

УДК 621.926.5

Кулієв В. В., Сердюк О. О.

УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯ ВУГІЛЛЯ У КУЛЬОВИЙ БАРАБАННИЙ МЛИН

У сучасному світі системи теплопостачання оснащуються спеціальним обладнанням для переробки палива, такими як кульовий барабанний млин (КБМ), який перемелює сире вугілля у вугільний пил.

Система приготування пилу, представлена на рис. 1. Вона складається із бункера сирого вугілля, живильника сирого вугілля (ЖСВ), кульового барабанного млина (КБМ), сепаратора пилу, циклону пилу, млинового вентилятора і бункера вугільного пилу.

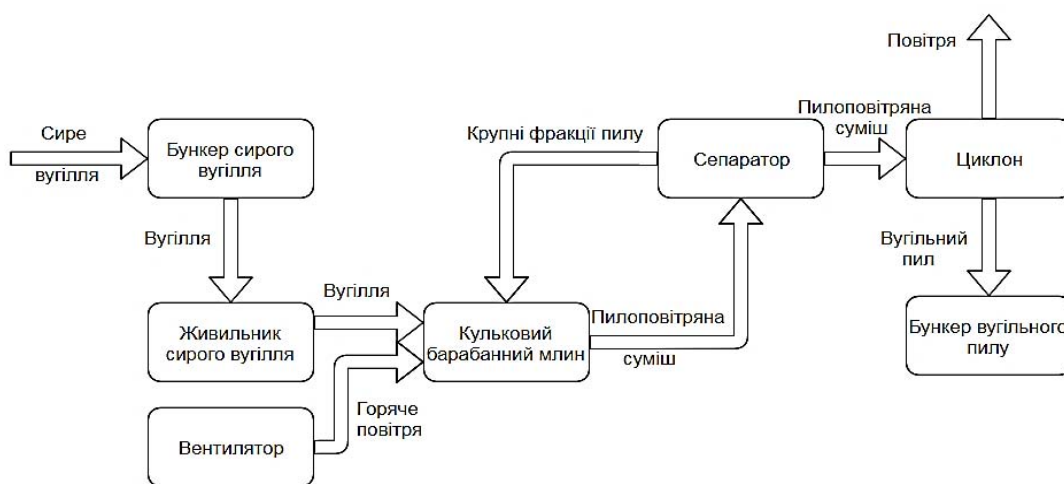


Рис. 1. Структурна схема системи приготування вугільного пилу

На даний момент технологічні процеси подрібнення вугілля кульовими барабанними млинами недостатньо автоматизовані, більшість котельних агрегатів має в розпорядженні виконавчі механізми живильників сирого вугілля, що управляються в ручному режимі. Це пов'язано з тим, що на цьому обладнанні не було можливостей встановити засоби прямого контролю основних параметрів процесів завантаження та подрібнення вугілля, а також засобів визначення передаварійного стану млина, при якому млин настільки завантажений матеріалом, що виникає різке зниження продуктивності та завал млина. Щоб не допустити аварійного стану млина, обслуговуючий персонал змушений свідомо знижувати його продуктивність шляхом зменшення подачі вугілля в млин.

Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю підвищення продуктивності млинів в процесі приготування вугільного пилу.

Завдяки дослідженням КБМ [1, 2, 3] встановлено, що максимальна продуктивність млина досягається при певному рівні завантаження млина вугіллям, який становить 80–95 % максимально можливого завантаження. Управління процесом завантаження кульового барабанного млина здійснюється шляхом запуску та зупинки приводу живильника.

Режим роботи живильника сирого вугілля визначається відносним ступенем завантаження млина. Так, під час запуску млина, коли барабан ще не завантажений, вугілля подається в млин безперервно з максимально можливою продуктивністю живильника. Далі, при досягненні бажаного рівня завантаження, подача вугілля в млин повинна бути зменшена до такого ступеня, щоб підтримувати максимальну продуктивність млина. Саме на цьому етапі

виникають значні труднощі в управлінні процесом завантаження, тому що, по-перше, відсутні засоби контролю рівня завантаження млина, а по-друге, зростають збурюючі впливи від факторів процесу: розмелювальної здатності вугілля, його вологості, концентрації породи та інших. У цих умовах циклічне управління роботою живильника стає неефективним.

Проведені експериментальні дослідження [1, 2, 3] дозволили встановити взаємозв'язок основних технологічних параметрів процесу подрібнення з деякими непрямими показниками процесу. Дослідниками були встановлені показники, які придатні для використання в системах управління КБМ:

- температура аеросуміші на виході млина;
- перепад тиску на вхідних і вихідних ділянках барабану млина;
- рівень сигналу віброприскорення від барабану млина;
- сила струму електродвигуна у приводі обертання млина.

