

разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов ВВ, например, малой мощности.

Выводы. В определенных горно-геологических условиях взрывание породных массивов, сложенных кристаллическими породами, рационально осуществлять с помощью взаимодействующих скважинных зарядов ВВ разной мощности и при этом первыми инициировать комбинированные заряды меньшей мощности, расположенные во втором от откоса уступа ряду скважин, как предлагается в разработанных автором способах ведения буровзрывных работ.

Список литературы

1. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под ред. К.П. Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
2. Persson P.A., Holmberg R. and Jailing L.– Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, London, 1994. PP 540.
3. Бетин В.Д. Развитие детонации в скважинных зарядах с полыми цилиндрами // Разработка рудных месторождений. Научно-техн. сб. – Кривой Рог: изд-во КТУ, 2003. – Вып. 83. – С.68-74.
4. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 1. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
5. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
6. Антонов А.Ю., Кириченко И.А. Разработка технологии отбойки на нижних горизонтах железорудных карьеров // Вісник КТУ. Кривий Ріг: КТУ, 2004 - № 5. – С.16-20.
7. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 259 с.
8. <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
9. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. – Кривой Рог: Издательский дом, 2002. – 179 с.

Рукопись поступила в редакцию 03.05.2018

УДК 66.047.7: [62-4+544.023.5]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Д.В. ОМЕЛЬЧУК, аспирант
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ СУШКИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз стратегії вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та емпіричні методи дослідження. Проведено аналіз сучасного стану парку сушильних установок, розглянуто найбільш поширені схеми сушки та виявлено найбільш ефективні методи інтенсифікації процесів сушки

Наукова новизна. В доповіді проаналізовані основні особливості сушки тонкодисперсних матеріалів. Зроблено висновок про енергоефективність та економічність сушильних апаратів, це і зумовило актуальність даної теми дослідження.

Практична значимість. Аналіз сучасних методів сушки тонкодисперсних матеріалів дозволив виявити основні проблеми галузі та знайти найбільш ефективні методи інтенсифікації процесу сушки. Був визначений оптимальний режим сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; розроблена комплексна класифікація матеріалів як об'єктів сушки з виходом на конструктивне оформлення сушильних установок, обґрунтовано визначення часу сушіння, рекомендований порядок вибору сушильних апаратів для тонкодисперсних матеріалів

Результати. При сушінні дисперсних матеріалів важливою проблемою є забезпечення екологічної та виробничої безпеки сушильних установок. Проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів шляхом пропускання змінного електричного струму безпосередньо через шар вологого матеріалу забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання. Один з центральних питань - забезпечення очищення від пилу і створення безуносних сушилок. Були розглянуті основні методи зневоднення тонкодисперсних матеріалів, вивчені теоретичні та механічні засади сушильних процесів. В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних матеріалів.

Ключові слова: тонкодисперсні, інтенсифікація, сушильні апарати, енергоефективність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-190-196

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Поміж всіх матеріалів які підлягають сушінню частка дисперсних і диспергіруємих становить близько 85% у всіх галузях промисловості, включаючи паливно-енергетичний і аграрно-промисловий комплекси [1].

Процес сушіння є самим енергоємним серед всіх технологічних процесів і тому при виборі технології сушіння особливу увагу слід приділити енергетичними показниками процесу. Раніше оцінка енергетичних показників апарату для сушки включала лише оцінку інтенсивності роботи. Однак, при сучасному темпі розвитку науки і техніки з урахуванням економіки і потреб ринку слід доповнити поняття ефективності наступними параметрами: економічність, якість одержуваного продукту і безпеку (в тому числі екологічну і виробничу).

Стратегія вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу повинна включати шість основних етапів: 1) комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння; 2) визначення типу сушарки на основі комплексного аналізу та наявних класифікацій сушильних апаратів; 3) визнання оптимального режиму сушки з урахуванням технологічних вимог до якості висушеного продукту; 4) розрахунок апарату з урахуванням необхідної продуктивності; 5) забезпечення екологічної та виробничої безпеки технологічного процесу; 6) економічний розрахунок [2].

