

УДК 552.52:66.047

Михайлик В.А.¹, Снєжкін Ю.Ф.¹, Михайлик Т.О.¹, Марцін І.І.², Дмитренко Н.В.¹, Дабіжа Н.О.¹¹Інститут технічної теплофізики НАН України²Відкрите акціонерне товариство «Дашуківські бентоніти»ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
БЕНТОНІТУ ЧЕРКАСЬКОГО РОДОВИЩА З МЕТОЮ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ
СУШІННЯ ЙОГО Na⁺-ЗАМІЩЕНОЇ ФОРМИ

Проведено ідентифікацію, встановлено мінеральний склад, виконано термічний аналіз природної та модифікованої форм бентонітової породи Черкаського родовища, одержані ізотерми адсорбції води глинопоршками, визначено стан води, питому теплоємність та теплопровідність матеріалів, досліджено кінетику конвективного сушіння гранул суспензії Na⁺-заміщеної форми.

Проведена ідентифікація, установлен мінеральний состав, выполнен термический анализ природной и модифицированной форм бентонитовой породы Черкасского месторождения, получены изотермы адсорбции воды глинопоршками, определены состояние воды, удельная теплоемкость и теплопроводность материалов, исследована кинетика конвективной сушки гранул суспензии Na⁺-замещенной формы.

Identification is made, the mineral composition is positioned, the thermal analysis of the natural and inoculated shapes of bentonite breed of the Cherkassk deposit is executed, water adsorption isotherms drilling mud powder are received, the water state, specific heat and thermal conductivity of substances are defined, the kinetics of the convective drying of granules of suspension Na⁺-substituted form is probed.

c – питома теплоємність, кДж / (кг·К);

n – частка сухого матеріалу;

R – коефіцієнт кореляції;

t – температура, °С;

W – вологовміст, %;

ϕ – відносна вологість повітря.

Скорочення:

ДСК – диференціальна скануюча калориметрія;

ДТА – крива диференціального термічного аналізу;

ДТГ – крива диференціальної термогравіметрії;

РФА – рентгенофазовий аналіз;

Т – крива температури;

ТГ – крива термогравіметрії.

Індекси:

n – природний бентоніт;

m – модифікована форма бентоніту;

w – вода.

Вступ

Бентоніти – важливий вид мінеральної сировини, що у все зростаючих обсягах використовується, в основному у вигляді порошків, для виготовлення високоякісних бурових розчинів при бурінні глибоких свердловин у нафтовій і газовій промисловості, як адсорбенти та каталізатори – в енергетиці, нафтопереробній, хімічній та харчовій промисловостях, як зв'язуючий матеріал – у ливарному виробництві та при одержанні залізородних концентратів, як пластифікатор –

у будівельній та керамічній галузях, в сільському господарстві, ветеринарії та медицині.

Технологічні схеми виробництва глинопорошків найчастіше включають процеси модифікування природного бентоніту, сушіння та подрібнення. Процес сушіння в них здійснюється в барабанних сушарках при прямому контакті матеріалу з гарячими газами теплогенератора. Такий спосіб сушіння має ряд недоліків, що ускладнює одержання високоякісного продукту та звужує сферу його використання.

Розширення асортименту та виробництво

екологічно чистих порошків потребує застосування нових технологій, розробка та реалізація яких пов'язана з необхідністю отримання достовірних даних щодо фізико-хімічних та теплофізичних властивостей сировини. З цією проблемою зіткнулися при реконструкції виробництва на ВАТ «Дашуківські бентоніти». Незважаючи на те, що фізико-хімічні властивості глин Черкаського родовища вивчалися на протязі багатьох років, в результаті чого накопичено великий обсяг різнобічної інформації [1, 2], використання їх було обмеженим, а конкретизація проектних завдань вимагала додаткових досліджень. Так, для визначення параметрів конвективного сушіння гранул бентоніту Na^+ -заміщеної форми чистим повітрям та отримання вихідних даних для проектування стрічкової сушарки необхідно було визначити термічні властивості, склад води, умови та кінетичні параметри сушіння, залежність питомої теплоємності та коефіцієнта теплопровідності від температури та вологості матеріалу, а також рівноважну вологість порошку.