Серед наведених показників дуже важливе значення має температура аеросуміші на виході млина. Вона повинна підтримуватися у певному діапазоні для забезпечення, з одного боку, сушильної здатності подаваного вентилятором гарячого повітря, а з іншого боку недопущення вибуху пилесистеми при зростанні температури до критичного рівня. Зважаючи на ці обставини, при зниженні температури до нижнього допустимого рівня треба зупинити живильник сирого вугілля, а при її підвищенні до верхнього допустимого рівня треба обмежити подачу гарячого повітря.

Розглядаючи наведені показники, можна зробити висновок, що вони не мають прямого зв'язку із продуктивністю барабанного млина. Так, показник перепаду тиску на вхідних і вихідних ділянках барабану може свідчити лише про наявність завалів в місцях завантаження та вивантаження вугільного матеріалу. Але така ситуація може бути визначена по падінню температури пилепоповітряної суміші на виході. Тому для контролю саме завантаженості барабану більш придатні два інших показника, а саме – рівень сигналу віброприскорення барабану, який може бути отриманий від п'єзоелектричного датчика і може свідчити про умови кульового подрібнення вугілля, а також сила струму двигуна у приводі обертання барабану, яка залежить від рівня завантаження млина.

На цей час відомі декілька прикладів побудови систем автоматизації кульових барабанних млинів. Так, в роботі [1] повідомляється про систему регулювання кульового барабанного млина із використанням регулятора-оптимізатора та трьох датчиків – датчика температури на виході млина, п'єзоелектричного датчика-акселерометра та датчика перепаду тиску. Але в роботі не повідомляється ні про метод оптимізації, ні про зв'язки контролюємих параметрів із критерієм оптимізації. В інших повідомленнях [2, 3, 4] також недостатньо матеріалів, що розкривають теоретико-методичні сторони управління процесом завантаження кульового барабанного млина.

Метою роботи є удосконалення системи і алгоритму управління процесом завантаження вугілля у барабан кульового млина.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

Визначити можливості застосування непрямих контролюємих параметрів для регулювання процесу завантаження.

Розробити алгоритм управління процесом завантаження вугілля із використанням декількох непрямих параметрів.

Визначити засоби автоматичного управління процесом завантаження млина.

Для розроблюваної в даній роботі системи приймається ідея виділення із процесу управління двох основних функцій: перша – це визначення критичних ситуацій, пов'язаних із порушенням температурного режиму у роботі млина, і управління процесом виходу із цих ситуацій, друга – це регулювання процесом завантаження сирого вугілля у барабан при нормальних умовах роботи. При цьому живильник сирого вугілля повинен подавати вугілля тільки тоді, коли температура пилепоповітряної суміші на виході барабану знаходиться у бажаних межах

між допустимими рівнями. Слід зазначити, що бажаний діапазон зміни температури зазвичай порівняно невеликий і знаходиться в межах від 60 °С до 100 °С (верхнє значення залежить від вибухобезпечності вугілля і не перевищує 150 °С).

Контроль температури пилоповітряної суміші здійснюється датчиком температури у вихідному патрубку. Для контролю стану процесу подрібнення вугілля пропонується використання датчика віброприскорень барабану та датчика сили струму двигуна у приводі обертання барабану. Вибір цих двох датчиків обґрунтовується наступними міркуваннями.

Для подрібнення вугілля використовується енергія падіння металевих куль на вугільну масу. При падінні куль виникають вібрації металевих конструкцій млина, які сприймаються п'єзоелектричним датчиком. Якщо виділити із сигналів датчика інформацію про рівень віброприскорення, то можна оцінити умови процесу подрібнення. Так, при малій кількості вугілля в барабані виникає великий рівень віброприскорень від падіння куль на стінки барабану, а при великій завантаженості барабану простір для падіння куль зменшується і, відповідно, значно зменшується енергія ударів та величина віброприскорень. Враховуючи це, можна зробити висновок, що параметр віброприскорення може бути використаним для оцінки рівня завантаженості барабану вугіллям при умові стабільності характеристик вугілля.

Другий датчик контролює силу струму двигуна приводу барабану. Вона залежить від крутного моменту в механізмі приводу, який, у свою чергу, залежить від маси барабану а також завантажених в цей барабан металевих куль та вугілля. В результаті обертання барабану у системі приводу виникають складні процеси взаємодії навантаження із електроприводом, але в цілому цей параметр придатний для оцінки рівня завантаження барабану вугіллям.

