

тет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: [sjavva@mail.ru](mailto:sjavva@mail.ru).

**Поводзинський Вадим Миколайович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: [vpovodzinskiy@mail.ru](mailto:vpovodzinskiy@mail.ru).

**Шибецький Владислав Юрьевич**, асистент, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

**Поводзинський Вадим Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

**Shybetskiy Vladislav**, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: [sjavva@mail.ru](mailto:sjavva@mail.ru).

**Povodzinskiy Vadym**, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: [vpovodzinskiy@mail.ru](mailto:vpovodzinskiy@mail.ru).

УДК 621.311

Мисак С. Й.

## РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЛІНІВ ПИЛОСИСТЕМ КОТЛІВ

В роботі представлено апробовані та впроваджені у виробництво на теплових електричних станціях (ТЕС) нові методи визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів пилосистем пилувугільних енергоблоків потужністю 150–200, 300 МВт, що експлуатуються на теплових електростанціях України. Методи можуть бути використані в пилосистемах з промбункером та з прямою подачею вугільного пилу в паливню котла.

**Ключові слова:** котел, кульовий млин, пилосистема, продуктивність млина, методи визначення продуктивності млина.

### 1. Вступ

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

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

Ефективність його спалювання залежить від якості підготовленого вугільного пилу в кульових вентиляваних 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, яке 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.

Недолік цього методу — 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 роботи полягає в розробленні нових достатньо ефективних методів визначення продуктивності кульових вентиляваних млинів, які не потребують втручання додаткового персоналу та фізичної праці.

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

### 2. Аналіз літературних даних

Вугільні електростанції є базовою складовою енергетики України і займають основне місце з виробництва електроенергії [1–4]. Сьогодні встановлена потужність теплових електростанцій (ТЕС) в Україні складає 27,2 млн. кВт, з них вугільних ТЕС 21,8 млн. кВт, або більше 40 % всієї потужності об'єднаної енергосистеми України (ОЕС). У відповідності до планів розвитку енергетики України до 2030 року основою потужності ОЕС будуть ТЕС, що працюють на вугіллі власного видобутку.

Одним із важливих чинників в подачі вугілля до спалювання в паливнях котлів є його підготовка, яка відбувається в системах пилоприготування з розмелом його в кульових вентиляваних млинах [5], в подальшому млинів.

Окрім традиційного (факельного) спалювання вугілля широкого розвитку набирають інші способи, більш ефективні і екологічно чисті, наприклад, газифікація вугілля з різними технологічними схемами.

За технологією отримання продуктів переробки чисті вугільні технології [6–8] діляться на:

- технології попередньої підготовки вугілля;
- технології газифікації вугілля;
- технології переробки продуктів, що утворились під час термохімічної переробки палива.

Серед ефективних та екологічно-чистих технологій переробки вугілля особливе місце займає технологія спалювання вугілля в різних модифікаціях в тому числі в киплячому шарі [9–12].

Однак у всіх варіантах підготовки палива до спалювання потрібно проводити його розмелювання, яке відбувається у кульових вентильованих млинах, від якості роботи яких залежить економічність ТЕС. Для визначення ефективності роботи кульових вентильованих млинів потрібно знайти його продуктивність, яка визначалась за відомим методом шляхом відбору проб вугілля з ділянки живильника сирого вугілля, що вимагає значних фізичних трудовитрат та додаткового залучення спеціалістів налагоджувальних цехів ТЕС [5, 13–15].

Враховуючи це такі операції проводяться тільки в період налагодження устаткування ТЕС.

Для підвищення ефективності роботи кульових вентильованих млинів ТЕС в статті представлені нові методи визначення їх продуктивності, достатньо ефективні та впроваджені на деяких пиловугільних ТЕС [13–15].

### 3. Постановка задачі

Метою дослідження є розроблення нових ефективних методів визначення продуктивності кульових вентильованих млинів пиловугільних котлів потужних енергоблоків ТЕС. Впровадити методи в виробництво, що дозволить зменшити трудовитрати персоналу порівняно з існуючим методом визначення продуктивності млинів, а відповідно підвищити їх ефективність роботи.

### 4. Результати досліджень кульових вентильованих млинів пиლოსистем вугільних котельних установок

Як було відмічено за відомим методом визначення продуктивності кульового вентильованого 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 [5]. Основним недоліком цього методу є значна трудомісткість, пов'язаних з відбором проб вугілля. У відповідності з методикою [5] потрібно повторити експеримент декілька разів для отримання достовірності результатів.