Методи та методики досліджень

Na^+ -заміщену форму одержували в лабораторних умовах шляхом «мокрого» заміщення обмінних катіонів глинистого мінералу на катіон натрію шляхом обробки бентонітової породи розчином Na_2CO_3 за методикою, викладеною в [3]. Рентгенофазовий аналіз (РФА) породи, глинистого мінералу та 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 [4] і наукових праць [5, 6]. Термічний аналіз виконано з використанням дериватографа Q-1000 [7], в кінчному платиновому тиглі без кришки при швидкості нагрівання $7,4 \text{ К/хв}$. Склад води визначено за допомогою методів термогравиметрії та низькотемпературної диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) [8]. Рівноважна вологість глинопорошків досліджена тензиметричним методом Ван Ба-

мелена [9]. Вимірювання питомої теплоємності виконано в динамічному режимі методом ДСК, відповідно до методики, опублікованої в [10]. Коефіцієнти теплопровідності бентонітової породи та високонцентрованої суспензій Na^+ -заміщеної форми визначали методом пластилини [11] за допомогою приладу, оснащеного тепломірами, порошкоподібних матеріалів – методом сферичного зонда в необмеженому середовищі. Процес конвективного сушіння досліджували в горизонтальній камері експериментального стенда при боковому обдуванні зразків сушильним агентом. Детальний опис комп'ютеризованого сушильного комплексу наведено в [12].

Результати дослідження та їх обговорення

Методом РФА підтверджено мінеральний склад бентонітової породи та її Na^+ -заміщеної форми, проведено ідентифікацію, визначено вміст глинистого породоутворюючого мінералу та компонентів домішок. Згідно одержаних даних, основним породоутворюючим мінералом сировини є монтморилоніт, вміст якого досягає 80 %. У зразках породи присутні: супутній мінерал – високодисперсний кварц (близько 10 %) та домішкові мінерали – кальцит – 6 %, анатаз і польові шпати – до 3 % кожного, виявлені сліди каолініту.

Термічний аналіз показав суттєву відмінність термічних властивостей бентоніту природної та Na^+ -заміщеної форми. За своїм характером дериватографічні криві нагрівання бентонітової породи відповідають глинам монтморилонітового складу (рис. 1) [2]. На кривій ДТА спостерігаються три теплові ефекти – два ендотермічні, що супроводжуються зміною маси зразка (ТГ), та екзотермічний – при сталій масі. Перший (низькотемпературний) ендоефект, в інтервалі $20\text{...}276^\circ\text{C}$, з характерним для Ca^{2+} -монтморилоніту перегином в районі $190\text{...}245^\circ\text{C}$, відповідає видаленню вільної, адсорбованої та міжпакетної води, сумарний вміст якої визначено на рівні 84,84 % від загальної кількості води в бентоніті. Другий – спостерігається в інтервалі $494\text{...}622^\circ\text{C}$, як наслідок видалення структурної

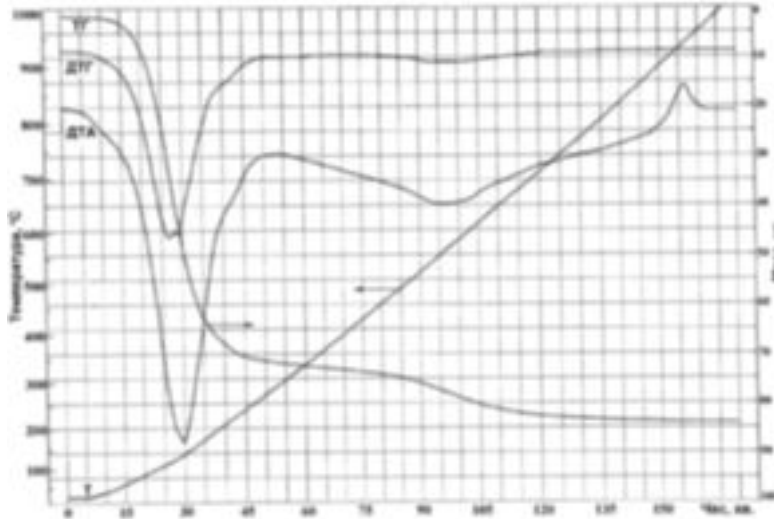


Рис. 1. Дериватограма бентонітової породи. Маса зразка 298 мг.