Слід зазначити, що обидва параметри, які отримуються вказаними датчиками, являються непрямыми показниками і при виборі тільки одного із них якісне управління процесом завантаження барабану не буде гарантовано, тому що в такій системі управління рівень невизначеності стану системи, тобто інформаційної ентропії доволі високий. Для зменшення рівня ентропії слід збільшувати простір інформаційних параметрів, тобто замість одного контролюємого параметра застосувати два або три параметри.

Приймаючи до уваги завдання управління, яке полягає в підтримці певного рівня завантаження вугілля у барабані, всі ці параметри повинні використовуватися як джерела інформації саме про поточний рівень завантаження. Але кожний параметр характеризує притаманну тільки йому сторону процесу. У зв'язку з цим приймається ідея зменшення інформаційної ентропії шляхом узагальнення параметрів і представлення їх значень одним показником.

Враховуючи те, що визначені інформаційні параметри мають непорівнювані показники, їх доцільно трансформувати у безрозмірну шкалу. Саме така операція здійснюється при визначенні функції бажаності Харрінгтона [5]. Використання функції Харрінгтона дозволяє не тільки визначити узагальнений показник (у безрозмірному виді), але й отримати психологічну оцінку поточного стану процесу, що доцільно при відсутності прямих показників процесу із кількісною оцінкою.

Узагальнений показник функції бажаності розраховується як середнє геометричне із приватних показників бажаності, які, у свою чергу, визначені з урахуванням значення кожної властивості (параметра). При цьому показники властивостей процесу співставлені єдиній безрозмірній шкалі, яка й дає можливість об'єднати одиничні показники властивостей в узагальнений показник.

Приватні показники функції бажаності d_i для i -ї властивості розраховується по формулі:

$$d_i = e^{-y_i} , \quad (1)$$

де y_i – показник i -ї властивості технологічного процесу, співставлений безрозмірній шкалі.

Вид графіку функції бажаності і схема співставлення сигналів датчиків безрозмірній шкалі показані на рис. 2. Мінімальний та максимальний рівень кожного сигналу датчика визначаються з огляду його ефективного діапазону. Так, наприклад, для шкали температур ефективний діапазон слід прийняти в межах десь від 40–50 °С до 120–150 °С.

Для визначення узагальненого показника бажаності застосовується формула:

$$D = (\prod_{i=1}^n d_i)^{1/n}, \quad (2)$$

де n – кількість властивостей.

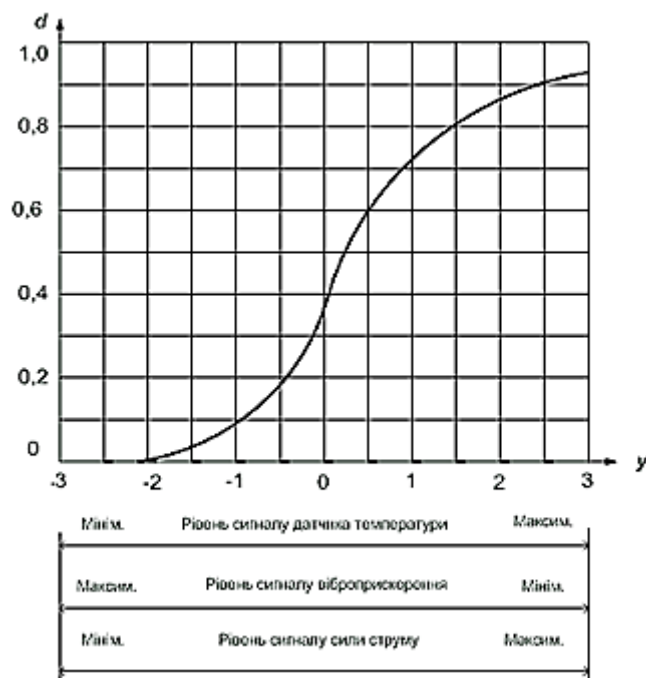


Рис. 2. Графік функції бажаності зі схемою співставлення рівнів сигналів датчиків і безрозмірної шкали

Функція бажаності має кілька критичних точок, із використанням яких створені градації бажаності. Ці градації дозволяють встановити відповідність між фізичними і психофізичними параметрами. В даному випадку фізичними параметрами являються сигнали датчиків, які співставлені безрозмірній шкалі функції бажаності, а психофізичним параметрам відповідають чисто суб'єктивні оцінки експериментатора. Враховуючи особливості процесу подрібнення вугілля у кульових барабанних млинах, в якому завантаження барабану не повинне перевищувати 95 % від максимально можливого рівня, максимальний рівень шкали бажаності треба обмежити до величини 0,95. Такій величині відповідає психологічна оцінка «дуже добре». Зв'язок між кількісними значеннями безрозмірної шкали і психологічними оцінками якості процесу можна представити так, як показано у табл. 1.

