa_shyber);
dH_povn:= dH_mlyn+ dH_ml_sep+dH_sep+dH_ml_sep_cikl+
dH_ml_cikl+dH_tr_sep_mv+ dH_shyber;
S_do_mv:= S_tochka1 + dH_povn;
kkd_el_mv0:=0.92;
T_mv_fakt:=(tdo_mv+t81)*0.5;
V_mv:= V50*(t00+T_mv_fakt)/t00;
dynam_mv:= napir_dyn1(D_shyber, V_mv, ro50);
H_fakt:= abs(S_do_mv) + abs(Pza_mv)+dynam_mv;
H_pryved:= H_fakt* (T_mv_fakt + T00)/(T_xarakt + T00);
V_xarakt:= 1000*(-0.00000971*H_pryved*H_pryved*H_pryved
+ 0.02961235*H_pryved*H_pryved - 30.45827033*H_pryved + 10773.13202147);
ro_mv:= ro50;//poperegn
T_xarakt:=120;
mlynovuy (ro_mv, T_xarakt, typ_mv,Vsa_za_mv, T_mv_fakt, mu_za_mv1,
S_do_mv, Pza_mv, kkd_el_mv0, NMV, kkd_mv, NMV1, napir);
N_mv2:=(1+mu_pyly_shyber)*H_fakt*V_mv/(316000*kkd_mv*kkd_el_mv0);
Nmv:=N_mv2;
if Bc<1 then Bc:=1;
if typ_ps=0 then

```

```

E_pomol:= (0.5*Nmv+Nel)/Bc
else E_pomol:= (Nmv+Nel)/Bc;
edit1.text:=FloatToStrf(Bc,ffixed,8,1);
edit2.text:=FloatToStrf(t4_mlyn,ffixed,8,1); //pered mlynom
edit4.text:=FloatToStrf(Vsum710,ffixed,8,1);
edit5.text:=FloatToStrf(Bk,ffixed,8,1);
edit6.text:=FloatToStrf(NMV,ffixed,8,1);
edit10.text:=FloatToStrf(Nel,ffixed,8,3);
edit11.text:=FloatToStrf(E_pomol,ffixed,8,1);
edit14.text:=FloatToStrf(V1st_mlyn,ffixed,8,1);
edit15.text:=FloatToStrf(Vmlyn,ffixed,8,1);
edit16.text:=FloatToStrf(t81,ffixed,8,1);
edit17.text:=FloatToStrf(t7,ffixed,8,1);
edit19.text:=FloatToStrf(Vgaz_sush2,ffixed,8,1);
edit24.text:=FloatToStrf(ggaz_sush1,ffixed,8,1);
edit26.text:=FloatToStrf(Vpov_sush1,ffixed,8,1);
edit27.text:=FloatToStrf(tpov_sush1,ffixed,8,1);
edit33.text:=FloatToStrf(Vsa_mv_za_rec,ffixed,8,1);
edit37.text:=FloatToStrf(S_tochka1,ffixed,5,1);
edit42.text:=FloatToStrf(S_do_mv,ffixed,5,1);
edit38.text:=FloatToStrf(UPE1,ffixed,5,1);
button2.SetFocus;
m101:
V_sum_sa:= Vpov_sush1+ ggaz_sush1+ tgaz_sush2+V_zaxol1; //n u
ro_sa_sum:=1.28;
g_sa_sum:= V_sum_sa*ro_sa_sum/Bc;
timer1.Enabled:=false;

end;

```

```

procedure TaeroTripForm2.SpinButton10DownClick(Sender: TObject);
begin
Edit3.text:=floattostr(strtfloat(Edit3.text)- 0.01);
if strToFloat(edit3.Text)<30 then
Edit3.text:='30';
end;
----- //-----
----- //-----

procedure TaeroTripForm2.SpinButton9UpClick(Sender: TObject);
begin
Edit28.text:=floattostr(strtfloat(Edit28.text)+0.01);
end;
end.

```

Модуль розрахунку пилосистеми pylosus.pas.

```

unit pylosus;
interface
uses tfsgazy, Messages, Windows, SysUtils, Classes, Graphics, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Mask, Spin, fileCtrl, Controls;
const
mu_ro2= 44.0098;
mu_N2= 28.0134;
mu_pov= 28.850334;//syhe
mu_o2= 28.0134;
mu_h2o= 18.01505;
ro_ro2= 1.96363107;
ro_N2= 1.249839383;

```



```

ro_pov= 1.287179837;//suhe;
ro_pov_vol=1.279560027668900;//vologe pry 10
ro_h2o= 0.803755309;
k_vology=0.0161;//0.016014573371;
T00=273.15;
function napir_dyn(var d1, Vytr, ro1:extended):extended;
procedure Ps_Shbm(kkd_el_dv,
Sb,a,b,Dml, l,obert,Vb,kbr,kek,q5ud,
Vv0,Qp, Cp, Sp, Hp, Np, op, Apn,
Wp,r90,klo, Gs,wpl,
kven, pdr, Wgi, gama_nas : extended;
vent, typ_ps:integer;
Vpov_sush,tpov_sush,//повітря на сушку
alfa_sush,tgaz_sush, Vsa1, //гази після дрг
alfa_sush21,tgaz_sush21,Vgaz_sush21, //гази без дрг
V_zaxol,t_zaxol, //захождення перед млином
Vzaxol2,t_zaxol2, //захождення перед MV
prisos_sush0,
prisos_sush,prs_mlyn,
prs_mlyn_mv, prs_mv,
Vpnevmo,tpnevmo,
V1st_mlyn1,
Vzaxol_mv,
vmv2, Vrec,
tobm,thv,t2111, dt2, ttl,
S_do_mv,Pza_mv,pbar, V1st_mv1 :extended;
var
Bm0, Bc,kprs1,t4_mlyn0,alfa_sep,Vsa_do_mv,t7,alfa_domv,Vsa_za_mv,t81,
alfa_zamv,kprs,Gw,Vsum71,Vsa_mv1,Nel, t72,
Vmlyn1, Vsa_mv_za_rec,

```

```

V1, t1, ro1,
V2, t22, ro2,
V3, t33, ro3,
V4, t44, ro4,
V5, t5, ro5,
V6, t66, ro6: extended);
procedure rozmel_shbm(Bc, Dml, obert, Gs, gama_nas, Vb, Sb,
Wp, Wpl, a, b, Wgi, klo, r90, Vsa_mv1, t6, kven, l,kbr,kek, pdr :extended;
vent : integer; kkd_el_dv: extended;
var Bm0, Vmvopt, psi, Nel:extended);
procedure Geom_Shbm(shbm : integer; var Dml, l, obert,Vb, Sb, q5ud,
kkd_el:extended);
function GetWord(var sss:string):string;
function StrReplace(const Str, Str1, Str2: string): string;
procedure mlynovuy (ro1, T_xarakt01:extended; typ_mv1: integer; Vsa_mv1, t_mv,
mu_za_mv1,
                S_do_mv, Pza_mv, kkd_el_mv: extended;
var NMV, kkd_mv, NMV1, napir1:extended);
implementation
uses zmish_ddazy;
function napir_dyn(var d1, Vytr, ro1:extended):extended;
var
    F1: Extended;
    w1: Extended;
begin
    F1:= pi*d1*d1/4;
    w1:=Vytr/(3600*F1);
    result:=ro1*W1*W1/(2*9.81);
end;
procedure Ps_Shbm;

```

```

var
psi:extended;
-----//-----
-----//-----

ro_sa_sum7: extended;
label m1;
begin
    K_rec:=0;
    t811:=t2111-10;
    Gzaxol:=V_zaxol*ro_pov;
    Gpnevmo:=Vpnevmo*ro_pov;
    ro_za_mv:=ro_pov;
    gprisos3:=0;
    gprisos4:=0;
    gprisos:=0;
    n_cikl_rec:=0;
    Vsa_sep:=Vsa1;
    t_rec:= t2111;
    Gsum_rec:= 0;
    gro2_rec:= 0;
    gn2_rec := 0;
    gh2o_rec:= 0;
    gpovnadl_rec:= 0;
    dvozd:=10;
    t6:=300; //температура перед млином для старту
    sum_topl:= Aprn + Wp + Cp + Hp + Sp + Op + Np;
    if sum_topl > 100 then
        showMessage('Перевірте склад палива.');
```

