

УДК 62-97

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЕРТОВИХ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНОЇ ПРОСТОРОВОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ТА МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

*Григорчук Г.В., Григорчук Л. І., Григорчук В. Л.*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, e-mail: grygorchukl@gmail.com*

*Розглянуто обертові теплові об'єкти, що характеризуються неперервністю теплового процесу, розподілу температурного поля по довжині об'єкту, розбиттям обертового теплового об'єкту на зони. Для функціонування теплових об'єктів і врахування показників ризику визначено можливість побудови математичної моделі даного процесу в залежності від класифікації обертового об'єкта. Також визначено ефективність роботи обертових об'єктів (печей, сушок) в залежності від наладки технологічного устаткування, режиму експлуатації, затратах палива. Ключові слова: циліндричні обертові об'єкти, барабанні сушки, випал клінкеру.*

*Рассмотрены вращающиеся тепловые объекты, характеризующиеся непрерывностью теплового процесса, распределения температурного поля по длине объекта, разбивкой вращающегося теплового объекта на зоны. Для функционирования тепловых объектов и учета показателей риска определена возможность построения математической модели данного процесса в зависимости от классификации вращающегося объекта. Также определена эффективность работы вращающихся объектов (печей, сушек) в зависимости от настройки технологического оборудования, режима эксплуатации, затратах топлива. Ключевые слова: цилиндрические вращающиеся объекты, барабанные сушки, обжиг клинкера.*

*The article considers rotating heat objects characterized by continuity of the thermal process, temperature field distribution along the length of the object, the thermal breakdown of the rotating object in the zone. With regard to the operation of thermal facilities and risk indicators the possibility of constructing a mathematical model of the process according to the classification of the rotating object was outlined. The efficiency of rotating objects (ovens, dryers) depending on the equipment adjustment, operating conditions, and fuel consumption was also determined.*

*Keywords: cylindrical rotating objects, drum drying, roasting clinker.*

Теплова обробка є важливим фактором і складовою для багатьох промислових виробництв: в енергетиці, металургії, хімічній та будівельній промисловості. Для того щоб такі процеси функціонували використовуються різноманітні теплові установки та агрегати. Зокрема розглянемо обертові теплотехнічні об'єкти, що характеризуються такими властивостями: неперервністю теплового процесу, розподілом температурного поля по довжині об'єкту, розбиттям обертового теплового об'єкту на зони з можливістю окремого управління температурою на кожній з них, повздовжнім переміщенням оброблюваного матеріалу, сталим часом його перебування на конкретній позиції обертового об'єкту та значним впливом етапу термічної обробки та його характеристики.

Дуже складною задачею є управління такими об'єктами. Це потребує досягнення балансу температури, яка може досягати 1500

°С–2000 °С, тиску газу для забезпечення заданого температурного поля вздовж обертового об'єкту, а також заданої якості вихідної продукції. І хоча в сучасній вітчизняній промисловості використовується велика кількість різноманітних автоматизованих систем управління технологічними процесами вітчизняного та іноземного виробництва, але досі виникає необхідність розв'язання задач оптимального управління такими об'єктами з метою як зменшення енергозатрат, так і підвищення якості вихідної продукції[1].

Вирішення цих задач потребує нового підходу до методів моделювання і до методів управління даними об'єктами.

Аналіз літератури про математичні моделі та методи моделювання обертовими об'єктами засвідчив, що для них характерні певні недоліки, які значно обмежують їх ефективність.

1. Застосувавши найбільш поширені чисельні кінцево-різницеві методи, що забезпечують високу точність розв'язання, можемо бачити що цей метод вимагає великих витрат машинних ресурсів при реалізації на ЕОМ. Тому цей метод дуже ускладнює використання кінцево-різницевої моделі в теперішніх існуючих системах управління, що працюють в реальному масштабі часу.

2. Оберткові технологічні об'єкти завжди складні та аварійні для дослідження. Якщо ці об'єкти моделювати, то виникають великі ризики, що можемо щось не врахувати. А це призводить до втрат якості продукції, енергетичних втрат і, як наслідок, до великих матеріальних втрат.

3. Температура при моделюванні таких оберткових теплових об'єктів відіграє важливу роль. І коли розробляється математична модель температурного режиму, не враховуються зовнішні впливи. Такі як зовнішні впливи температури, вологість повітря, властивості сировини. Але якщо це врахувати, то можна знайти розв'язок задачі пошуку оптимальної температурної кривої та досягти великого енергозбереження.

Щоб теплові об'єкти добре функціонували, і щоб враховувати показники ризику при їх управлінні, і забезпечити задану якість вихідної продукції, треба дослідити і побудувати їх

математичну модель. Тому першою задачею для математичного опису, а потім і для використання одержаних моделей в системах автоматичного управління, є класифікація таких об'єктів. Є багато різних класифікацій теплових об'єктів. Ми візьмемо одну із них за видом теплових процесів:

- інтенсивністю підведення теплоти на поверхню матеріалів, що обробляються;
- інтенсивністю перенесення теплоти всередині матеріалу, що обробляється;
- інтенсивністю підведення маси матеріалів, що обробляється, до поверхні їх реакції (деякі окисні та відновні процеси, випалювання або плавлення);
- інтенсивністю молекулярного перенесення маси всередині матеріалу, що обробляється (обробка багатоконпонентних початкових матеріалів, наприклад, варіння скла, сталі тощо);
- інтенсивністю перемішування фаз (твердих, рідких) у зоні їх термічної обробки.