Враховуючи це визначення продуктивності кульових вентильованих млинів в експлуатаційних умовах практично не виконують. Як правило таку процедуру виконують при налагоджуванні котельного агрегату (режимні або балансові дослідження).

Для спрощення процедури підвищення ефективності роботи, а відповідно економічності, запропоновано нові методи визначення продуктивності млинів.

**4.1. Метод визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу в котельну установку з використанням резервного палива.** Для реалізації запропонованого методу в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу в котельну установку (без промбункера) проводиться заміна вугільного пилу на рівнозначну величину, наприклад, природного газу або мазуту [13]. При цьому кількість теплоти при згоранні природного газу або мазуту повинна бути рівнозначної кількості

теплоти при згоранні вугілля до призупинення роботи млина, тобто  $G_{ПК} = \text{const}$ .

Наприклад, незмінність парового навантаження  $G_{ПК} = \text{const}$  котельної установки (електричної потужності енергоблоку) досягається подачею компенсуючого природного газу, кількість якого визначається стаціонарним витратоміром. Визначаємо продуктивність млина  $B_M$  за рівнянням:

$$\frac{B_M \cdot Q_{н(вуг)}^p}{\eta_{ка}} = \frac{\Delta G \cdot Q_{н(газ)}^p}{\eta_{ка}},$$

де  $\eta_{ка}$  — коефіцієнт корисної дії котельної установки, приймається без змін.

За таким способом продуктивність млина визначають за формулою:

$$B_M = \Delta G \frac{Q_{н(газ)}^p}{Q_{н(вуг)}^p}, \quad (1)$$

де  $B_M$  — продуктивність млина, кг/год;  $\Delta G$  — кількість природного газу, що подається в паливню котла,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $Q_{н(газ)}^p$  — нижня теплота згорання природного газу,  $\text{ккал}/\text{м}^3$ ;  $Q_{н(вуг)}^p$  — нижня теплота згорання вугілля,  $\text{ккал}/\text{кг}$ .

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

Аналогічні вимірювання та розрахунки проводимо при використанні мазуту як резервного палива.

**4.2. Метод визначення продуктивності млина в схемах з прямим вдуванням вугільного пилу в котельну установку без використання резервного палива.** У випадку, коли немає резервного палива або його економії (природного газу або мазуту), продуктивність млина визначається за наступним методом [14].

Проводять зупинку одного досліджуваного млина при незмінному початковому завантаженні всіх інших працюючих млинів, і режим роботи решти працюючих пиლოსистем залишається без змін. При цьому парове навантаження (паропроductивність) котельної установки зменшиться на величину  $\Delta G_{п}$  при незмінній ентальпії пари за котельною установкою  $i_{п}$  та коефіцієнту її корисної дії котла  $\eta_{ка}$ . Тоді продуктивність зупиненого млина визначаємо за формулою:

$$B_{вуг} = \frac{\Delta G_{п} \cdot (i_{п} - i_{ж.в})}{\eta_{ка} \cdot Q_{н(вуг)}^p}, \quad (2)$$

де  $B_{вуг}$  — продуктивність млина  $\text{кг}/\text{год}$ ;  $i_{п}$  — ентальпія пари за котельною установкою,  $\text{ккал}/\text{кг}$ ;  $i_{ж.в}$  — ентальпія живильної води на вході в котельну установку,  $\text{ккал}/\text{кг}$ ;  $\Delta G_{п}$  — зменшення паропроductивності котельної установки  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $Q_{н(вуг)}^p$  — нижня теплота згорання вугілля,  $\text{ккал}/\text{кг}$ ;  $\eta_{ка}$  — коефіцієнт корисної дії котельної установки.

При цьому теплота згорання вугілля визначається в хімічній лабораторії об'єкта теплоенергетики (електростанції), ентальпія  $i_{п}$  та  $i_{ж.в}$  визначають за тиском і температурою по  $i$ - $S$  діаграмі пари або з таблиць,  $\eta_{ка}$  — визначають за результатами балансових досліджень котельної установки, або з теплового розрахунку котла.

**4.3. Метод визначення продуктивності млина котельної установки з промбункером.** У випадку, коли потрібно визначити продуктивність млина, який неможна зупинити з технологічних причин рекомендовано визначити його продуктивність наступним чином [15]. Визначають відношення витрати електроенергії на переміщення вугільного матеріалу в барабані до сталого значення показника витрати електроенергії на переміщення в барабан 1 т/год вугільного матеріалу.

Метод дозволяє проводити визначення та підтримувати максимально можливу продуктивність млина, що підвищує економічність пилосистеми.