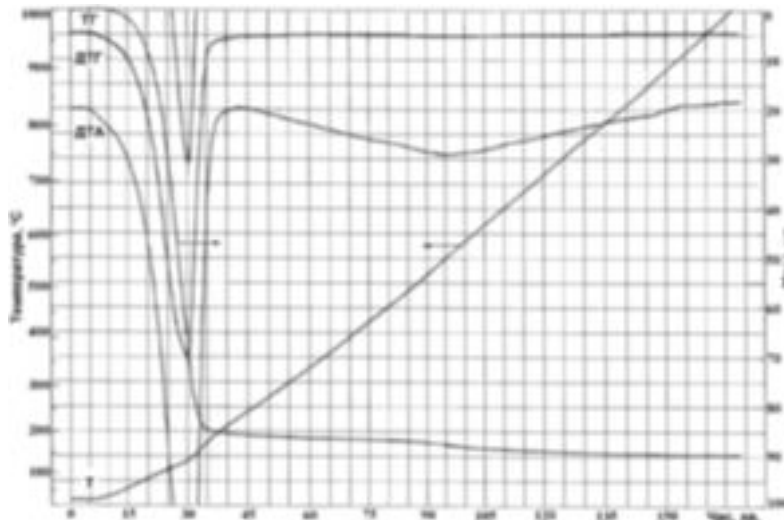


Рис. 2. Дериватограма суспензії бентоніту Na^+ -заміщеної форми. Маса зразка 170,7 мг.

або гідроксильної води (15,16 %). В інтервалі 879...980 °С, з максимумом при 939 °С, реєструється екзотермічний ефект, який відображає структурну перебудову з виникненням нових фаз.

Заміщення природного іонного обмінного комплексу на іон натрію викликає звуження температурних інтервалів ендотермічних ефектів та зміщення максимумів в сторону більш низьких температур (рис. 2, крива ДТА). На висхідних ділянках кривих ДТА та ДТГ першого ендотермічного ефек-

ту відсутній перегин, зумовлений видаленням води, зв'язаної з обмінними катіонами Ca^{2+} та Mg^{2+} мінералу бентонітової породи (рис. 1), що може служити підтвердженням повноти іонного заміщення. Зменшується кількість гідроксильної води в загальній її кількості до 4,58 %. Не спостерігається процес фазоутворення – на кривій ДТА відсутній екзотермічний ефект. Порівнюючи амплітуди піків кривих ДТГ (рис. 1 та 2) та температурні інтервали видалення води першого ендоефекта можна констатувати, що швидкість зневодню-

вання модифікованої форми значно перевищує швидкість зневоднювання бентонітової породи. Цей висновок співпадає з результатами дослідження дегідратації натрієвої форми монтморилоніту, одержаними в [13].

Після видалення води низькотемпературного ендоефекта, спостерігається монотонний спад кривих ДТА, обумовлений зміною теплоємності, що відображає структурні змінами в матеріалі, як наслідок видалення залишків міжпакетної та втрати гідроксильної води. Початок структурної перебудови в природній формі відмічається при 267 °С, в Na⁺-заміщеній – при 192 °С.

Термообробка може змінювати фізико-хімічні властивості бентоніту [1], впливає на адсорбційну здатність [14] та набрякання [13]. Підвищені температури підготовки бентоніту погіршують властивості, які обумовлюють можливість його використання в ливарному виробництві та металургії [15]. Тому, аби не допустити зміни природних властивостей матеріалу при сушінні, модифіковану форму небажано перегрівати вище 190 °С.

Видалення зв'язаної води завжди супроводжується погіршенням кінетики сушіння, що призводить до подовження процесу та підвищення енерговитрат [16]. В зв'язку з цим інформація про стан води в бентонітових матеріалах є необхідною при прогнозуванні та оптимізації сушіння. Одержані методом низькотемпературної ДСК дані про кількісний склад води свідчать, що частка зв'язаної води в загальній масі води є найвищою в природній формі бентоніту (табл.). Тому при однакових початкових умовах зневоднювання природної форми бентоніту, порівняно з модифікованою, буде протікати менш інтенсивно, що і було зафіксовано при дериватографічних дослідженнях. Проте питомий вміст зв'язаної води (віднесеної до сухої маси матеріалу), або зв'язаний вологовміст, як це видно з даних, наведених в таблиці, залежить від загального вмісту води в матеріалі. Зі збільшенням вологості бентоніту величина зв'язаного вологовмісту зростає. Тому при підвищенні

вихідної вологості час сушіння буде подовжуватись як через більший вміст вільної води, так і через зростання зв'язаного вологовмісту.