```

repeat //цикл по рециркуляції
    n_cikl_rec:=n_cikl_rec+1;
```

rozmel_shbm(Bc, Dml, obert, Gs, gama_nas, Vb, Sb,
Wp, Wpl, a, b, Wgi, klo, r90, Vsa_mv1, t6, kven, l, kbr, kek, pdr,
vent, kkd_el_dv, Bm0, Vmvopt, psi, Nel);

tdomv:=t2111;

beta:=273.15*(Pbar+S_do_mv/13.6)/((273.15+Tdomv)*760);

deltaW:=(Wp-Wpl)/(100-Wpl);

bc:=Bm0;

kprs:=prs_mlyn;

//tsms:=tgaz_sush;//температура газів

tsr:=thv;//температура навколишнього середовища

Bc:=Bm0*1000;

Bc1:=Bc;

//t21:=t2;

t21:=t2111;

repeat //цикл по підбору витрати

alfa_reg:=alfa_sush;

palyv:=0;

sklad_masov_gaziv (10, Cp, Sp, Np, Hp, Op, Wp, Apn, Qp, alfa_sush21,

gro2_0, gN2_0, gpovnadl_0, gh2o_0,{vologi}

O2_0, RO2_0, alfa_sa_0,

rro2_v0, rN2_v0, rN2_topl0, rh2o_v0, rpov_v0,

rro2_s0, rn2_s0, rpov_s0); //bez drg

Vsa_zkotla:=Vgaz_sush21; //vologi //bez drg

sklad_masov_gaziv (10, Cp, Sp, Np, Hp, Op, Wp, Apn, Qp, alfa_sush,

gro2_drg, gN2_drg, gpovnadl_drg, gh2o_drg,{vologi}

O2_drg, RO2_drg, alfa_sa_drg,

rro2_v0_drg, rN2_v0_drg, rN2_topl0_drg, rh2o_v0_drg, rpov_v0_drg,

rro2_s0_drg, rn2_s0_drg, rpov_s0_drg); //z drg

Vsa_zkotla_drg:=Vsa1; //vologi //z drg

```

if (Vgaz_sush21+ Vsa1)<0.01 then
begin
gro2_0:=0;
gn2_0:=0;
gh2o_0:=0;
gpovnadl_0:=1;
end;
ro_sa_0:=ro_dg (gro2_0, gn2_0, gh2o_0, gpovnadl_0);
ro_sa_drg:=ro_dg (gro2_drg, gn2_drg, gh2o_drg, gpovnadl_drg);
Gsa_do:=Vgaz_sush21*ro_sa_0;//масова витрата сушильного агента з котла bez drg
Gsa_do_drg:=Vsa1*ro_sa_drg;//масова витрата сушильного агента з котла z drg
VN2_topl0:= rN2_topl0 * Vsa_zkotla; // азот paluva kub m / god na vologi
alfa_sa_0:= alfa_N2 (VN2_topl0, Vsa_zkotla, rN2_v0, rpov_v0);
G_pov_sush:=Vpov_sush*ro_pov_vol;// повітря на сушку
zmish_dgazy_m(0, tgaz_sush21, Gsa_do , gro2_0, gn2_0, gh2o_0, gpovnadl_0,
            tgaz_sush, Gsa_do_drg , gro2_drg, gn2_drg, gh2o_drg, gpovnadl_drg,
            10, g_pov_sush, tpov_sush,
            0,0,0,
            0,0,
            t30 , Gsum30, gro2_30, gn2_30, gh2o_30, gpovnadl_30 );
ro_sa_30:= ro_dg (gro2_30, gn2_30, gh2o_30, gpovnadl_30);
r_po_g (gro2_30, gn2_30, gh2o_30, gpovnadl_30,
            rro2_30, rN2_30, rh2o_30, r_pov_30,
            rro2_s30, rn2_s30, rpov_s30);
Vsum30:=Gsum30 / ro_sa_30;//витрата до присосу
Vsa_zkotla_suhyh:=Vsum30*(1-rh2o_30);
Vprisos_sush0:=(Vsa_zkotla_suhyh)*prisos_sush0*
(1+k_vology*ro_pov_vol/ro_h2o);//(1-rh2o0);
//при ну в сушильний агент перший присос
Vprisos_sush:=(Vsa_zkotla_suhyh)*prisos_sush*

```

```

(1+k_vology*ro_pov_vol/ro_h2o);/(1-rh2o0);
Vprisos_sush:=0;//другого присосу немає
Gprisos_sush0:=Vprisos_sush0*ro_pov_vol;//густина вологого 10//;ro_pov;//
Gprisos_sush:=Vprisos_sush* ro_pov_vol;
zmish_dgazy_m(0, t30, Gsum30 , gro2_30, gn2_30, gh2o_30, gpovnadl_30,
    0, 0 , 0, 0, 0, 0,
    10, Gprisos_sush0,thv,
    10, Gprisos_sush,thv,
    0, 0,
    t3 , Gsum3, gro2_3, gn2_3, gh2o_3, gpovnadl_3 );
ro_sa_3:= ro_dg (gro2_3, gn2_3, gh2o_3, gpovnadl_3);
Vsum3:=Gsum3/ro_sa_3;
Vsum31:= Vsa1+Vgaz_sush21+ Vprisos_sush0 + Vprisos_sush + Vpov_sush;
r_po_g (gro2_3, gn2_3, gh2o_3, gpovnadl_3,
    rro2_3, rN2_3, rh2o_3, r_pov_3,
    rro2_s3, rn2_s3, rpov_s3);
alfa_sa_3:= alfa_N2 (VN2_topl0, Vsum3, rN2_3, r_pov_3);
    prs1:= (alfa_sa_3 - alfa_sa_0 )*100;
    prs2:=prs1/alfa_sa_0;
    prs3:=prs1/alfa_sa_3;
    prs4:= (gpovnadl_0- gpovnadl_3) /gpovnadl_0;
zmish_dgazy_m(0, t3, Gsum3 , gro2_3, gn2_3, gh2o_3, gpovnadl_3,
    0, 0 , 0, 0, 0, 0,
    0, 0, 0,
    0, 0, 0,
    0, 0,
    t4 , Gsum4, gro2_4, gn2_4, gh2o_4, gpovnadl_4 );
ro_sa_4:= ro_dg (gro2_4, gn2_4, gh2o_4, gpovnadl_4);
zmish_dgazy_m(0, t4, Gsum4-V1st_mlyn1 * ro_sa_4 , gro2_4, gn2_4, gh2o_4,
gpovnadl_4,

```

```

t811, 0 , gro2_rec, gn2_rec, gh2o_rec, gpovnadl_rec,
10, V_zaxol*ro_pov_vol, t_zaxol,
10, 0,0,
0, 0,
t4_mlyn0 , G_mlyn, gro2_4_mlyn, gn2_4_mlyn, gh2o_4_mlyn,
gpovnadl_4_mlyn );
ro_sa_4_mlyn:= ro_dg (gro2_4_mlyn, gn2_4_mlyn, gh2o_4_mlyn, gpovnadl_4_mlyn);
Vmlyn1:= G_mlyn/ro_sa_4_mlyn;
zmish_dgazy_m(0, t4, Gsum4 , gro2_4, gn2_4, gh2o_4, gpovnadl_4,
t811, Gsum_rec , gro2_rec, gn2_rec, gh2o_rec, gpovnadl_rec,
10, V_zaxol*ro_pov_vol, t_zaxol,
10, 0,0,
0, 0,
t4_rec , Gsum4_rec, gro2_4_rec, gn2_4_rec, gh2o_4_rec, gpovnadl_4_rec );
ro_sa_4_rec:= ro_dg (gro2_4_rec, gn2_4_rec, gh2o_4_rec, gpovnadl_4_rec);
zmish_dgazy_m(0, t4_rec , Gsum4_rec, gro2_4_rec, gn2_4_rec, gh2o_4_rec,
gpovnadl_4_rec,
t811, 0 , gro2_rec, gn2_rec, gh2o_rec, gpovnadl_rec,
10, 0, t_zaxol,
10, 0, tpnevmo,
0, 0,
t6 , Gsum6, gro2_6, gn2_6, gh2o_6, gpovnadl_6);
ro_sa_6:= ro_dg (gro2_6, gn2_6, gh2o_6, gpovnadl_6);
Gprisos1:=Gprisos_sush0+Gprisos_sush;
r_po_g (gro2_6, gn2_6, gh2o_6, gpovnadl_6,
rro2_6, rN2_6, rh2o_6, r_pov_6,
rro2_s6, rn2_s6, rpov_s6);
Vw:=Bc*deltaW/0.803897; //объем влаги з палива
Gw:=Bc*deltaW; //объем влаги з палива
Vpov_nadl_sa1:=r_pov_6*Vsa1;

```