При комплексному аналізі дисперсних матеріалів як об'єкта сушіння виділяють 5 груп характеристик: термічні (теплопровідність, температуропровідність, теплоємність та інше), гігро-термічної і кінетичні (види зв'язку вологи з матеріалами, термограми і енергограми, криві сушіння та ін.); гідромеханічні (розмір, форма частинок, швидкості псевдооживлення і витання, кут природного укосу, адгезіон-аутогезіонні властивості та інше); сорбційно-структурні (ізотерми сорбції-десорбції, аморфність і кристалність, криві розподілу пор за розмірами та ін.); технологічні (необхідна залишкова вологість, допустимі температури, вибухопожежної властивості і багато інших) [3].

Вчені які всесторонньо займались питанням сушки тонкодисперсних матеріалів існує не велика кількість, серед них є: А. В. Ликов, О. В. Замицький, Г. К. Іваніцький, А. А. Долінський, В. Ф. Фролов, С. П. Рудобашта, Б. С. Сажин та ін.

Постановка завдання. Метою даної статті є аналіз стратегії вибору оптимального апаратурно-технологічного оформлення процесу сушіння конкретного матеріалу, що включає комплексний аналіз матеріалу як об'єкта сушіння.

Викладення основного матеріалу. Перш ніж, ми докладно зупинимося на кожному способі сушіння, розглянемо коротко традиційний процес нагріву. Джерелами нагрівання служать, наприклад, нагрівальні елементи опору і інфрачервоні промені, хоча ці елементи знаходяться в середовищі матеріалу що нагрівається. Завдяки температурному випромінюванню і конвективному теплообміну їх енергія передається на поверхню матеріалу і звідти переміщується у внутрішню частину, для того щоб забезпечити наскрізний прогрів матеріалу. Теплопровідність, адсорбція і питома теплоємність матеріалу визначають при цьому, головним чином, процес нагрівання.

Способи зневоднення матеріалів діляться на механічні і теплові. До механічних способів відносяться: відсмоктування, фільтрування, центрифугування та ін. Механічні способи зі зміною тиску можливі лише в тому випадку якщо сушильні матеріали допускають якусь деформацію. Недоліком є не висока кінцева вологість продукту.

Теплові способи видалення вологи набули найбільшого поширення. Вони так само діляться на природні і штучні. Природна сушка відбувається на відкритому просторі. Сушильним агентом і джерелом тепла, необхідного для випаровування вологи з матеріалу, є атмосферне повітря і сонячна енергія. Такий спосіб застосовується для сушіння великого обсягу матеріалу, який не має спеціальних вимог до умов сушки. До недоліків природної сушки в порівнянні зі штучною відносяться: велика тривалість, висока залежність інтенсивності і кінцевої вологості від зовнішніх кліматичних умов, для розміщення матеріалу потрібні великі території і складна система логістики.

Штучна сушка матеріалів проводиться в спеціальних установках, передбачуваних примусовий вплив газового середовища, що поглинає водяні пари з поверхні матеріалу, що висушується. Установки для штучної сушки мають ті ж теоретичні основи роботи, як і класичні тепло-і масообмінні апарати. За способом підведення теплоти ці установки підрозділяються на конвективні, контактні, радіаційні та радіаційно-конвективні. Кондуктивну і комбіновану кондуктивно-конвективну сушки зазвичай об'єднують в єдину назву - контактна.

При сушінні тонкодисперсних матеріалів найбільш часто використовують апарати наступних конструкцій: камерні, конвеєрні, барабанні, шнекові, з псевдозрідженим шаром, струмами високої частоти. Вибір конструкції сушильних установок залежить від багатьох факторів, а саме: від властивостей матеріалу, вимог, що пред'являються до висушеному матеріалу, технологічних режимів сушіння, виду сушильного агента і його параметрів, способу підведення теплоти, виду теплоносія, компактності установки, умов її обслуговування та ін. Камерні сушильні апарати мають найпростішу конструкцію серед усіх вище перерахованих [4].

Для виявлення «найкращого» способу сушки тонкодисперсних матеріалів проаналізуємо детальніше кожен з них.

Найбільш розповсюдженим є спосіб з використанням барабанних сушильних установок. Вони призначені для сушіння різних вибухо- і пожежонебезпечних нетоксичних сипучих (кускових і зернистих) матеріалів, наприклад, піску, вугілля, глини, вапняку, алюмінієвої стружки, пастоподібних матеріалів і т.д. Сушильним агентом є топкові гази або гаряче повітря. Використовуються в виробництвах хімічної та інших галузей промисловості. Барабанні сушилки - апарати безперервної дії. Основний вузол сушилки - циліндричний зварний барабан, встановлений на роликівих опорах з нахилом (1-4°) в бік вивантаження продукту. Привід барабана - від електродвигуна через редуктор і зубчасту передачу.

