



**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”**

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

**Інститут Газу НАН України**

**ІТМО ім. А. В. Ликова АН РБ**

**Московський державний агроінженерний  
університет ім. В.П.Горячкіна**

**Грузинський технічний університет**

**Тверський державний технічний університет**

**Збірник тез доповідей міжнародної науково-  
практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених**

**”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ  
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ”**

01-04 листопада

Київ 2011



**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”**

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

**Інститут Газу НАН України**

**ІТМО ім. А. В. Ликова АН РБ**

**Московський державний агроінженерний  
університет ім. В.П.Горячкіна**

**Грузинський технічний університет**

**Тверський державний технічний університет**

**Збірник тез доповідей міжнародної науково-  
практичної конференції студентів,  
аспірантів і молодих вчених**

**”РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ  
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ”**

Рекомендовано до друку

Радою модих вчених Інституту  
технічної теплофізики  
НАН України  
Протокол № 5  
від 10 листопада 2011 р.

Рекомендовано до друку

Кафедрою машин та апаратів  
хімічних  
і нафтопереробних виробництв  
Протокол № 4  
від 9 листопада 2011 р.

## **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

- Варламов Г.Б.** д.т.н, проф., проректор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» з науково-педагогічної роботи, голова програмного комітету конференції
- Корнієнко Я. М.** д.т.н., професор, зав. кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету, заступник голови програмного комітету конференції
- Снежкін Ю. Ф.** д.т.н., заступник директора Інституту технічної теплофізики НАН України
- Ільєнко Б. К.** к.т.н., Вчений секретар Інституту Газу НАН України
- Ковтун С. І.** Рада модих вчених Інституту технічної теплофізики НАН України
- Корінчук Д. М.** к.т.н., Рада модих вчених Інституту технічної теплофізики НАН України
- Акуліч П. В.** д.т.н., професор ІТМО ім. А. В. Ликова АН РБ
- Рудобашта С. П.** д.т.н., професор Московського державного агроінженерного університету ім. В.П.Горячкіна
- Луговий Ю. В.** к.т.н., професор Тверського державного технічного університету
- Косивцов Ю. Ю.** к.т.н., доцент Тверського державного технічного університету
- Какубава Реваз (Івері) В.** д.т.н., професор Грузинського технічного університету

## **ОГРАГНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

- Корнієнко Я. М.** д.т.н., професор, зав. кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ», голов організаційного комітету конференції
- Степанюк А. Р.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ», заступник голови програмного комітету конференції
- Марчевський В. М.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
- Андрєєв І. А.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
- Швед М. П.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
- Зубрій О. Г.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
- Ракіцький В.Л.** к.т.н., доцент кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв Інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ», керівник студентського гуртка на кафедрі МАХНВ

**СЕКЦІЯ 1**

**«МАШИНИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ  
ВИРОБНИЦТВ»**

УДК 621.21

**ОСОБЛИВОСТІ ДИСПЕРГУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ РОЗЧИНІВ  
МЕХАНІЧНИМ ДИСПЕРГАТОРОМ**

д.т.н., проф Корнієнко Я.М., магістрант Косянчук В.О., асист. Михальчук О.Д.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Утворення органо-мінеральних твердих композитів з пошаровою структурою передбачає ефективне диспергування композитного розчину безпосередньо у псевдо зрідженому шарі.

Для запобігання утворення зон перезволоження доцільно збільшити об'єм зони диспергування. Тому визначення умов диспергування гетерогенних рідких систем є актуальним.

Особливість диспергації гетерогенних систем полягає у тому, що всю суспензію треба розподілити по поверхні диспергатора.[1] На це суттєво впливає сила тертя, яка залежить від відцентрової сили. Схема дії сил на рідку фазу на поверхні диспергатора наведена на рисунку 1.

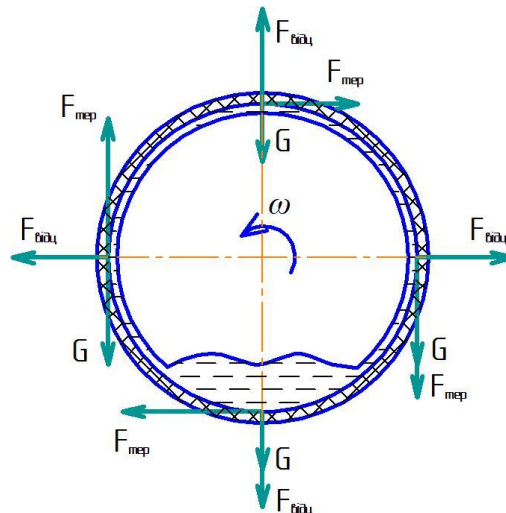
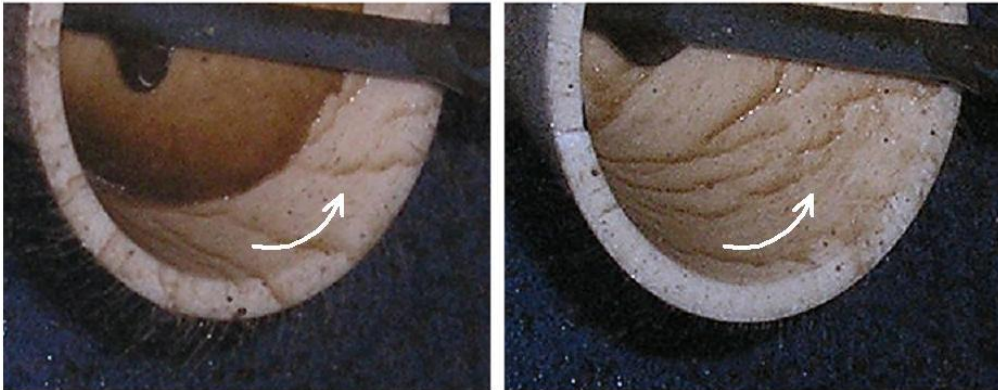


Рисунок 1 – Схема дії сил на рідку фазу на внутрішній поверхні диспергатора

У верхній точці за рахунок протидії сил тяжіння і тертя сила тертя має мінімальне значення. В нижній точці за рахунок однакової дії сили тяжіння і відцентрової сили сила тертя досягає свого максимального значення. З цього видно, що потрібно створити відповідне значення відцентрової сили для запобігання стікання плівки рідини в нижню частину диспергатора.

Дослідження проводилось на механічному диспергаторі кінцевого типу. Дослідження проводилися при частоті обертання ротора 4800 об/хв. та 6000 об/хв, що відповідним чином було зафіксовано з допомогою фотокамери Canon 400D і показано на рисунку 1. В якості модельної рідини використовувалась вода з додаванням пилу, утвореного при одержанні азотно-кальцієвих гумінових композитів та карбонату кальцію з розмірами частинок 100мкм. Масова концентрація домішок у рідкій фазі становить 50%.

Метою експерименту було визначення умов, при яких за рахунок відцентрової сили досягається рівномірність розподілу композитного розчину по поверхні диспергатора.



а)  $V = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $n=4800 \text{ об/хв}$ ;  $\Phi_p = 841,7$ ;  $w_{\text{л}} = 21,98 \text{ м/с}$ ; б)  $V = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $n=6000 \text{ об/хв}$ ;  $\Phi_p = 1407,1$ ;  $w_{\text{л}} = 17,58 \text{ м/с}$ .

Рисунок 2 – Рух рідини по поверхні диспергатора при різній частоті обертання

З результатів дослідів видно, що при витраті розчину  $V = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , факторі розділення  $\Phi_p = 841,7$ , лінійній швидкості  $w_{\text{л}} = 21,98 \text{ м/с}$  спостерігається, що в нижній частині диспергатора утворюється надлишок робочого розчину в наслідок невиконання умов фізичної моделі. Це в реальному процесі створює проблеми нерівномірного зволоження в об'ємі апарата шляхом локального перезволоження в зоні роботи диспергатора.

При витраті розчину  $V = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ , факторі розділення  $\Phi_p = 1407,1$ , лінійній швидкості  $w_{\text{л}} = 17,58 \text{ м/с}$  забезпечується більш рівномірне розподілення робочого розчину по поверхні диспергатора. Для даного типу розподілення фактор розділення має бути  $\Phi_p \geq 1400$ .

Таким чином експериментально визначено, що при частоті обертання диспергатора в 6000 об/хв досягається рівномірне розподілення робочого розчину по поверхні диспергатора.

Фактор розділення розраховується за виразом:

$$\Phi_p = \frac{R \cdot n^2}{900}$$

Визначивши критичне значення фактору розділення при заданому числі обертів та витратах можна визначити радіус диспергатора при якому не відбувається утворення надлишку в нижній частині диспергатора:

$$R = \frac{\Phi_p \cdot 900}{n^2}$$

#### Перелік посилань:

1. Я.М. Корнієнко. Технічні способи грануляції. Навч. Посібник. – К.: ІЗМН, 1997. – 128с.

УДК 621.21

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ  
АПАРАТУ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ ТА  
ЦИРКУЛЯЦІЙНИМИ ВСТАВКАМИ**

**д.т.н., проф. Корнієнко Я.М., асистент Гатілов К.О.,  
магістрант Кравчук М.А.**

Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут"

Процес утворення гранул пошарової структури з рідких гетерогенних систем є утворення мікрокристалічних шарів з мінеральних речовин, на поверхні яких осаджуються колоїдні частинки органічних речовин. Експериментально встановлено, що найбільш доцільно проводити процес шляхом ізотермічної масової кристалізації, при якій інтенсивність підведення теплоти визначає розмір мікрокристалів. При цьому реалізується двостороннє підведення теплоти до надтонкої плівки від нагрітих гранул та від теплоносія. Окрім того газовий теплоносій одночасно виконує роль зріджуючого агента та суцільного середовища для процесів переносу.

В цих умовах коли необхідна поверхня масообміну в 4 – 5 разів перевищує поверхню теплообміну, процес має реалізовуватися в апараті при підтриманні співвідношень  $H/D_{ap} > 3$ , [1]. Тому для забезпечення пошарового механізму гранулоутворення необхідне регулярне надходження частинок через основні технологічні зони: зрошення, інтенсивного тепло- та масообміну, зону релаксації.

Для перевірки фізичної моделі [2] рисунок 1, були проведені експериментальні дослідження гідродинаміки псевдозрідженого шару та досягнуто значень кратності циркуляції  $K_{ц} = 0,06...0,14$  (1/с) при числі псевдозрідження  $K_w$  від 2,0 до 3,5 [3]. При цьому лише частина зернистого матеріалу переходила в бічні зони I та III, що в результаті призводило до пульсацій в центральному висхідному каналі. Цього можна уникнути застосувавши розподільний пристрій у верхній частині апарата над вставками [4] рисунок 2. А кластер зернистих частинок який сформувався на вершині фонтану після досягнення нульової швидкості рухається вниз.

Проаналізувавши жорсткі аеродинамічні умови, рух частинок, що знаходяться на різних відстанях від осі, видно, що частинки максимально наближені до осі апарата знаходяться в найгірших умовах, бо висота над вставками мінімальна  $(\Delta H_{min})$ , а відстань до бічної зони – максимальна  $(B_{вст}/2 + \Delta B)_{max}$ . Частинка, що максимально віддалена від осі знаходиться в найкращих умовах, бо висота над вставками максимальна  $(\Delta H_{max})$ , а відстань до бічної зони – мінімальна  $(B_{вст}/2 + \Delta B)_{min}$ . Тобто така відмінність



умов руху частинок вимагає криволінійний профіль відбійника з кутом  $\alpha \rightarrow 0^\circ$  в

центральної частині та  $\alpha \rightarrow 90^\circ$  над вставкою.

Потік гранул при виході не повинен пережиматися, тому враховуючи рух зернистого матеріалу вертикального каналу в т. С швидкість частинки є мінімальна, тому канал має бути криволінійної форми із змінним радіусом, які визначатимуться експериментально (рис.3).

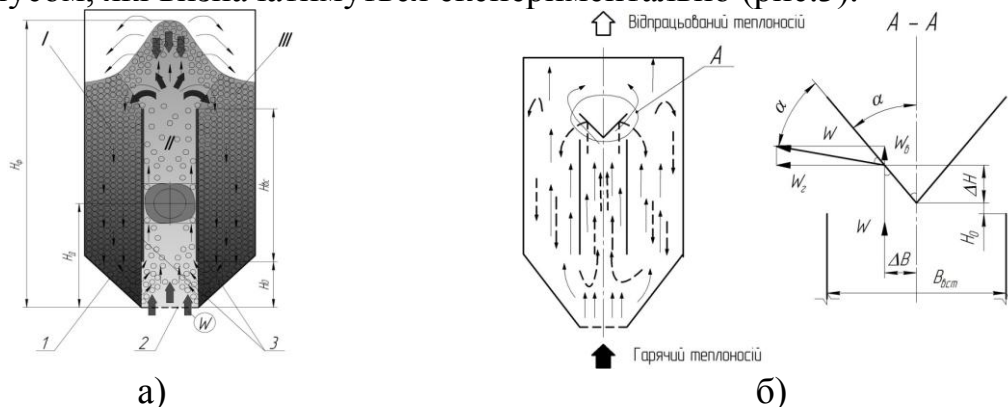


Рисунок 1 – Фізична модель гранулятора  
 а) організація процесу з відбійником  
 б) схема взаємодії частинки з відбійником

Рисунок 2 – Розрахункова схема

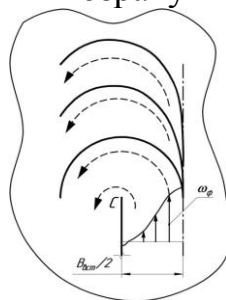


Рисунок 3 – Варіанти криволінійного профіль відбійника

### Перелік посилань

1. Корнієнко Я.М., Гатілов К.О., Науменко Д.О. "Умови стійкої кінетики процесу одержання багатошарових твердих композитів із заданими властивостями" Наукові Праці ОНАХТ. – 2010. Випуск 37. – С. 8–13.

2. Корнієнко Я.М. Моделювання гідродинаміки в дисперсних системах / Корнієнко Я.М., Гатілов К.О., Науменко Д.О. VII всеукр. наук.-пр. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів», 20 жовтня 2010р.: зб. тез. доп. – К.: НТУУ «КПІ», 2010, Частина 1. – С. 8–9.

3. Корнієнко Я.М., Гатілов К.О., Кравчук М.А. "Аеродинамічне забезпечення ефективності процесів переносу дисперсних систем", НТУУ "Київський політехнічний інститут", УДК 621.21.

4. Патент на корисну модель № 45892, «ГРАНУЛЯТОР», Корнієнко Я.М., Гатілов К.О., Сачок Р.В. опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22, 2009 р.

**УДК 621.928.9**

**ОЧИСТКА НЕОДНОРІДНИХ ГАЗОВИХ СИСТЕМ В  
ЦИКЛОФІЛЬТРИ**

**к.т.н., ст. викл. Серебрянський Д.О., аспірант Плашихін С.В.,  
магістрант Захаров О.О.**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»**

Димові і технологічні гази вугільної теплоенергетики, чорної металургії і будівельної індустрії разом викидають в атмосферу більше 90% від загальної маси викидів золи і пилу.

Тверді частки здатні впливати на екологічну обстановку в локальному і глобальному масштабах, про що свідчать наслідки аварії ЧАЕС. Існуючий парк золоулавлюючого устаткування, що знаходиться на українських ТЕС, що працюють на вугіллі, недостатньо ефективний, економічний і не задовольняє сучасні санітарні вимоги. Вирішення цієї проблеми може бути досягнуто створенням нових вискоефективних апаратів для комплексного очищення газів від твердих часток згідно з вимогами санітарних норм на викиди в атмосферу [1-6].

Метою даної роботи є аналіз сучасних способів пиловловлювання, вибір апарату з подальшою розробкою фізичної та математичної моделей вдосконаленого апарату та підтвердження стендовими випробуваннями їх адекватності.

У лабораторії «Очищення газових викидів в промисловій енергетиці» Інституту технічної теплофізики НАН України проводяться роботи по вдосконаленню систем і апаратів очищення газів від твердих часток різних галузей промисловості.

Твердопаливні котли малої потужності, як правило, обладнані одноступінчатою системою золовловлювання, яка представлена типовими циклонами НДЮГАЗ, не здатними в даний час задовольняти вимоги до залишкової запиленості димових газів відповідно до директиви ЄС 2001/80/ЄС, а залишкова запиленість за газоочистками котлів ТЕС перевищує в рази нормативи, встановлені відповідно до наказу Мінприроди від 22.10.2008 №541.

За основу розробки магістерської дисертації прийнято типовий циклон ЦН з доробкою внутрішніх елементів, що здатні значно покращити показники вловлювання полідисперсного пилу та золи. У дисертації передбачено проведення теоретичних та експериментальних досліджень та підтвердження результатів на пілотній установці на діючому виробництві.

За результатами стендових випробувань циклофільтру, проведених попередніми дослідниками, було отримано аеродинамічні і концентраційні

характеристики золовловлювача , проведено розрахунково-порівняльний аналіз з типовими циклонами НДЮГАЗ та зроблено висновок, що ефективність вловлювання циклофільтру вища за аналогічні показники типових циклонів.

### **Перелік посилань**

1. Серебрянский Д.А. – «Экология и промышленность». 2010. - №4. – С.18-20.
2. Заявка на патент України № а2011 03388.
3. Коузов П.А. – «Научные труды институтов охраны труда ВЦСПС». – вып. 60. – 1969. – С.3-13.
4. Коузов П.А. – «Обеспыливание в металлургии». – М.:Металлургия. – 1971. –С.185-196.
5. Скрыбина Л.А. «Атлас промышленных пылей. Обзорная информация ГИХИНЕФТЕМАШ». – 1980г.
6. «Справочник по пыле- и золоулавливанию». Под ред. А.А.Русанова. –М.:Энергоатомиздат. – 1983. -312с.

