

Таблиця 1

n,об/хв	βексп,м/с	βрозр,м/с	Sh	Re
300	0,0000249	0,000038	7,6	4500
400	0,00008	0,000045	24,6	5900
500	0,000151	0,000051	46,4	7500
600	0,0002265	0,000059	69,6	9000
700	0,0002265	0,000065	66	10500
800	0,0004395	0,0000706	135	11970

Висновки. Встановлено залежність коефіцієнта масовіддачі β від інтенсивності перемішування. Показано, що максимальна ступінь інтенсифікації відповідає внутрішньодифузійному режиму. Проте основні маса сорбується на початку процесу і відповідає зовнішньодифузійному режиму. Певне значення коефіцієнта β згідно теорії локально-ізотропної турбулентності може бути рекомендоване для оцінки коефіцієнта масовіддачі процесу адсорбції альбуміну.

Література

1. Мацуська О.В. Адсорбция компонентов сточных вод природными сорбентами /О.В. Мацуська, Р.П. Параняк, Я.М. Гумницький //Химия и технология воды.-2009.-т.32,№4.-с.-399-407
2. Петрушка И. М. Внешнедиффузионная кинетика адсорбции красителя анионного красного 8С на глауконите. /И. М. Петрушка, Я. М. Гумницький, М. С. Мальований// Теор. основы химической технологии.-Т.47, №2.-2013.-С.191-195.
3. Сидорчук О.В. Зовнішньодифузійна кінетика адсорбції купруму природним цеолітом. / О.В. Сидорчук, Я.М. Гумницький// Наукові праці ОНАХТ. - Випуск 43.- Т.1.-Одеса, 2013. - С. 77-80.
4. Сабадаш В.В. Зовнішньодифузійна кінетика адсорбції фосфат іонів на цеоліті в присутності сторонніх речовин. / В.В. Сабадаш, Я.М. Гумницький, О.В. Мацуська// Наукові праці ОНАХТ. - Випуск 43.- Т.1.-Одеса, 2013. - С. 109-112.
5. Монин А.С. Статистическая гидромеханика [Текст] / А.С. Монин, А.М. Яглом - М: Наука, 1967.- 720 с.
6. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах[Текст] / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш - Ленинград: Химик, 1984.- 336 с.

УДК 628.5.66.002.08

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ АЗОТНО-КАЛЬЦІЄВО-ГУМІНОВИХ ДОБРИВ

**Корнієнко Я.М., д-р. техн. наук, проф. , Сачок Р.В., канд. техн. наук, старший викладач
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ**

Запропоновано математичну модель безперервного процесу утворення багатошарових гуміново-мінеральних композитів з рідких систем, яка дозволяє визначити потужність узагальненого джерела для стабілізації дисперсного складу гранульованого продукту.

The mathematical model of continuous process of formation of multi-layered humic-mineral composites is offered from the liquid systems, that allows to define power of the generalized source, necessity for stabilizing of dispersion composition of granular product.

Ключові слова: багатошарові гуміново-мінеральні тверді композити, функція нових центрів грануляції, компенсаційна функція, еквівалентний діаметр, дисперсний склад продукту.

Фізична модель

Фізична модель процесу утворення твердих композитів з пошаровою структурою, рисунок 1, полягає у тому, що рідка фаза диспергується в середину псевдозрідженого шару, і за рахунок адгезійно-сорбційних сил утримується на поверхні центрів грануляції у вигляді надтонкої плівки рідкої фази (а), до

якої від нагрітих твердих частинок і газового теплоносія підводиться теплота (б). Це призводить до інтенсивного випаровування розчинника, в результаті чого на поверхні твердих частинок утворюється тонкий шар з мікрокристалів мінеральних речовин та осаджених на їх поверхні колоїдних часток гумінових сполук (в). Цикл повторюється багатократно (г), внаслідок чого утворюються гранули з пошаровою структурою, що забезпечує рівномірне розподілення мінеральних і органічних речовин по їх об'єму (д). Механізм утворення мінерально-гумінових добрив з пошаровою структурою наведено на рисунку 1.

