

Kinetics of drying Na⁺ - lost form of bentonium pine

O.G. Chernyshyn¹, O.M. Nedbailo¹, M.P. Kuzminec²

¹ - The State Enterprise "Engineering Center "Drying"" Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine
Tel.: +380444240279, tel./fax +380444243283
E-mail: icsushka@gmail.com

² - National Transport University, str. Boychuka, 42, Kyiv, 01103, Ukraine
Tel.: +380442849713
E-mail: kuzminecnp@ukr.net

Article info: received 18.07.2017, revised 14.08.2017, accepted 17.09.2017

Chernyshyn, O.G., Nedbailo, O.M., Kuzminec, M.P. (2017) Kinetics of drying Na⁺ - lost form of bentonium pine, 3(36), doi: 10.26909/csl.3.2017.3

It is known that the thermal treatment of bentonite clay changes their physical and chemical properties. Experimentally established for the Paleocene bentonite of Voronezh anteclase, that the drying mode can significantly change some of the foundry and metallurgical properties of bentonite. The mineral composition was established by the RFA method, the identification was carried out, the quantitative content of the clay rock formation mineral and the components of impurities were determined, the degree of enrichment with montmorillonite. Results of an experimental research kinetics of drying granulated suspensions Na⁺- substituted form of bentonitic clay of the Cherkassy deposit are submitted. Influence on process of drying of temperature, speed of the drying agent, humidity of a material, the geometrical sizes of granules, their grouping and accommodation concerning a stream of the heat-carrier is shown. Observations have shown that with the growth of the initial moisture content of the material, the amount and size of the cracks increases. However, drying of natural bentonite clay, even with high humidity, does not cause cracking of granules. However, the high moisture content in the suspension leads to an extension of the drying period and increased energy consumption. The obtained results indicate that regardless of the direction of the flow of the drying agent relative to a single granule or a group of granules, the kinetic parameters of drying improve with the decrease in the diameter of the granules. The analysis of the data showed that the drying rate depends on the aerodynamic conditions in the granule placement zone. With lateral blasting of the weighbridge plane by the drying agent stream, the best results are obtained when single granules are placed across the flow. It can be seen that breaking the pelleting mode can lead to loss of drying performance and increased energy consumption.

Key words: kinetics of drying, bentonite, clay, granules.

Кінетика сушіння Na⁺- заміщеної форми бентонітової глини

О.Г. Чернишин¹, О.М. Недбайло¹, М.П. Кузьмінець²

¹ - Державне підприємство «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

² - Національний транспортний університет, Київ, Україна

Відомо, що термічна обробка бентонітової глини змінює її фізичні та хімічні властивості. Експериментально встановлено для палеоценового бентоніту Воронезького антеклазу, що режим сушіння може суттєво змінити деякі ливарні та металургійні властивості бентоніту. Мінеральний склад був встановлений методом РФА, здійснено ідентифікацію, визначено кількісний вміст мінералу з глинистого каменю та компоненти домішок, ступінь збагачення монтмориллонітом. Представлені результати експериментальних досліджень процесу сушіння гранульованих суспензій Na⁺ - замісної форми бентонітової глини Черкаського родовища. Показано вплив на процес сушки температури, швидкості сушарки, вологості матеріалу, геометричних розмірів гранул, їх групування та розміщення щодо потоку теплоносія. Спостереження показали, що при збільшенні початкової вологості матеріалу збільшується кількість і розмір тріщин. Проте сушка природної бентонітової глини, навіть при підвищеній вологості, не викликає розтріскування гранул. Однак високий вміст води в суспензії призводить до продовження періоду сушіння та збільшення споживання

енергії. Отримані результати вказують на те, що незалежно від напрямку потоку сушильного агента відносно однієї гранули або групи гранул кінетичні параметри сушіння поліпшуються зі зменшенням діаметра гранул. Аналіз даних показав, що швидкість висихання залежить від умов аеродинаміки в зоні розміщення гранул. При бічному вирівнюванні площини вагової площини по струму сушильного агента найкращі результати отримують, коли по одному потоку розташовуються одиночні гранули. Видно, що порушення режиму гранулювання може призвести до втрати продуктивності сушіння та збільшення споживання енергії.