УДК 61.13

**ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ  
ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**магістрант Кукоба С.В., доц., к.т.н. Рябцев Г.Л.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Важливе місце в переробці полімерних композиційних матеріалів займає одержання профільних довгомірних гумотехнічних виробів, наприклад транспортерних стрічок, ременів, ущільнень складного і суцільного перерізів, масове виробництво яких характеризується підвищеними вимогами до якості профільних заготовок. Технологія отримання довгомірних заготовок [1] складається з: приготування суміші в гумозмішувачах, подальше вальцювання для надання їй відповідної форми, екструзію профільних заготовок. Існують проблеми нерационального використання обладнання з точки зору значних енерговитрат (до 20% собівартості сировини) на пластифікацію перероблюваного матеріалу при вальцюванні, погіршення фізико-механічних показників продукції внаслідок термодеструкції і зміні розмірів поперечного перерізу при зміні режимних параметрів процесу.

Перспективним напрямом удосконалення виробничих процесів [2] є забезпечення можливості узгодженої роботи обладнання в технологічному ланцюзі за неперервною схемою (головним чином, валкового та екструзійного) з оптимізацією режимних змінних і конструктивних параметрів при мінімізації корисної потужності та отриманні якісного продукту. Крім того, зростаючий обсяг номенклатури продукції робить необхідним проектування екструзійного обладнання з можливою заміною робочих органів для конкретних полімерних матеріалів, забезпечуючи гнучкість виробничих процесів. Проте, дотепер не розроблено достатньо надійних критеріїв, однозначно пов'язаних з якістю сумішей та екструдату, які розраховують із використанням режимних змінних і конструктивних параметрів обладнання, що дозволяє здійснювати його оптимальне проектування.

Існуючі математичні моделі процесів безперервного вальцювання та екструзії дозволяють ефективно використовувати в них інтегральні критерії якості кожного з цих процесів окремо і в сукупності, і здійснити постановку і розв'язання задачі оптимального проектування неперервного технологічного ланцюга виробництва довгомірного профілю, забезпечуючи мінімальні енерговитрати при заданій якості готового продукту. Крім того, промислове виробництво екструзією характеризується високою металоємністю, що ставить невід'ємною

задачею розробку методів, алгоритмів та програм, які дозволяють максимально знизити масу і вартість вказаного обладнання. Тому поставлені завдання з оптимального проектування технології ланцюга екструзійного і валкового обладнання для безперервного процесу виробництва заданої якості є дуже актуальним в науковому та технічному плані.

**Перелік посилань:**

1. Соколов, М.В. Оптимальное проектирование прессового и литьевого оборудования с учетом получения высококачественных формовых изделий из пластмасс и эластомеров / М.В. Соколов, А.С. Клинков, В.И. Кочетов // Вестник Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина. Серия Естественные и технические науки. – Тамбов, 1999. – Т. 4, вып. 2. – С. 237–238.
2. Клинков, А.С. К вопросу определения оптимальных режимных и конструктивных параметров червячных машин для переработки эластомеров / А.С. Клинков, М.В. Соколов, В.И. Кочетов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2000. – Т. 6, № 4. – С. 630 – 634.

УДК 678.023

### КАСКАДНА ЕКСТРУЗІЯ ПОЛІМЕРІВ

к. т. н., доц. Швед М.П., магістрант Резнік Р.Ю.

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

Все зростаючі обсяги виробництва та переробки полімерних матеріалів вимагають від галузі полімерного машинобудування ширшого використання ресурсозберігаючих технологій.

На сьогоднішній день у процесах екструзії найпоширенішим обладнанням є одночерв'ячний екструдер, на якому базується більшість технологічних ліній. В одночерв'ячному екструдері такі операції як живлення, стискання, розплавлення, гомогенізація, створення тиску та дозування полімеру виконуються одним робочим органом – черв'яком, і зміна якихось параметрів одного з процесів з метою оптимізації, призводить до зміни всіх інших процесів, які тісно пов'язані між собою [1]. Саме тому все ширшого поширення набувають каскадні схеми екструзії. Апаратне оформлення каскадів залежить від конкретного призначення екструдера.

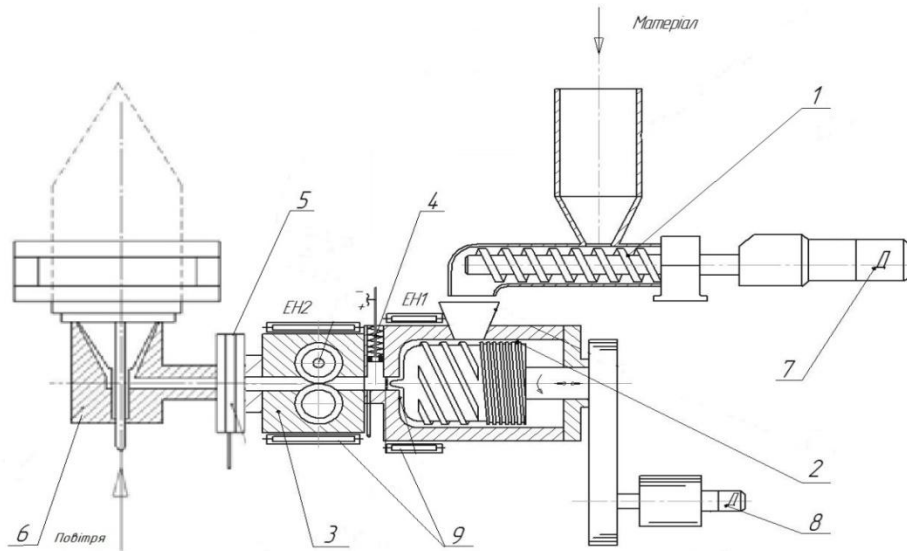
Необхідно зазначити, що на першій стадії в якості розплавлювача-гомогенізатора доцільно використовувати дисковий екструдер, який має високу змішувальну здатність, короткий час переробки (10-12 с), просту конструкцію та низькі питомі показники. Але дискові екструдери не створюють достатнього тиску екструзії, і в чистому вигляді знаходять досить обмежене застосування.

З метою покращення параметрів екструзії на кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв НТУУ «КПІ» створений каскадний дисково-шестеренний екструдер [1], схема якого зображена на рисунку 1.

У цьому екструдері виділені в окремі автономно незалежні слідуєчі стадії:

- дозування сипучого матеріалу;
- живлення, попереднє стискання, плавлення та перемішування розплаву;
- створення кінцевого тиску та дозування розплаву.

Для виконання цих операцій використовуються: на першій стадії – шнековий дозатор 1; на другій стадії – дисковий екструдер 2, який працює в «голодному режимі»; на третій стадії – дозуючий шестеренний насос 3.



- 1 – шнековий дозатор; 2 – дисковий екструдер; 3 – шестеренний насос;  
4 – компенсатор; 5 – фільтр; 6 – формувальний інструмент; 7, 8 – приводи  
обертових органів екструдера;  
9 – нагрівачі

Рисунок 1 – Схема каскадного дисково-шестеренного екструдера

Особливістю такого екструдера є те, що дисковий розплавлювач-гомогенізатор забезпечує регульоване термомеханічне навантаження на полімер, за рахунок можливості зміни частоти обертання черв'ячно-дискової частини та робочого зазору дискового екструдера при незмінній продуктивності, яка забезпечується шнековим дозатором.

Створення фізичної та математичної моделей, а на їх основі алгоритму розрахунку каскадної дисково-шестеренної екструзії, є важливою задачею при проектуванні каскадних екструдерів.

#### **Перелік посилань**

1. Мурдід Н. В. Каскадний дисково-шестеренний екструдер для переробки полімерних матеріалів / Н. В. Мурдід, М. П. Швед, І. О. Мікульонок, Д. М. Швед, // Наукові вісті КПІ №2009/2 – 2008 – с. 74-77.

УДК 66.091

**КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ПИРОЛИЗ НЕФТЕШЛАМОВ**

**Чалов К.В., Тихонов М.Ю., Луговой Ю.В., Косивцов Ю.Ю.,  
Сульман Э.М.**

ГОУВПО «Тверской государственный технический университет»  
tschalov\_k@mail.ru

Для окружающей среды на сегодняшний день все большую важность с экологической и экономической точки зрения приобретают процессы рециркуляции природных богатств. В 2010 году объем добычи нефти в Российской Федерации составил 495 миллионов тонн. При добыче, хранении, транспортировке и переработке нефти, а так же в случае аварийных потерь, доля нефтяных отходов может составлять до 8% от объёма добычи. Нефтешламы образуются при строительстве нефтяных и газовых скважин, при промысловой эксплуатации месторождений, очистке сточных вод, содержащих нефтепродукты, а также при чистке резервуаров и другого оборудования. Образование и накопление нефтешламов приводит к загрязнению окружающей среды и вызывает нарушение экологической обстановки. Принимая во внимание ограниченность запасов нефти, актуальным является разработка эффективного метода переработки нефтешламов с получением газообразных и жидких энергоносителей.

Наиболее перспективным методом переработки органического сырья в полезные продукты является каталитический пиролиз. Преимуществами этого метода является низкая чувствительность к составу сырья, низкие реакционные температуры и замкнутый цикл процесса переработки, что отвечает всем современным требованиям химического производства. Применение катализаторов пиролиза позволяет увеличивать выход и качество ценных продуктов, способствует улучшению управления процессом, а также снижению реакционной температуры процесса, что снижает стоимость котельного оборудования и процесса переработки.



В настоящей работе исследован процесс каталитического пиролиза нефтешлама Каспийского месторождения в присутствии хлоридов металлов подгруппы железа и хлоридов щелочных металлов (Na, K). Процесс пиролиза проводился на экспериментальном стенде в среде азота с возможностью отбора проб и измерения объема и газообразных продуктов процесса. Интервал исследуемых температур процесса составлял 400 - 600 °С. Получаемые газообразные продукты исследовались методами газовой хроматографии и калориметрии.

Применение хлорида никеля приводило к увеличению содержания газообразных углеводородов C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> по сравнению с некаталитическим процессом и использованием хлорида кобальта в 1,2 и 1,85 раз соответственно. Поэтому в зависимости от поставленных производственных целей возможно использование хлорида кобальта или никеля в качестве катализаторов процесса пиролиза нефтешламов. При использовании в качестве катализатора хлорида кобальта наблюдалась самая высокая степень конверсии в жидкие и газообразные топлива. Увеличение степени конверсии составило около 30% (масс.) по сравнению с некаталитическим пиролизом нефтешламов.

УДК 66.091

**КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ПИРОЛИЗ  
ТОРФА И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ  
Косивцов Ю.Ю., Сульман Э.М.**

Кафедра биотехнологии и химии  
Тверской государственной технической университет  
170026, Тверь, наб. А.Никитина, 22  
тел./факс (4822) 44-93-17

В 2010 году объем добычи нефти в Российской Федерации составил 495 миллионов тонн. При добыче, хранении, транспортировке и переработке нефти, а так же в случае аварийных потерь, доля нефтяных отходов может составлять до 8% от объёма добычи.

Нефтешламы образуются при строительстве нефтяных и газовых скважин, при промышленной эксплуатации месторождений, очистке сточных вод, содержащих нефтепродукты, а также при чистке резервуаров и другого оборудования. Нефтяные шламы по составу чрезвычайно разнообразны и представляют собой сложные системы, состоящие из нефтепродуктов, воды и минеральной части (песок, глина, ил и т.д.), соотношение которых колеблется в очень широких пределах. Образование и накопление нефтешламов приводит к загрязнению окружающей среды и вызывает нарушение экологической обстановки. Принимая во внимание ограниченность запасов нефти, актуальным является разработка эффективного метода переработки нефтешламов с получением газообразных и жидких энергоносителей. С другой стороны ряд регионов страны богаты месторождениями торфа, который является энергетически ценным возобновляемым сырьем, который может быть использован для увеличения эффективности переработки нефтесодержащих отходов.

Наиболее перспективным методом переработки органического сырья в полезные продукты является каталитический пиролиз. Преимуществами этого метода является низкая чувствительность к составу сырья, низкие

реакционные температуры и замкнутый цикл процесса переработки, что отвечает всем современным требованиям химического производства.

Применение катализаторов пиролиза позволяет увеличивать выход и качество ценных продуктов, способствует улучшению управления процессом, а также снижению реакционной температуры процесса, что снижает стоимость котельного оборудования и процесса переработки.

В настоящей работе исследован процесс каталитического пиролиза сфагново-пушицевого торфа и модельного нефтешлама Каспийского месторождения в массовом соотношении 1:1. Процесс пиролиза проводился на экспериментальном стенде в среде азота с возможностью отбора проб и измерения объема газообразных продуктов процесса. Интервал исследуемых температур процесса составлял 400 - 600 °С. Получаемые газообразные продукты исследовались методами газовой хроматографии и калориметрии. В качестве катализатора пиролиза использовались образцы бентонитовой глины с концентрацией 1 до 20% (масс).

Совместный пиролиз торфа и нефтешлама приводил к увеличению выхода жидкой фракции на 10% по сравнению с прогнозируемым расчетным значением, полученным в результате линейной интерполяции. Добавление нефтешлама к образцам торфа подвергаемого пиролизу способствовало увеличению интенсивности процесса, скорее всего за счет положительного взаимного влияния используемых смесей на процесс взаимной термодеструкции, а также за счет минеральной фракции нефтешлама, которая, по-видимому, выполняет функции теплоносителя. При использовании бентонитовой глины наблюдалось увеличение содержания углеводородов C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> в составе газообразных продуктов на 10-20%.

УДК 621.926.22

**ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ**

магістрант Нагорний О.В., аспірант Смілян І.О.,

доц., к.т.н. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Процес виробництва органо-мінеральних добрив супроводжується необхідністю створення нових центрів гранулоутворення. Це пояснюється тим, що швидкість росту гранул переважає швидкість утворення нових центрів гранулоутворення. Тому, для їх утворення використовується процес подрібнення.

Ефективність процесу подрібнення характеризується відношенням діаметрів шматків вихідного і подрібненого матеріалів, що має назву лінійна степінь подрібнення:

$$i = \frac{d_{\text{п}}}{d_{\text{к}}}$$

Під  $d_{\text{п}}$  і  $d_{\text{к}}$  розуміють початкові і кінцеві розміри найбільших шматків. Більш повною характеристикою матеріалу є його питома поверхня, тобто поверхня шматків і частинок, які приходяться на одиницю їх маси або об'єму. Часто характеризують матеріал по його фракційному складу, вираженому у долях або відсотках частинок близьких розмірів (вузьких фракцій).

Різноманітність фізико-механічних властивостей твердих матеріалів і вимоги до них призвели до утворенню численного ряду подрібнюючих машин, котрі відрізняються за принципом дії і конструкцією. Твердий матеріал можна подрібнювати чотирма основними методами (рисунок 1): роздавлюванням, сколюванням, стиранням і ударом.

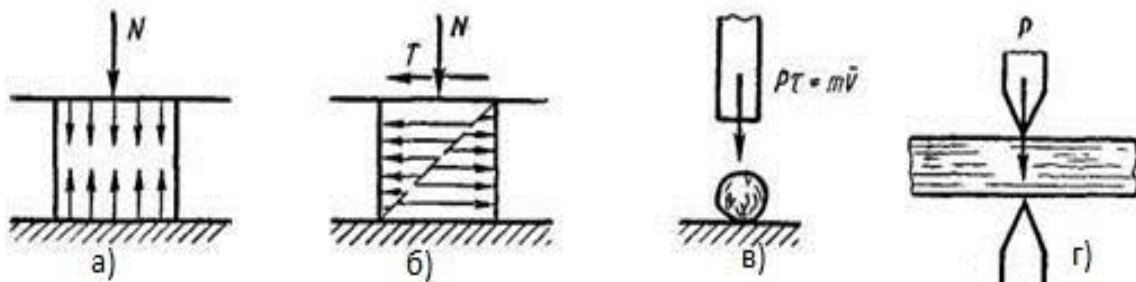


Рисунок 1 – Основні методи подрібнення твердих матеріалів:

а) роздавлювання, б) стирання, в) удар, г) сколювання.

У ряді подрібнюючих машин часто здійснюються різні поєднання основних методів (наприклад, удар і стирання, удар і роздавлювання), а також додаткова дія згинаючих і зрізаючих сил. Вибір методу відбувається

з урахуванням механічних властивостей матеріалу і необхідної ступені його подрібнення. Так, для грубого і середнього подрібнення переважні методи роздавлювання і сколювання, а для тонкого розмелювання – методи удару, стирання і їх поєднання.

Дробарки, що можуть забезпечити необхідний ступінь подрібнення гранул для створення нових центрів гранулоутворення, зображено на рисунку 2.

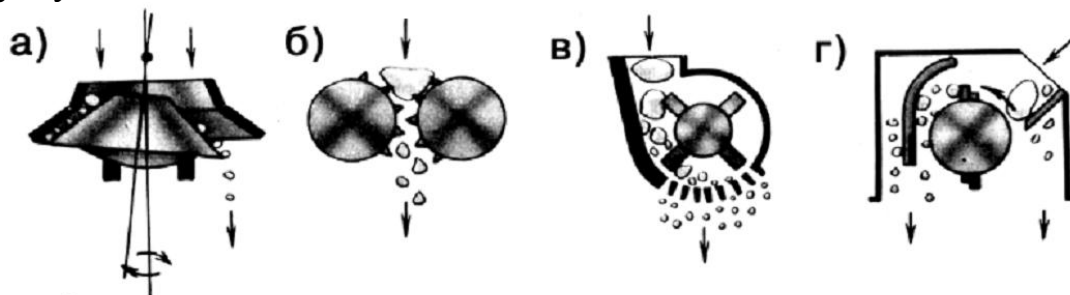


Рисунок 2 – Принципові схеми дробарок: а) конусна середнього і дрібного подрібнення, б) валково-зубчаста, в) молоткова, г) роторна.