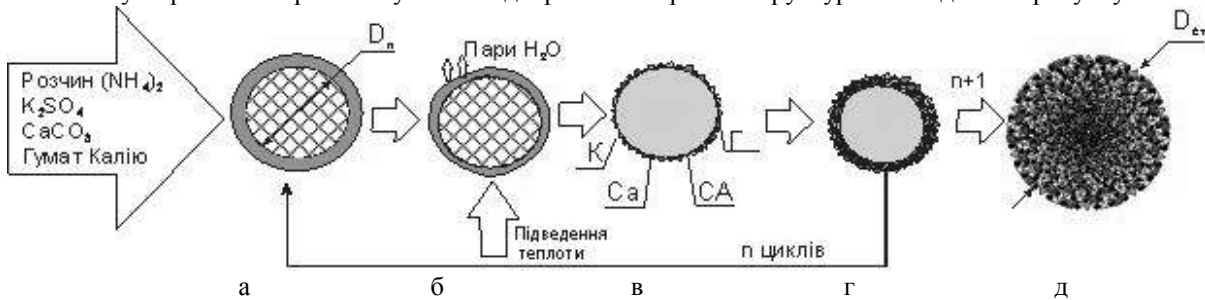


Рис. 1 – Схема утворення багатошарових мінерально-гумінових добрив при зневодненні рідких систем у псевдозрідженому шарі

Процес зневоднення рідини на окремій гранулі відбувається таким чином: в зоні зрошування рідка фаза наноситься на поверхню гранул й частково поглинається за рахунок сорбції, при цьому до плівки рідини підводиться теплота з двох сторін: конвективно від зріджувального агента і кондуктивно від гранули. Якщо сумарна кількість теплоти, підведеної до гранули, буде достатньою для випаровування вологи, то кристалізація розчину починається на поверхні гранули, що і зумовлює збільшення її розміру.

У випадку, коли кількість теплоти є недостатньою для видалення вологи, що потрапила на гранулу з розчином, відбувається повне вбирання розчину всіма порами гранули, внаслідок чого вона зволожується і її температура зменшується конвективно від нагрітого теплоносія. При досягненні на поверхні рівноважної вологості, температура гранули підвищується до температури теплоносія в псевдозрідженому шарі, тобто до 100–110 °С. Внаслідок цього кристалізація розчину починається з поверхні гранули, що призводить до закупорки пор гранули. При багаторазовому повторенні таких циклів проходить сильна закупорка каналів пор гранул, особливо в великих гранулах, і при досягненні температури 100–110 °С, зростає тиск пари всередині гранули, що спричинює її подрібнення. Утворені осколки великої гранули, розміри яких не менше третини максимального діаметру, стають новими центрами грануляції, реалізуючи, таким чином, механізм внутрішнього рециркуляції.

Важливою умовою стійкого процесу є забезпечення балансу кількості частинок в системі. Приріст маси частинок в псевдозрідженому шарі здійснюється за рахунок кристалізації розчину на їх поверхні. Дотримання умови постійного гідралічного опору псевдозрідженого шару (маси шару), призводить до зменшення числа частинок, і отже, до зменшення їх сумарної поверхні. Виконання цієї умови відбувається за рахунок вивантаження окремих частинок, що є основною причиною зменшення кількості частинок в апараті. Тому зменшення кількості частинок компенсується за рахунок подрібнення великих гранул, тобто за рахунок безрециклового процесу. У випадку, якщо потужність утворення нових центрів грануляції буде недостатньою, необхідно вводити нові центри грануляції із зовні – зовнішній рецикл.

В загальному випадку функція потужності джерела нових центрів грануляції $\phi(D)$ може бути представлена, як сума потужностей внутрішнього $\phi_{вн}$ та зовнішнього $\phi_{зов}$ джерел нових центрів грануляції:

$$\phi(D) = \phi_{вн} + \phi_{зов} \quad (1)$$

В процесі експериментів було визначено потужність внутрішнього джерела, а з рівняння (1) – потужність зовнішнього джерела нових центрів грануляції.

$$\Delta\phi = \phi(D) - \phi_{вн}$$

Для комплексної оцінки ефективності процесу гранулоутворення запропоновано використати два параметри [3]: коефіцієнт гранулоутворення $\Psi = G_{пр}/G_m$, де $G_{пр}$, G_m – відповідно маси вивантаженого гранульованого продукту і сухих речовин, що надходять до апарату з робочим розчином за певний інтервал часу, та ступінь відхилення дисперсного складу гранульованого продукту від заданого функцією втрат якості L .