Вступ

Україна займає провідне місце у світі з запасів бентонітових глин, значна частина яких сконцентрована в Черкаському родовищі. Розвідані запаси дозволяють не тільки забезпечити внутрішні потреби ринку, але й експортні – у великому об'ємі. Однак технологічні можливості діючого комбінату бентонітових глин на Дашуковській ділянці родовища не дозволяють забезпечити стабільне нарощування об'ємів виробництва продукції без погіршення якості вихідної сировини. Для утримання провідних позицій в Україні та зміцнення положення на закордонних ринках назріла необхідність у розробці нових технологічних рішень та створення високопродуктивної технологічної лінії з виробництва глинопорошків, які не поступалися б існуючим аналогам як за якістю, так і за вартістю.

Існуюча технологічна схема одержання глинопорошків на комбінаті включає «сухе» модифікування природного бентоніту шляхом іонного заміщення обмінних катіонів на Na^+ , сушіння та подрібнення. Процес сушіння здійснюється в барабанній сушарці при прямому контакті з бентонітом гарячих газів теплогенератора, що працює на мазуті. У результаті нерівномірного прогріву, що є недоліком даного виду сушарок при роботі з пластичними матеріалами, зовнішня поверхня глини може перегріватися вище температури видалення вільної та фізично зв'язаної води й втрачати конституційну вологу, що призводить до зміни структури матеріалу й погіршення його фізико-хімічних властивостей. Іншим суттєвим недоліком прямого контакту є забруднення глини продуктами згоряння палива, що погіршує адсорбційну здатність порошків та обмежує їх використання.

Реконструкція комбінату передбачає заміну «сухої» активації бентоніту на «мокру» та формування матеріалу у вигляді гранул циліндричної форми. Для сушіння глинистої суспензії запропоновано стрічкову сушарку з перфорованою стрічкою, в якості сушильного агента – підігріте повітря.

Відомо, що термічна обробка бентонітових глин змінює їх фізико-хімічні властивості. Експериментально встановлено для бентоніту палеоцену вороніжської антеклізи, що режим сушіння може досить істотно змінити деякі ливарні та металургійні властивості бентоніту [1].

У зв'язку з відсутністю даних про кінетику сушіння Na^+ -заміщеної форми бентонітової глини

Черкаського родовища було поставлено завдання експериментально дослідити конвективне сушіння гранульованого матеріалу, визначити оптимальні умови та важелі впливу на процес сушіння.

Матеріали і методи дослідження

Для досліджень Na^+ -заміщену форму бентонітової глини одержували в лабораторних умовах шляхом «мокрого» заміщення обмінного катіонного комплексу глинистого мінералу за методикою, викладеною в [2].

Рентгенофазовий (РФА) аналіз бентонітової породи, глинистого мінералу й Na^+ -заміщеної форми бентоніту проведено на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-М1 з двома щілинами Солера з фільтрованим CoK_α -випромінюванням при швидкості зйомки $1^\circ/\text{хв}$. Ідентифікацію мінерального складу проводили відповідно до картотеки ASTM [3] і роботами [4, 5].

Термічний аналіз бентонітової породи та її Na^+ -заміщеної форми виконано на дериватографі Q-1000 [6].

Процес конвективного сушіння досліджували в горизонтальній камері експериментального стенда при боковому обдуванні зразків сушильним агентом. Гранули розміщали на сітчасту площинку стійки ваг (рис. 1).

Сушильний стенд обладнаний автоматизованою системою збору та обробки інформації, в склад якої входить комп'ютер, прикладна спеціалізована програма та канали реєстрації температури теплоносія, зразка в двох точках та його маси. Комп'ютерна програма дозволяє безперервно накопичувати інформацію про перебіг процесу сушіння, виконувати необхідні розрахунки та здійснювати графічні побудови. Детальний опис експериментального сушильного комплексу викладено в [7].

Враховуючи, що у новій технологічній схемі виробництва передбачено гранулювання матеріалу, дослідження кінетики сушіння проводили на зразках циліндричної форми (гранулах) довжиною 50 мм в залежності від діаметра (10, 16 та 20 мм), температури (110 – 170°C), швидкості сушильного агента (1,4 – 4,1 м/с), вологості матеріалу (35 – 50%), взаємного розташування та розміщення зразків відносно потоку теплоносія. Для порівняння кривих сушіння та швидкості сушіння зразків, вологість яких відрізнялась, вологовміст представлений в безрозмірній формі.

Результати та їх обговорення

З метою визначення умов сушіння проведено фізико-хімічний аналіз бентонітової породи та її Na^+ -заміщеної форми.

Методом РФА встановлений мінеральний склад, проведена ідентифікація, визначено кількісний вміст глинистого породоутворюючого мінералу та компонентів домішок, ступінь збагачення монтморилонітом.