Із огляду табл. 1 випливає, що завдання системи управління полягає в підтримці показника бажаності на рівні $D = 0,80-0,95$ (дуже добре), коли сигнали від датчиків свідчать про найкращі умови процесу перемелювання вугілля. Тому в цій зоні управляючі дії на привод живильника мають характер підстроювання в межах 5–10 % від номінальної швидкості обертання. Але, якщо значення показника бажаності опиниться в межах $D = 0,37-0,79$, то завдання швидкості подачі вугілля від живильника повинно бути змінено у відповідності із величиною різниці між бажаним і поточним значеннями показників бажаності. Слід зазначити, що існуючі системи приводів живильника не передбачають такого регулювання. У зв'язку із цим в новій системі пропонується встановити частотно-регулюючий привод живильника.

Блок-схема алгоритму управління процесу завантаження кульового барабанного млина показана на рис. 3.

Таблиця 1

Співставлення шкали бажаності і психологічної шкали

Психологічна оцінка	Узагальнений показник бажаності
Дуже добре	0,80–0,95
Добре	0,60–0,79
Задовільно	0,37–0,59
Погано	0,20–0,36
Дуже погано	0,00–0,19

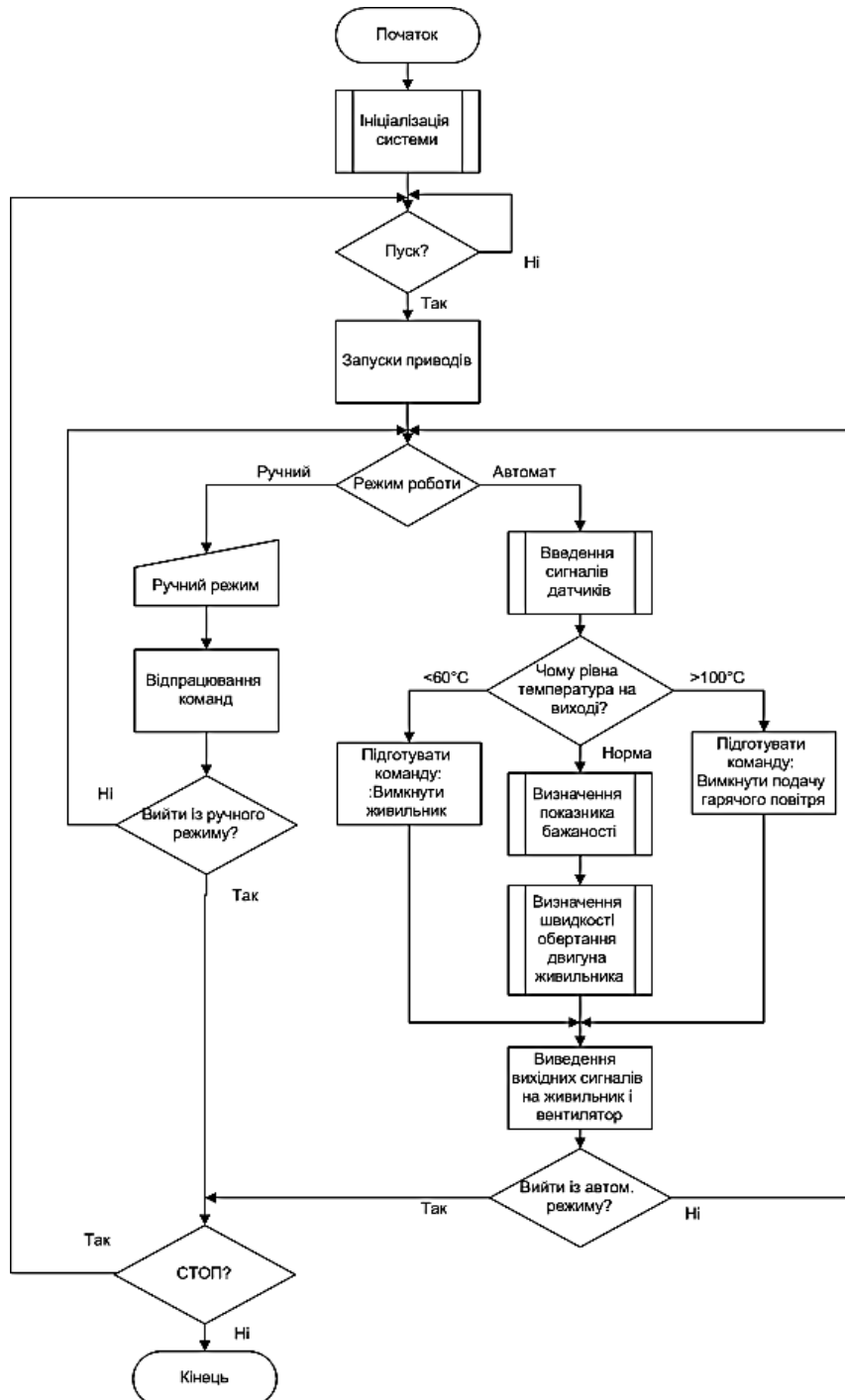


Рис. 3. Блок-схема алгоритму управління процесом завантаження кульового барабанного млина

Після ініціалізації системи і перевірки готовності до роботи по команді «Пуск» здійснюється запуск приводів барабану та вентилятора гарячого повітря. Після цього вибирається режим управління «Ручний» або «Автомат». При роботі в автоматичному режимі спочатку здійснюється введення і аналіз інформаційних сигналів датчиків. Принципове значення серед цих сигналів має сигнал температурного датчика, який контролює рівень температури пиле-повітряної суміші на виході із барабану. Якщо рівень температури перевищує допустимий (встановлюється залежно від типу вугілля), то, щоб запобігти вибуху аеросуміші, формується команда на вимкнення вентилятора, що подає гаряче повітря у барабан. Якщо привод вентилятора регулюємий, то замість вимкнення вентилятора слід зменшити швидкість його обертання. Коли ж температура аеросуміші на виході стане нижче від нижнього допустимого рівня, то це свідчить або про завали горловин барабану, або про неправильну роботу системи підготовки гарячого повітря. В будь-якому випадку подачу вугілля потрібно припинити, сформувавши команду на вимкнення приводу живильника.