Серед фізико-хімічних властивостей глино-порошків рівноважний вологовміст має особливе технологічне значення. Він визначає не тільки умови зберігання, а і кінцеву вологість матеріалу при сушінні, що важливо перш за все з погляду максимального використання виробничих потужностей та скорочення енергетичних витрат.

Рівноважний вологовміст визначають по ізотермам адсорбції, що представляють функціональну залежність між вологовмістом матеріалу та відносною вологістю повітря при сталих температурі та тиску. Значення рівноважного вологовмісту порошоків бентонітової породи та Na⁺-заміщеної форми при 22...23 °С були отримані тензіметричним методом в інтервалі 0,4...0,9 для шести значень відносної вологості повітря (рис. 3). В інженерних розрахунках в дослідженому інтервалі відносної вологості повітря рівноважний вологовміст глинопорошків може бути визначений за допомогою рівнянь (1), (2), одержаних шляхом апроксимації експериментальних залежностей поліномом другого ступеня:

$$W_n = 11,40 - 8,64 \varphi + 17,64 \varphi^2, \quad R = 0,999, \quad (1)$$

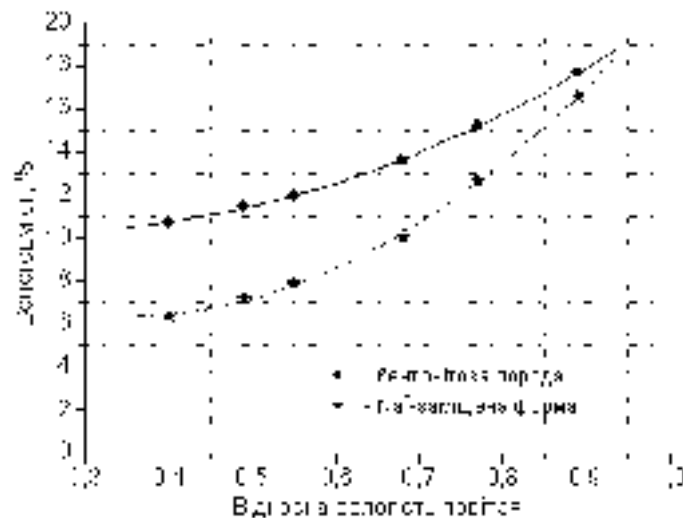
$$W_m = 10,36 - 23,36 \varphi + 34,11 \varphi^2, \quad R = 0,998. \quad (2)$$

Заміна природного обмінного комплексу монтморилоніту на Na⁺-іони змінює адсорбційні властивості матеріалу. Як видно з рис. 3, величина адсорбції пари води модифікованим бентонітом нижча, ніж природною формою. В зв'язку з цим умови зберігання порошку Na⁺-заміщеної форми менш жорсткі, ніж природної, а вологовміст, до якого має бути висушений модифікований бентоніт перед подрібненням, може бути більш високим.

Методом ДСК визначено питому теплоємність бентонітової породи кар'єрної вологості й суспензії її Na⁺-заміщеної форми в інтервалі 15...95 °С, та відповідних порошоків у діапазоні від 5 до 175 °С.

Табл. Вміст вільної та зв'язаної води у бентонітовій породі та суспензії її Na⁺-заміщеної форми

Форма бентоніту	Вологість, %	Склад води, %		Вміст зв'язаної води, г/г сухого матеріалу
		вільна	зв'язана	
Природна	26,65	45,11	54,89	0,199 ±0,002
Na ⁺ -заміщена	41,98	63,12	36,88	0,267 ±0,003
	53,17	72,56	27,44	0,312 ±0,003

Рис. 3. Ізотерми адсорбції водяної пари порошками бентоніту природної та Na⁺-заміщеної форми.

Досліджено теплопровідність бентонітової породи, суспензій її Na⁺-заміщеної форми в інтервалі 30...90 °С, та збезводнених порошоків у діапазоні від 27 до 190 °С. Температурні залежності питомої теплоємності та коефіцієнтів теплопровідності апроксимовано рівняннями. Отримано рівняння залежності теплоємності сухої бентонітової породи від температури, яке дає можливість, використовуючи правило адитивності, розраховувати питому теплоємність досліджених бентонітових матеріалів при різних вологості та температурі за формулою:

$$c = n (0,858 + 0,0014 t) + (1 - n) c_w(t). \quad (3)$$

Результати визначення теплофізичних характеристик зазначених матеріалів докладно

висвітлено в [17, 18].