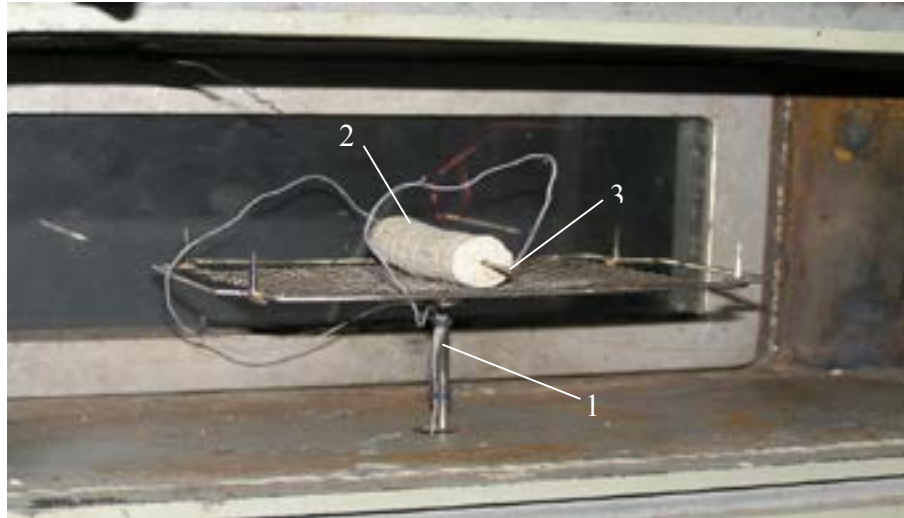


Рис. 1. Внутрішній вигляд камери стенда з боковим обдуванням зразків сушильним агентом: 1 – вагова стійка з сітчастою площиною; 2 – гранула глини після сушіння розміщена поперек потоку теплоносія; 3 – зонд з термопарою

Інтенсивні відбиття на дифрактограмах зразків з міжплощинною відстанню 1,52 - 1,58 нм і серія базальних рефлексів 0,447; 0,255; 0,169 нм характерні для шаруватих алюмосилікатів зі структурою типу 2:1 [5]. Дифракційне відбиття (060), рівне 0,149 нм, указує на приналежність глинистого мінералу до диоктаедричної серії [8]. Згідно з даними РФА, основним породоутворюючим мінералом бентонітової породи родовища є монтморилоніт, вміст якого біля 80%. Супутній мінерал – кварц (близько 10%). У зразках породи присутні кальцит – 6%, анатаз і польові шпати – до 3% кожного,

виявлені сліди каолініту. Термічний аналіз Na^+ -заміщеної форми бентонітової глини показав, що через зміни в структурі монтморилоніту, викликані втратою хімічно зв'язаної (конституційної або структурної) води, яка спостерігається в інтервалі 190 – 682°C, максимальна температура сушки матеріалу не може перевищувати 190°C. У зв'язку з цим дослідження проведені при температурах сушильного агента в діапазоні 100 – 170°C.

Як видно з кривих, представлених на рис. 2, підвищення температури сушильного агента до 160°C викликає зростання швидкості та зменшення часу сушіння.