Для визначення ступеня відхилення дисперсного складу гранульованого продукту від заданого застосовано модифіковану функцію втрат якості Тагучі [3] у вигляді:

$$L = k_1(zY - zT)^2 + k_2(nY - nT)^2$$

де zY , nY , zT , nT – відповідно фактичні та задані значення параметрів розподілення,

k_1, k_2 – вагові коефіцієнти впливу.

Розрахунок масових витрат рециклу проводиться за формулою:

$$G_{\text{рец}} = G_{\text{гр}} \left(\frac{[D_e] - 2(D_{e_2} - D_{e_1})}{D_{e_2}} \right)^3 \Delta q$$

де $G_{\text{гр}}$ – масова продуктивність за гранульованим продуктом, кг/год;

$[D_e]$ – заданий еквівалентний діаметр $[D_e]=2,3$ мм;

D_{e1} – початкове значення еквівалентного діаметру частинок в апараті в інтервалі часу $\Delta\tau$, год;

D_{e2} – кінцеве значення еквівалентного діаметру частинок в апараті в інтервалі часу $\Delta\tau$, год;

$$\Delta q = \int_0^5 \Delta\phi(d) dd$$

Δq – корегуючий коефіцієнт, що визначається, як для кожного хімічного складу рідкої фази за попередніми дослідженнями, зокрема для азотно-кальцієво-гумінових добрив $\Delta q=0,6$.

Для забезпечення сталості маси шару в апараті перед подачею зовнішнього рециклу необхідно зменшити масу шару на величину рециклу.

Для перевірки положень математичної моделі процесу одержання мінерально-гумінових добрив різного хімічного складу з пошаровою структурою, з розрахунком потужності джерела нових центрів гранулоутворення, необхідного для стабілізації дисперсного складу в апараті, було проведено експериментальні дослідження.

Експериментальні дослідження. Дослідження кінетики процесів утворення азотно-кальцієво-гумінових добрив з використанням рециклу.

Досліди проводилися на експериментальній установці. До насиченого водяного розчину сульфату амонію було додано задану кількість CaCO_3 та гумінових речовин, для того щоб вміст в гранульованому продукті в перерахунку на діючі речовини становив (масові відсотки) $\text{N}:\text{Ca}:\text{Г} = 15,0:12,0:1,0$. Температуру теплоносія на вході в апарат становить 200°C , а у шарі – $93 \pm 1,0^\circ\text{C}$. Час проведення дослідів $\tau=5,33$ год.

Результати експериментальних досліджень наведені на рисунках 2 – 11.

Динаміка зміни еквівалентного діаметра показує, що в інтервалі часу $0 \leq \tau \leq 3,00$ год цей параметр збільшується від 1,5 до 2,3 мм. При цьому середня швидкість росту $dD/d\tau=0,267$ мм/год, рисунок 2. При досягненні значень в точці А, дисперсний склад гранул в шарі повністю відповідав дисперсному складу готового продукту і тому доцільно було його стабілізувати.

Тому, при $\tau \geq 3,33$ год подавали зовнішній рецикл, з продуктивністю 1,35 кг/год з інтервалом 20 хвилин, рисунок 2. Внаслідок цього вдалося стабілізувати дисперсний склад частинок в псевдозрідженому шарі.

Динаміка зміни масових відсотків окремих фракцій, рисунок 3 в інтервалі часу $0 \leq \tau \leq 3,00$ год показує послідовність переходу частинок з фракції +1,00 мм до фракції +2,00 мм і, відповідно, до фракції +3,00 мм.

Це підтверджує пошаровий механізм утворення гранул.