Перехід на безконтактну з газами теплогенератора схему конвективного сушіння гранульованої Na⁺-заміщеної форми бентоніту викликав необхідність всебічного дослідження кінетики процесу. Зразки (гранули) матеріалу циліндричної форми довжиною 50 мм в експериментальному стенді були піддані конвективному сушінню, кінетику якого досліджували в залежності від температури теплоносія (110...170 °С), вологості матеріалу (35...50 %), швидкості сушильного агента (1,4...4,1 м/с), діаметра гранул (10, 16 та 20 мм), взаємного їх розміщення та розташування відносно потоку теплоносія.

З кривих, представлених на рис. 4, видно, що підвищення температури сушильного аген-

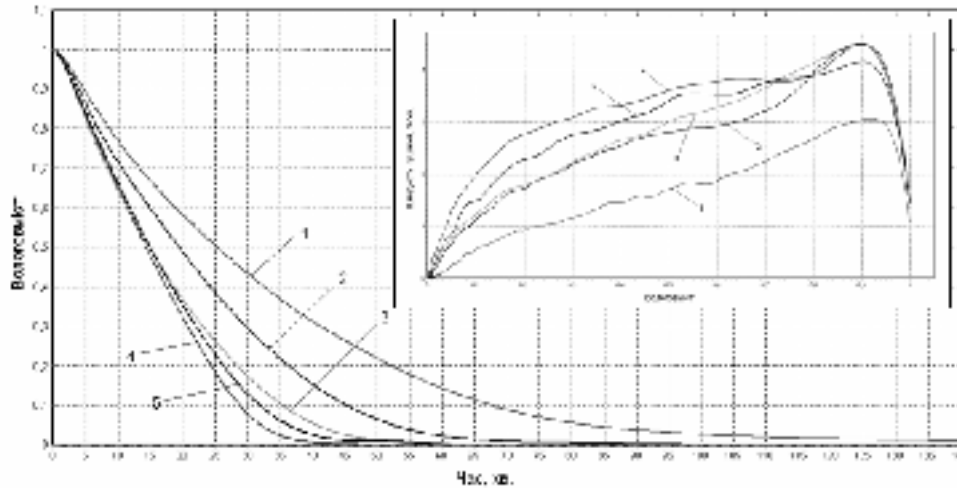


Рис. 4. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул суспензії бентоніту Na^+ -заміщеної форми діаметром 10 мм при температурі сушильного агента: 1 – 100; 2 – 120; 3 – 145; 4 – 160; 5 – 170 °С. Швидкість теплоносія – 1,4 м/с.

та до 160 °С викликає зростання швидкості та зменшення часу сушіння. Проте подальший підйом температури до 170 °С погіршує кінетику, в результаті чого зниження швидкості відмічається вже на початку сушіння (криві 5). Встановлено, що гальмування процесу зневоднювання є наслідком теплового удару, що ускладнює умови переміщення вологи до зовнішньої поверхні гранул у результаті ущільнення поверхневого шару матеріалу (утворення кірки). Тому дослідження кінетики сушіння здійснювали при температурі теплоносія, що не перевищувала 160 °С.

Для більшості колоїдних капілярно-пористих матеріалів підвищення швидкості сушильного агента є дієвим засобом інтенсифікації тепломасообміну. Одержані результати підтверджують цей висновок. Так зміна швидкості сушильного агента з 1,4 до 4,1 м/с прискорює час зневоднювання гранул діаметром 16 мм суспензії бентоніту Na^+ -заміщеної форми до відносної вологості 7 % в 1,61 рази.

Процес «мокрого» модифікування бентоніту потребує приготування глинистої суспензії. Швидкість іонного обміну залежить від співвідношення твердої та рідкої фази, він зростає при зменшенні вмісту дисперсної фази.