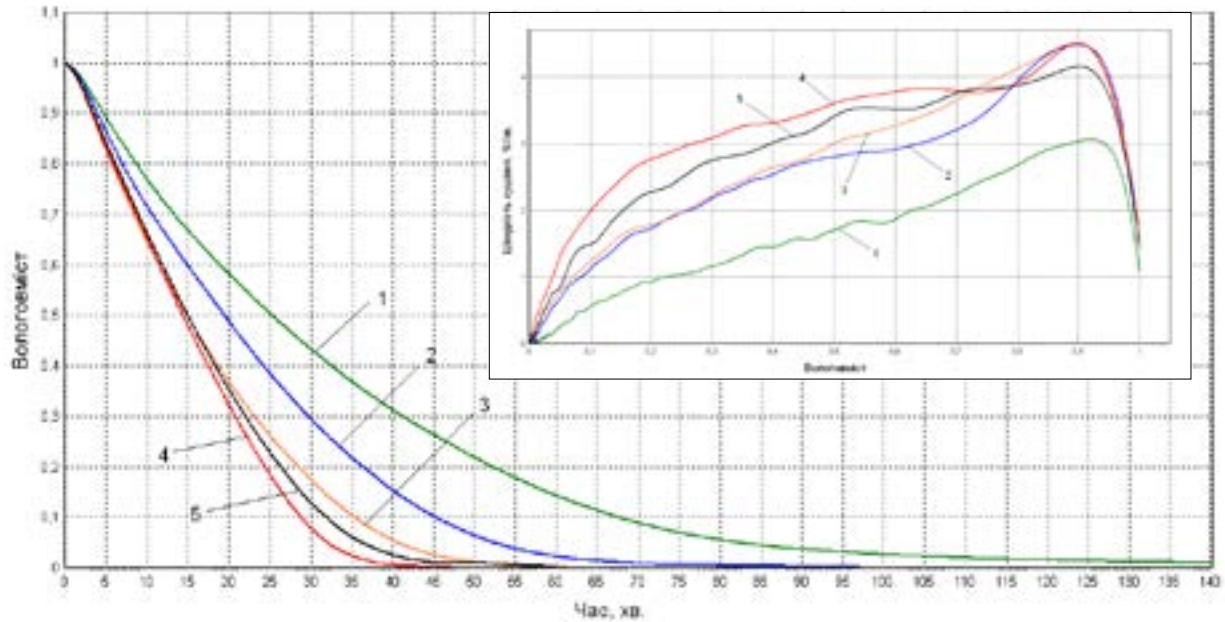


Рис. 2. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул діаметром 10 мм при температурі сушильного агента: 1 – 100; 2 – 120; 3 – 145; 4 – 160; 5 – 170°C. Швидкість теплоносія – 1,4 м/с.

Підвищення швидкості сушильного агента в більшості випадків є дієвим засобом інтенсифікації тепломасообміну [9]. Одержані дані є наочним підтвердженням цьому (рис. 3). Так зміна швидкості сушильного агента (теплоносія) з 1,4 до 4,1 м/с прискорює час зневоднення матеріалу до 7% вологості в 1,61 рази.

Проте подальший підйом температури до 170°C погіршує кінетику сушіння, зниження

швидкості відмічається від початку сушіння. Це явище досліджувалось окремо, було встановлено, що воно є наслідком ущільнення поверхневого шару матеріалу (утворення кірки) у результаті теплового удару, яке утруднює переміщення вологи до зовнішньої поверхні гранул. Тому надалі дослідження здійснювали при температурі 160°C.

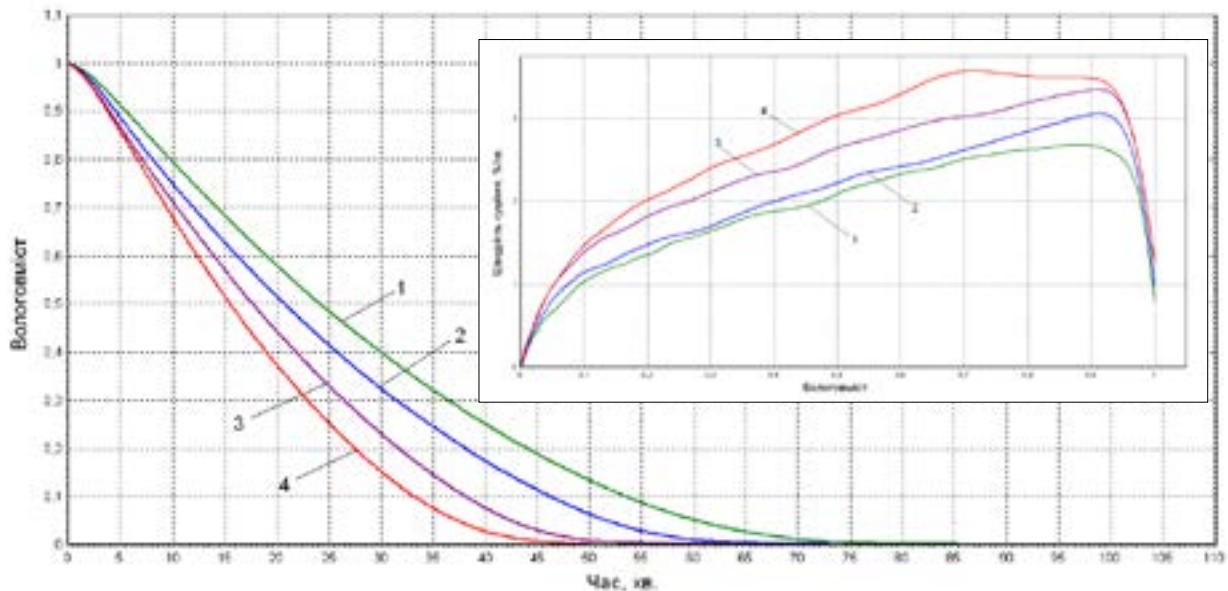


Рис. 3. Кінетичні криві сушіння двох паралельних гранул діаметром 16 мм, розміщених вповдовж потоку теплоносія при швидкості: 1 – 1,4; 2 – 2,0; 3 – 3,0; 4 – 4,1 м/с.