З поміж існуючих класифікацій слід виділити також класифікацію теплових об'єктів, показану в таблиці 1, яка найбільш повно відображає види теплових об'єктів з точки зору їх конструктивних особливостей[2].

Таблиця 1 – Класифікація теплових об'єктів.

<i>Теплові об'єкти</i>		
<b>За технологічним призначенням</b>	<b>За джерелом теплової енергії</b>	<b>За конфігурацією робочого простору</b>
1. Плавильні печі 2. Нагрівальні печі 3. Термічні печі 4. Випалювальні печі 5. Сушки 6. Печі перегонки 7. Печі хімічної промисловості	1. Полуменеві печі 2. Електричні печі	1. Камерні печі 2. Прохідні печі 3. Методичні печі 4. Печі з висувним подом 5. Печі з обертковим подом 6. Шахтні печі 7. Циліндричні печі  8. Печі киплячого шару 9. Циклонні печі 10. Тунельні печі

Ця класифікація визначена за такими ознаками: 1. За технологічним призначенням:

а) плавильні печі, призначені для плавлення матеріалів (металів, мінералів, скла тощо). До них належать доменні та мартенівські печі, вагранки, печі для плавлення кольорових металів, склоплавильні та інші печі;

б) нагрівальні печі, які використовуються для нагрівання металу перед обробкою тиском, прокаткою, куванням, штамповкою;

в) термічні печі для нагрівання матеріалів з метою їх термічної обробки – загартування, відпалювання, нормалізації;

г) випалювальні печі, призначені для випалювання матеріалів. До них відносять печі

для випалювання кераміки, вапна, цементного клінкеру, сірчаного колчедану тощо;

д) сушарки для видалення вологи з матеріалів чи для висушування пофарбованих виробів;

е) печі для одержання з одного продукту іншого шляхом його перегонки. До них належать печі нафтопереробних заводів, печі для одержання штучного рідкого палива, коксові батареї для печей хімічної промисловості;

ж) печі хімічної промисловості для нагрівання матеріалів з метою проведення хімічних процесів.

#### 2. За джерелом теплової енергії:

а) полуменеві печі, в яких тепла енергія створюється за рахунок спалювання палива. Полуменеві печі, в свою чергу, діляться на печі, що працюють на твердому, рідкому, газоподібному паливі;

б) електричні печі, в яких нагрівання здійснюється за рахунок електроенергії. За використанням електричної енергії розрізняють електричні печі опору, дугові, індукційні, контактні, електронні, інфрачервоного нагріву.

#### 3. За конфігурацією робочого простору:

а) камерні печі, в яких матеріал в процесі нагрівання нерухомо лежить на поді. Температура робочого простору камерних печей у всіх точках простору майже однакова;

б) прохідні печі, в яких матеріал, поступово нагріваючись, переміщується від завантажувального до вивантажувального кінця. Температура теплоносія в певних точках робочого простору підтримується приблизно однаковою;

в) методичні печі, які мають робочий простір, витягнутий за довжиною. Нагрівання матеріалів у них здійснюється за принципом протитечії;

г) печі із висувним подом – камерні печі, в яких для зручності завантаження та вивантаження матеріалів під печі висувається;

д) печі з обертовим подом або карусельні, в яких матеріал, що нагрівається, лежить нерухомо на поді, а під, обертаючись, переміщує його в робочому просторі;

е) шахтні печі, які мають вертикальне розташування робочого об'єму, заповненого кусковим матеріалом. Матеріал у них завантажуються зверху, а вивантажується знизу;

ж) циліндричні обертові печі, які представляють собою обертовий циліндр (футерований всередині), розміщений під невеликим кутом. Матеріал поступово нагрівається, пересуваючись від верхнього

завантажувального кінця до нижнього, де і вивантажується з печі;

з) печі киплячого шару, в яких частинки матеріалу чітко визначених розмірів піднімаються струменем теплоносія на певну висоту, після чого опускаються і процес повторюється;

и) циклонні печі, в яких матеріал нагрівається в завислому стані. Теплообмін здійснюється дуже інтенсивно;

к) тунельні печі – печі з робочим простором у вигляді довгого каналу. Матеріал переміщується в печі на вагонетках.

В подальшому ми будемо розглядати циліндричні обертові печі (циліндричні обертові об'єкти) і об'єкти які відносяться до циліндричних обертових (барабани сушилки).

**Обертова циліндрична піч** являє собою порожнистий сталевий циліндр, футерованих всередині вогнетривкими виробами і обертовий навколо своєї осі. Циліндр дещо нахилений до горизонталі і тому матеріали, що завантажуються в нього, пересипаються при його обертанні і пересуваються від високого кінця до низького, назустріч продуктам згоряння палива, спалюваного в пальниках, встановлених в нижньому торці барабана.