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

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

$$N_B = N_M - N_K, \quad (3)$$

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 визначаємо за формулою:

$$N_M = \frac{N_B}{e_B}, \quad (4)$$

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 визначити і підтримувати на максимально можливому рівні продуктивність млина та економічність пилосистеми.

Отже, запропоновані методи визначення продуктивності млинів є новими, достатньо ефективними, які впроваджені у виробництво на ТЕС України, а економічний ефект для млинів з промбункером і без ньо-

го становить біля 20 тис. грн. в рік для двох типів млинів.

## 5. Висновки

1. За відомим методом визначення продуктивності кульових вентильованих млинів при розмелюванні вугілля відбирається проба вугілля із фіксованої ділянки стрічки живильника сирого вугілля, вимірюють одночасно швидкість переміщення стрічки та проводяться відповідні заміри та розрахунки. Основним недоліком цього методу є трудомісткість операцій з залученням додаткового персоналу та антисанітарні умови роботи. Тому, практично, в умовах експлуатації не визначають продуктивність млинів лише при їх налагодженні, що в багатьох випадках призводить до зниження ефективності спалювання палива, а відповідно до зниження економічності роботи енергоблоку та збільшення витрати умовного палива на вироблення 1 кВт·год електроенергії.

2. Запропоновані нові методи визначення продуктивності кульових вентильованих млинів, що відрізняються достатньою оперативністю з меншими трудовитратами, без відбору проб вугілля та проведення вимірювань безпосередньо на місцях біля млинів, що дає можливість в будь-який момент часу визначити продуктивність млинів.

3. Запропоновані методи визначення продуктивності кульових вентильованих млинів однаково можна використати в системах пилеприготування з промбункерами пилу та з прямим вдуванням пилу в паливню котельної установки.

4. Методи дослідження перевірені в експлуатації на теплових електростанціях України та впроваджені в виробництво. Впровадження нових методів на всіх пилувугільних котельних установках енергоблоків ТЕС України дасть суттєвий економічний ефект через можливість більш ефективної роботи млинів, а відповідно більш ефективного спалювання палива в паливнях котельних установок (зменшення втрат тепла з  $q_2$  та  $q_4$ ), та підвищення їх ККД.

## Література

1. Стогній, Б. С. Проблемы развития и модернизации тепловой энергетики Украины [Текст] / Б. С. Стогній, Ю. М. Мацевитый, А. Ю. Майстренко // Проблемы развития энергетики. Погляд громадськості. — К., 2010. — № 7. — С. 90–95.
2. Тропко, Л. А. Угольная отрасль — стартерия развития и безопасности горного производства [Текст] / Л. А. Тропко // Уголь. — 2002. — № 11. — С. 3–6.
3. Майстренко, О. Ю. Сучасний стан вугільної енергетики України та перспективи її оновлення і розвитку [Текст] / О. Ю. Майстренко, О. І. Топал, Л. С. Гапонич // Наукові праці НУХТ. — 2009. — № 32. — С. 43–47.
4. Стогній, О. В. Потенціал видобутку вугілля в Україні [Текст] / О. В. Стогній, В. М. Макаров, М. І. Каплін // Проблеми загальної енергетики. — 2011. — Вип. 2(25). — С. 11–16.
5. Трёмбовля, В. И. Теплотехнические испытания котельных установок [Текст] / В. И. Трёмбовля, Е. Д. Фингер, А. А. Авдеева. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 416 с.
6. Jones, T. Air Pollution Control for Coal-fired Power Stations in Eastern Europe [Text] / T. Jones; Eds. I. M. Smith, G. R. Couch // IEA Coal Research Perspectives Series, IEAPER/24. — London: IEA Coal Research, 1996. — 53 p. — ISBN 92 9029 262 8.
7. Clean Coal Technology Programs: Program Update 2006 [Electronic resource]. — June 2006. — Available at: \www/URL: http://seca.doe.gov/technologies/coalpower/cctc/ccpi/pubs/2006\_program\_update.pdf. — 28.04.2014.