```

Vpov_nadl_sa:= (1/alfa_reg)*(alfa_reg-1)*Vsa1; //вологе повітря
O2nadl_sa:=(100*Vpov_nadl_sa*0.21/Vsa1); //9 місце вимірювання витрати
VO2nadl_sa:=((Vpov_nadl_sa+Vpnevmo)*0.21); //після змішування з пневмо
повітрям
O2nadl_sa1:=(100*(Vpov_nadl_sa+Vpnevmo*(1-0.0161))*0.21/Vsa1);
alfa_sa1:=(21/(21-O2nadl_sa1));
Vprisos:=(Vsa_zkotla_suhyh)*kprs *
(1+k_vology*ro_pov_vol/ro_h2o);//(1-rh2o0); присос у млині
Vsa_sep:=Vsa1+Vpnevmo+Vprisos+Vw+Vrec + Vpov_sush + Vgaz_sush21;
Vpov_nadl_sep:= Vsa1*(alfa_reg+kprs-
1)/(alfa_reg+kprs);//Vpov_nadl_sa+Vpnevmo+Vprisos;
O2nadl_sep:=(100*Vpov_nadl_sep*0.21/((Vsa1)));
//подумати і перевести кисень і повні гази
alfa_sep:=(21/(21-O2nadl_sep));
kprs1:=alfa_sep-alfa_sa1;
typ_tverdogo:=1;//1 - кам'яне вугілля
sush_shbm (typ_tverdogo, Bc, Wp, ttl, Gsum6, t6, gro2_6,
gn2_6, gh2o_6, gpovnadl_6, vprisos, thv, Nel, Wpl, t2111, q5ud,
balans, Bpl, gro2_sum6, gn2_sum6, gh2o_sum6, gpovnadl_sum6,
Gsum61);
ro_sa_sum6:=ro_dg ( gro2_sum6, gn2_sum6, gh2o_sum6, gpovnadl_sum6);
Bc:=Bc1+balans/100;
Bc1:=Bc;
until (abs(balans)<0.01); //цикл по підбору витрати
bc:=0.001*bc1;
Vsa_sep:= Gsum61/ro_sa_sum6;
Vprisos_mlyn_mv:=Vsa_sep*prs_mlyn_mv/100;///alfa_sep;
Vsa_do_mv:=Vsa_sep+Vprisos_mlyn_mv;
Vpov_nadl_domv:= Vsa1*(alfa_reg+kprs+prs_mlyn_mv/100-1)/
(alfa_reg+kprs+prs_mlyn_mv/100);

```



```

O2nabl_domv:=(100*Vpov_nabl_domv*0.21/Vsa1);
alfa_domv:=(21/(21-O2nabl_domv));
Gprisos_mlyn_mv:= Vprisos_mlyn_mv*ro_pov_vol; //присос від сепаратора до МВ
t222:=t2111-dt2;//температура перед млиновим за рахунок падіння через ізоляцію
zmish_dgazy_m(0, t222 , Gsum61, gro2_sum6, gn2_sum6, gh2o_sum6,
gpovnabl_sum6,
    0, 0 , 0, 0, 0, 0,
    10, 0, 0,
    10, Gprisos_mlyn_mv,thv,
    0, 0,
    t7 , Gsum7, gro2_7, gn2_7, gh2o_7, gpovnabl_7);
ro_sa_sum7:=ro_dg ( gro2_7, gn2_7, gh2o_7, gpovnabl_7);
Gzaxol2:=Vzaxol2* ro_pov_vol; //zaxolog pered mv
Gzaxol_mv:=Vzaxol_mv* ro_pov_vol;
zmish_dgazy_m(0, t7 , Gsum7, gro2_7, gn2_7, gh2o_7, gpovnabl_7,
    0, 0 , 0, 0, 0, 0,
    10, Gzaxol2, thv, //zaxolog pered mv
    10, 0, tpnevmo,
    0, 0,
    t71 , Gsum71, gro2_71, gn2_71, gh2o_71, gpovnabl_71);
ro_sa_sum71:=ro_dg ( gro2_71, gn2_71, gh2o_71, gpovnabl_71);
Vsum71:= Gsum71/ro_sa_sum71;
zmish_dgazy_m(0, t71 , Gsum71, gro2_71, gn2_71, gh2o_71, gpovnabl_71,
    0, 0 , 0, 0, 0, 0,
    10, Gzaxol_mv, thv,
    10, 0, 0,
    0, 0,
    t72 , Gsum72, gro2_72, gn2_72, gh2o_72, gpovnabl_72);
ro_do_mv:=ro_dg ( gro2_72, gn2_72, gh2o_72, gpovnabl_72);
sklad7:= gro2_72 + gn2_72 + gh2o_72 + gpovnabl_72;

```

```

Vsa_do_mv:= Gsum72/ro_do_mv; //pered mv
Vpov_nadl_zamv:= Vsa1*(alfa_reg+kprs+prs_mlyn_mv*0.01+prs_mv*0.01-1)/
(alfa_reg+kprs+prs_mlyn_mv*0.01+prs_mv*0.01);
O2nadl_zamv:=(100*Vpov_nadl_zamv*0.21/Vsa1);
alfa_zamv:=(21/(21-O2nadl_zamv));
Vprisos_mv:=Vsa_do_mv*prs_mv*0.01; //присос МВ
Vsa_za_mv:=Vsa_do_mv+Vprisos_mv;
Gprisos4:= Vprisos_mv*ro_pov_vol; //присос МВ
zmish_dgazy_m(0, t72, Gsum72 , gro2_72, gn2_72, gh2o_72, gpovnadl_72,
0, 0, 0, 0, 0, 0,
10, 0, 0,
10, Gprisos4, thv, //присос МВ
0, 0,
t8 , G_za_mv, gro2_za_mv, gn2_za_mv, gh2o_za_mv, gpovnadl_za_mv );
ro_za_mv:=ro_dg ( gro2_za_mv, gn2_za_mv, gh2o_za_mv, gpovnadl_za_mv);
Vsa_za_mv:=G_za_mv/ ro_za_mv;
kkd_mv:=0.8;
nagrev:=nagrev_mv(t8, S_do_mv, Pza_mv, kkd_mv);
t81:=t8+nagrev;
Grec:=Vrec*ro_za_mv;
Gsum_rec:=0;
gro2_rec:= gro2_za_mv;
gn2_rec:= gn2_za_mv;
gh2o_rec:= gh2o_za_mv;
gpovnadl_rec:= gpovnadl_za_mv;
Gsum_rec:=Grec;
K_rec:=Grec/(vsa_za_mv*ro_za_mv);
Vsa_mv_za_rec:=Vsa_za_mv- Vrec; //za mv pislya recyrculacii
t811:=t81;
until n_cikl_rec>5;

```

```

t_pered_mlynom:=t6;
  Vsa_mv1:=(Vsa_za_mv + Vsa_do_mv)*0.5; //za mv pislya recyrculacii
V1:=Vsum30;
t1:=t30;
ro1:=ro_sa_30;
V2:=Gsum6/ro_sa_6;
t22:=t6;
ro2:=ro_sa_6;
V3:=Gsum61/ro_sa_sum6;
  t33:=t2111;
ro3:=ro_sa_sum6;
V4:=Gsum7/ro_sa_sum7;
t44:=t7;
ro4:=ro_sa_sum7;
V5:=Gsum72/ro_do_mv;
t5:=t72;
ro5:=ro_do_mv;
V6:=G_za_mv/ro_za_mv;
t66:=t81;
ro6:=ro_za_mv;
end;
procedure rozmel_shbm(Bc, Dml, obert, Gs, gama_nas, Vb, Sb,
Wp, Wpl, a, b, Wgi, klo, r90, Vsa_mv1, t6, kven, l,kbr,kek, pdr :extended;
vent : integer; kkd_el_dv: extended;
var Bm0, Vmvopt, psi, Nel:extended);//визначення розмельної продуктивності
var
  D1: Extended;
  n1: Extended;
  psi1: Extended;
  k: extended;

```

```

Wm1: extended;
Wsr: Extended;
p1: Extended;
p2: extended;
k_opt: Extended;
k_tl: Extended;
begin
  D1:=exp(2.4*ln(Dml)); //Норми 68
  n1:=exp(0.8*ln(obert)); //Норми 68
  psi:=Gs/(gamma_nas*Vb); //степінь заповнення барабана кулями
  psi1:=exp(0.6*ln(psi));
  k:=1+1.07*Wp; //константа палива ,норми 68
  Wm1:=(Wp*(100-Wpl)-100*(Wp-Wpl)*(a+b-a*b))/((100-Wpl)-(Wp-Wpl)*(a+b-
a*b));
  Wsr:=(Wm1+3*Wpl)/4;
  p1 := sqrt((sqrt(k)-sqrt(Wsr))/(sqrt(k)-sqrt(Wgi)));
  p2 := (100-Wsr)/(100-Wp);
  Vmvopt:=(38*Vb/(obert*sqrt(Dml)))*(1000*exp((1/3)*ln(Klo))+36*R90*
sqrt(Klo)*exp((1/3)*ln(psi)));
  k_opt:= Vsa_mv1/(Vmvopt*273.15/(0.5*(t6+t6)));
  if vent=1 then kven:=kven else //введено значення
  begin
  kven:= -0.5045*k_opt*k_opt + 1.268*k_opt + 0.2396;
  if kven>1.2 then kven:=1.03472; // по нормах
  end;
  Bm0:=0.11*D1*I*n1*psi1*klo*p1*p2*kbr*kek*kven/
  (pdr*sqrt(ln(100/r90)));
  if psi<=0.2 then k_tl:=1.031544 else
  K_tl:=-25.272*psi*psi*psi + 19.055*psi*psi - 4.7484*psi + 1.4212;
  if Bc<10 then k_tl:=1;

```