У початковій по ходу продукту зоні барабана встановлена приймально-гвинтова насадка (в цій зоні продукт, переміщаючись, попередньо підсушується), за нею – лопатева (для рівномірного розподілу і перемішування сушеного продукту при обертанні барабана по його перетину з метою забезпечення розвиненою поверхні контакту з гарячим теплоносієм) і комбінована лопатево-секторальна. Для сушки високовологих матеріалів (вугільного концентрату) освоєні моделі сушарок з ланцюговою насадкою [5]. Рециркуляція газів, що відходять не застосовується, так як для цього необхідно споруджувати складні пристосування для очищення газів. Сушка здійснюється при температурі 120 градусів у відсіках барабанів. На період сушіння продукт віддає 0,5-10% вологи. Сушка з використанням топкових газів, а також сушка з більш високою температурою не проводиться, з міркувань техніки безпеки, оскільки азотнокислотний амоній є вогнебезпечним хімічною речовиною. Продуктивність сушки може складати 150-100000 кг/год.

Барабанні сушилки, перед шахтними, ромбічними або іншими сушилками, мають ряд переваг. Такі сушилки універсальні, надійні в роботі і прийнятні за ціною, споживають мало електроенергії і просто монтуються, так як для їх запуску не потрібні капітальні споруди. Вони рівномірно нагрівають і сушать частки продукту за рахунок посиленого помішування матеріалу. З їх допомогою можна виробляти сушку дуже вологого і засміченого матеріалу. Головна відмінність сушилок барабанного типу – відрізняються високою продуктивністю, сушка в них відбувається набагато швидше, ніж в шахтних сушилках. Гранульований вологий продукт, що надійшов з гранулятора, направляється на просушування в обертовий барабан. Після чого він проходить наступні процедури: розсівання, охолодження, кондиціонування та упаковку.

Сушка крейди, піску та інших матеріалів в барабанних сушилках здійснюються з циклонами для уловлювання пилу. Зазвичай, для дроблення матеріалів застосовуються шоківі дробарки, для більш детального подрібнення - бігуни, а також молоткові дробарки. Весь набір матеріалів, які становлять скляну шихту, в обов'язковому порядку пропускають через сито, щоб великі частинки могли встигнути розплавитися в печі. Матеріали, підготовлені зазначеним способом, проходять процедуру змішування в вагових відносинах до отримання більш-менш однорідної суміші, яка занурюється в піч для варіння скла [6].

На другому місці атмосферні установки для сушки це тунельні сушилки, вони мають ще й другу назву – коридорні. Дане найменування прямо пов'язане з основним елементом конструкції - довгим каналом (тунелем), уздовж якого на транспортуючому пристрої (вагонетках) по рейках переміщається вологий матеріал.

У ролі сушильного агента тут виступає повітря або ж топкові (димові) гази. З метою прискорення процесу сушки використовують циркуляцію однієї і тієї ж кількості теплоносія, пропускаючи його через канал по кілька разів. Подібний прийом дозволяє збільшити швидкість, вологість і середню температуру гарячого повітря, що позитивно відбивається на тривалості сушки і її рівномірності.

Установки коридорного типу класифікують на одноходові і багатоходові. Перші допускають паралельний рух висушуваних виробів, другі – послідовне їх переміщення. Там, де це

можливо, тунельну одноходову сушилку, що відрізняється значною довжиною, набагато доцільніше зробити багатоходовою. В цьому випадку знизяться теплові втрати через зовнішні огороження за рахунок зменшення протяжності останніх.

Важливе значення для всіх сушильних установок подібної конструкції має циркуляція повітря. Найбільш раціональна робота відповідає принципу протитоку з оптимальною швидкістю пропускання теплоносія не менш 2-3 м/с. Що ж стосується кількості, що проходить уздовж коридору сушильного агента, то воно залежить від продуктивності сушилки. З метою підвищення рівномірності сушки, яка «страждає» за рахунок нерухомості матеріалу, канали роблять великої довжини – аж до 40 м. При цьому протяжність тунелю в 50 м вважається критичною в зв'язку з різким зростанням опору системи.