Ефективність роботи **обертових печей цементної промисловості** залежить від налашки технологічного устаткування, процесу випалу клінкера й режиму експлуатації печей під час випуску клінкеру високої активності, мінімальних витратах палива й високих техніко-економічних показниках.

Комплекс процесів у обертових печах, які під впливом теплової енергії, дуже великий і складний. Процеси горіння палива, руху газів і матеріалу, теплообміну і фізико-хімічних перетворень сировинної суміші тісно пов'язані між собою - і кожен із процесів має вирішальне значення. Вони визначають основні заходи під час проведення налашки: добір оптимального хімічного і мінералогічного складу клінкера на сировинній суміші, забезпечує необхідні умови для високоефективної роботи печі і загальну стабільність процесу, вибір раціональної конструкції теплообмінних пристроїв для інтенсивного теплообміну та зниження втрат теплоти, відпрацювання раціонального режиму спалювання палива, забезпечує ощадливе його витрачання і інтенсивність високо-температурних процесів, вибір оптимальних режимних параметрів і відпрацювання методів управління процесами [3].

Продуктивність печей, питома витрата палива залежать не тільки від конструктивних і технологічних вихідних характеристик, а й від

режиму роботи. Форсування режиму до певної межі не тільки підвищує продуктивність, але й збільшує кількість затребуваного матеріалу, температуру відведених газів, питому витрату теплоти. Подальше форсування можуть призвести до зменшення продуктивності через велику потребу в матеріалі за одночасного різкого підвищення питомої витрати теплоти. Зменшення навантажень печей проти оптимальних також зменшує продуктивність їх роботи: усунення зон, пересушку матеріалу тощо.

Вибір та підтримка оптимальних нормативів, показників і параметрів технологічного процесу істотно впливає на отримання продукції заданої якості, і навіть на підприємства.

Випал клінкеру - найскладніший, важливий і енергоємний процес. Загальні енерговитрати виробництва цементу розподіляються приблизно так: підготовка сировини - 10%, випал клінкеру - 79%, помел цементу - 10%, інші - 1%. Тому налагодження процесу випалу, зниження енерговитрат, передусім - витрат пального, набувають виняткового значення.

У основі налагоджувальних робіт лежить аналіз процесів, які у печі, при численних чинниках, змінюються. Не завжди проведення звичайних налагоджувальних робіт гарантує повну оптимізацію процесу випалу клінкеру. Удосконалення організацій корисними методами наладки, випробуваннями технологічного устаткування сприяє підвищенню технічної культури його експлуатації, підвищенню ефективності цементного виробництва та прискоренню освоєння проектних потужностей тих підприємств.

У останні роки інтенсивний розвиток цементної промисловості, впровадження пічних установок великої одиничної потужності, залучення у виробничий процес сировинних матеріалів нижчої якості ставлять перед цементним виробництвом нові завдання.

Головною ланкою в ланцюзі агрегатів технологічних ліній є пічний агрегат, від експлуатації і надійності якого залежать техніко-економічні показники всього цементного заводу.

До складу пічного агрегату входять обертова піч (мокрого чи сухого способів виробництва), внутрішньо пічний чи позапічний теплообмінник, охолодник клінкеру, дозатори і