Після введення зовнішнього рециклу, $\tau \geq 3,33$ год, рисунок 3, відбувалося зростання масового відсотку фракції +1,00 мм з 8 до 25 %, при одночасному зменшенні масового відсотку фракції +2,00 мм з 75 до 35 %.

В цьому інтервалі часу масовий відсоток фракції +3,0 мм збільшився від 17,5 до 40%, рисунок 3.

В подальшому, при $\tau \geq 4,66$ год, чітко зафіксована стабілізація дисперсного складу гранул.

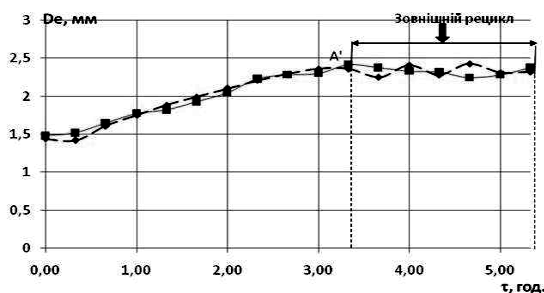


Рис. 2 - Динаміка зміни еквівалентного діаметра $De=f(\tau)$

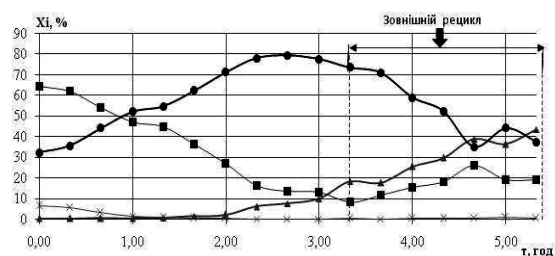


Рис. 3 - Динаміка зміни масових відсотків окремих фракцій

Така стабілізація при одержанні добрих досягнута внаслідок збереження сталості маси шару при подачі зовнішнього рецирку. Тобто в цей період продуктивність вивантаження продукту зросла на величину продуктивності зовнішнього рецирку, рисунок 4. Динаміка зміни загальної поверхні частинок у псевдозрідженому шарі, рисунок 4.14, показує характерне монотонне зменшення цього параметра в інтервалі часу $0 \leq \tau \leq 3,00$ год від 22 до 14,2 м², рисунок 5. При цьому збільшення маси шару від $\Delta P_{ш}=1900$ Па до 2150 Па, рисунок 4, по суті мало вплинуло на загальну тенденцію зміни поверхні.

При подачі зовнішнього рецирку загальну поверхню вдалося стабілізувати в межах 14–15,5 м².

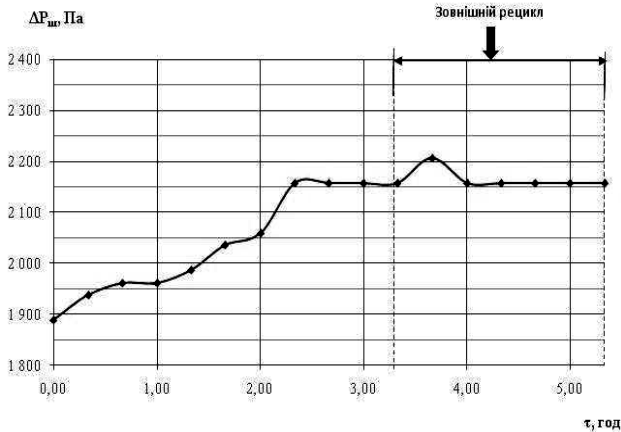


Рис. 4 - Динаміка зміни гідравлічного опору псевдозрідженого шару

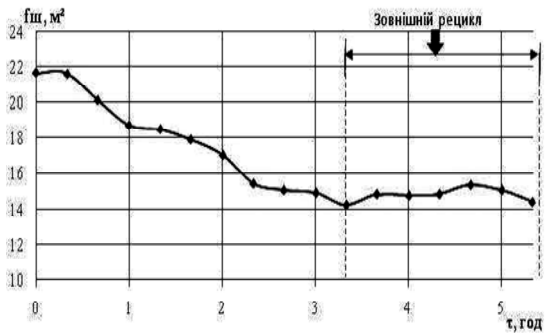


Рис. 5 - Динаміка зміни поверхні псевдозрідженого шару

Зміна температури у псевдозрідженому шарі впродовж дослідів наведена на рисунку 6.