У порівнянні з коридорними сушилками з частковим поверненням відпрацьованого теплоносія, набагато кращою ефективністю відрізняються установки подібної конструкції але з проміжним підігрівом повітря. Чотири окремі зони, призначені для нагрівання сушильного агента, дозволяють значно поліпшити показники процесу сушки. Тут можна виділити наступні переваги:

зниження перепаду температур на вході/виході повітря;

збільшення швидкості теплоносія як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках;

висока економічність процесу за рахунок хорошої рівномірності і швидкості сушки при порівняно низьких температурах.

Якщо проаналізувати камерні сушильні установки з псевдозрідженим шаром то можна помітити що вона може обробляти велику різноманітність матеріалів, що піддаються сушці в псевдозрідженому шарі, схеми і конструкції сушильних апаратів які мало відрізняються один від одного. Змінюються лише способи подачі матеріалу і в деяких випадках конструкції робочих решіток. Найбільшого поширення набули апарати безперервної дії, у них менше питома витрата палива, вище к.к.д. Повністю використовується робочий простір сушильної камери. У виробничих умовах перевага віддається однокамерним апаратам, які в порівнянні з багатокамерними простіше у виготовленні, експлуатації та організації автоматичного управління.

Камерні сушильні установки з псевдозрідженим шаром призначаються для сушки дрібнозернистих матеріалів: піску, вугілля, вапняку, мінеральних і органічних солей, зерна, а також для сушки матеріалів що грудкуються: сульфату амонію, деяких полімерів, волокнистих і пастоподібних речовин. В апаратах подібного типу можна виконувати і випарювання розчинів, розплавів і суспензій.

Незважаючи на велику різноманітність матеріалів, що піддаються сушці в псевдозрідженому шарі, схеми і конструкції сушильних апаратів мало відрізняються один від одного. Змінюються лише способи подачі матеріалу і в деяких випадках конструкції робочих решіток. Однокамерні сушилки мають більш високі техніко-економічні показники і займають меншу площу, ніж, наприклад, барабанні і багатокамерні.

Апарати з псевдозрідженим шаром придатні для сушки матеріалів в середовищі газів як з помірною (200-300°C), так і з високою (1000°C) температурою. Однак температура сушильного агента і особливо поверхні решітки повинна бути нижче температури розм'якшення оброблюваного матеріалу. Деякі конструкції апарату передбачають охолодження решітки. При сушінні зернистого матеріалу не допускається спалювання палива в псевдозрідженому шарі внаслідок високої температури шару, великих втрат теплоти з газами, що відходять і перегріву, а можливо і зміни властивостей матеріалу. Питома витрата теплоти в сушилках з псевдозрідженим шаром $q = 3700 - 4500$ кДж / кг вологи; палива - $b = 0,127 - 0,160$ кг у.т. / кг вологи; електроенергії $\Delta N = 0,05 - 0,08$ кВт / кг вологи.

Натомість розглядаючи наступну групу труба-сушилка, то можна помітити що для створення такої системи необхідно, щоб швидкість потоку в вертикально або похило розташованій трубі була більше швидкості витання часток і запас фізичної теплоти сушильного агента був достатнім для нагрівання матеріалу і випаровування певної кількості вологи. Залежно від розмірів частинок, властивостей матеріалу і температури газів швидкість потоку в трубі сушарки може змінюватися від 10 до 40 м/с. Найбільш оптимальним, економічно обгрунтованим вважається розмір часток, що не перевищує 8-10 мм. Зі збільшенням розміру часток ефективність сушіння зменшується.

Короткочасне перебування (від двох до десятих долей секунди) дрібних частинок в обсязі сушильного агента і видалення при цьому в основному вільної вологи дозволяють застосовува-

ти на вході в трубу сушильний агент з підвищеною температурою від 100 до 800°C, а на виході - до $t_r'' = 100 - 150$ °C. Подача матеріалу з деякою швидкістю назустріч висхідному потоку газу сприяє підвищенню ефективності установки, і навпаки, зменшує при введенні матеріалу паралельно нисходяще потоку що рухається. Довжина (висота) і діаметр труби сушарки повинні бути достатніми для здійснення сушіння матеріалу до заданого вмісту вологи, але в той же час не повинні перевищувати: довжина - 25 м, діаметр - 1 м. Зі збільшенням висоти труби зростає опір системи, а отже, і витрата енергії на привід тягодутьєвих пристроїв. У тих випадках, коли допускається дроблення матеріалу або, навпаки, він настільки щільний, що не змінює своїх розмірів і форми при пересиланнях (наприклад зерно), нерідко застосовується рециркуляція матеріалу (часткове повернення в трубу-сушарку). Цей захід дозволяє скоротити довжину труби і сушити в такій системі сильно вологі матеріали, наприклад буре вугілля, фрезерний торф, деякі сорти піску, траву. Питома витрата теплоти в пневмосушілках змінюється в межах $q=3300\div 4600$ кДж/кг вологи; палива - $b = 0,115\div 0,165$ кг у.т./кг вологи [7].