Виходячи з енергетичної доцільності, вологість суспензії була обмежена 50 %. Дослідження показали, що швидкість зневоднювання має пряму залежність від вологовмісту (рис. 5). Сушіння зразків з вологістю 42...50 % супроводжується утворенням глибоких тріщин на поверхні гранул, які значно збільшують загальну поверхню випаровування, що є ще однією з причин більш високих швидкостей зневоднювання модифікованої форми. Зі зростанням вихідної вологості матеріалу кількість та розмір тріщин збільшується. Проте сушіння бентонітової породи навіть з підвищеною вологістю не викликає розтріскування гранул. Підвищений вміст вологи в суспензії призводить до подовження періоду сушіння та збільшення енерговитрат. Так час зневоднювання суспензії з вихідною вологістю 46,69 % до досягнення вологовмісту 10 %, в порівнянні з суспензією вологістю 35,39 %, збільшується на 20,6 %.

Застосування гранулювання та використання стрічкової сушарки обумовили необхідність вивчення впливу на кінетику сушіння геометричних розмірів гранул, їх взаємного розміщення на стрічці транспортера та розташування відносно потоку сушильного агента. Незалежно від напрямку потоку сушильного агента відносно одиночної гранули або гру-

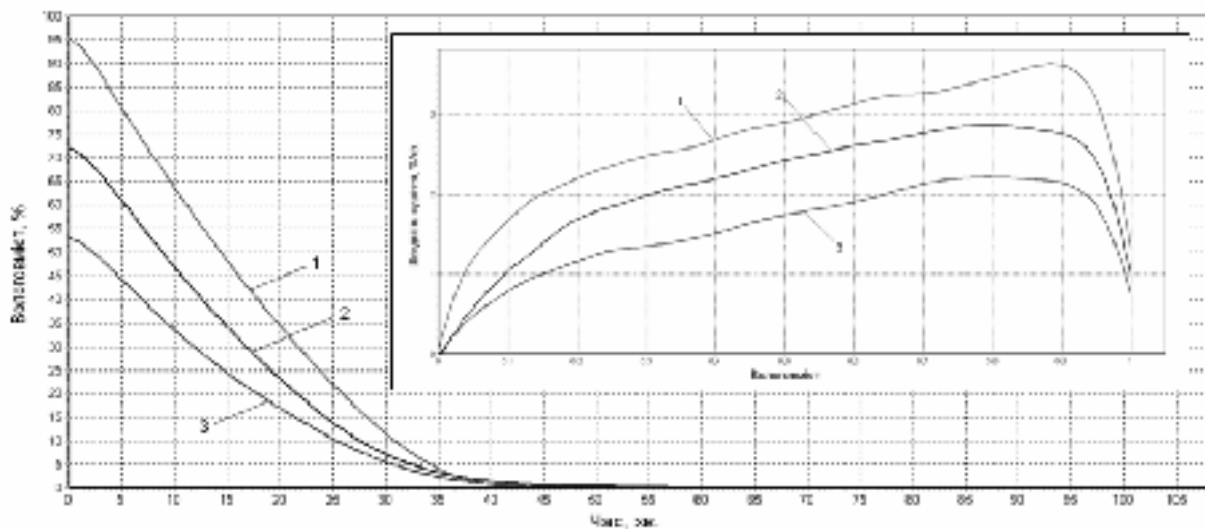


Рис. 5. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул суспензії бентоніту Na^+ -заміщеної форми діаметром 16 мм, розміщених поперек потоку сушильного агента, з вихідною вологістю: 1 – 49,67; 2 – 42,0; 3 – 35,39 %. Швидкість теплоносія – 3,0 м/с.

пи гранул кінетичні параметри сушіння покращуються зі зменшенням діаметра гранул (рис. 6). Крім того швидкість процесу залежить від аеродинамічних умов в зоні сушіння, найкращі результати отримані для одиночних гранул, розташованих поперек потоку теплоносія. При паралельному розміщенні гранул максимальна швидкість

сушіння спостерігалась при повздовжньому їх обдуванні.