Метою даної роботи є дослідження процесу механічного подрібнення гранульованих органо-мінеральних композитів, а саме:

- аналіз існуючих способів та обладнання для подрібнення гранульованих органо-мінеральних композитів, оцінка ефективності конструкції апаратів з різними способами подрібнення;
- теоретичне дослідження процесу подрібнення композитів, розробка фізичної та математичної моделі процесу подрібнення;
- розроблення конструкції подрібнюючої машини для подрібнення органо-мінеральних композитів, проведення досліджень та визначення умов основних режимів;
- експериментальна перевірка фізичної та математичної моделей та визначення впливу параметрів на процес подрібнення;
- економічне обґрунтування, рекомендації щодо раціонального ведення процесу та ймовірного його використання на виробництві;
- удосконалення методики розрахунку промислового апарату.

### Перелік посилань

7. Гельперин Н.И. – «Основные процессы и аппараты химической технологии». М.: Химия, 1981. В двух книгах. – 812 с., ил..
8. Тимонин А.С. – «Основы конструктивная и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования». Химия, 2002. В 3-х томах. – 1017 с.
9. Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С. Білецького. — Донецьк: Донбас, 2004. — 640 с.

УДК 621.928.93

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ  
СИСТЕМ В ПОЛІ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ**

магістрант Подолянець В. А., аспірант Смілян І.О.

к.т.н., доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Метою даної роботи є дослідження процесу розділення неоднорідних систем в полі відцентрових сил. Осадження під дією відцентрових сил застосовують для розділення неоднорідних газових систем. Серед засобів сухого інерційного очищення газових викидів від пилу найбільшого поширення набули циклони. Рушійною силою процесу, що визначає швидкість осаження, є відцентрова сила  $C$ , яка визначається за наступним виразом:

$$C = \frac{m \cdot W_r^2}{r};$$

де,  $m$  - маса твердої частинки;

$W_r$  - лінійна швидкість газового потоку;

$r$  - радіус кривизни траєкторії в даній точці.

Ступінь очистки газу залежить від фактора розділення:

$$\Phi_p = \frac{W_r^2}{r \cdot g};$$

Підвищення ступеня очистки газу можна досягнути шляхом зменшення радіуса кривизни траєкторії руху газового потоку, або збільшенням швидкості запиленого газу у вхідному патрубку.

Циклони застосовуються в самих різноманітних галузях промисловості: в чорній і кольоровій металургії, хімічній і нафтовій промисловості, промисловості будівельних матеріалів, енергетиці та ін..

Циклони забезпечують очистку газів від частинок пилу діаметром більше 5 мкм з ефективністю 80-95%. В основних випадках їх встановлюють перед вискоефективними апаратами (фільтрами або електрофільтрами).

Класифікація циклонів за конструктивними ознаками наведена на рисунку 1.

- відсутність рухомих частин в апараті;

- надійне функціонування при температурах газів майже до 500°C;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті спеціальним покриттям внутрішньої поверхні;
- простота виготовлення конструкції;
- незалежність роботи апарата від тиску газу;
- незалежність фракційної ефективності очищення від зростання запиленості газів;
- висока продуктивність при порівняно низькій вартості.



Рисунок 1 – Класифікація циклонів

Перевагою циклонів є:

Недоліком циклонів є:

- низька ефективність вловлювання частинок менше 5 мкм;
- швидкий знос корпусу при великій фракційності пилу.

#### Перелік посилань

1. А. С. Тимонин «Основы конструктивная и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования».

2. Ратушняк Г. С. Лялюк О. Г. «Технічні засоби очищення газових викидів».

УДК 628.5:66.002.8

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ АМОΡФНИХ ТА  
ВОДОРОЗЧИННИХ ГУМІНОВИХ КОМПОНЕНТІВ БУРОГО  
ВУГІЛЛЯ**

**студент Кучеренко І. В., студент Карпенко О. П.,  
к.т.н., доц. Степанюк А. Р.**

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

У сучасній промисловості, під час виробництва різних необхідних для суспільства компонентів, генерується надзвичайно велика кількість відходів. Доктрина «сталого розвитку» наголошує, що ці відходи необхідно переробляти у безпечні для довкілля компоненти. Запропонована авторами [1] методика переробляти відходи виробництва лактаму у необхідні сільському господарстві комплексні добрива значно здешевлює як саме виробництво лактаму, так і переробку відходів. Проте постає задача забезпечення добрив гуміновими аморфними компонентами. Такі компоненти можна отримати з торфу або бурого вугілля. Проте, під час створення таких добрив постає проблема забезпечення рівномірності розподілу гуміномістких компонентів по всьому об'ємі частинки, що утворюється.

Задачею досліджень є визначення кількісного співвідношення гуміномістких компонентів у лужному розчині для забезпеченням рівномірності розподілу компонентів і визначення концентрації гумінових компонентів та лугу у відповідності до структури мікрошару при ізотермічній кристалізації гуміномістких компонентів у лужному розчині.

Дослідження проводились на власноруч створеній установці для сушіння зразків при різних температурах. Під час проведення сушки, було помічено, що при різних концентраціях КОН та гумінових компонентів бурого вугілля, час до повного висушування був різний при нанесенні однакової кількості розчину по масі. Відповідно й товщина шару відрізняються одна від одної після повного висушування.

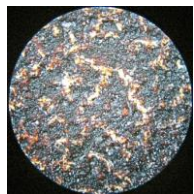
Установлено, що мікроструктура шару гумінових компонентів, одержана після зневоднення, має виражену нерівномірність у вигляді кластерів різного розміру (рисунок 1, 2, 3).

Із підвищенням концентрації одночасно КОН і бурого вугілля спостерігається збільшення питомої чисельності флокул, а також їх розміру. При більшій температурі відбувається швидке висушування, за якого волога розчинника швидко випаровується і відбувається винесення твердих частинок зі скла.

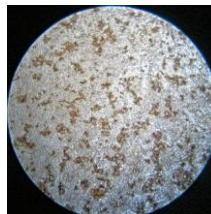
За результатами досліджень було отримано математичну залежність між концентраціями водного розчину лугу калію та бурого вугілля і



розмірами флокул при сушінні цих розчинів. Було встановлено, що зі зменшенням концентрації луку КОН від 3,5 % до 1 % та зменшенням концентрації бурого вугілля від 2 % до 1% за стабільної температури 95 °С відбувається різкий спад коефіцієнта заповнення.

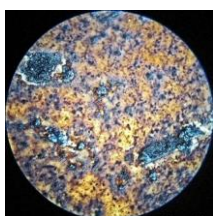


а) тривалість зневоднення 557 с при концентрації бурого вугілля 3,75 %

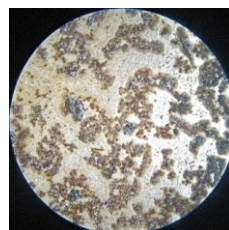


б) тривалість зневоднення 275 с при концентрації бурого вугілля 1,25 %

Рисунок 1 – Мікроструктура шару після зневоднення (концентрація КОН 5%)

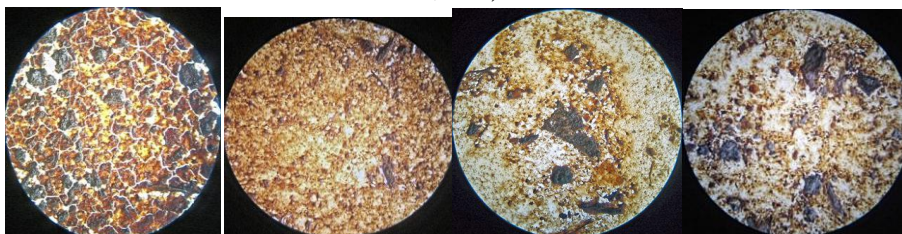


а) час зневоднення 441 с при концентрації бурого вугілля 3,75%



б) час зневоднення 310 с при концентрації бурого вугілля 1,25 %

Рисунок 2 – Мікроструктура шару після зневоднення (концентрація КОН 2,5%)



а

б

в

г

- а) тривалість зневоднення 385 с при концентрації бурого вугілля 5 %,
- б) тривалість зневоднення 230 с при концентрації бурого вугілля 3,75 %,
- в) тривалість зневоднення 215 с при концентрації бурого вугілля 2,5 %,
- г) тривалість зневоднення 205 с при концентрації бурого вугілля 1,25 %

Рисунок 3 – Мікроструктура шару після зневоднення (концентрація КОН 1%)

### Перелік посилань

1. Коринчук Д.Н. Модель высокотемпературной сушки торфяных частиц и ее экспериментальное подтверждение//СЭТТ-2005, М.: МЭИ, 2005, т.2, с.225-229.

**УДК 678.027.3**

**Дослідження процесу спінювання екструдованих пінополімерів**

**к.т.н, доц. Швед М.П., магістрант Войцеховська Є.М.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Однією з важливих задач при проектуванні екструзійного обладнання для виготовлення спінених пінополімерів є визначення профілю отвору формувального пристрою, від геометрії якого залежить форма погонажного виробу.

Оскільки процес спінювання, який починається при різкому зниженні тиску на виході з формувального пристрою екструдера, призводить до суттєвої зміни форми виробу, то завданням проектування є визначення необхідної конфігурації вихідного отвору, буде відповідати заданому перетину профіля [1].

На процес спінювання найбільшим чином впливають такі фактори як: концентрація спінювального агента, здатність агента до розширення, міцність полімеру у в'язкоплинному стані, температура сировини, тиск на виході з екструдера.

Для визначення ступеню спінювання у залежності від концентрації спінювального агента, температури та тиску на виході з екструдера, авторами [2] запропоновано ряд залежностей які дозволяють врахувати властивості полімера-основи. Ці залежності дозволяють оцінити лише ступінь збільшення площі перетину при спінюванні, проте не відповідають умовам визначення конфігурації та геометрії профілю. Наразі ця задача визначається майстерністю та досвідом проектувальника і, зазвичай, потребує доробки оснащення після ряду експериментальних випробувань

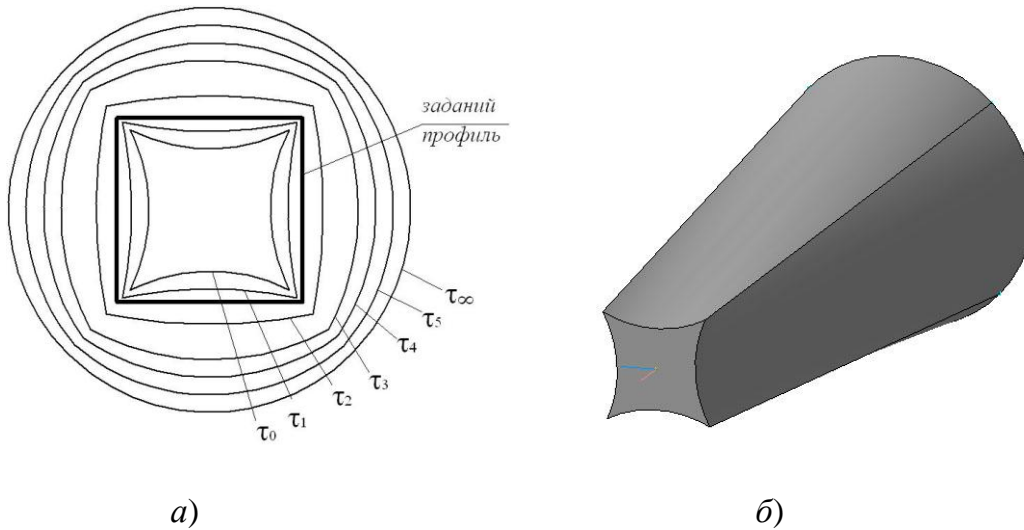
Оскільки сучасна промисловість зацікавлена у виготовленні спінених профілів різного перетину (багети, кутники, круг, квадрат, фасонний профіль), то задача визначення геометрії вихідного отвору формувального пристрою є актуальною.

Для розв'язання такої задачі запропоновано новий підхід, що базується на ідеї поступової зміни геометрії перетину від перетину вихідного отвору до круглого перетину, тобто умови ідеального спінювання.

Умова ідеального спінювання передбачає, що перетин будь-якої конфігурації при необмеженому спінюванні має набувати форми круга (рисунок 1). При цьому вводимо припущення, що спінювання відбувається рівномірно від центру мас розглядуваного перетину.

Умовою закінчення процесу формування є момент, коли розглядуваний перетин має площу, що відповідає можливому ступеню спінювання визначеному для певних умов (концентрація агента, сировина) [2].

Для розв'язку вказаної моделі запропоновано двовимірну декартову систему координат, для якої задається геометрія перетину (растровий об'єкт). Для визначення центра мас довільної фігури використано метод визначення статичних моментів маси у перегляді на плоску фігуру: поверхневу густину, тобто масу



а) б)  
 Рисунок 1 – Теоретична зміна профілю спіненого виробу:  
 а – зміна профілю через інтервал часу  $\Delta\tau$ ;  
 б – аксонометричне зображення зміни профілю при спінюванні

одиниці площі поверхні, будемо вважати постійною і рівною  $\delta$  для всіх частин фігури.

Тоді визначення центра  $(x_c, y_c)$  спінювання можна знайти:

$$x_c = \frac{\int_a^b x[f_2(x) - f_1(x)]dx}{\int_a^b [f_2(x) - f_1(x)]dx}, y_c = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b [f_2^2(x) - f_1^2(x)]dx}{\int_a^b [f_2(x) - f_1(x)]dx}.$$

Ці формули справедливі для будь-якої однорідної плоскої фігури.

За прямими, що рівномірно відходять із центра мас визначають однакову кількість проміжків  $n$  від границі заданої растрової фігури (відповідає геометрії вихідного отвору  $\tau_0$ ) до кола максимально можливого спінювання (умови ідеального спінювання), що дозволяє визначити зміну профілю. Профіль, який утвориться в результаті спінювання, відповідатиме тій із обчислених профілів, у якого площа збігатиметься із обчисленою за умовами спінювання. У програмі запропоновано метод поступових наближень: якщо розрахована для наступного перетину площа стає більшою за кінцеву, проте не відповідає збігу із заданою точністю – кількість проміжків  $n$  зменшується і розрахунок починається з попереднього кроку.

Програмна реалізація дозволяє проводити багатоваріантні розрахунки з метою визначення необхідної конфігурації вихідного отвору для заданого профілю.

**Перелік посилань:**

1.Петухов А.Д. Експериментальне дослідження виготовлення спінених полімерів методом екструзії / Петухов А.Д., Новицька Т.М., Гоженко Л.П., Лукашова В.В.// Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції «Композиційні матеріали» (Київ, 2009): Збірка матеріалів – К.: НТУУ "КПІ", 2009.- С. 94-98.

2.Лукашова В.В. Екструзія пінополімерів: монографія // В.В. Лукашова, І.О. Мікульонок, Л.Б. Радченко. - К.: НТУУ «КПІ».- 2011.-222 с.

УДК 621.21

**ОБГРУНТУВАННЯ УМОВ ПРОЦЕСІВ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТА  
ГРАНУЛЮВАННЯ РІДКИХ ГЕТЕРОГЕННИХ СИСТЕМ В  
ПСЕВДОРОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ**

**д.т.н., професор, Корнієнко Я. М., студент Мельник М. П.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Застосування техніки псевдозрідження для одержання твердих композитів з рідких систем дозволяє сумістити в одному апараті процеси масової кристалізації та грануляції з тепловим ККД > 65%.

В апараті з активним гідродинамічним режимом необхідно забезпечити рух зернистого матеріалу через такі основні зони [1].

I зона розташована безпосередньо біля газорозподільного пристрою, в якій струменем нагрітого теплоносія частинка набуває максимальної швидкості на висоті 30-50 мм і переміщується до зони II.

В зоні II здійснюється диспергування рідкої фази і утворення тонкої плівки рідини, за рахунок адгезійно-сорбційних сил на поверхні частинок. Температура гранули знижується до температури мокрого термометра.

В III зоні, розташованій над диспергатором, відбувається змішування з частиною сухого зернистого матеріалу з вологою і проведення випаровування розчинника.

Зернистий матеріал, суміш зволжених та сухих гранул, надходить в зону IV в якій завершується процес масової кристалізації та формування шару мікрокристалів на поверхні гранул, а також сорбція частини парів води сухими гранулами. Решта води переноситься до газового теплоносія, який рухається в режимі фільтрації через шар зернистого матеріалу. Із зони IV зернистий матеріал надходить до зони I.

Цикл повторюється багатократно. Внаслідок цього структура гранул являє собою просторовий каркас з мікрокристалів мінеральної речовини, між якими розташовуються мікрочастинки органічних домішок.

Відомо, що реалізація корисної різниці температур по висоті 30-50 мм від газорозподільного пристрою, а загальна кількість теплоти визначається за виразом:

$$Q = \alpha \cdot \Delta T \cdot \Sigma f_T \quad (1)$$

де,  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $Вт / м^2 \cdot К$  ;

$\Sigma f_T$  - мінімально необхідна поверхня зернистого матеріалу для здійснення теплообміну,  $м^2$ ;

$\Delta T$  – корисна різниця температур,  $К$ .

$$\Delta T = T_{ex} - T_{in}$$

де,  $T_{ex}$  – температура теплоносія на вході до апарату,  $К$ ;

$T_{in}$  – температура теплоносія у псевдо розрідженому шарі,  $К$ .

Звідки мінімальна поверхня теплообміну:

$$\Sigma f_T = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta T}$$

Враховуючи  $\Delta T > 100К$ , а середнє значення  $\alpha > 100 Вт / м^2 \cdot К$ , то  $\Sigma f_T \rightarrow min$ .