В інтервалі часу $0 \leq \tau \leq 1,33$ год температура фактично підтримувалась на рівні $92 \pm 0,5$ °С, що забезпечило стійку кінетику гранулоутворення, виражену у збільшенні еквівалентного діаметра, рисунок 6.

Починаючи з $\tau=1,66$ год, температура шару збільшилась до 94 °С з наступним зниженням до 91 °С для ініціювання подрібнення частини гранул – внутрішній рецикл. Проте очікуваних результатів не було, при $\tau=2,33$ год, рисунок 7, температуру шару збільшено до 98 °С, $De=2,25$ мм, рисунок 2, і продовжено зниження до $T_{ш}=92$ °С до часу $\tau=3,66$ год, рисунок 7, з подальшою стабілізацією.

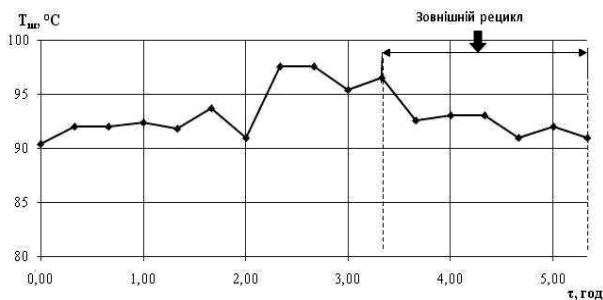


Рис. 6 - Динаміка зміни температури псевдозрідженого шару в характеристичній точці

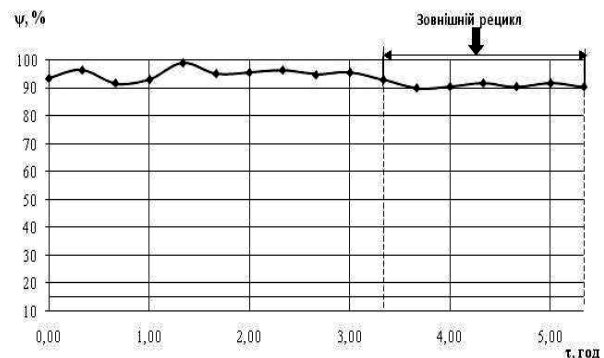


Рис. 7 - Динаміка зміни коефіцієнта гранулоутворення

Динаміка зміни питомого навантаження поверхні шару за вологою a_f , рисунок 8, показує його збільшення від межах 0,29–0,42 кг/(м²·год), в інтервалі часу $0 \leq \tau \leq 3,66$ год, зі стабілізацією при застосуванні рецирку. Експериментальна залежність коефіцієнта гранулоутворення ψ від приведеної висоти шару

$$\frac{\Delta P_{ш}}{gD_e} \quad \text{наведена на рисунку 9, показує, що } \psi = 93 \div 97\% \text{ досягається в діапазоні значень} \quad 85 \leq \frac{\Delta P_{ш}}{gD_e} \leq 105$$