```

Nel:=(0.122*(exp(3.0*ln(Dml)))1*obert* $\gamma_{nas}$ *(exp(0.9*ln( $\psi$ )))ktl*kbr+
1.86*Dml1*obert*Sb)/(kkd_el_dv);
end;
procedure Geom_Shbm(shbm : integer; var Dml, l, obert,Vb, Sb, q5ud,
kkd_el:extended);
begin
if shbm=0 then
begin
Dml:=4; //Внутрішній діаметр млина,м
l:=8; //внутрішня довжина млина, м
obert :=16.7;//число обертів в хвилину
Vb:=100.48;//об'єм млина
Sb:=0.09;
kkd_el:=0.92;
end;
if shbm=1 then //Ш50А
begin
Dml:=3.7; //Внутрішній діаметр млина,м
l:=8.5; //внутрішня довжина млина, м
obert :=17.6;//число обертів в хвилину
Vb:=91.5;//об'єм млина
q5ud:=100000;//питомі втрати тепла для ШБМ370/850 (Ш-50А)
Sb:=0.09;
kkd_el:=0.92;
end;
end;
function GetWord(var sss:string):string;
const
letters:set of Char=['A'..'Z','0'..'9',':','!','+','-'];
begin

```

```

result:="";
while (sss <>"")and(sss[1] in letters) do
begin
if decimalSeparator = '.' then
begin
if sss[1]='.' then sss[1]:='.'
else sss[1]:=sss[1];
end else
begin
if sss[1]='.' then sss[1]:='.'
else sss[1]:= sss[1];
end;
result:=result+Sss[1];
delete(sss,1,1)
end;
end;
function StrReplace(const Str, Str1, Str2: string): string;
var
P, L: Integer;
begin
Result := str;
L := Length(Str1);
repeat
P := Pos(Str1, Result); // ищем подстроку
if P > 0 then
begin
Delete(Result, P, L); // удаляем ее
Insert(Str2, Result, P); // вставляем новую
end;
until P = 0;

```

```

end;
procedure mlynovuy (ro1, T_xarakt01:extended; typ_mv1: integer; Vsa_mv1, t_mv,
mu_za_mv1,
                S_do_mv, Pza_mv, kkd_el_mv: extended;
var NMV, kkd_mv, NMV1, napir1:extended);
var
Vsa_mv2 : extended;
mu_za_mv0: Extended;
H_mv: extended;
T_mv1: Extended;
T_xarakt001: Extended;
Vsa_mv_xarakt: Extended;
NMV_xarakt: Extended;
kkd_mv_xarakt: Extended;
Nmv_fakt1: Extended;
H_dynam1: Extended;
d1: Extended;
Vytr: Extended;
Vsa_mv_fakt: Extended;
ro10: Extended;
Vsa_mv_2: Extended;
begin
ro10:= ro1;
if typ_mv1=0 then //vm17
begin
NMV:= 83.92203972*Ln(Vsa_mv1/1000) - 162.97863583;
Vsa_mv2:=Vsa_mv1*(273.15+0.5*(t_mv))/273.15;
kkd_mv:=
                -0.000184679409*Vsa_mv2*Vsa_mv2/1000000
0.019759846569*Vsa_mv2/1000 + 0.289799471705;

```

```

NMV1:=(1+mu_za_mv1/1000)*(abs(S_do_mv)+Pza_mv)*Vsa_mv2/(316000*kkd_el_mv
*kkd_mv);
napir1:= abs(S_do_mv)+Pza_mv;
end;
if typ_mv1=1 then //vm100/1200
begin
NMV:=7.2734*exp(0.897*ln(Vsa_mv1/1000));
Vsa_mv2:=Vsa_mv1*(273.15+0.5*(t_mv))/273.15;
kkd_mv:= -0.000071047594*Vsa_mv2*Vsa_mv2/1000000 +
0.012930408466*Vsa_mv2/1000 + 0.113294740287;
NMV1:=(1+mu_za_mv1/1000)*(abs(S_do_mv)+Pza_mv)*Vsa_mv2/(316000*kkd_el_mv
*kkd_mv);
napir1:= abs(S_do_mv)+Pza_mv;
end;
if typ_mv1=2 then //vm180/1100 ladygyn
begin
T_mv1:= (t00+(t_mv));
T_xarakt001:= T_xarakt01 + t00;
Vsa_mv_fakt:=Vsa_mv1*T_mv1/t00;
d1:=0.9;
H_dynam1:= napir_dyn(d1, Vsa_mv_fakt, ro10);
H_mv:= abs(S_do_mv)+abs(Pza_mv)+ H_dynam1;
Vsa_mv_xarakt:=0.001*Vsa_mv1*T_xarakt001/273.15;
NMV_xarakt:=-0.004689*Vsa_mv_xarakt*Vsa_mv_xarakt +
5.429049*Vsa_mv_xarakt - 59.911594;//); //zaminuty
Nmv_fakt1:= Nmv_xarakt*T_xarakt001/T_mv1;
Vsa_mv2:=Vsa_mv1*(273.15+(t_mv))/273.15;
kkd_mv_xarakt:= 0.01*(-
0.0000001054*Vsa_mv_xarakt*Vsa_mv_xarakt*Vsa_mv_xarakt*Vsa_mv_xarakt
+ 0.0000817635*Vsa_mv_xarakt*Vsa_mv_xarakt*Vsa_mv_xarakt

```



```

- 0.0237682862*Vsa_mv_xarakt*Vsa_mv_xarakt +
2.9661131509*Vsa_mv_xarakt - 61.0973309863);
mu_za_mv0:= mu_za_mv1/1000;
kkd_mv:= kkd_mv_xarakt;
NMV1:=(1+mu_za_mv0)*H_mv*Vsa_mv2/(316000*kkd_mv*kkd_el_mv);
Vsa_mv_2:=(Vsa_mv1/1000)*(t00+t_xarakt001)/(t00+t_mv1);
napir1:= -0.01212297*(Vsa_mv_2)*(Vsa_mv_2)
+ 2.63622542*(Vsa_mv_2) + 1017.74509787;
NMV:= NMV_fakt1*(1+mu_za_mv0);
kkd_mv:= kkd_mv_xarakt;
end;
end;
end.

```

Додаток А.3. Модуль розрахунку аеродинамічних характеристик aerodynam.pas.

```

unit aerodynam;
interface
uses tfsgazy, Messages, Windows, SysUtils, Classes, Graphics, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Buttons, ExtCtrls, Mask, Spin, fileCtrl, Controls;
const
mu_ro2= 44.0098;
mu_N2= 28.0134;
mu_pov= 28.850334;//syhe
mu_o2= 28.0134;
mu_h2o= 18.01505;
ro_ro2= 1.96363107;
ro_N2= 1.249839383;
ro_pov= 1.287179837;
ro_pov_vol=1.279560027668900;

```

```

ro_h2o= 0.803755309;
k_vology=0.0161;
T00=273.15;
function W_fakt(var d1, Vytr, t, ro1:extended):extended;
function napir_dyn1(var d1, Vytr, ro1:extended):extended;
function opir_ps_vyschidniy(var dzita,
    mu_pyly_do, ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za, ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
function opir_ps_shbm(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za, ro_sa_za,w_sa_za,
    dzita_gorl, dzita_rozsh, dzita_zvug,
    dzita_patrub,
    D_barab, L_barab: Extended):extended;
function opir_ps_sep(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
function opir_ps_cyklon(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
function opir_ps_palnyk(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
function opir_ps_paln_skyd(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
function opir_ps_pyloprovid_sa(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za,
    D_tr, L_tr: Extended):extended;

```

```

function opir_ps_povorot(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
function opir_ps_shyber(var UPE,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
function opir_ps_triynyk(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    D_tr, L_tr: Extended):extended;
implementation
uses zmish_ddazy;
function W_fakt(var d1, Vytr, t, ro1:extended):extended;
var
    F1: Extended;
    w1: Extended;
    Vytr_fakt: Extended;
begin
    Vytr_fakt:= Vytr;
    F1:= pi*d1*d1/4;
    w1:=Vytr_fakt/(3600*F1);
    result:=W1;
end;
function napir_dyn1(var d1, Vytr, ro1:extended):extended;
var
    F1: Extended;
    w1: Extended;
begin
    F1:= pi*d1*d1/4;
    w1:=Vytr/(3600*F1);
    result:=ro1*W1*W1/(2*9.81);

```

```

end;
function opir_ps_vyschidniy(var dzita,
    mu_pyly_do, ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za, ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
begin
result:=dzita*(1+0.8*mu_pyly_do)*ro_sa_do*w_sa_do*w_sa_do/(2*9.81);
end;
function opir_ps_shbm(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za, ro_sa_za,w_sa_za,
    dzita_gorl, dzita_rozsh, dzita_zvug,
    dzita_patrub,
    D_barab, L_barab: Extended):extended;
var
dH_melnyci: Extended;
dH_patrub: Extended;
dzita_meln: extended;
begin
dzita_meln:= 2*dzita_gorl+dzita_rozsh+dzita_zvug+ dzita*L_barab/D_barab;
dH_melnyci:= dzita_meln*(1+0.8*mu_pyly_za)*ro_sa_za*w_sa_za*w_sa_za/(2*9.81);
dH_patrub:= dzita_patrub*(1+0.8*mu_pyly_do)*ro_sa_do*w_sa_do*w_sa_do/(2*9.81)+
dzita_patrub*(1+0.8*mu_pyly_za)*ro_sa_za*w_sa_za*w_sa_za/(2*9.81);
result:=dH_melnyci+dH_patrub;
end;
function opir_ps_sep(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
var
dH_sep: Extended;
begin

```