Разом з тим, мінімальна поверхня масообміну для зернистого матеріалу визначається як:

$$\Sigma f_T = \frac{M}{\beta \cdot \Delta c} \quad (2)$$

де,  $M$  – кількість маси, яка переходить до іншої фази, кг / с;

$\beta$  - коефіцієнт масовіддачі, кг / с·Па·м<sup>2</sup>;

$\Delta c$  – середня рушійна сила масообміну, Па.

За результатами попередніх експериментів встановлено, що  $\Sigma f_M$  в 6 -7 разів  $\Sigma f_T$ . В загальному випадку гідравлічний опір шару зернистого матеріалу можна виразити як:

$$\Delta P_u = H_0 \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot \rho_u \cdot g \quad (3)$$

де,  $H_0$  – висота зернистого шару, м;

$\varepsilon_0$  – порозність зернини;

$\rho_u$  – густина зернистого матеріалу, кг / м<sup>3</sup>.

З іншої сторони:

$$\Delta P_u = \frac{M_u \cdot g}{S}$$

де  $M_u$  – маса шару, кг;

$S$  – площа поперечного перерізу апарата, м<sup>2</sup>;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $g = 9,81$  м / с<sup>2</sup>.

Масу шару зернистого матеріалу можна виразити як:

$$M_u = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho_u \cdot n = \Sigma f \cdot \frac{d}{6} \cdot \rho_u \quad (4)$$

де,  $d$  – еквівалентний діаметр частинок, м;

$n$  – число частинок.

Прирівнявши праві частини виразів (3) і (4) одержимо вираз для визначення висоти шару зернистого матеріалу, який впливає з умов проведення масообміну:

$$H_{OM} = \frac{\Sigma f_M \cdot d}{6 \cdot S \cdot (1 - \varepsilon_0)}$$

Якщо  $H_{OM} / H_{OT} = 6$ , то процес зневоднення і грануляції при  $H_{OT} = 50$ , необхідно проводити при висоті зернистого шару щонайменше 300 мм.

Тоді для визначення умов створення вертикальної струменевої циркуляції в апараті з високим шаром зернистого матеріалу необхідно комплекс експериментальних досліджень для оцінки впливу конструкції газорозподільного пристрою та камери гранулятора на інтенсивність процесу циркуляції в двохфазній системі газ – тверде тіло та при реалізації процесу утворення твердих композитів з рідких систем з пошаровою структурою.

### **Перелік посилань**

1. Корнієнко Я.М. Процес утворення азотно-кальцієво-гумінових твердих композитів / Корнієнко Я.М., Гатілов К.О., Науменко Д.О. // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. К.: Видавничий центр «Принт центр» 2011.

УДК 621.577

**ОБГРУНТУВАННЯ СПРОЩЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ  
АДСОРБЦІЙНОГО НАСИЧЕННЯ ШАРУ СОРБЕНТУ В  
ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІ**

к.т.н., доц. Корінчук Д. М., к.т.н., доц. Воронін Л. Г.,  
студентка Захлебняк М. В., студентка Степанюк Ю. М.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Завдання створення ефективних систем акумулювання теплової енергії є важливою складовою частиною проблеми вирівнювання нерівномірності споживання електроенергії та стабілізації робочого режиму електричних мереж. Перспективним напрямком рішення даної проблеми є створення матеріалів і систем акумулювання, які працюють з використанням оборотних термохімічних реакцій. Саме такий принцип покладено в основу роботи адсорбційного термотрансформатора[1]. У нічний час, використовуючи електроенергію по зниженому тарифу, відбувається накопичення енергії за рахунок нагрівання та регенерація сорбенту з одночасною конденсацією пари холодоагенту, після чого, з 6<sup>00</sup> до 23<sup>00</sup> години, термотрансформатор працює віддаючи закумуляовану енергію у вигляді теплоти сорбції, яка подається до споживача.

Актуальним є визначення залежності товщини шару засипки від часу поглинання пари сорбентом з метою моделювання апаратів різної продуктивності. Тому для вирішення питання ставляться наступні задачі:

- 1) сформулювати фізичну модель процесу адсорбції;
- 2) обґрунтувати припущення;
- 3) на основі фізичної моделі створити математичну модель;
- 4) сформулювати умови однозначності і граничні умови;
- 5) визначити шлях розв'язання математичної моделі.

Процес в апараті проходить в умовах ізобарної адсорбції[2].

Математична модель процесу адсорбції складається із:

- 1) рівняння теплопровідності шару сорбенту із врахуванням внутрішніх джерел енергії:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} + q_v, \quad (1)$$

де  $a$  - коефіцієнт температуропровідності,  $\left[ \frac{m^2}{c} \right]$ ;

$q_v$  - внутрішнє джерело енергії:

$$q_v = f(A, T) = \frac{\varepsilon}{c_p} \frac{dA}{d\tau},$$

де  $\varepsilon$  - диференційна теплота сорбції,  $\left[ \frac{kJ}{kg_{пару}} \right]$ .

Знак «+» чи «-» біля величини  $q_v$  вказує на те, що у процесі сорбції має місце надходження чи стік тепла відповідно.

- 2) рівняння масообміну в шарі сорбенту:

$$\frac{\partial A}{\partial \tau} = \beta \cdot (A^* - A) = k(T - T^*), \quad (2)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт масо передачі,  $\left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}} \right]$ ;

$k$  - коефіцієнт пропорційності, що характеризує зв'язок між різницею температур  $(T - T^*)$  та інтенсивністю адсорбції, визначається експериментальним шляхом;

$T^*$  - рівноважна температура адсорбції, К.

$\frac{\partial A}{\partial \tau}$  - характеризує інтенсивність адсорбції, у випадку ізобарної адсорбції визначається різницею температур сорбенту та рівноважною температурою при даному тиску.

3) рівняння рівноважного стану:

$$A^* = f(T, P) \quad (3)$$

Величина рівноважної адсорбції визначається за ізостерами сорбції [3].

Початкові умови:

$\tau = 0$  - початковий момент часу, с;

$P = \text{const}$  - тиск у системі підтримується сталим, Па;

$T = T_n$  - початкова температура сорбенту, К;

$W = 0$  - у початковий момент часу вологість сорбенту мінімальна,  $\left[ \frac{\text{кг}_{\text{води}}}{\text{кг}_{\text{сорбенту}}} \right]$ .

Граничні умови: при  $Z = 0$   $\lambda \frac{\partial T}{\partial Z} = \alpha(T - T^*)$ , при  $Z = h$   $\lambda \frac{\partial T}{\partial Z} = 0$ ,

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$ ;

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі,  $\left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$ ;

$h$  - висота шару сорбенту, м.

Для спрощення розв'язання математичної моделі використовуємо плоску фізичну модель: враховується зміна температури лише по висоті шару сорбенту. Зернистий шар сорбенту розглядаємо як однорідне ізотропне середовище. Теплопровідність шару визначається теплопровідністю матеріалу сорбенту. Тому перспективним є використання композиційного сорбенту на основі кераміки із включеннями металу. В такому випадку теплопровідність сорбенту буде визначатися теплопровідністю металевих включень. Зернистість матеріалу засипки дає змогу парі сорбату миттєво проникати в зону адсорбції. Кількість пари, що поглинається сорбентом пропорційна кількості тепла, що відводиться. Оскільки  $P = \text{const}$ , то рівновага системи зміщується за рахунок зміни температури.

#### **Перелік посилань**

1. Корінчевська Т.В., Снежкін Ю. Ф., Чалаєв Д.М., Шаврин В.С., Дабіжа Н.О., Перспективні матеріали для акумуляторів теплової енергії // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31. – № 7. – С. 139-141.

2. В. П. Харитонов Адсорбция в кондиционировании на холодильниках для плодов и овощей — М. : «Пищевая промышленность», 1978. — 192 с.

3. Корінчук Д. М., Осадча Л. С., Степанюк Ю. М., Захлебняк М. В. Вибір сорбенту для адсорбційних термотрансформаторів // Збірник тез доповідей VIII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ» ІХФ, Ч1., 20-22 квітня 2011 – с.67

УДК 539.217

## **ОЧИЩЕННЯ ЛУЖНИХ РОЗЧИНІВ ВІД КАТІОННИХ БАРВНИКІВ НАНОФІЛЬТРАЦІЙНОЮ КЕРАМІЧНОЮ МЕМБРАНОЮ**

**д.х.н., проф. Кучерук Д.Д., магістрант Красуленко І.С.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»,

**к.х.н. Дульнева Т.Ю.**

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського

НАН України

На сьогодні не існує універсального методу очищення стічних вод від органічних барвників різної хімічної природи. Для цього використовують різні методи: адсорбцію активованим вугіллям [1], глинистими мінералами [2] та оксигідратами металів, електрохімічне окислення, мікро- та ультрафільтрацію, що реалізуються на полімерних мембранах.

Значний інтерес для ефективного очищення миючих лужних розчинів фарбувального виробництва представляють керамічні мембрани, що відрізняються більшою міцністю, термічною та хімічною стійкістю, ніж полімерні мембрани. У зв'язку з цим метою представленої роботи є дослідження ефективності очищення лужних розчинів від катіонних барвників нанофільтраційною керамічною мембраною.

В роботі були використані нанофільтраційні трубчасті керамічні мембрани (виробництва Німеччина). Зовнішній та внутрішній діаметри такої мембрани становлять відповідно 1,0 та 0,7 см, середній діаметр пор 0,9 нм, підкладка з  $Al_2O_3$ , робочий шар з  $TiO_2$ .

Показано, що зі збільшенням тривалості експерименту від 15 до 120 хв при робочому тиску 1,0 МПа, значенні рН 12,5 і концентрації метиленового блакитного 50,0 мг/дм<sup>3</sup> коефіцієнт його затримання  $R$  становив 33,0 %. Очевидно, низьке значення  $R$  пов'язане з електростатичною взаємодією різнойменно заряджених молекул катіонного барвника і поверхні мембрани.

Для збільшення значення  $R$  метиленового блакитного керамічну мембрану попередньо модифікували глинистим мінералом - монтморелонітом (2,0 г/дм<sup>3</sup>). Із рисунка 1 видно, що зі зростанням тривалості експерименту від 15 до 120 хв при тиску 1,0 МПа, рН 12,7 і концентрації метиленового блакитного 150,0 мг/дм<sup>3</sup> значення  $R$  барвника досягало 98,7 % при зменшенні питомої продуктивності  $I_v$  мембрани від 18,2 до 12,0 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год).



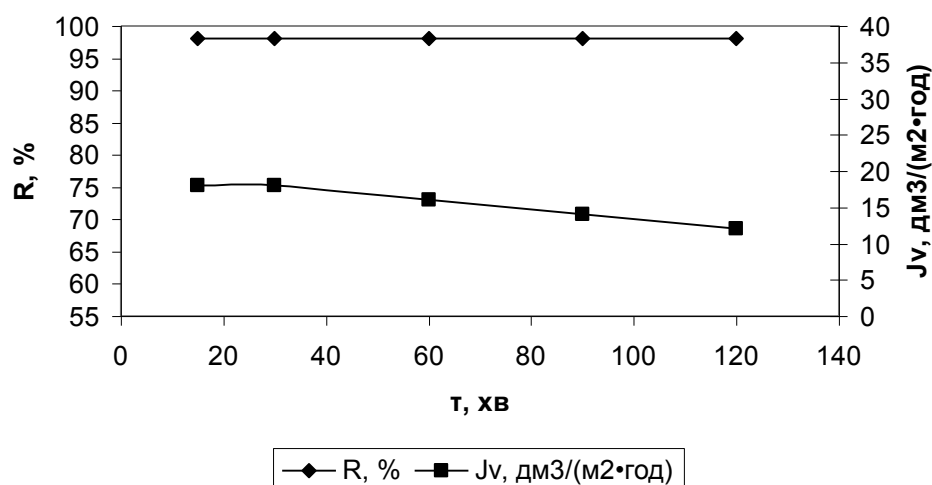


Рисунок 1 –Залежність коефіцієнта затримки і продуктивності модифікованої мембрани від часу

Таким чином, результати проведених досліджень показали високу ефективність очищення лужних розчинів від катіонних барвників нанофільтраційною керамічною мембраною, що модифікована глинистим мінералом.

### Перелік посилань

1. Клименко Н. А. Исследование адсорбции водорастворимых красителей на непористых и пористых углеродных сорбентах/ Н. А. Клименко, Ф. Г. Лупашку, А. М. Когановский// Коллоид. журн. – 1980. – Т. 42, № 1. – С.135 – 139.

2. Исследование сорбции метиленового голубого на слоистых силикатах / Ю. И. Тарасевич, В. Е. Поляков, Г. М. Климова [и др.] // Укр. хим. журн. – 1979. – Т. 45, № 5. – С. 420 – 424.

УДК678.748-2

## НАВАНТАЖЕННЯ, ДІЮЧІ НА ВАЛ ТА ШЕСТЕРНІ НАСОСА

Доцент Швед М.П., магістр Петренко О.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Останнім часом шестеренні насоси все частіше використовуються для перекачування високов'язких полімерних розплавів. Такі насоси здатні створювати тиск до 70 МПа. Тобто вали та шестерні насосу піддаються великим навантаженням, що зумовлює приділяти особливу увагу їх розрахунку і встановлювати жорсткі умови до геометричних розмірів та точності виготовлення[1]. Під дією навантажень можливі руйнування деталей, що призводить до зупинки виробництва та витрат на ремонтні роботи. Найчастіше руйнуванню піддаються шестерні та вали.

Вихід з ладу шестерні може бути спричинений руйнуванням головок зубів(рис. 1 - а), появою тріщин в основі зубів(рис. 1 - б), тріщин у місці шпонкового паза(рис. 1 - в). Вихід з ладу вала може бути спричинений його скручуванням(рис. 2). або появою тріщин у місці шпонкового паза.



а – руйнування головок зубів, б – тріщини в основі зубів, в – тріщини у місці шпонкового паза

Рисунок 1 – приклади руйнування шестерень

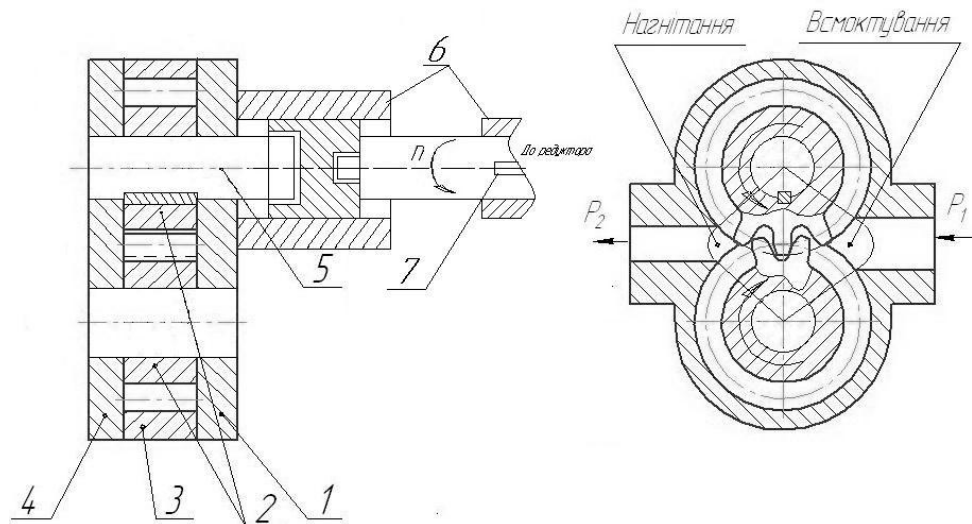


Рисунок 2 – приклад скручування вала

При проектуванні шестеренного насоса проводяться наступні розрахунки: робочі поверхні зубів шестерень на довговічність по контактним напруженням,

зубів на витривалість по напруженню згину, вал на прогин та скручування, розрахунок навантажень діючих на опори(підшипники) валів, шпонки на зріз[2].

Для запобігання виходу з ладу таких важливих деталей як вал 5(рис.3) та шестерень 2 необхідно розраховувати шпонку 7 на менші допустимі навантаження, що призведе до її руйнуванні при критичних навантаженнях.



1 – верхня плита, 2 – шестерні, 3 – середня плита, 4 – нижня плита, 5 – вал приводу, 6 – муфти, 7 – шпонка.

Рисунок 3 – Схема шестиренного насосу

Найбільш небезпечною деформацією для шпонок і пазів є змінання від крутного моменту  $T(\text{Н}\cdot\text{мм})$ :

звідки

де  $l_p$  – робоча довжина шпонки, рівна прямолінійній робочій частині бокової грані, мм;

$h$  – висота шпонки, мм;

$t_1$  – глибина шпонкового паза, мм;

$d$  – діаметр вала, мм.

Заміна шпонки не призведе до простою обладнання та значно дешевша за заміну вала чи шестерні насоса[3].

### Перелік посилань

1. Выявление и устранение проблем экструзии / К. Раувендааль, М. д. Пилар Норьега Е., Х. Харрис; Пер. С англ. под ред. Володина В.П. – СПб.:Прфессия, 2008. – 328 стр., ил.
2. Шестеренные насосы для металлорежущих станков / Е. А. Рыбкин, А. А. Усов, М. 1960 г., МАШГИЗ.
3. Расчет и проектирование деталей машин / Н. Ф. Киркач, Р. А. Баласянн : [Учеб. пособие для техн. вузов]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Х.: Основа, 1991. – 276с.: схем.

УДК 678.027.3

Дослідження розчинності полімерів спінювальними агентами

к.т.н., доц. Швед М.П., Рудакова В.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Пошук альтернативних спінювальних агентів, які можуть ефективно використовуватись у промисловості, є однією із основних задач виготовлення спінених полімерів [1].

Найбільш поширеними спінювальними агентами при промисловому виготовленні пінополімерів є низькокиплячі рідини — аліфатичні вуглеводні, їх галогенопохідні та ароматичні вуглеводні, спирти, прості ефіри, кетони і т.д. Спінювання відбувається пароутворенням при підвищенні температури або(і) при зниженні тиску в системі (композиції).