Процес модифікування природного бентоніту шляхом мокрого іонного заміщення потребує приготування висококонцентрованої

глинистої суспензії. Швидкість іонного обміну поряд з багатьма іншими факторами залежить від співвідношення твердої фази і води. Для його

прискорення необхідно зменшувати вміст твердої фази. Виходячи з практичних міркувань було вибрано інтервал вологості суспензії 35 – 50%.

Як показали результати досліджень,

швидкість процесу зневоднення прямо пропорційно залежить від вологовмісту (рис. 4).

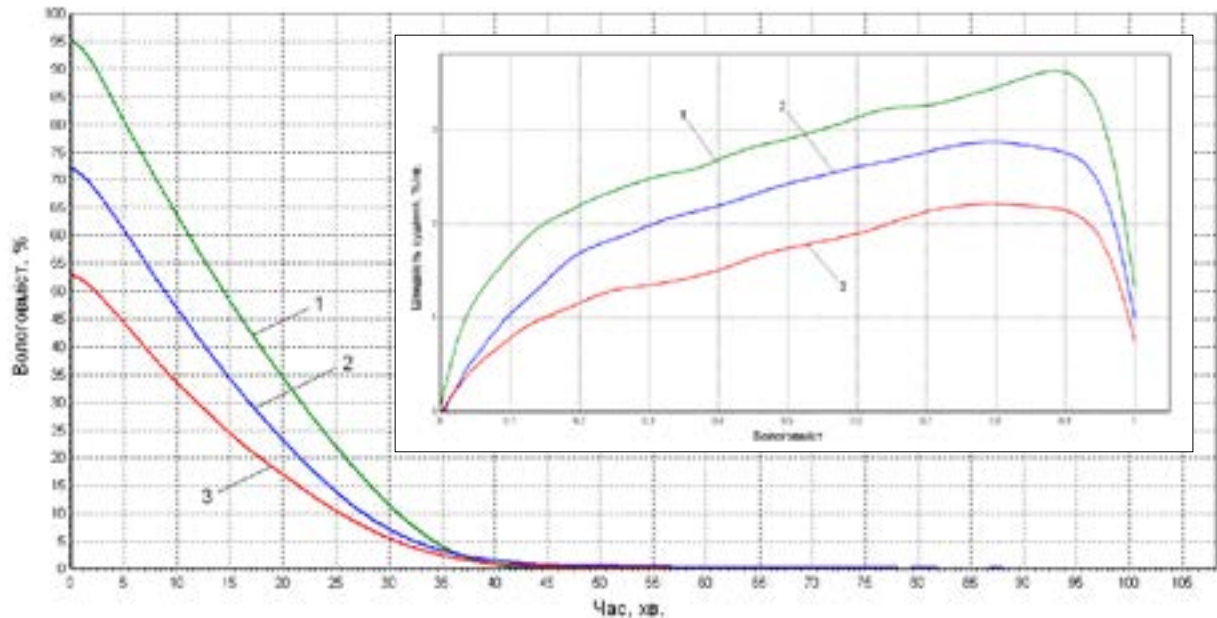


Рис. 4. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул діаметром 16 мм, розміщених поперек потоку сушильного агента, з вихідною вологістю: 1 – 49,67; 2 – 42,0; 3 – 35,39%. Швидкість теплоносія – 3 м/с.

Сушіння зразків із вологістю 42 – 50% супроводжується утворенням тріщин на зовнішній поверхні гранул, які з часом розвиваються, тим

самим збільшуючи поверхню випаровування, що і є однією з причин більш високих швидкостей зневоднювання (рис. 5).



Рис. 5. Гранули природної глини (2) та її Na⁺-заміщеної форми (1, 3, 4) до (1) та після сушіння (2, 3, 4) при температурі 160°C і швидкості теплоносія 3,0 м/с. Вихідна вологість зразків: 2 – 32,79; 3 – 49,67 та 4 – 35,39%.