```

dH_sep:= dzita*(1+0.8*mu_pyly_za)*ro_sa_za*w_sa_za*w_sa_za/(2*9.81);
result:=dH_sep;
    end;
function opir_ps_cyklon(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
var
    dH_cyklon: Extended;
    begin
dH_cyklon:= dzita*ro_sa_za*w_sa_za*w_sa_za/(2*9.81);
result:=dH_cyklon;
    end;
function opir_ps_palnyk(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
    begin
        dzita:=1.2;
        mu_pyly_do:=0.048;
        ro_sa_do:=0.8;
        w_sa_do:=38;
        //концентрація пилю за елементом
        mu_pyly_za:=0.048;
        ro_sa_za:=0.8;
        w_sa_za:=38;
result:=dzita*(1+0.8*mu_pyly_do)*ro_sa_do*w_sa_do*w_sa_do/(2*9.81);
    end;
function opir_ps_paln_skyd(var dzita,
    mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
    mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
    begin

```

```

dzita:=1.2;
mu_pyly_do:=0.048;
ro_sa_do:=0.8;
w_sa_do:=38;
mu_pyly_za:=0.048;
ro_sa_za:=0.8;
w_sa_za:=38;
result:=dzita*(1+0.8*mu_pyly_do)*ro_sa_do*w_sa_do*w_sa_do/(2*9.81);
end;
function opir_ps_pyloprovid_sa;
var
mu_pyly_sr: Extended;
w_sa_sr: extended;
ro_sa_sr: Extended;
dH_tr: Extended;
begin
mu_pyly_sr:=(mu_pyly_do+mu_pyly_za)/2;
w_sa_sr:=(w_sa_do+w_sa_za)/2;
ro_sa_sr:=(ro_sa_do+ro_sa_za)/2;
dH_tr:= dzita*(1+2.5*mu_pyly_sr)*ro_sa_sr*w_sa_sr*w_sa_sr*L_tr/(2*9.81*D_tr);
result:=dH_tr;
end;
function opir_ps_povorot(var dzita,
mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
begin
dzita:=0.4;
mu_pyly_do:=0.59;
ro_sa_do:=0.61;
w_sa_do:=17.8;

```