Зважаючи на те, що в реальних промислових умовах можуть траплятися випадки порушення одношарового укладання гранул на стрічку транспортера сушарки та їх злипання з утворенням фігур різної конфігурації, були змодельовані деякі ймовірні варіанти таких

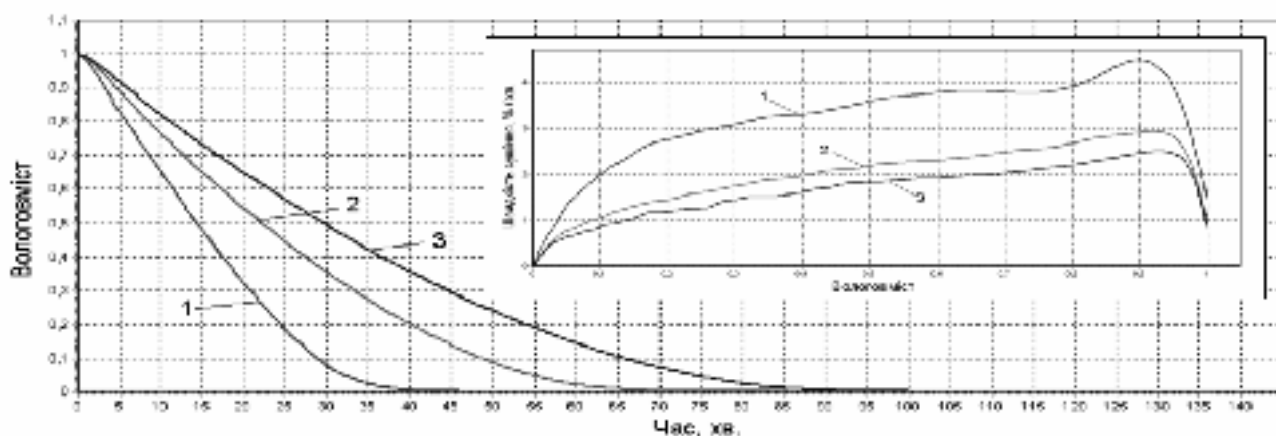


Рис. 6. Кінетичні криві сушіння одиночних гранул суспензії бентоніту Na^+ -заміщеної форми, розміщених уздовж потоку сушильного агента, діаметром: 1 – 10; 2 – 16; 3 – 20 мм. Швидкість теплоносія – 1,4 м/с.

конструкцій – скупчення двох («пушка») та чотирьох («колодязь») гранул. Порівняння кінетики їх сушіння з варіантами при одношаровому розміщенні гранул, показує, що кінетичні показники сушіння таких фігур поступаються одиночним гранулам. Час сушіння гранул діаметром 16 мм при швидкості сушильного агента 2 м/с до вологовмісту 10 % в положенні «пушка» збільшується на 12 хв. (або в 1,3 рази), в положенні «колодязь» – на 14 хв. (або в 1,4 рази) в порівнянні з періодом сушіння в шарі при швидкості теплоносія 1,4 м/с. Отже порушення режиму укладання гранул можуть призвести до втрати продуктивності сушарки та зростання енерговитрат.

Висновки

Виконано комплекс фізико-хімічних та теплофізичних досліджень властивостей природного бентоніту та його Na^+ -заміщеної форми.

Встановлено мінеральний склад, проведено ідентифікацію, визначено вміст породотворюючого мінералу та компонентів домішок, знайдено, що ступінь збагачення породи монтморилонітом досягає 80 %.

Визначено термостійкість матеріалів, встановлено, що для збереження фізико-хімічних властивостей бентоніту температура матеріалу при сушінні Na^+ -заміщеної форми не повинна перевищувати 190 °С.

Показано, що вміст зв'язаної води в загальній масі води модифікованої форми менший ніж в бентонітовій породі. Зв'язаний вологовміст залежить від загального вмісту води в матеріалі і при збільшенні вологості зростає.

Досліджена адсорбція води глинопорошками, показано, що адсорбційна здатність модифікованого бентоніту нижча, ніж бентонітової породи.

Визначено питому теплоємність бентонітової породи кар'єрної вологості, висококонцентрованих суспензій Na^+ -заміщеної форми в інтервалі 15...95 °С та їх порошоків у діапазоні від 5 до 175 °С. Виконано вимірювання коефіцієнта теплопровідності бентонітової породи, суспензій її Na^+ -заміщеної форми в

інтервалі 30...90 °С та збезводнених порошоків у діапазоні від 27 до 190 °С. Отримано відповідні аналітичні рівняння.

Визначено, що температура теплоносія при конвективному сушінні через специфічні властивості суспензії Na^+ -заміщеної форми бентоніту не повинна перевищувати 160 °С.

Показано, що зменшення геометричних розмірів гранул та збільшення швидкості сушильного агента позитивно відбивається на кінетиці сушіння – зростає швидкість та скорочується час зневоднення, підвищення вологовмісту матеріалу призводить до подовження періоду сушіння та збільшення енерговитрат.