Спостереження показали, що з ростом вихідної вологості матеріалу кількість та розмір тріщин збільшується. Проте сушіння природної бентонітової глини навіть з підвищеною вологістю не викликає розтріскування гранул (рис. 5, гранула 2). Однак підвищений вміст води в суспензії

приводить до подовження періоду сушіння та збільшення енерговитрат. Так час сушіння до досягнення матеріалом 10% вологовмісту в однакових умовах збільшується на 20,6% для суспензії з вихідною вологістю 46,69% в порівнянні з суспензією вологістю 35,39%.

Відомо, що кінетика сушіння подрібненого матеріалу в шарі, крім зазначених вище факторів, залежать від товщини та ущільнення шару, розмірів частинок матеріалу та напрямлення потоку сушильного агента [10]. Застосування гранулювання суспензії глини та використання стрічкової сушарки викликало необхідність дослідження впливу на кінетику сушіння геометричних розмірів гранул, їх взаємного

розташування на стрічці транспортера та розміщення по відношенню до потоку сушильного агента.

Одержані результати свідчать про те, що незалежно від напрямлення потоку сушильного агента відносно одиночної гранули або групи гранул кінетичні параметри сушіння покращуються із зменшенням діаметра гранул (рис. 6).

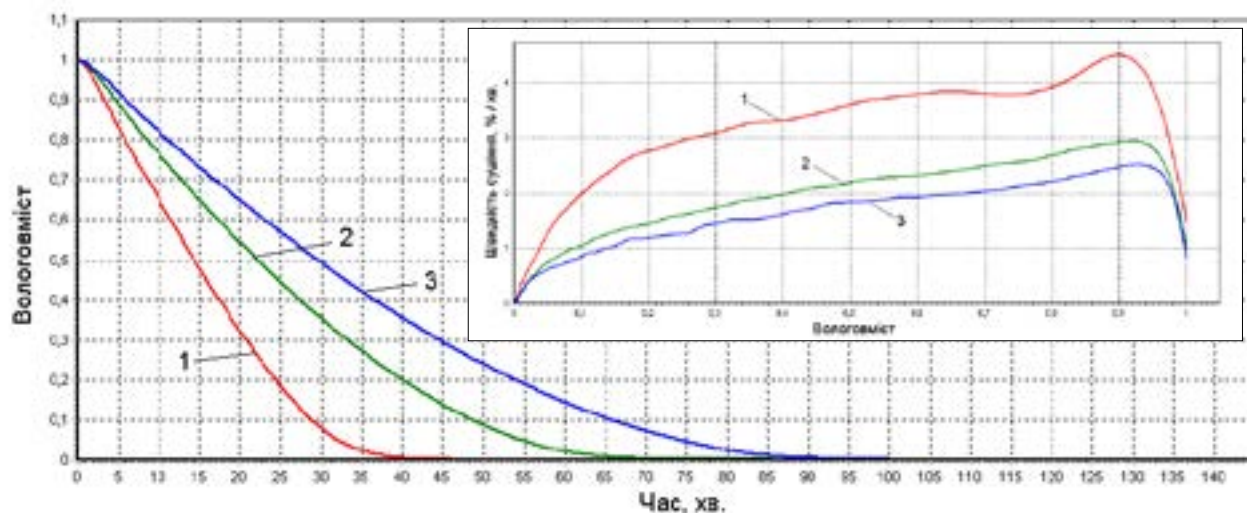


Рис. 6. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул, розміщених вповдовж потоку сушильного агента, діаметром: 1 – 10; 2 – 16; 3 – 20 мм. Швидкість теплоносія – 1,4 м/с.

Аналіз отриманих даних показав, що швидкість сушіння залежить від аеродинамічних умов у зоні розміщення гранул. При боковому обдуванні площини стійки вагів потоком

сушильного агента найкращі результати отримані, коли одиночні гранули розміщені впоперек потоку (рис. 7).