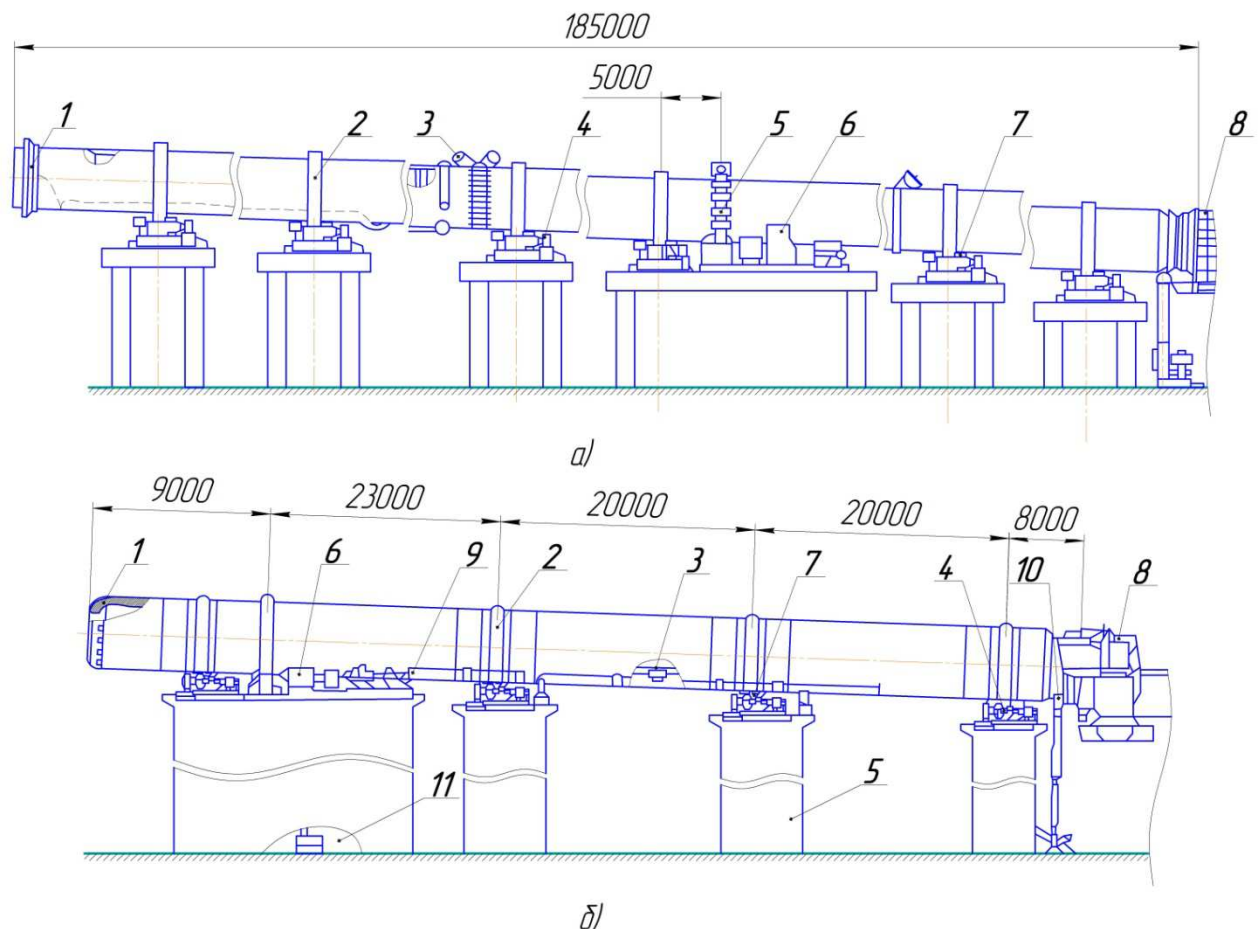
пристрої подавання сировинних матеріалів, спалювальні пристрої, тяго дуттєве устаткування, апарати для очищення і викидання в атмосферу газів і повітря, що виходять із печі й охолоджувача клінкеру, а також різне допоміжне устаткування.

У цементному машинобудуванні визначилася тенденція скорочення довжини обертових печей винесенням підготовчих операцій із печі в позапічний теплообмінник.

На заводах мокрого способу виробництва, як правило, використовують довгі обертові печі, обладнані внутрішньо-пічними теплообмінними пристроями (зокрема, ланцюговими завісами). Влаштовані всередині печі теплообмінні пристрої визначають її довжину.

Підготовлений шлам, що має вологість у середньому 35...45 %, насосами подається в живильник для дозування і живлення печі, розміщений у верхній частині пилової камери. Із живильника шлам по зливній трубі надходить у завантажувальну частину печі, яка у місці входу в пилову камеру має ущільнення. Крупні частинки запилених газів, що виходять із печі в пилову камеру, осідають, а дрібніші спрямовуються на остаточне очищення в електрофільтр. Іноді для кращого очищення між пиловою камерою та електрофільтром додатково встановлюють батарейні відцентрові циклони. Корпус печі — циліндрична труба, яка своїми бандажами спирається на роликові опори. Корпус зварюють на місці монтажу з окремих зон різної товщини залежно від місцевих навантажень. Товщина прогінних зон корпусу залежить від діаметра і довжини печі, довжини прогонів, температури нагрівання, розподілених навантажень і становить 20...40 мм.

В обертових довгих печах мокрого способу виробництва, оснащених внутрішньо-грубними пристроями, всі теплові процеси відбуваються від подачі шламу і його сушіння до виходу готової продукції — цементного клінкеру. Залежно від руху сировини ці печі мають кілька технологічних зон: сушіння, підігрівання, декарбонізації, екзотермічних реакцій, спікання й охолодження. Для інтенсифікації процесу теплової підготовки сировини всередині печі встановлюють різні конструкції теплообмінних пристроїв, зокрема завіси з якірних ланцюгів, чарункові чи лопатеві теплообмінники.



*а* — мокрому способу виробництва 5 x 185 м; *б* — сухого способу виробництва 4,5 x 80 м;  
1 — завантажувальний кінець; 2 - бандаж; 3 — термопари зі струмознімачем; 4 — роликові опори; 5 - зубчастий вінець; 6 — привід; 7 — гідравлічний упор; 8 - розвантажувальна головка; 9 — паливна форсунка; 10 - пристрій для охолодження корпусу повітря; 11 - пристрій для автоматичного вимірювання температури корпусу; 12 — пристрій для охолодження розвантажу вальної горловини; 13 — мазутна форсунка; 14 — станція рідкого змащення приводу

**Рисунок 1 – Обертові печі.**

В обертових коротких печах сухого способу виробництва попередня теплова обробка сировинного борошна відбувається поза піччю — у позапічних циклонних теплообмінниках, які можуть оснащуватися також реактором-декарбонізатором. Завершальні термохімічні операції — декарбонізація і утворення клінкеру — відбуваються в печі.

Невеликі обертові печі застосовують для виробництва керамзиту (случених глин), а також для випалювання вапна і гіпсу. У більш великих обертових печах виконують випал каустичного і металургійного магнезиту і шамоту.