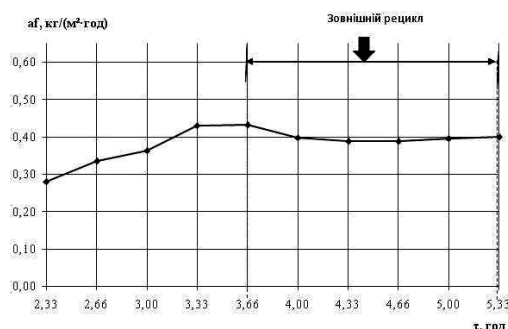


Рис. 8 - Динаміка зміни питомого навантаження за вологою

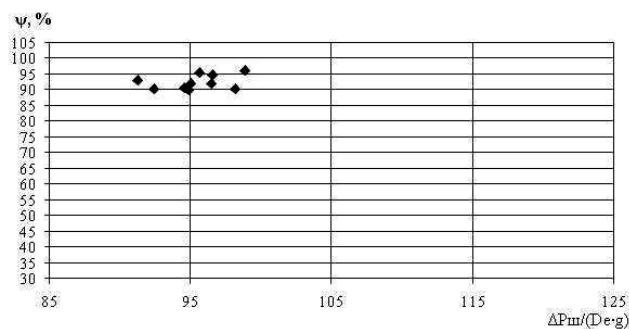


Рис. 9 - Залежність

$$\psi = f\left(\frac{\Delta P_m}{gD_e}\right)$$

$$\psi = f\left(\frac{\Delta P}{gD_e}, K_w\right)$$

Узагальнена експериментальна залежність, рисунок 10, дозволяє прогнозувати область для найбільш ефективного проведення процесу утворення мінерально-гумінових добрив з рідких

компонентних систем. Так, при значенні $90 \leq \frac{\Delta P}{gD_e} \leq 110$ і числі псевдозрідження $1.4 \leq K_w \leq 1.6$ спостерігається досягнення значень коефіцієнту гранулоутворення $\psi > 95\%$.

Комплексна оцінка ефективності процесу наведена на рисунку 11. Якщо коефіцієнт гранулоутворення у всьому досліді знаходився $\psi > 90\%$, то функція втрат якості досягає бажаних значень $L \rightarrow 0$ тільки при $\tau > 2,33$ год.

Це пояснюється тим, що в інтервалі часу $0 \leq \tau \leq 2,33$ год відбувається збільшення De від 1,5 до 2,28 мм, рисунок 2.

Введення зовнішнього рециклу дозволило забезпечити заданий дисперсний склад гранульованого продукту.

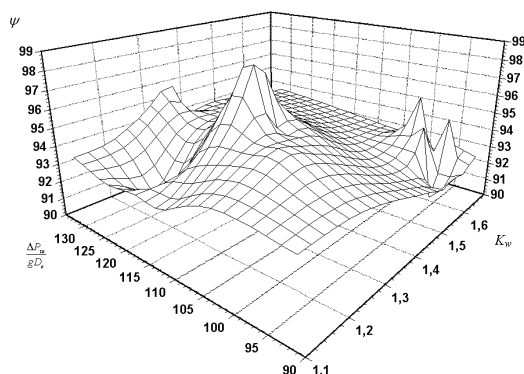


Рис. 10 - Залежність

$$\psi = f\left(\frac{\Delta P_m}{gD_e}, K_w\right)$$

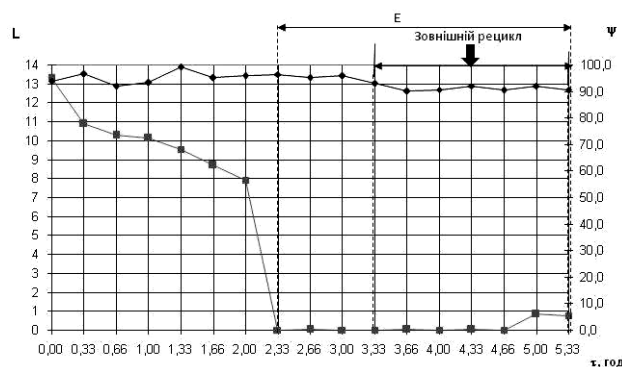


Рис. 11 - Узагальнена оцінка ефективності процесу

Розрахункові й отримані значення еквівалентного діаметра при застосуванні рециклу, рисунок 2, показують збіжність з середнім відхиленням 3,82% результатів й свідчать про адекватність математичної моделі.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження процесу утворення азотно-кальцієво-гумінових добрив підтвердили адекватність фізичної і математичної моделей утворення композитів з пошировою структурою при стійкій кінетиці гранулоутворення $\psi > 90\%$. При цьому розрахунок потужності джерела нових центрів грануляції дозволив стабілізувати дисперсний склад гранульованого продукту.

Запропонована комплексна оцінка ефективності процесу дозволяє визначити умови доцільності проведення процесу.