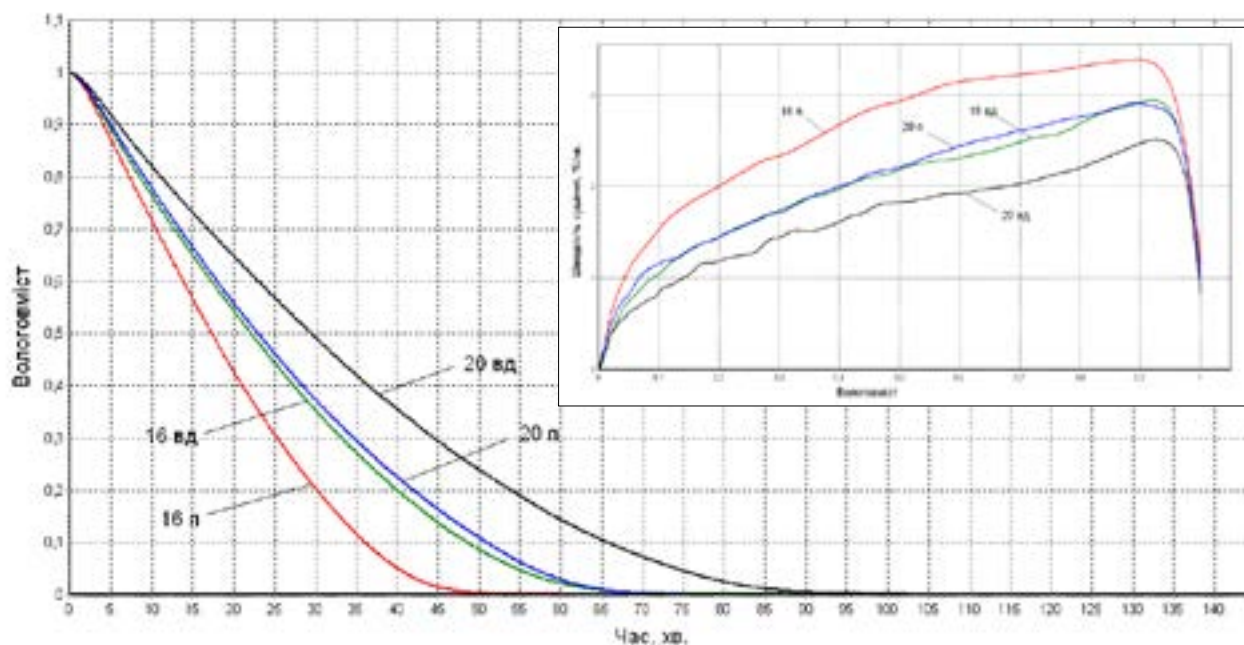


Рис. 7. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул діаметром 16 та 20 мм розміщених вповдовж (вд) та поперек потоку (п) сушильного агента. Швидкість теплоносія 1,4 м/с.

У випадку, коли гранули розміщали паралельно одна одній на відстані, що дорівнює діаметру гранули, максимальна швидкість сушіння спостерігалась при повздовжньому обдуванні.

Зважаючи на те, що в реальних промислових умовах можуть траплятися окремі випадки збою рівномірного укладання гранул на стрічку транспортера сушарки та накладання гранул одна на одну, утворюючи фігури різної конфігурації, були змодельовані деякі ймовірні варіанти таких конструкцій – скупчення двох («пушка») та чотирьох («колодязь») гранул та досліджена кінетика сушіння при різних напрямленнях потоку теплоносія. Порівнюючи кінетику їх сушіння з

іншими найкращими варіантами сушіння при одноплосинному розміщенні гранул (рис. 8), можна зробити висновок, що кінетичні показники сушіння таких фігур поступаються одиночним гранулам. Час сушіння до 10% вологовмісту двох гранул діаметром 16 мм в положенні «пушка» при швидкості сушильного агента 2 м/с при 160°C збільшується на 16 хв., або в 1,64 рази в порівнянні з періодом сушіння гранул діаметром 10 мм при швидкості потоку 1,4 м/с. Як видно, порушення режиму укладання гранул можуть призвести до втрати продуктивності сушарки та зростання енергозатрат.