До недоліків пневматичних сушилок слід віднести погіршення санітарних умов в порівнянні з іншими установками, підвищену схильність до вибухів, велика витрата електроенергії, підвищений знос труби і особливо на поворотах, при сушінні полідисперсних матеріалів спостерігається значний винос дрібного пилу.

Ще однією з основних розглянутих нами способів сушіння є терморадіаційна сушка. Відомо, що щільність теплового потоку випромінюванням q_d від одного тіла до іншого в діаметричному середовищі (повітрі) пропорційна різниці абсолютних температур цих тіл в четвертій ступені. Це означає, що при допустимих в процесі сушіння різницях температур і досить високих інтегральних ступенях чорноти поверхонь величина q_d буде в 10-40 разів більше, ніж при конвективному теплообміні. Для досягнення рівномірного опромінення доцільно застосовувати випромінювачі, форма поверхні яких відповідала б формі поверхні тіла, що нагрівається. Найбільш зручна форма випромінюючих поверхонь може бути створена з порожнистих панелей і каналів, що обігріваються топковим газом. Ця система обігріву випромінювачів економічніше ламп розжарювання, що використовують як джерело теплоти електроенергію. Отже, в терморадіаційних сушильних установках можна інтенсифікувати процес сушки без застосування великих швидкостей і високих температур сушильного агента. Однак інтенсивність сушки залежить не тільки від щільності теплового потоку на поверхні матеріалу, що висушується. На її величину впливають також умови поширення вологи всередині матеріалу і параметри на кордоні фазового переходу води в повітря, тобто коефіцієнт вологообміну і різниця парціальних тисків пара. Тому найчастіше за все радіаційна сушка застосовується при видаленні вільної вологи з поверхневих шарів тонкого матеріалу або розчинників з лакофарбових покриттів, коли умови поширення вологи всередині шару матеріалу не обмежують її надходження до поверхні випаровування.

Детальніше розглянемо методи сушки з використанням електричного струму. Розпочнемо з діелектричної сушки струмами високої частоти. Фізична сутність діелектричного нагріву полягає в наступному: у твердих тілах і рідких середовищах з поганою електричною провідністю (діелектриках), поміщених в швидкозмінне електричне поле, електрична енергія перетворюється в теплову.

У будь-якому діелектрику є електричні заряди, пов'язані міжмолекулярними силами. Ці заряди називаються пов'язаними на відміну від вільних зарядів в провідникових матеріалах. Під дією електричного поля пов'язані заряди орієнтуються або зміщуються в напрямку поля. Зсув пов'язаних зарядів під дією зовнішнього електричного поля називається поляризацією.

У змінному електричному полі відбувається безперервне переміщення зарядів, а отже, і пов'язаних з ними міжмолекулярними силами молекул. Енергія, що витрачається джерелом на поляризацію молекул непровідникових матеріалів, виділяється у вигляді тепла. У деяких непровідникових матеріалах є невелика кількість вільних зарядів, які створюють під дією електричного поля незначний по величині струм провідності, що сприяє виділенню додаткового тепла в матеріалі.

При діелектричному нагріванні матеріал, який підлягає нагріванню, поміщається між металевими електродами – обкладками конденсатора, до яких підводиться напруга високої частоти (0,5-20 МГц і вище) від спеціального високочастотного генератора. Установка для діелектричного нагріву складається з лампового генератора високої частоти, силового трансформатора і сушильного пристрою з електродами. Високочастотний діелектричний нагрів – перспектив-

ний спосіб нагріву і застосовується головним чином для сушіння й теплової обробки деревини, паперу, продуктів і кормів (сушіння зерна, овочів і фруктів), пастеризації і стерилізації молока і т. п. Недоліком цього способу можна назвати високу енергоємність процесу зневоднення і низьку продуктивність [8].