Висновки. Запропонована узагальнена модель безперервного процесу утворення азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів, яка дозволяє оцінювати потужність внутрішнього джерела нових центрів грануляції та визначати механізм їх утворення.

Застосування моделі дозволяє визначати відповідну зміну технологічних параметрів для забезпечення стійкої кінетики утворення органо-мінеральних композитів із заданими властивостями.

Література:

1. Корнієнко Я.М. Математичне моделювання безрециклового процесу грануляції у псевдозрідженому шарі. // Наукові вісті НТУУ "КПІ" – 2000. - № 2. - С. 38 – 41.
2. Пат. 4465 Україна, МКП C05 G 1/00. Спосіб виготовлення гранульованих органо-мінеральних добрив. / Я.М. Заграй, Я.М. Корнієнко (Україна). – № 93121640; Заявл. 21.05.93; Опубл. 27.12.94, Бюл. №6-1. - 14 с.
3. Kornienko Y. Mathematical Modeling of Continuous Formation Of Multilayer Humic-Mineral Solid Composites / Y. Kornienko, R. Sachok, V. Rayda, O. Tsepka // "Chemistry & chemical technology". – vol.3, №4. – 2009, С. 335–338

УДК 536.24:620.92

МЕТОД РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ З ПАРКОМ РЕЗЕРВУАРІВ

Ткаченко С.Й., д-р техн. наук, професор, Дишлюк С.В., аспірант,
Пішеніна Н.В., канд. техн. наук
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Запропоновано метод формування вхідної інформації для раціоналізації використання вторинної теплової енергії в системі з парком резервуарів за умов різного рівня невизначеностей. Виконана апробація запропонованого методу на прикладі технологічної системи вироблення гліцерину-дистиляту. Показано спосіб використання внутрішнього потенціалу теплоти в теплотехнологічній системі без залучення первинних енергоносіїв.

Suggested a method for forming source information for efficiency promotion of using secondary heat energy in system of storage tanks in conditions with different levels of uncertainties. Approbation of the method performed with an example of technological system of producing glycerol. Technic of using heat inner potential in heat technology system without usage of primary energy carriers was shown.

Ключові слова: система резервуарів, гліцерин-дистилят, гліцерин-сирець, детермінована інформація, невизначена інформація, нагрівання, термостабілізація, експериментально-розрахунковий метод.

Вступ. Парк резервуарів являє собою ємнісне обладнання технологічного та міжопераційного призначення. В резервуарах технологічного призначення проходять біохімічні, фізико-технічні, теплові та гідродинамічні процеси. В резервуарах міжопераційного призначення, якими є накопичувачі та вирівнювачі, термостабілізуються та зберігаються речовини до наступного технологічного етапу. Особливо часто ємнісне обладнання використовують у харчовій промисловості, а саме: молочній, олієсиродільній, олієжировій, плодоовочевій, спиртовій та лікєро-горілчаній, пиво безалкогольний, дріждевий, м'ясний. У даній роботі розглядається технологічна система вироблення гліцерину-дистиляту.

Сформулювати вхідні умови – найскладніша задача синтезу теплотехнологічної системи. Методи вирішення задач визначаються рівнем достовірності інформації [1]. За властивостями достовірності вхідну інформацію можна розділити на детерміновану, ймовірнісну, ймовірнісно-невизначену та власне невизначену. Детермінована інформація задається єдиним значенням відповідного показника. До ймовірнісної інформації відносимо величини для яких відомі закони і параметри розподілу. Ймовірнісно-невизначена інформація є по суті статистичною, але для неї невідомі параметри та закони розподілу. Власне невизначена інформація не має властивостей статистичної стійкості та задається варіантами ймовірних значень без вказівок ймовірностей окремих значень. Для цього і проаналізована вхідна інформація для системи резервуарів. Властивості інформації визначають співвідношення методів евристико-еволюційного підходу і традиційних методів математичного моделювання. Тому метою роботи є формування та аналіз вхідної інформації для раціоналізації використання вторинної теплової енергії в системі з