```

mu_pyly_za:=0.59;
ro_sa_za:=0.61;
w_sa_za:=17.8;
result:=dzita*(1+2.5*mu_pyly_do)*ro_sa_do*w_sa_do*w_sa_do/(2*9.81);
end;
function opir_ps_shyber(var UPE,
mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za: Extended):extended;
var
dzita: extended;
begin
if UPE<28.71325945 then dzita:=-94.153829*UPE + 2903.463324 else
if UPE<50.6366624 then dzita:= -8.301631*UPE + 438.366883 else
if UPE<66.66666655 then dzita:= -0.873362*UPE + 62.224148 else
dzita:= -0.117000*UPE + 11.800000;
result:=dzita*(1+2.5*mu_pyly_do)*ro_sa_do*w_sa_do*w_sa_do/(2*9.81);
end;
function opir_ps_triynyk(var dzita,
mu_pyly_do,ro_sa_do, w_sa_do,
mu_pyly_za,ro_sa_za, w_sa_za,
D_tr, L_tr: Extended):extended;
begin
dzita:=0.4;
mu_pyly_do:=0.59;
ro_sa_do:=0.61;
w_sa_do:=17.8;
mu_pyly_za:=0.59;
ro_sa_za:=0.61;
w_sa_za:=17.8;
result:=dzita*(1+2.5*mu_pyly_do)*ro_sa_do*w_sa_do*w_sa_do/(2*9.81);

```

end;

end.

ДОДАТОК Г

Таблиця Г. 1 - Результати режимних випробувань котла ТПП - 210А при зміні коефіцієнту надлишку повітря

Найменування величин, позначення, розмірність			№ досліду							
			Двохкорпусний режим							
			1	2	3	4	5	6	7	
1			2	3	4	5	6	7	8	
Вода і пара										
1	Витрата живильної води (по приладу журнал) $D_{ж.в.}$, т/год	н. "А"	160	159	191	188	186	199	198	
		н. "Б"	163	163	189	188	186	194	195	
		корпусу "А"	331	337	395	397	396	408	431	
		корпусу "Б"	334	334	391	390	391	432	431	
		н. "В"	162	161	190	188	184	203	203	
		н. "Г"	162	160	190	187	184	205	202	
		сер.кА к.Б	333	336	393	394	394	420	431	
2	Температура живильної води (по приладу) $t_{ж.в.}$, °С		251	252	258	258	258	261	262	
3	Тиск живильної води $P_{жв}$, кгс/см ²		263	264	282	282	282	296	307	
4	Тиск води до РЖК $P'_{ржк}$, кгс/см ²	н. "А"	256	257	274	273	273	286	297	
		н. "Б"	257	257	274	274	273	287	298	
		корпусу "А"	256	257	274	274	273	286	298	
		н. "В"	257	258	275	275	274	287	298	
		н. "Г"	257	258	275	274	274	287	298	
		корпусу "Б"	257	258	275	274	274	287	298	
5	Тиск води після РЖК $P''_{ржк}$, кгс/см ²	н. "А"	237	238	259	257	257	270	281	
		н. "Б"	237	238	259	259	258	272	285	
		корпусу "А"	237	238	259	258	257	271	283	
		н. "В"	237	236	254	254	255	273	282	
		н. "Г"	235	235	257	255	253	272	280	

		корпусу "Б"	236	235		255	255	254		272	281
6	Тиск води до ВЗ Р'ВЗ , кгс/см ²	н. "А"	221	221		238	237	237		249	262
		н. "Б"	221	222		238	239	238		251	264
		корпусу "А"	221	222		238	238	238		250	263
		н. "В"	221	221		236	236	236		252	262
		н. "Г"	220	220		236	236	235		251	261
		корпусу "Б"	220	220		236	236	236		251	262
7	Дійсна витрата живильної води D _{ж.в.} , т/год	корпусу "А"	334	340		396	398	397		408	432
		корпусу "Б"	337	337		393	392	392		433	432
8	Витрата перегрітої пари (по приладу) D _{пе} , т/год	н. "А"	194	199		231	232	231		229	232
		н. "Б"	177	180		198	199	198		197	206
		н. "В"	194	193		227	227	228		240	231
		н. "Г"	187	186		203	202	202		216	211

9	Температура перегрітої пари t _{пе} , °С	н. "А"	544	544		544	544	543		543	544
		н. "Б"	548	548		548	548	547		547	547
		корпусу "А"	546	546		546	546	545		545	546
		н. "В"	543	541		541	542	542		541	543
		н. "Г"	548	547		547	547	547		547	548
		корпусу "Б"	545	544		544	544	545		544	545
10	Тиск перегрітої пари (по приладу) P _{пе} , кгс/см ²	корпусу "А"	208	208		221	221	221		233	246
		корпусу "Б"	208	209		221	221	221		234	247
11	Витрата пари промперегріву (по приладу) D _{ппе} , т/год	корпусу "А"	378	386		405	407	409		418	431
		корпусу "Б"	-	-		-	-	-		-	-
12	Температура холодного промперегріву, t' _{ппе} , °С	корпус "А"	281	282		281	281	282		282	279

		корпус "Б"	277	279	276	276	277	278	276	
		Середня	279	281	279	279	279	280	278	
13	Тиск холодного промперегріву $P'_{\text{пге}}$, кгс/см ²	корпус "А"	25	26	28	28	28	31	31	
		корпус "Б"	25	25	27	27	28	30	31	
		Середній	25	26	28	28	28	30	31	
14	Температура промперегріву за котлом $t''_{\text{пге}}$, °С	н. "А"	543	547	544	546	545	545	546	
		н. "Б"	540	544	544	546	545	544	547	
		корпусу "А"	542	545	544	546	545	545	547	
		н. "В"	545	543	545	546	546	547	547	
		н. "Г"	547	543	545	547	545	545	545	544
15	Тиск промперегріву за котлом $P''_{\text{пге}}$, кгс/см ²	корпусу "Б"	546	543	545	547	545	546	546	
		н. "А"	23	24	26	26	26	28	29	
		н. "Б"	23	24	26	26	26	29	29	
		н. "В"	23	24	26	26	26	29	29	
		н. "Г"	23	24	26	26	26	28	29	
16	Температура середовища t , °С	за ВЕ	Середній	23	24	26	26	26	29	29
			н. "А"	293	295	296	297	298	298	302
			н. "Б"	290	293	294	295	296	297	301
			корпусу "А"	291	294	295	296	297	297	302
			н. "В"	295	295	296	298	299	300	302
			н. "Г"	294	295	297	298	299	300	302
			корпусу "Б"	295	295	297	298	299	300	302
		Середня	293	295	296	297	298	299	302	
		до бокової панелі НРЧ	н. "А"	377	377	379	379	379	382	381
			н. "Б"	379	380	386	386	386	390	392
			корпусу "А"	378	379	382	382	382	386	386
			н. "В"	377	374	379	378	380	385	386

			н. "Г"	379	379		385	384	383		389	390
			корпусу "Б"	378	377		382	381	382		387	388
			Середня	378	378		382	382	382		386	387

16	Температура середовища t, °С	за боковою панеллю НРЧ	н. "А"	379	379		386	385	385		389	390
			н. "Б"	381	381		388	389	389		394	398
			корпусу "А"	380	380		387	387	387		391	394
			н. "В"	380	380		386	386	386		392	394
			н. "Г"	380	380		388	388	387		394	395
			корпусу "Б"	380	380		387	387	387		393	395
			Середня	380	380		387	387	387		392	394
		за ВРЧ	н. "А"	429	429		434	426	424		431	431
			н. "Б"	436	440		440	450	445		454	466
			корпусу "А"	432	434		437	438	435		443	448
			н. "В"	441	431		427	432	439		451	450
			н. "Г"	421	421		451	442	434		449	441
			корпусу "Б"	431	426		439	437	436		450	446
			Середня	432	430		438	438	435		447	447
		за стельовим екраном	н. "А"	460	459		466	457	454		462	461
			н. "Б"	462	465		469	480	478		481	497
			корпусу "А"	461	462		468	469	466		472	479
			н. "В"	474	466		450	459	466		472	480
			н. "Г"	454	465		488	479	466		482	474
			корпусу "Б"	464	466		469	469	466		477	477
			Середня	463	464		468	469	466		474	478
		за пусковим вприском	н. "А"	544	544		544	544	543		543	544
			н. "Б"	541	541		542	541	541		541	541

			корпусу "А"	543	543	543	542	542	542	542	543
			н. "В"	543	541	541	542	542	541	543	
			н. "Г"	548	547	547	547	547	547	548	
			корпусу "Б"	545	544	544	544	545	544	545	
			Середня	544	543	543	543	543	543	544	
		до II впр.	н. "А"	459	458	465	456	454	461	461	
			н. "Б"	462	466	469	481	478	482	497	
			корпусу "А"	461	462	467	468	466	472	479	
			н. "В"	481	474	457	466	473	489	487	
			н. "Г"	453	453	489	479	467	485	474	
			корпусу "Б"	467	463	473	472	470	487	480	
			Середня	464	463	470	470	468	479	480	
		за II впр.	н. "А"	416	413	422	418	417	430	433	
			н. "Б"	421	419	424	428	429	433	439	
			корпусу "А"	418	416	423	423	423	431	436	
			н. "В"	431	430	426	431	435	445	445	
			н. "Г"	414	410	424	421	422	429	431	
			корпусу "Б"	423	420	425	426	428	437	438	
			Середня	420	418	424	424	426	434	437	

16	Температура середовища t , °C	до III впр.	н. "А"	519	522	520	520	520	514	520
			н. "Б"	520	522	521	520	520	521	521
			корпусу "А"	520	522	520	520	520	518	521
			н. "В"	521	516	517	521	520	527	521
			н. "Г"	515	517	521	520	521	520	522
			корпусу "Б"	518	516	519	520	521	524	521
			Середня	519	519	519	520	520	521	521

		за III впр.	н. "А"	513	510	515	511	510	511	508
			н. "Б"	513	510	516	515	514	511	509
			корпусу "А"	513	510	515	513	512	511	508
			н. "В"	506	504	507	507	505	506	506
			н. "Г"	501	500	509	507	503	506	504
			корпусу "Б"	503	502	508	507	504	506	505
			Середня	508	506	511	510	508	509	507
17	Вказівник положення регулюючого трьохходового клапану температури промперегріву НА ПШТО, %	корпусу "А"	н. "А"	79	48	53	43	42	52	26
			н. "Б"	102	95	102	86	86	87	65
		корпусу "Б"	н. "В"	60	62	66	62	48	53	47
			н. "Г"	58	55	63	59	51	57	49