**Барабанні сушки** застосовують для сушіння сипучих і дрібно-шматкових матеріалів, що представляють собою похилий під кутом 4-6° до горизонту порожній барабан,

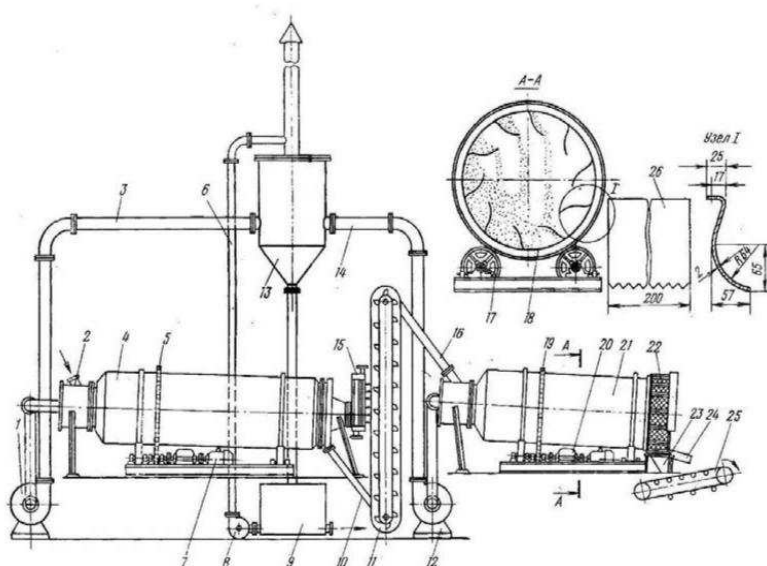
що обертається із швидкістю 0,5-8 об/хв. Матеріал що сушиться завантажується в верхній кінець барабана і при обертанні його пересувається до розвантажувального пристрою. Сушка здійснюється димовими газами, що надходять з боку завантаження матеріалів і йдуть з кінця вивантаження (деякі сушки працюють за принципом протитечії). Довжина барабана складає зазвичай 8-14 м при діаметрі від 1,5 до 2,8 м. Барабан спірається бандажами, що охоплюють циліндричний кожух, на ролики і приводиться в обертання електродвигуном через редуктор і пару зубчастих коліс, одне з яких закріплено у вигляді вінця на барабані. Для запобігання сповзання барабана встановлюються упорні ролики, дотичні з бандажами збоку. Завантаження і вивантаження матеріалу

відбувається безперервно. Для ущільнення місць стиків обертового барабана і нерухомих топкової камери та камери для відбору відпрацьованих газів роблять лабіринтові ущільнення.

Сушильні барабани забезпечуються різними системами внутрішніх пристроїв для розділення матеріалу на дрібні потоки і пересипання його під час сушіння для інтенсивного омивання газами.

**Сушильні апарати для висушування цукру-піску.** Для процесу сушіння цукру використовують сушильно-охолоджувальні установки одно- або двобарабанні, багатотрубні сушильні агрегати або установки з псевдокиплячим шаром цукру-піску. Двобарабанна сушильно-охолоджувальна установка повинна включати конвективний

сушильний барабан і охолоджувальний барабан такого самого типу. Вологий цукор подають в сушильний барабан, що опирається бандажми на дві пари роликів, нахилений під кутом до горизонту не більше ніж  $4^\circ$  за напрямом пересування цукру й обертається з частотою не більше ніж 4 оберти за хвилину. Вологий цукор сушать очищеним у фільтрі і нагрітим у калорифері повітрям, яке всмоктується в апарат вентилятором 1. В вихідному патрубку через вісь встановлюють заслінку з противагою. При виході цукру заслінка під його вагою відхиляється вниз і пропускає цукор. Під час припинення виходу цукру заслінка під дією противаги закриває вихідний патрубок, попереджаючи засмоктування повітря в апарат.