Існує значна кількість робіт, присвячених визначенню ефективності використання того чи іншого спінювального агента. Автори [2] відзначають, що найкращими, з точки зору якості отриманої структури спінених полімерів, є ті спінювальні агенти, які здатні розчиняти полімер-основу. Також, відзначено, що зазвичай процес розчинення полімеру спіниним агентом супроводжується тепловиділеннями.

Для оцінки можливості розчинення полімеру низькомолекулярними рідинами існує ряд теорій, серед яких: Гільдебранда-Смолла та Аскадського. При розрахунках процесу екструзії полімеру із спінювальним агентом, необхідно враховувати теплоту розчинення полімеру спінювальним агентом, окрім дисипативних тепловідділень та теплоти фазових перетворень. Для числового моделювання процесу екструзії, теплоту розчинення можна визначити згідно теорії Гільдебрандта-Смолла, що дозволяє враховувати теплові витрати для різних полімерів та розчинників [3].

Розрахунок розчинності полімерів за Гільдебрандом–Смоллом базується на тому, що при розчиненні високомолекулярної сполуки повинні бути розірвані зв'язки між однорідними молекулами і утворені нові зв'язки між полімером і розчинником. Таким чином, ентальпія змішування  $\Delta H_{зм}$  є алгебраїчною сумою виділеного і поглинутого при розчиненні тепла та визначається за рівнянням Гільдебранда–Скетчарда:

$$\Delta H_{зм} = V_{зм} \left[ \Delta E_1 / V_p^{\frac{1}{2}} - \Delta E_2 / V_n^{\frac{1}{2}} \right]^2 v_n v_p = V_{зм} \delta_p^2 - \delta_n^2 v_n v_p \quad (1)$$

де  $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$  – енергії випаровування і розриву міжмолекулярних зв'язків;  $V_{зм}$  – загальний об'єм суміші;  $V_p$ ,  $V_n$  – мольні об'ємні частки розчинника і полімеру;  $v_n$ ,  $v_p$  – об'ємні частки розчинника і полімеру у розчині;  $\delta_p$  і  $\delta_n$  – параметри розчинності розчинника і полімеру.

Величина розчинності розчинника  $\delta_p$  пов'язана з мольною питомою теплотою пароутворення  $L_e$  і з мольним об'ємом  $V_{зм}$ :

$$\delta_p = \left[ \chi_e - RT \right] V_{zm}^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Величина розчинності полімеру  $\delta_p$  розраховується, виходячи з мольних констант взаємодії:

$$\delta_p = \frac{\sum \gamma \cdot \rho_{\Pi}}{M_0}, \quad (3)$$

де  $\sum \gamma$  – сума мольних констант взаємодії атомних угруповань, що входять до елементарного ланцюга;

$M_0$  – молекулярна маса мономерної ланки.

Математичний аналіз показав, що найкращим розчинником для даного полімеру являється той, параметр розчинності якого дорівнює або близький до параметру розчинності полімеру, інакше кажучи, якщо  $\delta_p \approx \delta_n$ ,  $\Delta H_{cm} = 0$ , і полімер може розчинитися в даному розчиннику. Розчинення може не відбутись, якщо  $\delta_p - \delta_n > \pm 2,0$  в (кал/см<sup>3</sup>)<sup>0,5</sup>. В цьому випадку  $\Delta H_{cm} \gg 0$  [3].

Параметри розчинності полімерів (поліетилен низької густини (ПЕНГ); полістирол) промисловими спінювальними агентами за умов переробки у екструдері (340К, 10 МПа) показав, що при переробці відбувається розчинення полімеру ( $\Delta = \delta_p - \delta_n < 0$ ).

Результат теоретичного аналізу здатності типових спінювачів до розчинення виявив, що за заданих умов найкращим є і-бутан (для полістиролу  $\Delta = -4,51$ ; для ПЕНГ  $\Delta = -4,313$ ), недоліком якого при застосуванні у якості спінювального агенту є горючість. Аліфатичні вуглеводні (хладони) теж виявляють задовільну здатність до розчинення (для полістиролу  $\Delta = -2,39$ ; для ПЕНГ  $\Delta = -3,247$ ), проте є нерекомендованими до промислового застосування з точки зору охорони навколишнього середовища, через високий руйнівний фактор озонного шару.

Такий підхід, дозволяє здійснювати теоретичний аналіз при пошуку нових спінювачів, які будуть задовольняти всім умовам промислових застосувань: технологічним, економічним, екологічним.

### Перелік посилань

3. Барбей Г.-П.. Альтернативные газообразователи для изготовления полистирольных пленок и плит методом прямой газации / Г.-П. Барбей // Современные технологии переработки пластмасс. Дополнение к журналу «Пластмассы»: – М.: 1990. – С. 2 – 8.
4. Клемпнер Д. Полимерные пены и технологии вспенивания / Клемпнер Д. // Пер. с англ. под ред. А.М. Чеботаря. – СПб.: Профессия. – 2009. – 600 с.
3. Практическое руководство по физикохимии волокнообразующих полимеров: Учебное пособие для вузов / Б.Э. Геллер, А.А. Геллер, В.Г. Чиртулов // М.: Химия. – 1996. – 432 с.

УДК 621.577

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ ШАРУ  
СОРБЕНТУ АДСОРБЦІЙНОГО ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА**

к.т.н., доц.. Корінчук Д. М., к.т.н., доц.. Воронін Л. Г.,  
студентка Степанюк Ю. М., студентка Захлебняк М. В.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Теплопостачання в Україні здійснюється здебільшого за рахунок спалювання органічного палива, ціни на яке невпинно зростають. Крім того, продукти його згоряння дуже забруднюють атмосферу.

Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є виробництво і акумулювання теплової енергії за допомогою адсорбційних термотрансформаторів, які дозволяють накопичувати теплову енергію в нічний час, коли діє пільговий тариф на електроенергію, і здійснювати опалення приміщення протягом доби [1]. З 23<sup>00</sup> до 6<sup>00</sup> відбувається нагрівання та регенерація сорбенту з одночасною конденсацією пари холодоагенту при температурі 40-45 °С. Теплота конденсації використовується з метою опалення.

Актуальним є визначення залежності часу регенерації сорбенту з метою моделювання апаратів різної продуктивності.

Ставляться такі задачі:

- 6) сформулювати фізичну модель процесу регенерації;
- 7) обґрунтувати припущення;
- 8) на основі фізичної моделі створити математичну модель;
- 9) сформулювати умови однозначності і граничні умови;
- 10) визначити шлях розв'язання математичної моделі.

Регенерація в адсорбційних установках нерухомого шару адсорбенту протікає при постійному тиску [2]. Підведення теплового потоку до нижньої частини шару сорбенту призводить до підвищення температури вище рівноважної. Відбувається процес десорбції з одночасним розповсюдженням фронту температури в шарі сорбенту.

Математична модель процесу десорбції включає:

- 4) рівняння теплопровідності шару сорбенту із врахуванням внутрішніх джерел енергії:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} - q_v, \quad (1)$$

де  $a$  - коефіцієнт температуропровідності,  $\left[ \frac{m^2}{c} \right]$ ;

$q_v$  - внутрішнє джерело енергії:

$$q_v = f(A, T) = \frac{\varepsilon}{c_p} \frac{dA}{d\tau},$$

де  $\varepsilon$  - диференційна теплота сорбції,  $\left[ \frac{kJ}{kg_{пару}} \right]$ .

Знак «-» біля величини  $q_v$  вказує на те, що у процесі десорбції має місце стік тепла.

- 5) рівняння масообміну в шарі сорбенту:

$$\frac{\partial A}{\partial \tau} = \beta \cdot (A^* - A) = k(T - T^*), \quad (2)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт масопередачі,  $\left[ \frac{kg}{m^2 \cdot сек} \right]$ ;

$k$  - коефіцієнт, який характеризує зв'язок між різницею  $(T - T^*)$  та інтенсивністю десорбції; він визначається експериментальним шляхом;

$T^*$  - рівноважна температура, К.

$\frac{\partial A}{\partial \tau}$  - характеризує інтенсивність десорбції, у випадку ізобарної десорбції визначається різницею температур сорбенту та рівноважною температурою при даному тиску.

б) рівняння рівноважного стану:

$$A^* = f(T, P) \quad (3)$$

Величина рівноважної десорбції визначається за ізостерами сорбції [3].

Початкові умови:

$\tau = 0$  - початковий момент часу, с;

$P = const$  - тиск у системі підтримується сталим, Па;

$T = T_n$  - початкова температура сорбенту, К;

$W = X_{\max}$  - у початковий момент часу вологість сорбенту максимальна,  $\left[ \frac{\text{кг}_{\text{води}}}{\text{кг}_{\text{сорбенту}}} \right]$ .

Граничні умови:

$$\text{При } Z = 0 \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial Z} = \alpha(T - T^*),$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$ ;

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі,  $\left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$ .

$$\text{При } Z = h \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial Z} = 0$$

де  $h$  - висота шару сорбенту, м.

Для спрощення розв'язання математичної моделі використовується плоска фізична модель: розглядається зміна температури лише по висоті шару сорбенту. Теплопровідність шару визначається теплопровідністю матеріалу сорбенту. Тому перспективним є використання композиційного сорбенту на основі кераміки із включеннями металу. В такому випадку теплопровідність сорбенту буде визначатися теплопровідністю металу.

Оскільки  $P = const$ , то рівновага системи зміщується за рахунок підведення теплоти.

### Перелік посилань

1. Корінчевська Т.В., Снежкін Ю. Ф., Чаласв Д.М., Шаврин В.С., Дабіжа Н.О., Перспективні матеріали для акумуляторів теплової енергії // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31. – № 7. – С. 139-141.

2. В. П. Харитонов Адсорбция в кондиционировании на холодильниках для плодов и овощей — М. : «Пищевая промышленность», 1978. — 192 с.

3. Корінчук Д. М., Осадча Л. С., Степанюк Ю. М., Захлебняк М. В. Вибір сорбенту для адсорбційних термотрансформаторів // Збірник тез доповідей VIII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів». – К.: НТУУ «КПІ» ІХФ, Ч1., 20-22 квітня 2011 – с.67

УДК 532.137: 666.97

**ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ШАРУ  
ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНОГО РОЗЧИНУ ПРИ ВІБРОЕКСТРУЗІЇ  
ФІБРОБЕТОННИХ ВИРОБІВ**

**к.т.н., доц . І.А.Андрєєв, магістрант С.С.Валуйскова**

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

Дисперсне армування бетону є сучасним напрямком покращення практично всіх його основних фізико-механічних характеристик за рахунок залучання фібр у спільну роботу з бетоном при виникненні напружень. Фібробетон відрізняється від традиційного бетону більш високими показниками при випробовуваннях на розтяг, зріз, вигин, ударну і втомлену міцність, тріщиностійкість, вогнеміцність. За показниками роботи руйнування фібробетон у 20 разів може перевищувати звичайний бетон. Все це забезпечує його високу техніко-економічну ефективність.

На усі перераховані фізико-механічні властивості готового формованого виробу впливає насамперед процес змішування. Фібру допустимо перемішувати з сумішшю у будь-яких типах змішувачів. Додавання фібр проводять декількома методами:

- 1) Перемішування з сухими компонентами суміші: щебінь, пісок, цемент, фібра. Потім проводять додавання води.
- 2) Введення фібри здійснюється після перемішування усіх сухих компонентів суміші з додаванням води.
- 3) Введення фібри під час або після заповнення змішувача бетонною сумішшю.

Усі ці методи не дають достатнього ступеня розподілення фібри у суміші. Тому доцільно використовувати метод віроекструзійного змішування, важливою перевагою якого є можливість використання меншої кількості води у композиції, оскільки відомо, що зайва вода, яка не входить у реакцію з цементом, збільшує пористість виробу і погіршує його міцність і щільність. Порівнянно зі звичайним змішуванням, віброперемішування покращує фізико-механічні показники виробів, дозволяє вводити в суміш більше фіброволокна без утворення грудок, прискорює процес утворення структури і сприяє зростанню міцності, шліхом збільшення центрів кристалізації, також зменшується тривалість термовологої обробки виробів.

Гарне змішування буде досягатися за умови макрооднорідності суміші, що у віроекструзійній технології забезпечується розподілом і змочуванням фібр у тонкому шарі розчину безпосередньо перед змішуванням.



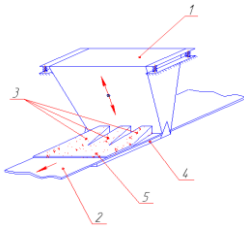
Традиційним пристроєм для отримання тонкого шару розчину у віброекструзійній технології є дозатор-живильник для безперервної подачі на транспортерну стрічку декількох суцільних джгутів розчину вкупі з вібростолом. При проходженні стрічки по поверхні вібростолу прямокутні у поперечному перерізі джгути розтікаються по всій ширині транспортерної стрічки, утворюючи рівномірний шар розчину.

За останні п'ять років визначились основні наступні шляхи удосконалення обладнання для отримання тонкого шару розчину:

1) Для зменшення металоємності і потужності пристрою у нижній частині дозатора-живильника замість вібростолу кріпиться плита, по поверхні якої рухається стрічка транспортера (рис. 1).

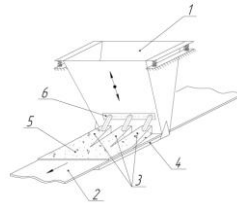
2) Для покращення якості шару розчину вирізи (в яких формуються джгути) на нижній крайці передньої стінки дозатора-живильника виконують такими, що звужуються догори.

3) Для інтенсифікації процесу розтікання розчину по всій ширині стрічки над вирізами в передній стінці дозатора-живильника закріплюють розріджувач джгутів (рис. 2).



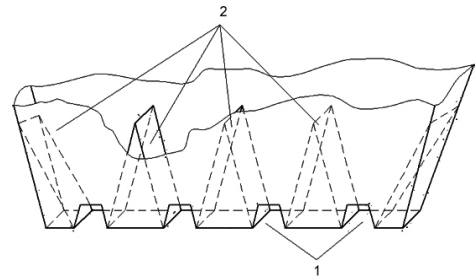
1 – дозатор-живильник, 2 – транспортерна стрічка, 3 – джгути розчину, 4 – плита, 5 – шар розчину

Рис.1 – пристрій для отримання цементно – піщаної суміші



1 – дозатор-живильник, 2 – транспортерна стрічка, 3 – джгути розчину, 4 – плита, 5 – шар розчину, 6 – розріджувач

Рис.2 – пристрій для отримання цементно – піщаної суміші



1 – вирізи, що звужуються догори, 2 – жорстко закріплені направляючі вставки

Рис.3 – Нижня частина дозатора-живильника

4) Для забезпечення отримання джгутів розчину зі стабільними формою і якістю формування цих джгутів здійснюється в окремих збіжних каналах дозатора-живильника (рис.3).

5) Для зменшення металоємності пристрою і покращення властивості розчину по всьому його об'ємі направляючі канали дозатора-живильника виконують у вигляді зрізаних конусів.

Проведений аналіз останніх конструкцій дозаторів-живильників розчину необхідний для подальшого удосконалення процесу отримання шару цементно-піщаного розчину при віброекструзії фібробетонних виробів.

УДК 066.045

**ОБПАЛЮВАЛЬНА ПІЧ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВАПНА**  
магістрант А.С.Богатир, к.т.н., доц.. Л.Н.Троценко

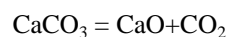
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

Використання природного газу в Україні у 2010 році по даним Мінпромполітики складає 57722 млн. куб. м., хімічна промисловість використовує 6301,3 млн. куб. м., на досягнення кінцевого продукту, що складає близько 11 % від загального використання газу в Україні.

Виробництво вапна здійснюється на вапняно-випалювальних ділянках металургійних та хімічних підприємств, у будівельній промисловості та ін. із застосуванням різних агрегатів. Деякі печі (наприклад, шахтні) працюють із використанням твердого палива. Обпалювальні печі бувають шахтними, обертовими, камерними, тунельними та ін. Обпалювальна піч призначена для випалу різних матеріалів (вапно, вогнетривка глина, руда також вогнетривка цегла, фарба на посуді і т. ін.).

Розглянемо обертову трубчасту піч для випалу вапняку ( $\text{CaCO}_3$ ) з метою отримання вапна ( $\text{CaO}$ ).

Процес випалу складається із двох стадій: нагрівання вапняку до температури  $900^\circ\text{C}$  та витримування при температурі  $1250-1300^\circ\text{C}$  для розкладу вапняку за формулою:



Піч працює наступним чином [1]. Вапняк подається до печі із бункера, що розташований в верхній частині печі, далі транспортується через піч за рахунок обертання барабану, який нахилений до горизонту на 2-5 градуси, при цьому нагрівається до  $900-1000^\circ\text{C}$ . Отримання готового вапна відбувається на протилежному кінці барабану.

За енергетичною ознакою трубчасті обертові печі відносяться до печей-теплообмінників зі змінним по довжині режимом теплової роботи. На ділянці, де відбувається горіння палива і температура продуктів згоряння досягає  $1250-1300^\circ\text{C}$ , здійснюється теплообмін за рахунок радіаційного режиму. У міру просування продуктів згоряння палива по довжині печі вони охолоджуються до декількох сотень градусів ( $700-900^\circ\text{C}$ ).

Печі для випалу вапняку споживають багато енергії. Витрати палива досягають 250 кг.у.т./т готового вапна.

Найбільші втрати тепла втрачаються через футерівку апарату, що становлять 20-50 % від загальної теплової потужності печі.