18	Теплопродуктивність котла $Q_{брк}^{\text{бр}}$, Гкал/год	корпус "А"		223,2	227,3	260,9	262,3	261,1	266,1	280,5
		корпус "Б"		226,3	224,8	258,9	258,5	258,2	282,5	280,8
Повітря і димові гази										
19	Барометричний тиск, мм.рт.ст.			743,0	743,0	752,0	752,0	752,0	753,0	753,0
20	Температура повітря $t_{\text{пов.}}$, °С	Зовнішнього		5,0	3,0	-9,0	-10,0	-10,0	-6,0	-7,0
		до РПП	"А"	18,1	18,6	7,0	9,2	6,9	10,6	13,0
			"Б"	12,6	13,0	0,1	3,2	-0,6	4,5	6,2
			сер А, Б	15,4	15,8	3,5	6,2	3,1	7,5	9,6
			"В"	4,1	5,0	5,8	4,8	3,2	6,0	6,0
			"Г"	10,2	9,8	0,4	-0,4	-0,3	0,4	1,1
сер В, Г	7,1	7,4	3,1	2,2	1,4	3,2	3,6			
21	Температура повітря $t_{\text{пов.}}$, °С	за РПП	"А"	363,8	366,0	369,5	371,1	371,0	373,7	382,6
			"Б"	366,9	369,3	370,3	373,8	373,5	379,6	387,3
			сер А, Б	365,4	367,7	369,9	372,4	372,3	376,6	385,0
			"В"	366,9	367,7	382,9	383,9	384,0	391,5	396,0
			"Г"	365,8	365,9	373,3	373,4	374,7	379,0	383,8

			сер В, Г	366,3	366,8		378,1	378,7	379,4		385,2	389,9
			середня А,Б,В,Г	365,9	367,2		374,0	375,5	375,8		380,9	387,4
			перед КБМ-А	339,5	336,0		330,3	334,2	333,1		341,0	345,4
			перед КБМ-Б	337,3	340,1		341,4	345,5	342,1		345,0	348,5
			перед КБМ-В	348,0	347,5		355,1	355,6	356,1		355,4	355,6
			Середня	341,6	341,2		342,2	345,1	343,8		347,2	349,8

22	Тиск повітря , кгс/м ²	за ДВ (штатний)	корпус "А"	109	132		152	172	181		144	226
			корпус "Б"	127	134		119	132	152		131	158
			Середній	118	133		135	152	167		137	192
		за ДВ (експер.)	корпус "А"	102	129		138	157	157		125	213
			корпус "Б"	120	137		110	122	140		120	151
			Середній	111	133		124	140	149		123	182
		за РПП (штатний)	корпус "А"	32	39		51	61	67		42	79
			корпус "Б"	40	44		32	39	51		31	47
			Середній	36	42		42	50	59		37	63
		перед РПП (експер.)	корпус "А"	95	117		134	149	160		126	193
			корпус "Б"	113	121		103	115	134		114	140
			Середній	104	119		118	132	147		120	166
		за РПП (експер.)	корпус "А"	33	43		54	66	75		44	84
			корпус "Б"	40	44		30	39	54		35	53
			Середній	36	43		42	52	64		39	68
		перепад на РПП	корпус "А"	63	74		80	84	85		82	109
			корпус "Б"	74	78		73	77	81		79	87
			Середній	68	76		76	80	83		81	98

23	Температура аеросуміші $t_{\text{аер}}$, °С	за ВГД (штатний)	корпус "А"		65	82	102	106	109	100	115	
			корпус "Б"		68	68	91	95	98	95	103	
			Середній		66	75	96	100	104	98	109	
		на аерацію	корпус "А"		0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	1	1	
			корпус "Б"		0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	1	1	
			Середній		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1	1	
		вторинного	корпус "А"	пальник 1		6	28	39	47	52	31	64
				пальник 2		13	20	29	35	39	20	41
				пальник 3		14	24	34	42	46	22	48
				пальник 4		14	27	35	42	47	26	54
				пальник 5		16	25	33	40	45	25	54
				пальник 6		19	31	40	49	54	33	66
	корпус "Б"		пальник 1		15	19	17	23	33	14	27	
			пальник 2		1	2	11	16	25	9	20	
			пальник 3		25	28	19	25	36	19	34	
			пальник 4		28	32	22	28	38	17	31	
			пальник 5		25	28	18	24	32	14	24	
			пальник 6		25	29	20	25	35	16	29	
	за КБМ	"А"		110,8	11,2	109,6	109,0	110,1	111,2	109,5		
		"Б"		109,2	113,6	110,8	109,3	109,7	110,7	109,7		
		"В"		109,4	106,9	111,7	108,7	110,3	110,5	109,4		
		Середня		109,8	110,6	110,7	109,0	110,0	110,8	109,5		

24	Температура аеросуміші $t_{\text{аер}}$, °С	перед пальниками к. А	пальник 1		206,5	212,0	228,3	217,5	235,0	230,9	210,5
			пальник 2		215,0	214,8	245,5	252,1	233,2	239,1	239,8
			пальник 3		219,8	222,6	212,3	219,0	221,8	224,3	226,1

			пальник 4	208,3	214,0		206,7	211,2	222,6		210,2	219,1	
			пальник 5	248,2	253,0		217,0	225,8	221,6		207,8	217,2	
			пальник 6	226,3	230,2		221,7	224,1	224,1		218,2	223,6	
		перед пальниками к. Б	пальник 1	234,8	242,9		243,8	244,1	250,1		226,7	243,9	
			пальник 2	229,0	236,4		246,9	250,8	250,1		245,5	246,0	
			пальник 3	228,5	239,1		241,2	245,8	240,8		231,3	230,3	
			пальник 4	242,4	234,1		238,5	237,7	241,9		236,3	237,6	
			пальник 5	236,2	243,7		234,5	238,1	240,2		232,8	233,3	
			пальник 6	232,2	240,7		229,6	232,1	230,2		247,0	248,0	
25	Температура димових газів $T_{д.г.}$, °С:		$T_{пк}$ корпус "А"	зліва (нитка А)	815,8	829,5		888,3	897,0	901,6		889,2	914,0
				справа (нитка Б)	823,6	841,3		879,9	876,5	873,5		908,4	920,4
		Середня		819,7	835,4		884,1	886,8	887,6		898,8	917,2	
		$T_{пк}$ корпус "Б"	зліва (нитка В)	868,4	854,5		900,8	900,0	893,3		926,7	921,3	
			справа (нитка Г)	880,9	895,9		880,2	894,0	901,5		912,3	920,8	
			Середня	874,6	875,2		890,5	897,0	897,4		919,5	921,1	
		за КПП	н.А зліва	710,2	723,8		760,9	771,0	777,5		766,9	792,1	
			н.Б справа	732,5	749,0		766,4	773,6	775,4		790,6	808,3	
			Середня	721,4	736,4		763,6	772,3	776,4		778,8	800,2	
			н.В зліва	803,5	806,0		830,5	835,2	840,6		859,7	862,7	
			н.Г справа	806,0	813,0		811,6	821,7	826,9		837,0	838,2	
			Середня	804,7	809,5		821,1	828,4	833,8		848,3	850,5	
		за пром. перегрівником	н.А зліва	558,8	567,5		572,3	576,4	575,5		575,7	582,0	
			н.Б справа	570,3	578,5		590,2	594,2	595,1		594,1	603,4	
			Середня	564,6	573,0		581,2	585,3	585,3		584,9	592,7	
			н.В зліва	568,6	572,1		579,1	581,0	580,7		593,2	594,2	

			н.Г справа	595,3	596,4		599,3	601,2	601,9		602,7	599,9
			Середня	582,0	584,2		589,2	591,1	591,3		597,9	597,0
		відсмокту з льоток	корпусу "А"	326,5	311,5		308,5	321,0	299,5		405,0	470,2
			корпусу "Б"	251,0	235,9		235,1	225,3	247,1		278,1	294,5
			за РПП-А	162,8	160,2		154,2	150,8	150,5		158,8	148,8
			за РПП-Б	167,5	163,7		154,8	153,7	148,7		163,1	151,4
			середня А,Б	165,2	162,0		154,5	152,2	149,6		161,0	150,1
			за РПП-В	158,6	156,0		175,2	169,9	166,8		180,4	184,0
			за РПП-Г	168,5	165,8		175,4	170,3	168,7		179,6	184,2
			середня В,Г	163,6	160,9		175,3	170,1	167,7		180,0	184,1
			за ДС-А (штатна)	148,3	147,9		140,9	140,8	140,0		146,5	140,0
			за ДС-А (експер.)	146,4	146,5		139,2	138,9	138,0		144,0	137,2
			за ДС-Б (штатна)	143,4	138,5		146,2	141,0	142,0		151,0	155,1
			за ДС-Б (експер.)	141,6	138,9		143,9	141,3	141,5		150,0	154,6

26	Розрідження вверху паливні $S'_{\text{пал.}}$, кгс/м ²		корпус "А"	3,7	3,6		2,6	3,1	3,1		-3,3	-4,1
			корпус "Б"	2,1	1,6		1,6	1,5	2,4		-2,1	-1,6
27	Розрідження, кгс/м ²	за РПП, $S'_{\text{РПП}}$ (штатний)	нитка "А"	158	176		185	195	198		190	221
			нитка "Б"	164	183		193	202	206		197	221
			корпус "А"	161	179		189	198	202		194	221
			нитка "В"	173	176		185	190	200		207	221
			нитка "Г"	175	178		188	193	204		209	222
			корпус "Б"	174	177		186	191	202		208	222
			Середнє	168	178		188	195	202		201	221
		до РПП, $S'_{\text{РПП}}$ (експериментальний)	нитка "А"	67	75		78	79	82		79	95
			нитка "Б"	73	81		82	88	90		87	105
			корпус "А"	70	78		80	84	86		83	100

			нитка "В"	80	80	85	85	93	95	100	
			нитка "Г"	83	85	87	91	96	101	107	
			корпус "Б"	82	83	86	88	95	98	104	
			Середнє	76	80	83	86	90	91	102	
		за РПП S"рпп (експериментальний)	нитка "А"	158	182	183	191	197	193	233	
			нитка "Б"	160	180	184	193	196	191	230	
			корпус "А"	159	181	184	192	197	192	232	
			нитка "В"	180	184	190	197	205	212	235	
			нитка "Г"	177	178	186	194	203	211	230	
			корпус "Б"	179	181	188	196	204	212	233	
			Середнє	169	181	186	194	200	202	232	
		перепад на РПП	корпус "А"	89	103	104	109	111	109	132	
			корпус "Б"	97	99	102	108	110	114	129	
		до димосмоку S'дс (експериментальний)	корпус "А"	185	213	210	230	236	220	270	
			корпус "Б"	208	218	220	228	242	243	267	
			Середнє	197	216	215	229	239	232	269	
		за димосмоком S"дс (експериментальний)	корпус "А"	58	65	59	60	66	67	90	
			корпус "Б"	36	34	31	27	33	35	34	
			Середнє	47	50	45	44	50	51	62	
		28	Перепад димових газів на РПП DSрпп, кгс/м ²	нитка "А"	91	107	105	112	115	114	138
				нитка "Б"	87	99	102	105	106	104	125
корпус "А"	89			103	104	109	111	109	132		
нитка "В"	100			104	105	112	112	117	135		
нитка "Г"	94			93	99	103	107	110	123		