Порушення одношарового режиму укладання гранул на стрічку транспортера сушарки ускладнює процес сушіння та збільшує його тривалість. Для одержання максимальної швидкості сушіння градієнт швидкості потоку сушильного агента необхідно спрямовувати перпендикулярно площині перфорованої стрічки транспортера сушарки, або уздовж гранул, якщо стрічка суцільна.

Результати досліджень використані як вихідні дані при розробці схеми, технології та обладнання сушильного відділення при реконструкції лінії по виробництву бентонітових порошоків на ВАТ «Дашуківські бентоніти».

ЛІТЕРАТУРА

1. *Овчаренко Ф.Д., Кириченко Н.Г., Коваленко Д.Н., Растренко А.И.* Украинские бентониты. – К.: Изд-во АН УССР, 1958. – 100 с.
2. *Овчаренко Ф.Д., Кириченко Н.Г., Островская А.Б., Довгий М.Г.* Черкасское месторождение бентонитовых и польгорскитовых глин. – К.: «Наукова думка», 1966. – 126 с.
3. *Овчаренко Ф.Д.* Гидрофильность глин и глинистых минералов. – Киев: Издательство Академии наук УССР, 1961. – 291 с.
4. *Powder Diffraction File.* International Centre for Diffraction Data. - Swartmore, Penselvania, USA. – 1977.
5. *Brindley G. and Brown G.* Crystal structures

of clay minerals and their X-ray identification. – London.: Miner. soc., 1980. – 495 p.

6. *Рентгенография основных типов породообразующих минералов* (слоистые и каркасные силикаты) / Под ред. В.А. Франк-Каменецкого. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.

7. *Дериватограф системы* Паулик Ф., Паулик Й., Эрдеи Л. Теоретические основы. Венгерский оптический завод. – Будапешт. 1974. – 146 с.

8. *Михайлик В.А., Снежкин Ю.Ф., Лебовка М.И., Марцін І.І., Шпак Л.Л.* Дослідження стану води в кислотноактивованих глинистих мінералах методами низькотемпературної ДСК та термогравіметрії / Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології / Збірник наукових праць, т. 3, № 4. – Київ: Академперіодика, 2005. – С. 1105-1112.

9. *Гинзбург А.С., Савина И.М.* Массовлагодобные характеристики пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982, – 280 с.

10. *Михайлик В.А., Снежкин Ю.Ф., Немчин А.Ф., Давыдова Е.О.* Определение теплоемкости влагосодержащих материалов с помощью сканирующей калориметрии // Промышленная теплотехника. – 2002. – Т.24, №5. – С. 92-96.

11. *Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И., Уколов В.С.* Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов. Справочное пособие. Под ред. А.С. Гинзбурга. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 223 с.

12. *Михайлик В.А., Хавін С.О., Реус І.А.* Експериментальне дослідження кінетики сушіння ріпчастої цибулі // Енергетика, економіка,

технології, екологія. – 2006. – №2 (19). – С. 74-78.

13. *Мдивнишвили О.М., Махарадзе Л.В., Вяхириев Н.П.* Структурные и физико-химические особенности монмориллонита с различным составом обменных катионов // Глины, их минералогия, свойства и практическое значение. – М.: Издательство «Наука», 1970. – С. 119-122.

14. *Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д.* Адсорбция на глинистых минералах. – К.: «Наукова думка», 1975. – 351с.

15. *Горюшкин В.В.* Технологические свойства бентонитов палеоцена воронежской антеклизы и возможности их изменения // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2005. – №1. – С. 166-177.

16. *Гинзбург А.С.* Сушка пищевых продуктов. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 683 с.

17. *Михайлик В.А., Снежкин Ю.Ф., Дмитренко Н.В., Воробьев Л.И., Михайлик Т.А., Надел Л.Г.* Теплофизические характеристики бентонитовой глины и её Na⁺-замещенной формы (Черкасское месторождение) / Промышленная теплотехника, –2008. – Т.30, №4. – С. 72-77.

18. *Михайлик В.А., Снежкин Ю.Ф., Дмитренко Н.В.* Теплоемкость бентонитовой глины Черкасского месторождения и её Na⁺-замещенной формы / Керамика наука и жизнь, –2008. – №2. – С.31-37.

Отримано 18.11.2009 р.