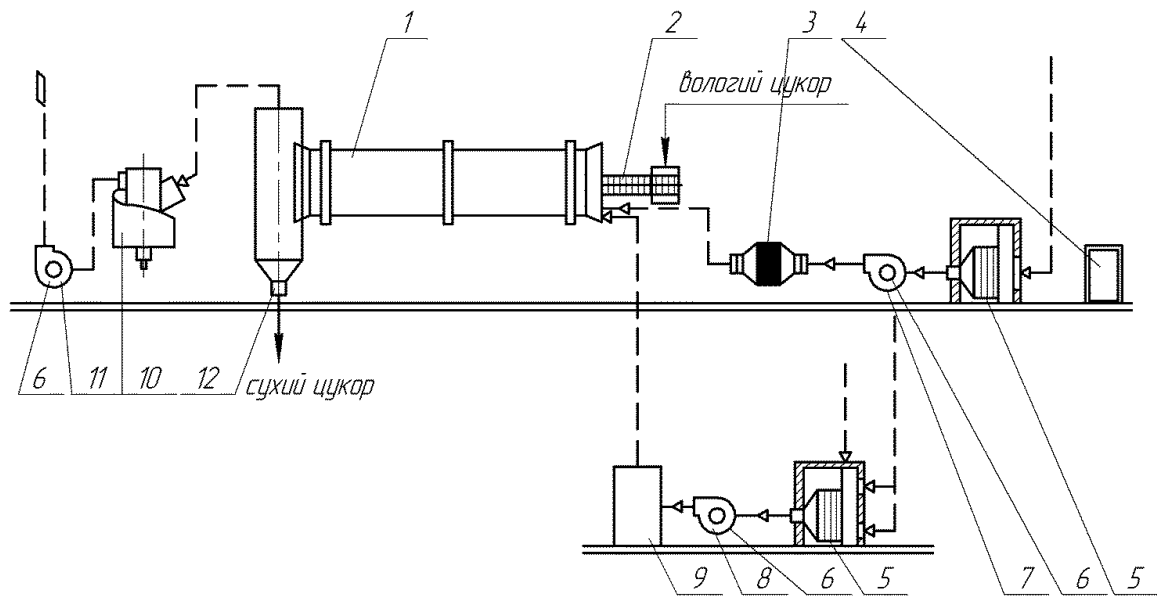
1,12 – вентилятори; 2, 10, 16, 24 – лотки; 3, 14 – повітряні комунікації; 4 – сушильний барабан; 8 – насос; 9 – збірник; 11 – елеватор; 13 – циклон; 15 – калорифер; 21 – охолоджуючий барабан; 22 – пояс сита; 25 – транспортер; 26 – лопатки.

**Рисунок 2 – Двобарабанна сушильно-охолоджувальна установка.**

Висушений цукор з протилежного кінця надходить в охолоджувальний барабан, через який вентилятором пропускають очищене у фільтрі охолоджувальне повітря. За своєю конструкцією охолоджувальний барабан подібний сушильному, але на виході частина суцільної поверхні замінена на сито. Окремі кристали цукру проходять через сито, а грудочки через край сита надходять у клерувальну мішалку.

Повітря для охолодження затягується в ситову частину барабана і витягується з протилежного кінця, куди спрямовують гарячий

цукор. Недоліками двобарабанних сушок цукру є складність, вона займає багато місця. Ці недоліки особливо відчуються із збільшенням продуктивності сушок. Продуктивність сушок такого типу пропорційна діаметру барабанів. При збільшенні діаметра барабана не тільки ускладнюється його виготовлення та установка, але й зростає подрібнення цукру при сушінні, погіршується його якість та гранулометричний склад. Більшість цукрових заводів оснащено однобарабанними сушильно-охолоджувальними установками[4].



1 - Сушильно-охолоджувальний барабан; 2 – шнек завантаження вологого цукру; 3 – калорифери; 4 – система управління обладнанням; 5 – масляні самоочисні фільтри; 6 – напрямні апарати; 7 – вентилятор подачі гарячого повітря; 8 – вентилятор подачі холодного повітря; 9 – кондиціонер для охолодження повітря; 10 – вихровий уловлювач цукрового пилу; 11 – вентилятор затягування відпрацьованого повітря; 12 – вивантаження цукру.

**Рисунок 3 – Однобарабанна сушильно-охолоджуюча установка.**

Сушильні установки такого типу мають задовільні технологічні показники, досить компактні, але збільшення їх продуктивності можливе лише через підвищення температури гарячого повітря, що негативно впливає на якість висушеного цукру та призводить до збільшення енерговитрат.

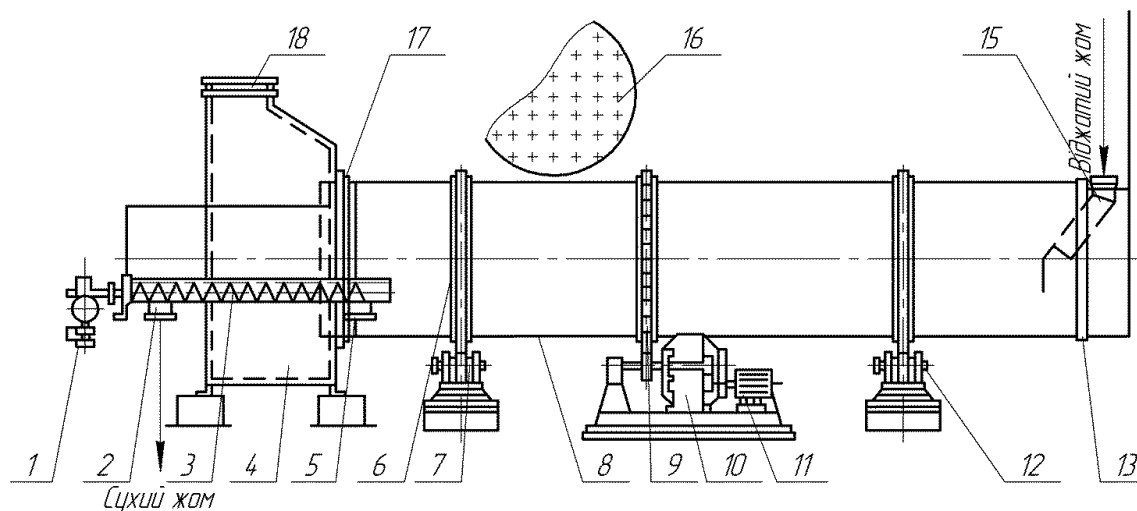
Для висушування жому використовують барабанні сушки з розподільчою системою. Ці сушарки можуть відрізнитися розмірами, формою і кількістю насадок, виконанням приводу і ущільнень, деякими іншими конструктивними особливостями, але принцип їх роботи однаковий.