Існує декілька способів зниження теплових втрат. Традиційними є збільшення товщини кладки, використання теплоізоляції між кожухом і футеровкою. Проте стійкість внутрішнього футерування в круглому барабані, який постійно обертається, невелика, тому такий спосіб зниження теплових втрат малоефективний. На сьогоднішній день існують розробки та технічні розрахунки застосування спеціальних покриттів та екранів [2], завдяки чому відбувається зменшення тепловіддачі випромінюванням і конвекцією від зовнішньої поверхні печей.

Серед теплових агрегатів обертова піч відрізняється високими температурами корпусу та рівнем втрат в навколишнє середовище. Аналіз відомих способів зменшення цих втрат дозволяє очікувати значний ефект від використання екранів і покриттів за рахунок зниження втрат теплоти в навколишнє середовище.

Зниження втрат теплоти в навколишнє середовище може забезпечити: зниження потужності холостого ходу печі, і як наслідок, зниження витрати палива [3]; покращення умов праці обслуговуючого персоналу, тобто вирішує задачу охорони праці та збільшення терміну робочої кампанії печі.

### **Перелік посилань**

1. Свинолобов Н.П., Бровкин В.Л. Печи черной металлургии: учебное пособие для вузов. – Днепропетровск: Пороги. – 2002. – 154 с.
2. Огнеупоры и их применение / Под ред. Я. Инамуры, пер. с японского А.А. Тихонова, под. ред. к.т.н. А.Г. Юдина. – М.: Металлургия, 1984. – 448 с.
3. Тепловая работа нагревательных печей в условиях резкого снижения их производительности / Колодяжный В.С., Губинский М.В. // Сборник докладов научно-технической конференции “Металлургическая теплотехника как основа энерго- и ресурсосбережения в металлургии”. – Екатеринбург. – 2010. – С. 203-206.

**СЕКЦІЯ 2**

**«КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ  
БІОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

УДК 628.5:66.002.8

**ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МІКРОШАРУ ПРИ  
КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВОДОРОЗЧИННИХ ГУМІНОВИХ  
КОМПОНЕНТІВ ТОРФУ**

**студент КУЧЕРЕНКО І. В., студент КАРПЕНКО О. П., к.т.н., доц.  
Степанюк А. Р.**

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

Розвиток суспільства неможливий без інтенсивного розвитку сільського господарства. Внесення добрив, які містять лише водорозчинні солі з необхідними хімічними елементами (азоту, калію, кальцію, сірки) призводить до значного вимивання цих добрив з ґрунтів за рахунок того, що солі зразу переходять в розчини. При цьому значна кількість розчинів попадає в навколишні водойми, що призводить до погіршення екологічного стану довкілля а рослини залишаються без необхідного живлення. Покращити умови внесення добрив та ефективність використання корисних хімічних елементів дозволяє одночасне використання разом з хімічними добривами гумінових компонентів з торфу. Такі компоненти доцільно виробляти з залишків торфу шляхом їх подрібнення та переведення нерозчинних гумінових солей в розчинні при додаванні лугів калію або натрію. В результаті багаторазового нанесення на центри грануляції багатокomпонентної суміші мінеральних та гумінових аморфних та водорозчинних речовин ми отримуємо добрива нового покоління з пролонгованою дією.

Проте, під час створення таких добрив постає проблема забезпечення рівномірності розподілу гуміномістких компонентів по всьому об'ємі частинки, що утворюється.

Задачею досліджень є визначення кількісного співвідношення гуміномістких компонентів у лужному розчині для забезпеченням рівномірності розподілу компонентів і визначення впливу концентрації на структуру мікросшару при ізотермічній кристалізації лужного розчину гуміномістких компонентів з торфу.

Вплив концентрації визначили на основі прикладу зневоднення водних насичених розчинів із масовою часткою лугу КОН 5%, 3,75%, 2,5%, 1,25% до яких послідовно додавали 5%, 2,5%, 1% гумінових речовин у вигляді торфу. На предметне скло, наносився шар дослідного розчину завтовшки 1,0...1,5 мм з відповідними концентраціями. Потім предметне скло розміщувалось у експериментальній установці і знаходилось там до повного видалення волого розчинника при температурі 95 °С. При цьому проводились заміри температури, часу сушки.

Було розраховано характеристичний параметр – коефіцієнт заповнення, який описує питому заповненість розчину твердими частинами:

$$K = \frac{F_1 - F_2}{F_1},$$

де  $F_1$  – загальна площа досліджуваного зразка;  $F_2$  - частина площі зразка, заповнена твердими частинками.

По даним концентрацій торфу і луку в розчині і коефіцієнта заповнення зведено трьохвимірний графік залежності (Рисунок 1)

$$K = f(R, L),$$

де  $K$  – коефіцієнт заповнення;  $R$  - концентрація торфу в розчині, %;  $L$  - концентрація луку в розчині, %.

Оцінивши та узагальнивши дані після їх апроксимації отримали функцію, що описує поверхню залежності, а саме:

$$K = 0,1272021 \cdot R + 1,162486 \cdot 10^{-2} \cdot L - 1,680008 \cdot 10^{-2} \cdot R \cdot L - \\ - 1,440029 \cdot 10^{-2} \cdot R^2 + 6,916731 \cdot 10^{-3} \cdot L^2 + 0,4252055$$

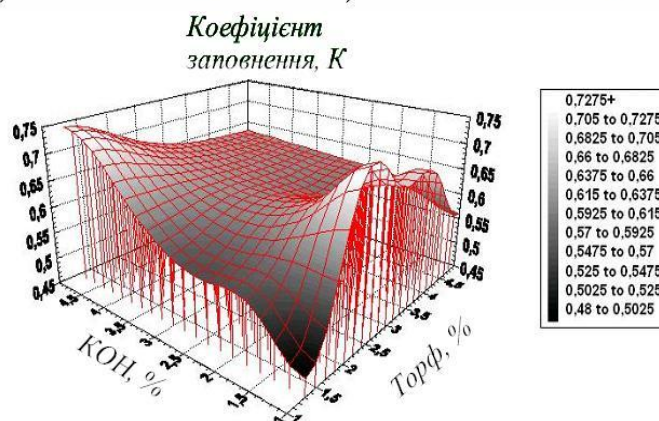


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта заповнення від концентрації  
KOH і торфу

За результатами досліджень було отримано математичну залежність між концентраціями водного розчину луку калію і торфу та розмірами флокул при сушінні цих розчинів. Було встановлено, що зі зменшенням концентрації луку KOH від 3,5 % до 1 % та зменшенням концентрації торфу від 2 % до 1% за стабільної температури 95 °C відбувається різкий спад коефіцієнта заповнення.

#### Перелік посилань

1. Корнієнко Я. М. Засади техногенної безпеки в агропромисловому комплексі України / Я. М. Корнієнко, Я. М. Заграй, А. І. Буджерак // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2001. - № 3. – С.129-135.
2. Плановский А.Н., Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности. – М.: Химия, 1979. – 288с.

**УДК 66.047-912**

**ПРОЦЕС СУШКИ ПОДРІБНЕНОЇ МОРКВИ В КОНВЕКТИВНІЙ  
СУШАРЦІ**

**д.т.н., проф., Снежкін Ю.Ф  
магістрант Сімороз Д.О., к.т.н., доц. Степанюк А.Р**

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”**

Сушіння являється найкращим консервантом для зберігання продуктів харчування, також воно дозволяє здешевити їх транспортування, надати їм необхідні властивості [1].

Для сушіння овочів та фруктів найкраще застосовувати конвективну сушку, так як вона дозволяє отримати очікувані фізичні та хімічні показники, при правильному, оптимальному виборі режиму сушіння[2].

Метою даного проекту є експериментально дослідити кінетику процесу сушіння моркви та квасолі, побудувати криві сушіння та зробити висновок щодо оптимального режиму сушіння. Також є припущення, що при сушінні моркви та квасолі разом відбуватиметься значна інтенсифікація процесу, так як в даному випадку квасоля виступатиме адсорбентом, оскільки вона є більш сухою, тому буде відбирати частину вологи на себе. Такий спосіб дозволить зменшити кількість підведеної енергії, що зробить процес сушки більш м'яким та покращить фізико-хімічні властивості продукту після його відновлення його вологою (колір, смак та т.ін.).

Для дослідження процесу сушки суміші моркви та квасолі була створена експериментальна установка.

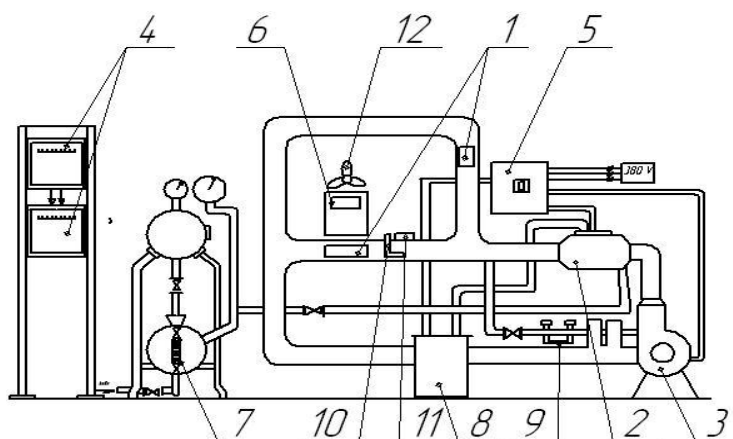
Схема установки подана на рисунку 1, криві сушіння зображено на рисунку 2.

Експериментальний стенд (рисунок 1) складається з системи ізольованих повітряних каналів з пристроями для теплової обробки матеріалів (1) вимірювальних ділянок, вимірювальних пристроїв для заміру величин, які характеризують кінетику сушіння досліджуваного матеріалу. Камера для сушіння представляє собою прямокутний короб, виконаний з листової сталі. Камера має бокові люки з прозорими стінками, а також штуцери для виходу термоелектричних перетворювачів від матеріалу до потенціометру(4) та трубки Піто(10).

Проведені досліди показали, що в елементарному шарі товщиною в 6 мм при високо інтенсивних режимах процес сушіння протікає в 2 періоді. Перший період спостерігається при більш м'яких режимах сушіння при підвищеному вологовмісту теплоносія. При цьому температура поверхневого шару матеріалу постійна і рівна температурі вологого термометру. Так як, в початковий момент сушіння, коли холодний зразок вноситься в сушильну камеру, на його поверхні конденсується пара, маса

його дещо збільшується, а температура матеріалу різко зростає до температури вологого термометру. Прологарифмувавши значення та усереднивши їх, отримали рівняння усередненої кривої сушки:

$\text{Ln}(c) = 0,3265(\text{Ln}(\tau))^3 - 3,8028(\text{Ln}(\tau))^2 + 12,878\text{Ln}(\tau) - 7,2785$ , у межах температури від 80 до 120 °С, швидкості 1 м/с, вологовмісті теплоносія 10 г/м та типорозмірі зразків 6 мм.



- 1 - робочі камери; 2 – ділянка підігріву теплоносія; 3 – вентилятор;  
4 – потенціометр; 5 – щит управління; 6 – ваги; 7 – паровий котел;  
8 – автотрансформатор; 9 – психометр; 10 – трубка Піто; 11 – мікроманометр;  
12 – побутовий вентилятор.

Рисунок 1. – Схема установки

Результати досліджень залежність зміни температури поверхні від часу сушіння, при різних режимах сушіння (різна температура теплоносія та вологість сушильного агенту, так як швидкість та розмір зразків однаковий), після логарифмування описується рівнянням  $\text{Ln}(t) = 0,2813\text{Ln}(\tau) + 3,3019$ , у межах температури від 80 до 120 °С, швидкості 1 м/с, вологовмісті теплоносія 10 г/м та типорозмірі зразків 6 мм.

Висновки. У результаті досліджень ми отримуємо математичні залежності  $\text{Ln}(c)$  від  $\text{Ln}(\tau)$  та  $\text{Ln}(t)$  від  $\text{Ln}(\tau)$ , що дозволяє значно спростити методику розрахунку апарату для виготовлення харчових порошків.

### Перелік посилань

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1974. – 784с.
2. Лыков А.В. Теория сушки. М., «Энергия», 1968. – 472с. с ил.



УДК 532.137: 666.97

## ПРОЦЕС ЛАМІНАРНОГО КОНВЕКТИВНОГО ЗМІШУВАННЯ ПРИ ВІБРОЕКСТРУЗІЇ ФІБРОБЕТОНУ

к.т.н., доц.. І.А.Андрєєв, магістрант Г.Ю.Ан

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

У процесі віброекструзії має місце ламінарне конвективне змішування, кількісним критерієм якого є сумарна деформація зсуву. Такий тип змішування застосовується переважно при переробці високов'язких середовищ. Вадодо ламінарного конвективного змішування є нерівномірність зсувних деформацій у всьому об'ємі матеріалу. При цьому змішувальний ефект у центральних частинах будь-якого каналу залишається низьким через те, що деформації зсуву в цих місцях наближаються до нуля. Для усунення цього недоліку компоненти суміші пропускають через декілька змішувальних каналів, доки не буде досягнуто потрібної якості суміші.

Задачею роботи є з'ясування відмінностей процесу змішування у каналах різної форми і оцінка впливу розмірів каналів на якість процесу.

Кількісний опис відмінностей у деформуванні суміші при віброекструзії для визначеного каналу можна здійснити за допомогою функції розподілу деформацій. Для каналу віброекструдера, який розглядається в якості змішувача безперервної дії, функція розподілу деформацій (ФРД)  $f(\gamma)d\gamma$  визначається як частка об'ємної витрати на виході з віброекструдера з сумарною деформацією

зсуву в інтервалі між  $\gamma$  і  $\gamma + d\gamma$ . Інтегральна ФРД  $F(\gamma) = \int_0^{\gamma} f(\gamma)d\gamma$  є частиною

об'ємної витрати на виході з каналу, яка характеризується деформацією, меншою або рівною  $\gamma$ .

Розміри каналів підбиралися таким чином, щоб їх продуктивності були однаковими при висоті суміші у каналах  $L_2 - L_1 = 0,5$  м і куті нахилу збіжних стінок  $30^\circ$ . За базовий прийнятий плоский збіжний симетричний канал з шириною вихідної щілини 50 мм. Круглий кільцевий канал має менший радіус  $R_m = 0,15$  м і більший радіус каналу  $R_6 = 0,18$  м.

Залежність функції розподілу деформацій  $F(\gamma)$  від  $\frac{\gamma}{\bar{\gamma}}$  подані на рис.1,2, а залежність функції розподілу часу перебування суміші  $F(t)$  від  $t/\bar{t}$  – на рис.3,4.

Таблиця містить результати проведених досліджень.

В результаті було визначено, що кільцеві канали, порівняно зі збіжними, забезпечують відчутне зменшення нерівномірності розподілу деформацій зсуву по перерізу каналу. При цьому збільшується і частина об'ємної витрати, що характеризується меншим за середній часом перебування суміші у каналі бункера віброекструдера.

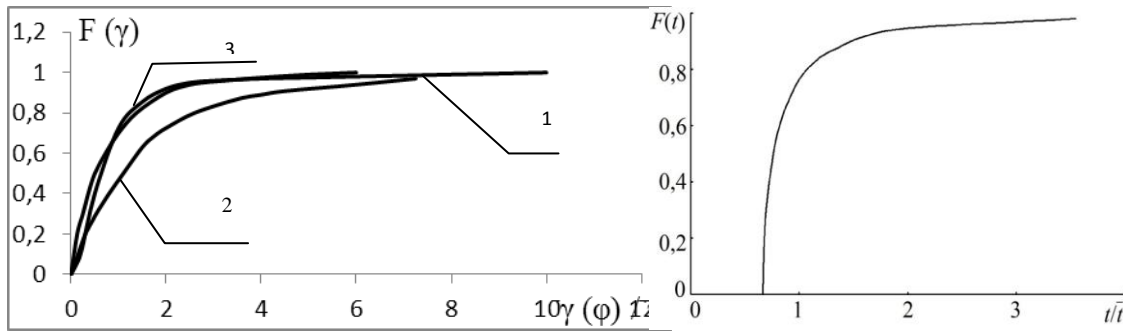


Рис.1. Залежність функції розподілу

деформацій  $F(\gamma)$  від  $\bar{\gamma}(\varphi)/\bar{\gamma}$  для:

- 1 – конічний, 2- несиметричний збіжний,  
3 – плоскощільвий канали

Рис.2. Залежність функції розподілу  
деформацій  $F(\gamma)$  від  $\bar{\gamma}(\varphi)/\bar{\gamma}$  для

- круглого кільцевого каналу

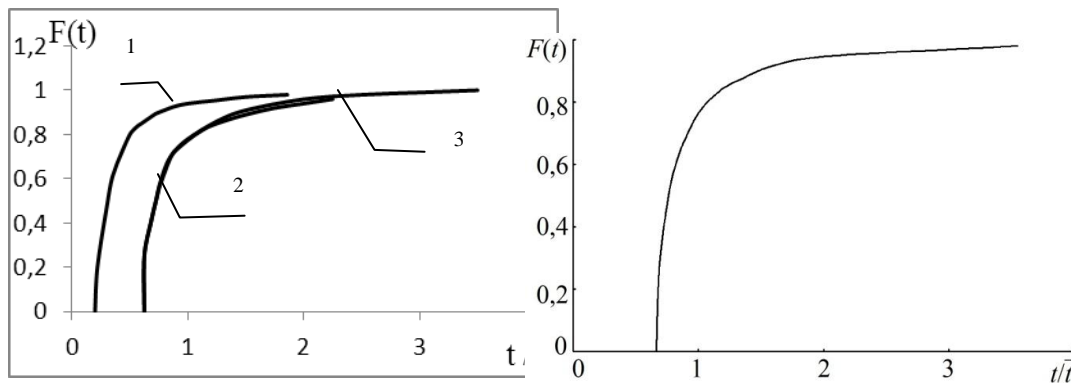


Рис.3. Залежність функції розподілу

Залежність функції розподілу  
часу перебування суміші  $F(t)$  від  $t/\bar{t}$  для

- 1 – конічний, 2- несиметричний збіжний,  
3 – плоскощільвий канали

Рис.4.