Дослідження по вельми ефективній сушці дрібного вугілля, розміром - 6 мм на установці безперервного дії проводилися в дослідницькому центрі Гірського Бюро в Міннеаполісі (штат Міннесота США). Досвідченими зразками виступали кам'яне і буре вугілля. Поряд з традиційною термічною сушінням, яка видаляє поверхневу вологу, новий спосіб застосування мікрохвильової сушки дозволяє позбутися від внутрішньої вологи. Особливістю нового методу є висока пропускна здатність передачі мікрохвильової енергії у воді на відміну від теплового процесу, коли велика частина енергії поглинається твердим тілом.

Сушильна лабораторна установка представляла собою конвеєр зі швидкістю руху стрічки до 1 м/хв. Над конвеєром розміщені два мікрохвильових генератора. Випари води видаляються витяжним вентилятором. Установка обладнана приладами контролю і управління, є відсік для дистанційного спостереження

Недоліками цього способу є необхідність застосування дисперсного електропровідного матеріалу в якості теплоносія, висока енергоємність і низька продуктивність, так як процес періодичний.

Відомий спосіб сушіння виробів з капілярно-пористих матеріалів шляхом поміщення їх в шар дисперсного електропровідного матеріалу що стискається і їх нагрівання пропусканням через останній електричного струму з використанням тепла, що акумулюється [9]. Даний спосіб відноситься до комбінованого і його недоліком є: висока енергоємність, так як енергія витрачається як на нагрів матеріалу, так і на виробництво теплоносія і низька продуктивність, так як процес носить періодичний характер.

Наостанок розглямо ще один спосіб сушки дисперсних матеріалів за допомогою електричного струму. Навідміну від способу з використанням СВЧ, де електрична енергія перетворюється на хвилю, в даному способі електричний струм пропускають безпосередньо через шар вологого матеріалу [10]. При цьому вологий матеріал приводять в контакт з електродами і включають безпосередньо в електричний ланцюг, через який пропускають електричний струм. При проходженні електричного струму через вологий матеріал в останньому виділяється тепла енергія, яка призводить до розігріву і випаровуванню міститься вологи. У зв'язку з тим, що при зменшенні вологості просушуємого матеріалу величина струму, що протікає через матеріал і кількість тепла, що виділяється мимовільно знижуються, контроль за процесом сушіння здійснюють за величиною струму, що протікає в ланцюзі. Вакуумна обробка або продування просушуємого матеріалу стисненим повітрям або іншим газом одночасно з пропусканням електричного струму полегшує видалення парів вологи і прискорює процес сушіння. Спосіб дозволяє з низькими енерговитратами (0,8-1,0 кВт год на 1 кг віддаленої вологи) просушувати вологі матеріали, наприклад гранульовані або механічно подрібнені шлаки кольорової металургії та продукти їх сепарації в водному середовищі. Спосіб може бути використаний в різних областях техніки, переважно в хіміко-металургійної промисловості, для сушки таких сипучих матеріалів, які у вологому стані є провідниками електричного струму, тобто містять електролітну вологу [11, 12]. Перевагою є перспектива розробки методу для визначення проміжних значень вмісту вологи в матеріалі, що висушується. Недоліками – необхідність забезпечення високого рівня електричної безпеки; суттєва залежність швидкості зневоднення та кінцевого вмісту вологи матеріала, що висушується, від електро-механічних властивостей матеріала та кількості і складу домішок у волозі.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів шляхом пропускання змінного електричного струму безпосередньо через шар вологого матеріалу забезпечує найкращі показники енергозбереження, екологічності та енергоспоживання. Перевагами даного способу є: найменша витрата умовного палива для випаровування 1 кг вологи, низькі економічні витрати при впровадженні на виробництво, низький рівень викидів забруднених газів в атмосферу.

В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних

матеріалів.