корпус "Б"	97			99	102	108	110	114	129		
29	Вміст O ₂ в димових газах (режимний переріз) корпус "А", (штатний)	Зліва	2,30	2,61	-	3,14	2,23	-	2,38		
		Справа	2,83	3,55	2,10	2,55	2,86	-	3,04		

30	Вміст O ₂ в димових газах (режимний переріз) корпус "Б", (штатний)	Зліва	3,10	3,41		2,31	2,78	3,45		2,19	2,80
		Справа	4,46	4,79		3,16	3,37	4,03		2,95	3,27

31	Вміст в димових газах (режимний переріз) корпус А	зліва	O ₂ , %	3,16	4,19		2,98	3,18	4,26		2,59	3,80
			CO, ппм	2,0	0,0		20,0	0,0	0,0		0,0	0,0
			CO, мг/м ³	2,5	0,0		25,0	0,0	0,0		0,0	0,0
			NO _x , ппм	802,0	862,0		1035,0	1135,0	1216,0		1068,0	1232,0
			NO _x прив. мг/м ³	1384,1	1578,8		1768,3	1960,9	2236,4		1786,0	2205,2
			SO ₂ , ппм	1536,0	1400,0		1959,0	1260,0	1297,0		435,0	1370,0
			SO ₂ прив. мг/м ³	3690,9	3570,2		4660,3	3031,1	3321,4		1012,9	3414,5
31	Вміст в димових газах (режимний переріз) корпус А	справа	O ₂ , %	3,66	4,47		2,64	3,24	3,50		2,29	3,86
			CO, ппм	3,0	0,0		21,0	1,0	0,0		0,0	0,0
			CO, мг/м ³	3,8	0,0		26,3	1,3	0,0		0,0	0,0
			NO _x , ппм	913,0	873,0		1098,0	1169,0	1253,0		1157,0	1364,0
			NO _x прив. мг/м ³	1621,0	1626,0		1841,2	2026,5	2204,4		1903,9	2450,1
			SO ₂ , ппм	1653,0	1529,0		1777,0	1369,0	1461,0		525,0	1544,0
			SO ₂ прив. мг/м ³	4086,6	3965,3		4227,4	3293,3	3741,4		1202,9	3861,7
32	Вміст в димових газах (режимний переріз) корпус Б	зліва	O ₂ , %	4,38	6,47		3,88	4,72	5,34		4,01	4,39
			CO, ппм	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
			CO, мг/м ³	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
			NO _x , ппм	952,0	941,0		989,0	1051,0	1140,0		1054,0	1191,0

			NO _x ^{прив.} мг/м ³	1763,5	1993,9	1778,6	1987,6	2241,2	1909,9	2207,6
			SO ₂ ,ппм	1407,0	1400,0	1583,0	1384,0	1334,0	823,0	1522,0
			SO ₂ ^{прив.} мг/м ³	3629,1	4130,5	3963,8	3644,3	3651,8	2076,6	3928,1
		справа	O ₂ , %	3,80	5,79	3,95	4,00	4,36	3,95	3,59
			CO,ппм	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			CO,мг/м ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			NO _x , ппм	879,0	892,0	952,0	1015,0	1142,0	980,0	995,0
			NO _x ^{прив.} мг/м ³	1573,4	1805,6	1719,0	1838,2	2112,9	1769,6	1759,5
			SO ₂ ,ппм	1395,0	1338,0	1720,0	1688,0	1565,0	752,0	1430,0
			SO ₂ ^{прив.} мг/м ³	3476,8	3771,1	4324,6	4256,6	4031,8	1890,7	3521,1
33	Вміст в димових газах (балансовий переріз)корпус "А"	O ₂ , %	8,4	8,8	7,8	7,9	8,2	7,6	8,2	
		CO,ппм	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		CO,мг/м ³	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		NO _x , ппм	604	646	751	766	904	815	943	
		NO _x ^{прив.} мг/м ³	1470	1625	1749	1805	2166	1867	2270	
		SO ₂ ,ппм	1476	1473	1454	1333	1351	1226	1409	
		SO ₂ ^{прив.} мг/м ³	5002	5159	4715	4372	4507	3910	4723	
34	Вміст в димових газах (балансовий переріз)корпус "Б"	O ₂ , %			8,70	9,70		8,53	8,59	
		CO,ппм			0,0	0,00		0,0	0,0	
		CO,мг/м ³			0,0	0,00		0,0	0,0	
		NO _x , ппм			657	657		703	739	
		NO _x ^{прив.} мг/м ³			1645	1790		1736	1834	
		SO ₂ ,ппм			1270	1343		1341	1322	

			SO ₂ ^{прив.} .мг/м3	4426	5095		4610	4567
35	Коефіцієнт надлишку повітря корпус "А" α , [-]	реж.січ.	Зліва	1,18	1,25		1,17	1,18
			Справа	1,21	1,27		1,14	1,18
			сер. к "А"	1,19	1,26		1,15	1,18
		бал. січ.	к "А"	1,66	1,72		1,59	1,61
36	Коефіцієнт надлишку повітря корпус "Б" α , [-]	реж.січ.	Зліва	1,26	1,45		1,23	1,29
			Справа	1,22	1,38		1,23	1,24
			сер. "Б"	1,24	1,41		1,23	1,26
		бал. січ.	к."Б"	1,71	1,86		1,68	1,69
37	Присмокти повітря на ділянках корпусу "А"	між РП – БП		0,47	0,46		0,43	0,43
		між РП - за ВЕ		0,07	0,07		0,07	0,07
		за ВЕ - за РПП		0,18	0,18		0,17	0,17
		до РПП -за РПП		0,11	0,11		0,11	0,10
		за РПП-за ДС		0,10	0,10		0,09	0,09
38	Присмокти повітря на ділянках корпусу "Б"	між РП – БП		0,47	0,45		0,45	0,43
		між РП - за ВЕ		0,07	0,07		0,07	0,07
		за ВЕ - за РПП		0,18	0,17		0,18	0,17
		до РПП -за РПП		0,11	0,11		0,11	0,10
		за РПП-за ДС		0,10	0,09		0,10	0,09
Паливо								
39	Вказівник положення регулятора розрідження млина, ВП _{РРМ} , %		КБМ-А	61,0	48,67		37,9	39,3
			КБМ-Б	37,3	44,48		37,6	41,4
			КБМ-В	0,0	0,00		0,0	0,0
40	Якість	волога робоча, W ^p , %		8,3	7,80		7,3	7,2
		зольність робоча A ^p , %		26,9	27,70		26,1	27,5
		вміст сірки, S ^p , %		2,0	1,93		2,0	1,9

	твердого палива корпус "А"	вихід летких $V^{\Gamma}_{л}, \%$	15,0	15,10		14,3	13,0
		нижча теплота згорання робоча, $Q^p_{н}, \text{ккал/кг}$	5008,0	5003,0		5126,0	5059,0
		волога приведена $W^п, \%$ кг $10^3/\text{ккал}$	1,7	1,56		1,4	1,4
		зольність приведена, $A^п, \%$ кг $10^3/\text{ккал}$	5,4	5,54		5,1	5,4
41	Якість твердого палива корпус "Б"	волога робоча, $W^p, \%$	8,3	7,80		7,3	7,2
		зольність робоча $A^p, \%$	26,6	26,90		26,5	26,7
		вміст сірки, $S^p, \%$	2,0	1,94		2,0	2,0
		вихід летких $V^{\Gamma}_{л}, \%$	14,9	14,90		14,0	14,3
		нижча теплота згорання робоча, $Q^p_{н}, \text{ккал/кг}$	5034,0	5050,0		5123,0	5013,0
		волога приведена $W^п, \%$ кг $10^3/\text{ккал}$	1,6	1,54		1,4	1,4
		зольність приведена, $A^п, \%$ кг $10^3/\text{ккал}$	5,3	5,33		5,2	5,3
42	Витрата твердого палива $V_{тп}, \text{кг/год}$	корпус "А"	51281	52077		59012	59983
		корпус "Б"	50593	50345		58182	59262
		Сумарна	101875	102422		117194	119245
43	Кульове завантаження млинів $G_{шбм}, \text{т}$	КБМ-А	93,0	93,00		93,0	93,0
		КБМ-Б	93,0	93,00		93,0	93,0
		КБМ-В	93,0	93,00		93,0	93,0

44	Рівень пилу в бункері $H_{бунк}, \text{м}$	Зліва	4,2	5,09		4,1	4,3
		Справа	3,5	4,59		3,7	3,7
45	Температура аеросуміші перед пальниками корпусу А $t_{аер}, \text{°C}$	1	206	212		228	217
		2	215	215		245	252
		3	220	223		212	219
		4	208	214		207	211
		5	248	253		217	226
		6	226	230		222	224
		сер.	221	224		222	225

46	Температура аеросуміші перед пальниками корпусу Б $t_{\text{аер.}}$, °С	1	235	243		244	244
		2	229	236		247	251
		3	228	239		241	246
		4	242	234		238	238
		5	236	244		235	238
		6	232	241		230	232
		сер.	234	239		239	241
47	Тонина помелу пилу по залишку на ситі R_{90} , %	корпус "А"	8,4	8,20		6,8	9,0
		корпус "Б"	8,1	8,70		9,0	7,5
48	Вологість пилу (аналітична), W^a , %	корпус "А"	0,2	0,50		0,7	0,4
		корпус "Б"	0,2	0,40		0,6	0,4
49	Вміст горючих у виносі C_r , %	нитка "А"	12,0	10,00		15,0	13,0
		нитка "Б"	9,0	7,00		12,0	11,0
		сер к "А"	10,5	8,50		13,5	12,0
		нитка "В"	4,0	4,00		10,0	9,0
		нитка "Г"	9,0	7,00		10,0	10,0
		сер к "Б"	6,5	5,50		10,0	9,5
50	Втрати при прокалюванні жужелі ВПП, %	корпус "А"	0,1	0,10		0,0	0,0
		корпус "Б"	0,0	0,00		0,0	0,0
		Середня	0,1	0,05		0,0	0,0
Корпус "А"							
51		К	3,5	3,53		3,5	3,5
52		С	0,4	0,38		0,4	0,4
53		В	0,1	0,14		0,1	0,1
54		At	1,0	0,98		1,0	1,0
55		KQ	1,0	1,00		1,0	1,0
56	Втрати тепла		з відхідними газами q_2 , %			7,77	7,92

		з хімнодопалом q_3 , %	0,0	0,00		0,00	0,00
		з мехнедопалом q_4 , %	4,2	3,42		5,27	4,91
		в наволишне середовище q_5 , %	0,5	0,49		0,42	0,42
		з фізичним теплом шлаку q_6 , %	0,3	0,31		0,29	0,31
57		ККД котла бруто $\eta_{бр.к}^{\%}$ корпус "А"	86,9	87,26		86,25	86,44

Корпус "Б"							
58		К	3,533	3,531		3,528	3,529
59		С	0,386	0,382		0,377	0,377
60		В	0,140	0,140		0,140	0,140
61		At	0,981	0,980		0,982	0,981
62		KQ	0,9998	0,9998		0,9998	0,9998
63	Втрати тепла	з відхідними газами q_2 , %	7,9	8,7		8,62	8,56
		з хімнодопалом q_3 , %	0,0	0,0		0,00	0,00
		з мехнедопалом q_4 , %	2,4	2,1		3,81	3,71
		в наволишне середовище q_5 , %	0,5	0,5		0,42	0,42
		з фізичним теплом шлаку q_6 , %	0,3	0,3		0,29	0,30
64		ККД котла бруто $\eta_{бр.к}^{\%}$ корпус "А"	88,8	88,4		86,85	87,00

Навантаження електродвигунів

65	Сила струму електродвигунів, А	ДВ-А	40	41		43	44
		ДВ-Б	39	40		40	41
		ДС-А	131	139		145	152
		ДС-Б	150	151		160	165
		ВГД-А	19	19		20	21
		ВГД-Б	19	19		20	21
		КБМ-А	136	133		135	135
		КБМ-Б	165	163		164	156

КБМ-В	130	129	129	127
МВ-А	44	45	42	43
МВ-Б	48	54	49	49
МВ-В	45	46	47	47