часу перебування суміші  $F(t)$  від  $t/\bar{t}$

- круглого кільцевого каналу

*Таблиця.* Характеристики процесу змішування у каналах різної форми

Характеристика процесу змішування	Тип каналу			
	плоский збіжний симетричний	плоский збіжний несиметричний	конічний	кільцевий
Частка об'ємної витрати, яка піддається деформації вище середнього рівня	0,274	0,483	0,7	0,95
Частка об'ємної витрати суміші, час перебування якої менше середнього рівня	0,77	0,78	0,95	0,8

УДК 66.067.1:001.4

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ НАДЦЕНТРИФУГИ**

студент Семененко Д.С., магістрант Левчук І.О.,

доц., к.т.н. Зубрій О.Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

В різних галузях промисловості для розділення неоднорідних систем застосовується метод центрифугування. Він базується на дії відцентрового силового поля на неоднорідну систему, що складається з двох чи більше фаз – суспензію (рідина – тверда речовина), емульсію (рідина – рідина), аерозолі (газ – тверда речовина або газ – рідина). Машини, в яких здійснюється розділення неоднорідних систем в полі відцентрових сил, називаються центрифугами. За фактором розділення центрифуги поділяють на нормальні –  $\Phi_r < 3500$  і надцентрифуги –  $\Phi_r > 3500$  [1]. Детальніше розглянемо другий тип центрифуг [1].

Надцентрифуга – апарат для розділення частинок розміром менше 100 нм (колоїдних систем, субклітинних частинок, макромолекул білків, нуклеїнових кислот, синтетичних полімерів) завислих або розчинених в рідині; це досягається обертанням ротора, що створює відцентрове поле з прискорення, яке набагато перевищує прискорення сили тяжіння.

Одним з типів ультрацентрифуг є трубчаті центрифуги.

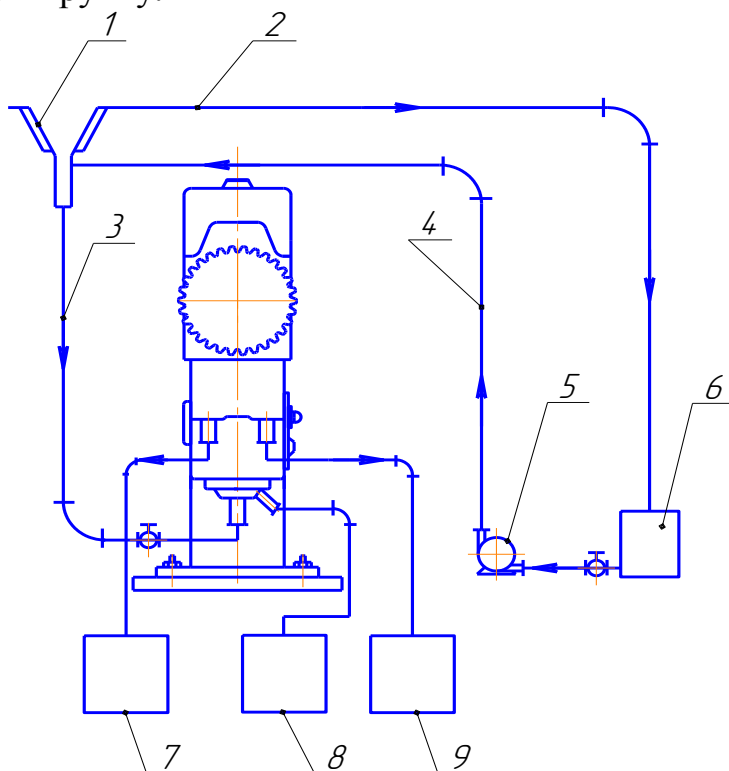
Трубчаті центрифуги являються високошвидкісними машинами, які призначені для освітлення суспензій, які містять не більше 1% тонкодисперсної твердої фази (лаки, емалі, вакцини, масла) і для розділення стійких емульсій (відділення води від трансформаторного масла або від різних жирів) з відношення питомої ваги компонентів більше 1,06. В першому випадку застосовуються центрифуги з освітлюючим ротором (ОТР), в іншому – з сепаруючим (РТР). При розділенні емульсій центрифуги працюють безперервно, при розділенні суспензій – періодично, так як необхідно час від часу вручну вивантажувати осад що накопичився в роторі.

Загальною конструктивною ознакою трубчатих центрифуг є наявність трубчатого ротора, підвішеного на валу (веретені) на гнучкій опорі з вертикальною віссю обертання і плаваючою нижньою опорою ковзання [2].

Метою даної роботи є визначення продуктивності центрифуги, ступеня розділення емульсій та тонких суспензій. Для дослідження запропонована установка показана на рисунку 1.

З дозатора 1 вихідна речовина надходить до вхідного патрубку центрифуги через трубопровід 3, якщо в дозаторі утворюється надлишок емульсії, тоді трубопроводом 2 вона відводиться в ємність вихідного

продукту 6, далі насосом перекачується по трубопроводу 4 назад в дозатор. В центрифугі відбувається процес розділення, важкий компонент емульсії потрапляє в ємність 7, а легкий – в ємність 9. Якщо ж розділяється суспензія – важка фаза лишається на стінках ротора центрифуги і вивантажується в ручну.



1 – дозатор; 2 – трубопровід відводу залишку суспензії; 3 – трубопровід подачі суспензії в центрифугу із дозатора; 4 – трубопровід подачі суспензії в дозатор; 5 – насос; 6 – ємність вихідного продукту; 7 – збірник важкого компоненту емульсії; 8 – збірник витоків і продукту, що зливається із ротора при зупинках машини; 9 – збірник легкого компоненту емульсії або рідкої фази суспензії

Рисунок 1 – Принципова схема роботи трубчатої центрифуги

Переміщення дозатора 1 вгору дозволить збільшити напір вихідної речовини в трубопроводі 3, що призведе до підвищення продуктивності трубчатої центрифуги. Тобто за допомогою зміни положення дозатора можна регулювати продуктивність всієї установки.

#### **Перелік посилань:**

1. Шкоропад Д. Е., Новиков О. П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. — М.: Химия, 1987. — 256 с.
2. Лукьяненко В. М., Таранец А. В. Промышленные центрифуги — М.: Химия, 1974. — 376 с.

УДК 628.5:66.002.8

## ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТУ ЦИЛІНДРИЧНОГО ТИПУ

магістрант Тимошенко В.С., доц., к.т.н. Семінський О.О.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

В останні десятиліття роторно-пульсаційні апарати циліндричного типу набувають все більшого поширення у хімічній, харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості. За цей час вони зарекомендували себе як високотехнологічне і високоефективне обладнання, в якому реалізується багатофакторний вплив на середовище, що оброблюється, що дозволяє використовувати їх при конструктивному оформленні ресурсоенергоощадних технологій виробництва.

Основний вплив на технічні показники роботи роторно-пульсаційного апарату циліндричного типу, його надійність та енергоефективність оказують особливості конструкції його робочих органів (гарнітури).

Найчастіше гарнітура складається зі статора і ротора, виконаних у вигляді почергово встановлених коаксіальних циліндрів з прорізами. Існує також варіант виконання робочого органу у вигляді обертаючогося циліндру з прорізами з обох боків, навпроти нього співвісно встановлюються статори [1].

Оскільки конструкція гарнітури найбільше впливає на процеси, що протікають в роторно-пульсаційному апараті, більшість розробок і вдосконалень пов'язані саме з нею.

Виділяють три напрямки вдосконалення конструкції гарнітури роторно-пульсаційних апаратів:

1. Зміна конструкції суцільних елементів.
2. Зміна конструкції прорізів.
3. Встановлення додаткових елементів.

Зміна геометрії суцільних елементів призводить до зміни енергетичного балансу між впливами на оброблюване середовище. Найчастіше використовуються такі конструкції суцільних елементів: у вигляді сектору диску, пірамідальної форми, аеродинамічного профілю. Так, суцільні елементи у вигляді сектору кільця збільшують зсувні напруження, що дозволяє краще подрібнювати частинки в неоднорідних середовищах, а суцільні елементи, виконані у вигляді аеродинамічного

крила, дозволяють збільшити вихроутворення, що пришвидшує процеси перемішування і гомогенізації. Зниження виділення тепла за рахунок зменшення зсувних напружень надає можливість оброблювати термолабільні речовини [2].

Змінюючи геометрію каналу можливо знизити гідравлічний опір системи, що дозволить підвищити ефективність використання енергії потоку рідини або збільшити ефективність обробки речовини за рахунок збільшення цільового впливу на систему. Найчастіше використання такі конструкції прорізей: виконане у вигляді частини сектора кільця, спіралі, яка співпадає з напрямком руху потоку і з додатковими елементами, наприклад акустичними випромінювачами в каналі статора у вигляді сопла з циліндричними резонаторами [3].

Введення додаткових елементів в конструкцію роторно-пульсаційного апарату може надавати різних особливостей його роботі. Встановлюють гідравлічні резонатори або автоколивальні пластини для додаткового коливального оброблення потоку, збільшення або зменшення локального гідравлічного опору. Також використовують спеціальні вставки для надання потоку бажаного напрямку, що дозволяє змінювати час проходження потоку через гарнітуру.

Нові технічні рішення і вдосконалення гарнітур дозволять не тільки розширити область застосування роторно-пульсаційних апаратів, а й допоможуть зменшити собівартість виробництва одиниці продукції.

#### **Перелік посилань:**

1. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика. М.: Машиностроение, 2001. 247 с.
2. Патент EP 2 243 879 A2/МПК6 D21D 1/30. Deflaker plate and methods relating thereto / . Antensteiner, Peter
3. Патент RU 2 124 935 C1, МПК6 B 01 F 5/06, 7/10. Роторно-пульсационный аппарат / . Филиппов И. А.

УДК 532.54

**ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ  
ПРОЦЕСІВ ЕКСТРАКЦІЇ**

**магістрант Герич О.С., к.т.н., доц. Ракицький В.Л.**

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

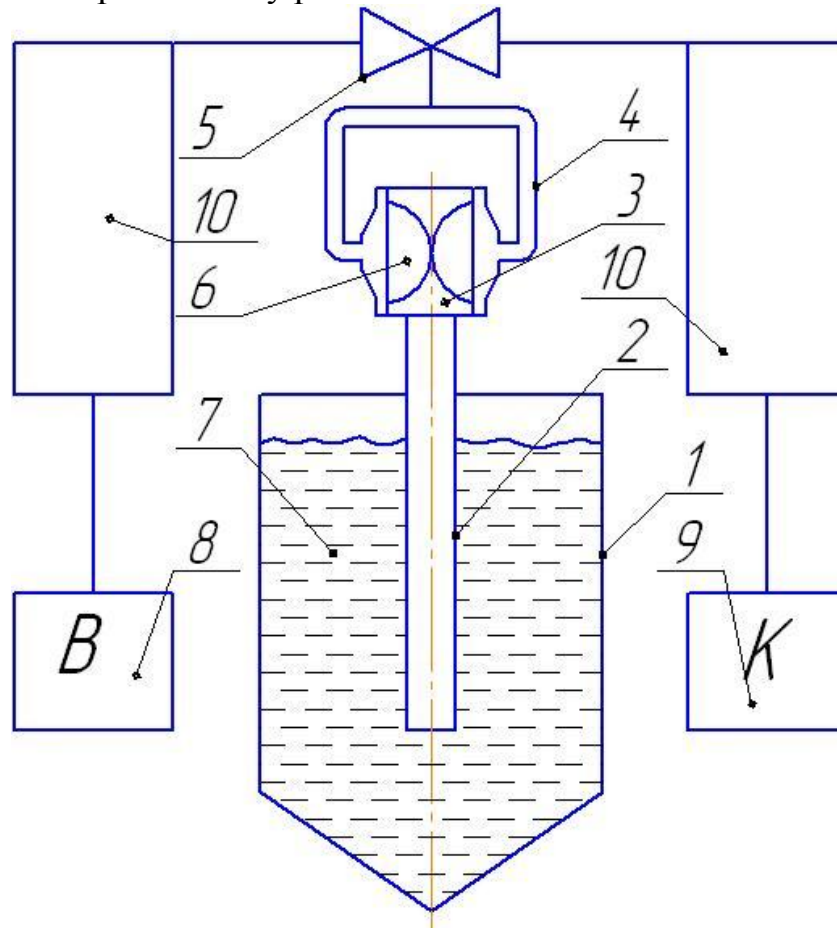
Рідинну екстракцію широко застосовують у хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості, щоб видобути цінні або шкідливі речовини, одержати концентровані розчини цих речовин, а також очистити промислові й побутові стічні води. Разом з дистиляцією вона є одним з основних методів розділення однорідних рідких сумішей. Оскільки при екстракції немає потреби випаровувати всю суміш, то рідинна екстракція є набагато доцільнішим процесом порівняно з дистиляцією, особливо при малих концентраціях розподілюваної речовини.

На відміну від інших механічних диференційно-контактних екстракторів [1] приведений апарат (рис. 1) значно простіший у виготовленні, експлуатації, та завдяки відсутності рухомих частин має довший термін роботи.

Принцип роботи апарата наступний: у реактор 1 завантажується оброблюване середовище (суміш екстракту та подібної рослинної сировини) вище рівня труби 2. На керуючому приладі встановлюється режим подачі команд для управління роботою клапана 5. Клапан по черзі відкриває доступ газового тракту до ресиверів низького і високого тиску 10. Рівень тиску в ресиверах задають вакуум-насос 8 та компресор 9 відповідно. При подачі тиску в камеру пульсатора 3, гнучкі мембрани 6 спрямовуються назустріч одна одній. Об'єм ємності 3 стає мінімальним. При цьому з труби 2 у реактор 1 з прискоренням виштовхується середовище. Коли клапан 5 з'єднує камеру 3 з ресивером вакууму, вони звільняються від повітря. Гнучкі мембрани 6 спрямовуються до бокових кінцевих поверхонь камери 3 до повного контакту з ними. Об'єм камери стає мінімальним. При цьому з реактора 1 рідке середовище з прискоренням всмоктується в трубу 2 і середню ємність камери пульсатора 3. Такий цикл багаторазово повторюється.

Незважаючи на різке зіткнення мембран, суцільність середовища не порушується. Далі під впливом розрідження мембрани починають відтягуватися до стінок камери. Напрямок руху рідини змінюється і вона примусово починає повертатися в камеру. Швидкість рідини зростає до величин, що є достатніми для виникнення гідродинамічної каверни на

місцевих опорах потоку. Процес відбувається практично миттєво, фронт кавітації рухається в напрямку, зворотному руху рідини [2]. Апарати цього класу звичайно використовуються як ефективні перемішуючі пристрої або в якості високопродуктивних масообмінних апаратів при проведенні екстракції, коли вирівнювання концентраційних полів у системі шляхом перемішування грає головну роль.



1 – ємність; 2 – труба пульсатора; 3 – камера пульсатора;  
4 – патрубки; 5 – трьохходовий електромагнітний клапан; 6 – гумові мембрани; 7 – робоче середовище; 8 – вакуум-насос; 9 – компресор;  
10 – ресивери

Рисунок 1 – Схема пульсаційного екстрактора

### Перелік посилань:

1. Мікульонок І.О. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та обладнання хімічної технології: Навч. посіб. – 2-ге вид., переобл. і допов. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2002. – 304 с.: іл.
2. Накорчевский А.И., Мартыненко М.П., Басок Б.И. К расчету пульсаторов камерного типа // Инженерно физический журнал. – 2004. – Т. 77, № 1. – С. 129–132.



УДК 536.423+532.528

## МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВІВ МЕХАНІЗМІВ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ ТА ВОДНО-СПИРТОВИХ СУМІШЕЙ

к.т.н. Дубовкіна І.О., к.т.н. Целень Б.Я.

Інститут технічної теплофізики НАН України

В межах наукового напрямку дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) розроблено обладнання, що реалізує його основні механізми: ефекти, пов'язані з прискоренням руху неперервної фази, дію напружень зсуву, кавітаційні механізми, механізм вибухового закипання, колективні ефекти в ансамблі бульбашок, збурювання міжфазної поверхні в газорідних середовищах [1].

Метою роботи є дослідження та моделювання впливів механізмів ДІВЕ на властивості води та водно-спиртових сумішей.

Вказані ефекти дозволяють досить суттєво впливати на характер протікання тепломасообмінних, гідродинамічних і хімічних процесів на мікро- і нанорівні [2]. При одержанні водно-спиртових сумішей з застосуванням методу ДІВЕ відбувається поліпшення їх органолептичних показників. Водно-спиртова суміш в процесі обробки піддається впливу високочастотних гідродинамічних коливань, кутових швидкостей і значних напружень зсуву, що дозволяє отримувати суміші з високим ступенем гідратації. Сутність процесу змішування полягає в передачі протона від спирту до води з утворенням іона гідроксонію  $H_3O^+$ . При змішуванні спирту з водою виділяється теплота, зумовлена утворенням водневих зв'язків змішаних асоціатів – водно-спиртових розчинів з утворенням кристалогідратів.