**Барабанний жомосушильний апарат** складається з корпусу, на якому закріплено два опорних банджа. Бандажі спираються на дві пари роликів. Барабан приводиться в обертання від електродвигуна через редуктор за допомогою шестерні і зубчастого вінця, укріпленого на корпусі барабана. Можливий варіант приводу з використанням фрикційної передачі. Доцільно встановлювати привід барабана з можливістю регулювання його частоти обертання. Це дозволяє використовувати жомосушильні барабани для сушіння таких продуктів, як зерно, сіно і т. п.

Раніше барабани встановлювали з невеликим ухилом у напрямку переміщення висушеного жому. В даний час барабани встановлюють горизонтально. Жом в процесі висушування надійно переміщується до виходу за рахунок кінетичної енергії сушильного агента і конструкції насадок.

Вихідний отвір топкового пристрою забезпечений лотком для завантаження, по якому подається пресований жом всередину барабана. Корпус апарату з топкової та розвантажувальної камерами з'єднаний через ущільнення.

Усередині барабана, в передній його частині, на внутрішній поверхні укріплені похилі гвинтові лопасті, за допомогою яких жом переміщується уздовж барабана до задньої його частини, заповненої хрестоподібними насадками, призначеними для рівномірного заповнення перерізу барабана жомом і збільшення поверхні контакту з сушильним агентом. Принцип роботи жомосушильного барабана наступний. Пресований жом по лотку надходить до гвинтової лопасті і далі на систему насадок, де рівномірно розподіляється по полицях. При обертанні жом пересипається з однієї насадки на іншу, просувається до розвантажувальної камери і висушується.



1 — привід шнека; 2 і 5 — патрубки; 3 — шнек; 4 — розвантажувальна камера; 6 — бандаж; 7 — опірний ролик; 8 — корпус; 9 — зубчастий вінець; 10 — редуктор; 11 — електродвигун; 12 — опірний ролик; 13 і 17 — ущільнення; 14 — вихідний отвір топки; 15 — лоток для завантаження; 16 — хрестоподібні насадки; 18 — штуцер.

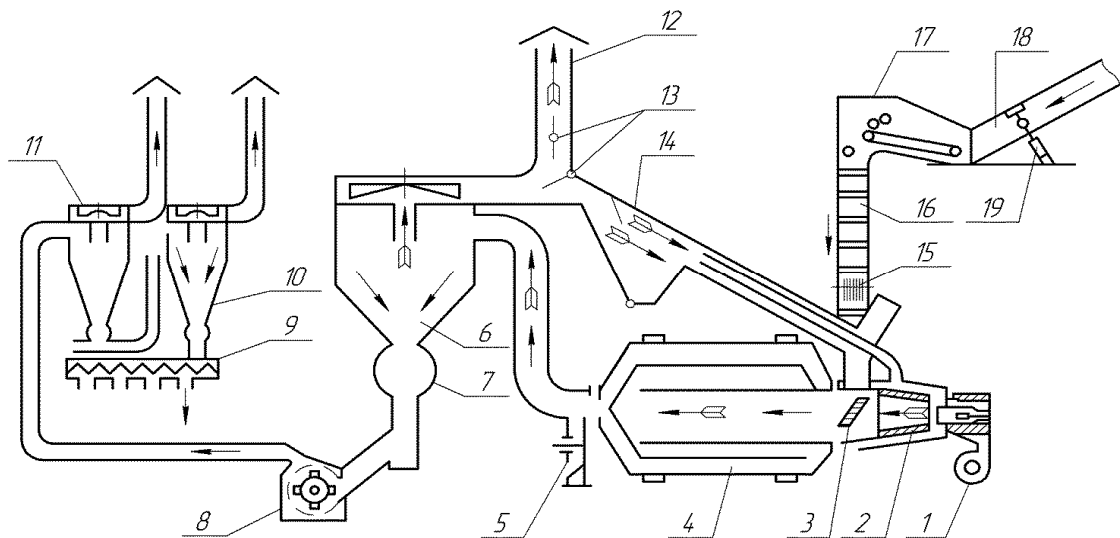
#### Рисунок 4 – Барабанный жомосушильний апарат.

З розвантажувальної камери сушений жом виводиться шнеком через патрубок. Шнек приводиться в рух від електродвигуна. Топкові гази надходять в барабан і рухаються в одному напрямку (прямою чи зворотною) з жомом. При цьому гази з високою температурою (800-900° С) стикаються з найбільш вологим жомом, швидко охолоджуються і надалі, досушують жом до кінцевої вологості (10-13%), через верхню частину розвантажувальної камери зі штуцером за допомогою димососа викидаються в атмосферу[5].