Якщо температура на виході знаходиться у встановлених межах, з'являється можливість переходу до регулювання процесу завантаження з урахуванням всіх властивостей (параметрів). Для цього у відповідності із рівнями сигналів датчиків по формулі (1) визначаються всі приватні показники бажаності d_i , а потім по формулі (2) розраховується узагальнений показник D . Отримане (поточне) значення D віднімається від прийнятого бажаного рівня 0,90, в результаті чого визначається свого роду коефіцієнт недовантаженості барабану вугіллям. Для одержання нового завдання швидкості обертання двигуна живильника треба помножити цей коефіцієнт на величину номінальної швидкості двигуна.

Можливий також і ручний режим управління, при якому машиніст здійснює регулювання процесів на основі інформаційної панелі, на яку виводяться значення контролюємих параметрів і узагальнений показник бажаності.

ВИСНОВКИ

На відміну від існуючих підходів у використанні непрямих показників процесу підготовки вугільного пилу для управління кульовими барабанными млинами в роботі пропонується методика зменшення інформаційної ентропії декількох використовуваних для цього непорівнюваних між собою показників шляхом їх узагальнення. Для отримання узагальненого показника застосована функція бажаності Харрінгтона. Використання показника бажаності дозволило розробити більш ефективний алгоритм аналізу стану процесу подрібнення вугілля, який дозволяє управляти живильником сирого вугілля і завдяки цьому покращити умови роботи млина і підвищити його продуктивність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизация шаровых барабанных мельниц для ТЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cta.ru/cms/f/326707.pdf>.
2. САУ шаровых барабанных мельниц [Электронный ресурс] // Open SCADA. – Режим доступу: <http://oscada.org/ru/novosti/odinchnaja-stranica/article/acs-of-the-ball-drum-mills-bdm-287410-of-the-boiler-bkz-160-100-pt>.
3. Burhans H. H. Automatic ball mill feeder / H. H. Burhans // Application filed may. – 1920. – № 29. – Patent serial № 385, 272.
4. Картошкин М. Д. Паливopодача теплових електростанцій / М. Д. Картошкин. – М. : Енергія, 1999. – 208 с.
5. Парфеньева И. Е. Оценка качества технологических процессов в системе менеджмента качества организации / И. Е. Парфеньева, А. А. Шмелева // Технические науки – от теории к практике : сб. ст. по матер. XLIV междунар. науч.-практ. конф. № 3(40). – Новосибирск : СибАК, 2015.