8. Clean Coal Technology Demonstration Program: Program Update 2001 [Electronic resource]. — July 2002. — Available at: \www/URL: www.netl.doe.gov/File/Research/Coal/major%20demonstrations/program/cct\_pgm\_2001.pdf. — 28.04.2014.
9. Antony, E. J. Fluidized bed combustion of alternative solid fuels: status, successes, and problems of the technology [Text] / E. J. Antony // Progress in Energy and Combustion Science. — 1995. — V. 21, № 3. — P. 239–268.
10. Abdulally, I. F. Multiple fuel firing experience in a circulating fluidized bed boiler [Text] / I. F. Abdulally, R. W. Voyles, A. Libal // Proc. American Power Conference. — Chicago (USA), 1992. — Vol. 2. — P. 1–11.
11. Yerushalmi, J. An Overview of Commercial Circulating Fluidized Bed Boilers [Text] / J. Yerushalmi; Ed. P. Basu // Circulating Fluidized Bed Technology. — Toronto: Pergamon Press, 1986. — P. 97–105.
12. Tennessee Valley Authority. 160-MWe AFBC Demonstration unit. / Final Project Report [Text]. — Paducah, Kentucky (USA), Sept. 1992. — 565 p.
13. Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки [Електронний ресурс]: патент № 101392 / Брикайло Р. В., Мисак С. Й. — Оpubл. 25.03.2013, Бюл. № 6. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-101392-sposib-viznachennya-produktivnosti-mlina-pilosistemi-kotelno-ustanovki.html.
14. Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки [Електронний ресурс]: патент № 103924 / Мисак С. Й., Брикайло Р. В. — Оpubл. 10.12.2013, Бюл. №23. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-103924-sposib-viznachennya-produktivnosti-mlina-pilosistemi-kotelno-ustanovki.html.
15. Спосіб визначення продуктивності кульового барабанного млина [Електронний ресурс]: патент № 99219 / Голи-

шев Л. В., Коземко О. М., Мисак С. Й. — Оpubл. 25.07.2012, Бюл. № 14. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-99219-sposib-viznachennya-produktivnosti-kulovogo-barabannogo-mlina.html.

#### РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕЛЬНИЦ ПЫЛЕСИСТЕМ КОТЛОВ

В работе представлено апробированные и внедренные в производство на тепловых электрических станциях (ТЭС) новые методы определения производительности шаровых вентиляционных мельниц пылесистем пылеугольных энергоблоков мощностью 150–200, 300 МВт, которые эксплуатируются на тепловых электростанциях Украины. Методы могут быть использованы в пылесистемах с промбункером и с прямой подачей угольной пыли в топку котла.

**Ключевые слова:** котел, шаровая мельница, пылесистема, производительность мельницы, методы определения производительности мельницы.

*Мисак Степан Йосифович, кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: s.mysak@yandex.ru.*

*Мисак Степан Йосифович, кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.*

*Mysak Stepan, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: s.mysak@yandex.ru*

УДК 006.35:658.012.32

**Мельник В. М.,  
Карачун В. В.**

## ШТУЧНЕ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ В БІОРЕАКТОРІ НА РЕЗОНАНСНОМУ РІВНІ

*Наводиться одне з можливих технічних рішень штучного формування енергетичної активності робочої рідини в біореакторі за допомогою ультразвукового променя. Окреслюються умови виникнення хвильового співпадання, яке супроводжується різким зростом енергетичної активності поряд з мінімальною дисипацією променевої хвилі. Пояснюється природа додаткової енергетичної активності в зонах каустичних поверхонь двома типами хвилі.*

**Ключові слова:** енергетична активність, хвильове співпадання, каустичні поверхні, гранична частота.

### 1. Вступ

Дослідження відносяться до біотехнології, а саме до газліфтних барботажних апаратів, і можуть знайти застосування при культивуванні мікроорганізмів в рідинних середовищах для одержання, наприклад, вакцин чи інших лікувальних засобів для потреб медицини.

Відсутність механічних перемішувачів пристроїв та досконалий тепломасообмін і інтенсивна аерація робочої рідини суттєво підвищують продуктивність і якість технологічного процесу, що визначає актуальність вивчаємої проблеми.

### 2. Постановка проблеми

З метою конкретизації поставлених задач технологічного процесу, обрано технічну реалізацію біореактора

у вигляді газліфтного барботажного апарату. Відомо, що газліфтний барботажний апарат містить вертикально розташований циліндричний корпус з технологічними патрубками і розміщену в порожнині корпусу з радіальним зазором циркуляційну трубу, а також встановлений під циркуляційною трубою аератор [1].

За рахунок більш рівномірного розподілення газу та підвищення його диспергування підвищується продуктивність технологічного процесу.

Рух потоків газорідної суміші забезпечується використанням потенціальної енергії стиснутого повітря.

Процес культивування організмів, як і більшість гетерогенних хімічних реакцій, безпосередньо залежить від кількості розчиненого в рідині газу і утворення та накопичення цільового продукту, зокрема, біомаси. Таким чином, підвищення ступеня розчинення газу в рідинній