**Агрегат для приготування трав'яного борошна.** Приготування трав'яного борошна відбувається в основному на пневмобарабанных сушарках безперервної дії. Теплоносій з топки (400 – 1000°С) надходить до сушильного барабана. Теплоносій-суміш повітря з продуктами горіння. Сюди ж з бункера живильника завантажувальним транспортером подається попередньо подрібнена до 10–30 мм зелена маса. За рахунок обертання барабана зелена маса перевертається і переміщується в напрямку теплоносія. Частки, що висихають, раніше, стають легшими і швидше виносяться теплоносієм з сушильного барабана. Суха маса разом з теплоносієм потрапляє до великого циклона, в якому відокремлюється від теплоносія і через шлюзовий затвор надходить до молоткової дробарки. В ній висушена маса подрібнюється до розмірів, що визначаються встановленим решетом. Одержане борошно по

пнемо-проводу надходить до малого циклону, відокремлюється від повітря, і через шлюзовий затвор потрапляє в шнековий розподільник і розфасовується в мішки або подається на гранулювання. Температуру теплоносія і експозицію сушіння маси встановлюють з таким розрахунком, щоб вологість висушеної маси була в межах 10–14 % при подрібненні її на вітамінне борошно або 15–18% для вітамінної сички. Функціональна схема автоматизації пневмобарабанный сушарки для сушіння вітамінного борошна представлена на рисунку 5. Основним параметром управління є кінцева вологість трав'яного борошна, яка визначає якість технологічного процесу. Найдоцільнішою є система управління, яка забезпечує максимальну продуктивність сушарки при кінцевій вологості матеріалу 10–12 %. Але здійснення такого управління в даний час неможливе через відсутність надійних технічних засобів для вимірювання вологості трав'яного борошна в потоці у виваженому стані. Сучасні системи здійснюють управління процесом непрямыми методами. Управління ведеться по температурі агенту сушіння, який виходить із сушарки. Крім основної системи управління процесом, сушарка оснащена системою управління температури на виході з топки, яка забезпечує повне згоряння палива, системою захисту при згасанні факелу, а також системою дистанційного управління всіма електродвигунами.





1 – система підігрівання і подачі палива; 2 – теплогенератор; 3 – завантажувальний лотік; 4 – сушильний барабан; 5 – уловлювач важких включень; 6 – циклон сухої маси; 7 – шлюзовий затвор; 8 – молоткова дробарка; 9 – розподільний шинек; 10 – циклон охолодження борошна; 11 – циклон відведення борошна; 12 – вихлопний трубопровід; 13 – регулятор кратності рециркуляції; 14 – пристрій рециркуляції; 15 – регульовальний бітер; 16 – завантажувальний конвеєр; 17 – живильник зеленої маси; 18 – приймальний лотік; 19 – гідросистема піднімання.

**Рисунок 5 – Конструктивно-функціональна схема агрегату АВМ-0,65Р.**

### Висновки

1. Ефективність роботи обертових печей цементної промисловості залежить від наладки технологічного устаткування, процесу випалу клінкера й режиму експлуатації печей під час випуску клінкеру високої активності, мінімальних витрат палива й високих техніко-економічних показників. В процесі експлуатації об'єкти такого роду зазнають зміни в своїх просторових конфігураціях, що негативно впливає на їх продуктивність і технічний стан. Тому актуальним є контроль переміщень точок об'єкту з метою оцінки їх впливу на напружено-деформований стан і технологічні характеристики.

2. Перспективність застосування печей сухого способу виробництва клінкеру обумовлена тепловою економічністю, високою питомою продуктивністю, простотою конструкції, малими розмірами і низькими капітальними витратами. Недоліки печей цього способу є високі витрати електроенергії і низька стійкість футерування.

3. Сучасні сушильні установки оснащені пристроєм плавного пуску, який виключає перевантаження в електромережі при запуску завантаженого матеріалом барабана. Пальники поставляються з системою автоматики, яка забезпечує оптимальне згоряння палива і відсічення газу (мазуту) при раптовій зупинці

сушарки або відключенні електроенергії., що обумовлює актуальність оцінки стану систем автоматики та впливу на їх роботу тривалості та режимів експлуатації.

1. Д. О. Ковалюк, С. М. Москвіна. *Модельовання теплотехнічних об'єктів з розподіленими параметрами.* Д. О. Ковалюк, С. М. Москвіна/ Д. О. Ковалюк, С. М. Москвіна. – монографія Вінниця : ВНТУ, 2010. – 182. 2. Москвіна С. М. *Математична модель енергозбереження теплового об'єкту з розподіленими параметрами* / С. М. Москвіна, Д. О. Ковалюк // *Вісник Вінницького політехнічного інституту.* – 2007. – №4. – С. 15–19. 3. Москвіна С. М. *Оптимізація управління в печах випалювання* / С. М. Москвіна, Д. О. Ковалюк // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія.* – 2007. – № 1. – С. 31–34. 4. Штангеев К.О. *Сушка цукру та жому в бурякоцукровій галузі* / Штангеев К.О./ Київ 2015 © ЮНІДО 2015. 5. Лебедев П.Д. *Расчет и проектирование сушильных установок.* М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962.–320.

Поступила в редакцію 10.05.2017 р.

Рекомендували до друку д. т. н., проф. Семенцов Г. Н., д. т. н., проф. Райтер П. М.