Список літератури

1. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке. - М. - 1986.- 135 с.
2. Сажин, В.Б. Выбор и расчет аппаратов с взвешенным слоем/ В.Б. Сажин, М.Б. Сажина. – М. – 2001. – 336 с.
3. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки/ Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. – М.: Наука. – 1997. – 448 с.
4. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах/ Б.В. Дерягин, Н. В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989.– 288 с.
5. Корягин А.А. Сушильные аппараты и установки, каталог.- 1989.- с. 11
6. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов.- Л.: Химия. - 1987.- 208 с.
7. Рудобашта С.П. Математическое моделирование процесса конвективной сушки дисперсных материалов// Известия Академии наук. Энергетика.- 2000. - №4.- С. 98-109
8. А.с. 1281845 СССР, 26В 3/347. Установка для высокочастотной сушки диэлектрических материалов / И.Б. Заманский, В.Х. Коен, О.П. Родионова, Г.А. Трошина. - №3894221/24-06 ; заявл. 11.05.85; опубл. 07.01.87, Бюл.№1.
9. А.с. 1015206 СССР, 26В 3/34, 5/14, 5/16. Способ сушки изделий из капиллярно-пористых материалов / И.М. Пиевский, И.З. Мильштейн. - №3363112/24-06 ; заявл. 04.12.81; опубл. 30.04.83, Бюл. № 16.
10. Замыцкий О.В. Экологически чистый способ доводки тонкодисперсных продуктов обогащения по влажности.- МГГУ. - М.- 1995.-№ 3. – С. 82-84
11. Каварма И.И., Замыцкий О.В. Основные закономерности обезвоживания прямым воздействием электрического тока. Деп. рук. в ГНТБ Украины, 1994
12. Пат. 2143655 Российская Федерация, МПК F26B3/34. Способ сушки влажных сыпучих материалов / Ефимов В.Н.; Сидоренко Ю.А.; Агафонов Д.А.; Ельцин С.И.; заявитель и патентообладатель ОАО "Красноярский завод цветных металлов". - № 98113499/06; заявл. 13.07.98 ; опубл. 27.12.99, Бюл. № 2.

Рукопис подано до редакції 01.11.2017

УДК 001.57:681.5.015

А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц.

Центральноукраїнський національний технічний університет

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІІ СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНОЇ КРУПНОСТІ РОЗВАНТАЖЕННЯ КУЛЬОВОГО МЛИНА І ПІСКІВ ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Мета. Метою даної роботи є теоретичне дослідження ідентифікації середньозваженої крупності розвантаження кульового млина і пісків односпірального класифікатора за параметрами випадкового процесу розподілу твердого в невеликому контрольованому просторі при проходженні через нього потоку, спрямоване на можливість використання магнітоелектричної системи.

Методи дослідження. В роботі використані метод узагальнення результатів попередніх досліджень, аналізу результатів, отриманих прийнятим базовим методом, методи теорії імовірності, випадкових процесів, диференціювання функцій, моделювання, теорії чутливості, узагальнення, розмірностей, компенсації дії збурних факторів, електромагнітної індукції.

Наукова новизна. Вперше запропоновано підхід вимірювання середньозваженої крупності матеріалу в розвантаженні кульового млина і пісків односпірального класифікатора за параметрами випадкового процесу швидкості зміни об'єму твердого в невеликому контрольованому просторі, через який рухається потік або сприймаючий елемент відносно матеріального потоку.

Практична значимість. Отримана аналітична залежність електрорушійної сили магнітоелектричної системи, що взаємодіє з матеріальним потоком, від середньозваженої крупності часток твердого, на яку також впливають концентрація часток, вміст в них магнетиту та швидкість переміщення. Відсутність технічних засобів вимірювання середньозваженої крупності твердого в розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора стримує удосконалення систем автоматизації перших стадій подрібнення-класифікації на рудозбагачувальних фабриках, що приводить до значних економічних збитків.

Результати. Запропонована аналітична залежність швидкості зміни об'єму твердого в невеликому контрольованому просторі, через який рухається матеріальний потік, дозволяє визначати середньозважену крупність часток руди у розвантаженні кульового млина і пісках односпірального класифікатора. Однак при цьому збурними факторами є концентрація твердого в контрольованому просторі і швидкість переміщення потоку. Вплив їх на результати вимірювання суттєвий – до $\pm 17,5\%$ і $\pm 33\%$. Найкращі результати можливо отримати, коли в контрольованому просторі знаходиться близько 200 часток твердого. При цьому можливо якісно здійснити вимірювання середньозваженої крупності твердого в межах її технологічних змін. Відтворити процес найбільш ефективно магнітоелектричною системою з визначенням її електрорушійної сили, яка, крім того, залежить від вмісту магнетиту в твердому. Коливання вмісту магнетиту легко компенсувати, вимірюючи зміну магнітного потоку відносно нормативного.

Ключові слова: середньозважена крупність, кульовий млин, піски класифікатора, магнітоелектрична система