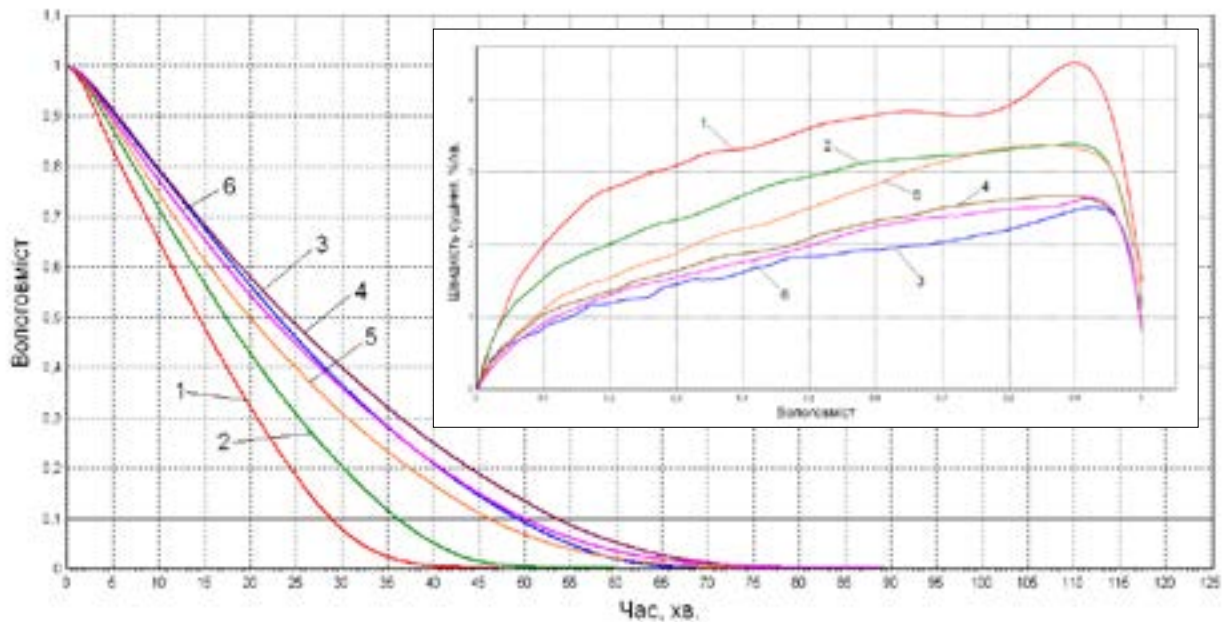


Рис. 8. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул діаметром 10 (1), 16 (2) та 20 (3) мм, розміщених поперек потоку сушильного агента при швидкості 1,4 м/с, двох паралельних гранул вповдовж потоку (4), двох гранул в конфігурації „пушка” (5) та чотирьох – в конфігурації „колодязь” (6) всі діаметром 16 мм при швидкості потоку 2 м/с.

Висновки

Узагальнюючи результати досліджень процесу конвективного сушіння гранул суспензії Na^+ -заміщеної форми бентонітової глини Черкаського родовища, можна констатувати:

- зменшення геометричних розмірів гранул та збільшення швидкості сушильного агента позитивно відбивається на кінетиці сушіння – зростає швидкість та скорочується час зневоднення;
- температура теплоносія через специфічні фізико-хімічні властивості матеріалу не може перевищувати 160°C;
- для одержання максимальної швидкості сушіння градієнт швидкості потоку сушильного агента необхідно спрямовувати

перпендикулярно площині перфорованої стрічки транспортера сушарки або уздовж гранул, якщо стрічка суцільна;

- підвищення вологовмісту матеріалу призводить до подовження періоду сушіння та збільшення енерговитрат;
- порушення одношарового режиму укладання гранул на стрічку транспортера сушарки, при якому можуть утворюватися їх скупчення, призводить до ускладнення процесу сушіння та збільшення його тривалості.

References

1. Горюшкин В.В. Технологические свойства бентонитов палеоцена воронежской антеклизы и возможности их изменения / В.В. Горюшкин //

- Вестник воронежского университета. Геология. – 2005. – № 1. – С. 166 - 177.
2. *Овчаренко Ф.Д.* Гидрофильность глин и глинистых минералов. – Киев: Издательство Академии наук УССР, 1961. – 291 с.
3. Powder Diffraction File. International Centre for Diffraction Data. - Swartmore, Penselvania, USA. – 1977.
4. *Brindley G.W. and Brown G.* Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. – London.: Miner. soc., 1980. – 495 p.
5. Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты) / Под ред. В.А. Франк-Каменецкого. – Л.: Недра, 1983.– 359 с.
6. Дериватограф системы Паулик Ф., Паулик Й., Эрдеи Л. Теоретические основы. Венгерский оптический завод. – Будапешт, 1974. – 146 с.
7. *Михайлик В.А.* Експериментальне дослідження кінетики сушіння ріпчастої цибулі / В.А. Михайлик, С.О. Хавін, І.А. Реус // Енергетика, економіка, технології, екологія. – 2006. – №2 (19). – С. 74 - 78.
8. *Дриц В.А., Коссовская А.Г.* Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. – М.: Наука, 1990. – 214 с.
9. *Гинзбург А.С.* Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
10. *Снежкин Ю.Ф., Боряк Л.А., Хавин А.А.* Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных пищевых ресурсов. – К.: Наукова думка, 2004. – 228 с.