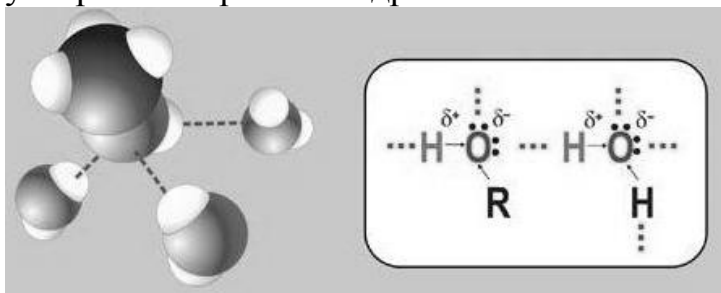
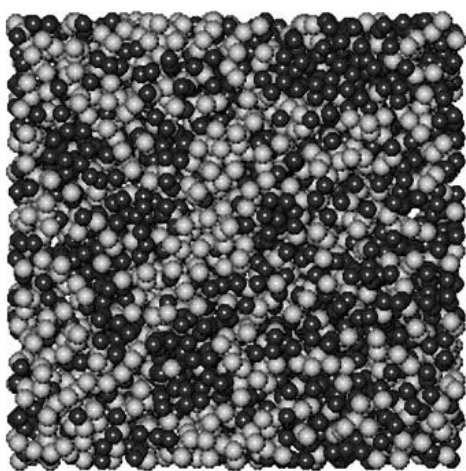


Рисунок 1 – Механізм утворення водневих зв'язків між молекулою спирту і молекулами води

Асоціація компонентів у водно-спиртових сумішах є предметом дискусії в науковій літературі на протязі більш, ніж 50 років. Однак результати, отримані різними методами, часто виявляються суперечливими, так як направлені на отримання інформації про структуру водно-спиртових сумішей непрямыми методами.

Досить розповсюдженим інструментальним методом дослідження структури води та водно-спиртових сумішей є спектроскопія, однак,

головна проблема, що при цьому виникає – інтерпретація спектрів системи. Для вирішення такої задачі можуть слугувати сучасні хемометричні підходи (наприклад метод незалежних компонент) і квантово-хімічні розрахунки. Окрім цього широкого розповсюдження набули методи квантової хімії, молекулярної механіки, молекулярної динаміки, комп'ютерної хімії та комп'ютерного моделювання. Рентгено- і нейтрографічний аналіз, а також ядерний магнітний резонанс (ЯМР) дають усереднену картину взаємного розташування молекул (атомів), що не дозволяє однозначно дати відповідь навіть про будову найближчого оточення. Методи комп'ютерного моделювання досягли значних результатів. Методи молекулярної динаміки і Монте-Карло використовуються для створення моделей води і простих рідин рис. 2. Для аналізу моделей застосовується метод Вороного-Делоне і теорії перколяції.



Локальна густина молекул води розраховувалась як зворотній об'єм багатогранників Вороного [3].

● - молекули з найменшими значеннями об'єма багатогранників Вороного (менше  $26,33 \text{ \AA}^3$ );

○ - молекули з найбільшими значеннями об'єма багатогранників Вороного (більше  $34,1 \text{ \AA}^3$ )

Рисунок 2 – Модель води з 3456 молекул при температурі 297 К.

Враховуючи вищенаведені методи дослідження структури водних і водно-спиртових систем слід зазначити, що при вивченні таких систем не можна обійтись без методів комп'ютерного моделювання, хоча і вони не дають можливості отримання вичерпної і повністю достовірної інформації.

### Перелік посилань:

1. Долинский А.А. Дискретно-импульсный ввод энергии / Долинский А.А., Басок Б.И., Накорчевский А.И., Шучкова Ю.А. – К.: ИТТФ НАНУ, 1996. – 196 с.

2. Долинский А.А. Тепломассобмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии / Долинский А.А., Иваницкий Г.К., проект «Наукова книга», издательство наукова думка», г. Киев. 2008.–381 с.

3. Ефимов Ю.Я. О влиянии геометрии водородного мостика на колебательные спектры воды: двухпараметрические потенциалы водородной связи // Журн. структ. химии, № 50(4), 2009, 736-745 с.

УДК 66.3

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ

Костик С.І., к.т.н. Процишін Б.М.,

Інститут технічної теплофізики НАН України

kostyksergey@ukr.net

Основний напрям на масштабне залучення біомаси, енергетичний потенціал якої по даним Держкомстату України складає 23 млн. тон на рік, в паливно-енергетичний баланс може бути оснований на використанні технології анаеробного метанового зброджування. Дана технологія дозволяє отримувати високоякісне газове пальне в результаті переробки фактично будь яких органічних відходів тваринництва та рослинництва. Процес метанового зброджування відбувається шляхом розщеплення біомаси мікроорганізмами (метаногенами) в анаеробних умовах. Основними складовими відновлювального потенціалу в країні є відходи тваринницьких ферм, сільського господарства, харчової промисловості та інші.

В результаті використання даної технології одночасно вирішуються значна кількість проблем:

- знезараження гнійних стоків;
- нейтралізація насіння бур'янів;
- можливість відділення води, яка калоїдно зв'язана у вихідному розчині;
- підвищується біологічна активність азотних сполук, що підвищує врожайність в разі використання перебродженого твердого осаду (шламу) в якості добрива;
- одержання нетрадиційного джерела енергії – біогазу, який складається приблизно з 50-70% метану ( $\text{CH}_4$ ) і 50-30% вуглекислого газу та сірководню ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ ). Калорійність біогазу становить від 6000 до 9500 ккал/м<sup>3</sup>.

Біогаз, який утворюється в процесі зброджування надалі можна використовувати, як:

- використання для заправки газових балонів та автомобілів, за умови що біогаз попередньо пройшов стадію очищення;
- спалювання біогазу в котельні;
- використання біогазу у когенераційних установках для комбінованого видобутку теплової та електричної енергії (із 1 м<sup>3</sup> біогазу в когенераційній теплоенергостанції можливо отримати 2,4 кВт год електроенергії + 2,8 кВт год теплової, при 60% метану в біогазі);

За даними, які наводить компанія ЗОРГ-Україна, біогазовий комплекс на посліді ВРХ продуктивністю 60 т/добу, вологістю 85% дає можливість одержати 3230 м<sup>3</sup> біогазу на добу, твердого перебродженого осаду з вологістю 70% - 17 т/добу, рідкої фракції, з вологістю 99% – 39 т/добу.

По даним досліджень академіка Халявко Н.П. потенціал одержання біогазу в Україні із відходів рослинництва та тваринництва складає приблизно 18 млрд. м<sup>3</sup> біогазу в рік.

Попри всі переваги дана технологія володіє певними недоліками, а саме період окупності даної біогазової станції достатньо значний, по даним компанії ЗОРГ-Україна він складає не менше 4,5 - 5 років. Необхідно зауважити, що для біогазових станцій з когенераційними теплоелектростанціями діє «зелений тариф», але навіть з ним неможливо досягнути окупності менш ніж за 4 роки. Це пов'язано з високою вартістю відповідного обладнання та його амортизаційних відрахувань. Тому виникає необхідність інтенсифікації процесу метанового зброжджування.

На даний час основними відомими методами інтенсифікації процесу є системи підігріву біореакторів, системи перемішування в об'ємі біореакторів, а також використання спеціальних речовин ферментів - ензимів.

Недоліком всіх цих методів інтенсифікації є не можливість контролювати процес в повній мірі, оскільки сам процес одержання біогазу відбувається за допомогою певних колоній мікроорганізмів, які утворюються за певний період часу, під час зброжджування, та в залежності від складу субстрату. Тому використання ензимів не дає можливість контролювано прискорити процес після стадії гідролізації, і по літературним даним їх ефективність становить 5-7%.

Отже необхідно створення нових інноваційних методів та підходів, які б давали можливість комплексно контролювати процес зброжджування (на відповідних стадіях), сприяли його інтенсифікації, здешевлювали технологічний процес і відповідно зменшували період окупності.

Такими інноваційними підходами у вирішенні вищезазначених проблем можуть бути:

- створення технології одержання концентратів метаноутворюючих мікроорганізмів в процесі зброжджування, а саме внесення відповідних груп мікроорганізмів, які більш ефективно розщеплюють субстрат відповідно під час стадії гідролізації та стадії безпосереднього анаеробного розщеплення, що дасть змогу прискорити процес і відповідно збільшити продуктивність по субстрату за певний період часу;
- створення технології одержання комплексного органо-мінерального сухого гранульованого добрива чи твердого гранульованого палива,

із шламу перебродженого розчину, реалізація якого буде приносити додатковий прибуток;

Таким чином комплексне використання методів інтенсифікації біогазового процесу, таких як: системи перемішування, системи підігріву, внесення ензимів та використання концентратів метаногенів, дозволить загалом контролювати процес, прогнозовано підвищити вихід біогазу, та зменшити період протікання процесу.

**Перелік посилань**

1. Бекер М.Е. Обезвоживание микробной биомассы. Рига, Зинатне, 1967. – 361 с.
2. Бурга Геммеке, Криста Ригер, Петер Вайланд. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии. Хофплатц Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR), 2010.-115 с.

УДК 66.047.3.085.1: 633.85

## СТИМУЛЯЦИЯ СЕМЯН ГОРЧИЦЫ И ЛУКА, ВЫСУШЕННЫХ ИК- СПОСОБОМ

аспирант Н.А.Зуев

Московский государственный агроинженерный  
университет им. В.П. Горячкина  
joinpath@bk.ru

Применение импульсного инфракрасного способа сушки семян позволяет не только качественно и быстро высушить семена растений до кондиционной влажности, требуемой технологическим регламентом, но и стимулировать всхожесть семян. Для проведения эксперимента семена отбирали в соответствии с сортовыми и посевными качествами по ГОСТ Р 52325-2005.

В процессе ИК-облучения продуктов растительного и животного происхождения происходит резонансное воздействие поглощаемой энергии на молекулы воды - при совпадении их частот, что вызывает интенсификацию процессов биохимических превращений и, как следствие, увеличение скорости обработки продуктов, способствующей получению высококачественного продукта. Применение ИК-облучения позволяет в несколько раз увеличить плотность теплового потока на поверхности материала, по сравнению с конвективной сушкой, что позволяет добиться больших скоростей нагрева высушиваемого материала. Для осуществления щадящих режимов тепловой обработки сушки семян горчицы белой осуществляли осциллирующим ИК-способом при следующем, рекомендованном в [1], температурном режиме: максимальная температура нагрева семян в цикле  $t_{\max} = 40^{\circ}\text{C}$ , минимальная температура нагрева семян в нём  $t_{\min} = 34^{\circ}\text{C}$ . Этот температурный режим поддерживался с помощью системы автоматического регулирования, которой была оснащена установка. Варьировали следующие параметры процесса: время предварительного замачивания семян и длительность ИК-сушки. Семена увлажняли в течение 3 или 24 часов, либо не увлажняли совсем. Продолжительность инфракрасной сушки составляла 40 мин, 60 мин, 80 мин, 90 мин. Результаты эксперимента показали, что наибольший стимулирующий эффект (увеличение всхожести на 6,5 % и энергии прорастания на 15 % по сравнению с контролем) происходит при предварительном их замачивании в течение 3 часов и длительности импульсной ИК-сушки 60 мин. За контроль в опытах принимались всхожесть и энергия прорастания семян, высушенных в естественных условиях. Всхожесть семян горчицы белой, высушенных естественным

образом, достаточно высокая, она составляет порядка 90 % . Поэтому целесообразно использовать данный метод стимуляции для семян с плохой всхожестью, например, семян лука.

Вторую серию опытов по стимуляции ИК-способом провели для семян лука репчатого Штутгартен ризен. Семена увлажняли в течение 3 часов, варьировали продолжительность инфракрасной сушки: 40 мин и 60 мин.

Всхожесть контрольного образца семян лука составляла 30 %, энергии прорастания 6%. Результаты эксперимента показали, что наибольший стимулирующий эффект (увеличение всхожести на 173 % и энергии прорастания на 600 % по сравнению с контролем) происходит при длительности импульсной ИК-сушки 40 мин.

Таким образом, стимуляция семян осциллирующим ИК-способом сушки наиболее эффективна для жизнеспособных семян с пониженными посевными качествами.

### **Литература**

1. Григорьев И.В. Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений: Автореферат дисс... к.т.н.: 05.20.02. – М.: МГАУ, 2010. – 16 с.

**СЕКЦІЯ 3**

**«ОБЛАДНАННЯ РЕСУРСОЕНЕРГОЗАОЩАДЖУЮЧИХ І  
ЕКОБЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ХОЛОДИЛЬНИХ І ХІМІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ»**



УДК 066.045

**УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛА В ПЕЧІ ДЛЯ ОБПАЛУ ВАПНЯКУ**

**магістрант Луценко І.В.,**

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

**к.т.н. Троценко Л.М.,**

Інститут газу НАН України

Вапняк-одна з найпоширеніших осадових гірських порід, що складається головним чином з кальциту з домішками глинистого матеріалу, кремнезему, оксидів заліза та інших. Вапняк має універсальне застосування в промисловості, сільському господарстві та будівництві. У металургії використовується як флюс. При виробництві вапна і цементу вапняк є головним компонентом. Також вапняк використовують в хімічній і харчовій промисловостях як допоміжний матеріал у виробництві соди, карбиду кальцію, мінеральних добрив, скла, цукру та паперу. Вапняк застосовують при очищенні нафтопродуктів, сухій перегонці вугілля, у виготовленні фарб, мастил, гуми, пластмас, ліків, мінеральної вати, вапнування ґрунтів.

Розглянемо технологічну схему виробництва вапняку. Вологий вапняк зі складу за допомогою системи завантажування 1 через завантажувальний бункер 2 поступає у високотемпературний шахтний підігрівач 3, де розміщуючись на лопатках попередньо підігрівається за допомогою димових газів що відходять з робочого простору. Попередньо підігріта сировина за допомогою завантажувальної головки 5 подається у барабан обертової печі для обпикання. Вапно, яке утворилося у процесі обпалу вапняку, надходить у шахтний охолоджувач 10. Отриманий кінцевий продукт за допомогою системи вивантаження 12 транспортується на склад.

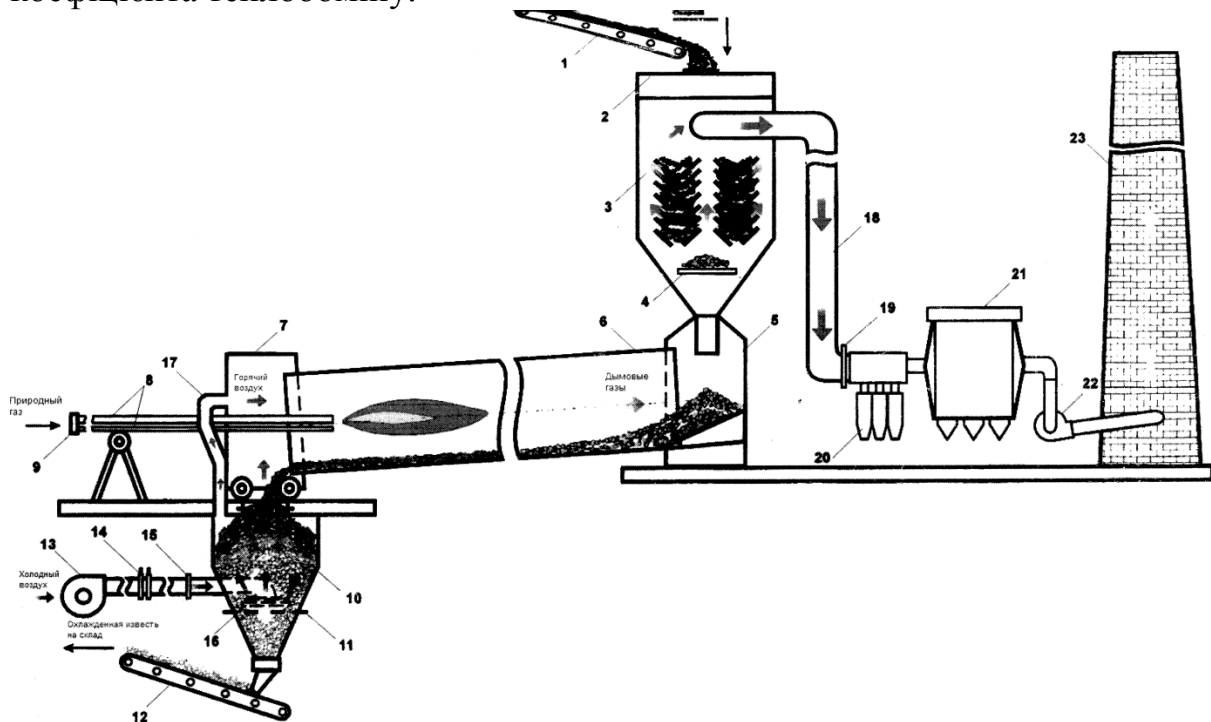
Природний газ надходить у центральний пальник 8 в кількості, необхідній для забезпечення заданої потужності печі. Повітря для горіння в наведеній печі подається із шахтного охолоджувача вапна і направляється в відкидну головку печі за рахунок напору вентилятора. Кількість повітря залежить не тільки від потужності пальника але й від продуктивності проходження готового вапна.

У даній технології визначальними є процеси тепло- та масообміну в робочому просторі печі та допоміжних пристроях (теплообмінниках). Від їх інтенсивності та можливості управління ними залежить економічність та ефективність використання матеріальних та енергетичних ресурсів.

Оскільки останнім часом гостро постає питання зменшення ресурсо- і енергоємності виробництва метою даного проекту є дослідження

пристрою утилізації тепла продуктів згорання, що відходять з печі, для попереднього нагріву вапняку.

За рахунок втілення системи утилізації тепла суттєво знижуються затрати на теплоносії, а отже це робить систему більш економічною. Перспективним шляхом підвищення ефективності утилізації тепла в технологічній схемі обпалу вапняку є удосконалення конструкції лопаток, що розміщені у високотемпературному шахтному підігрівачі. Модифікуючи конструкції лопаток можна досягти суттєвого підвищення коефіцієнта теплообміну.



1-система завантаження; 2- завантажувальний бункер; 3- високотемпературний шахтний підігрівач; 4- живильник; 5- завантажувальна головка; 6- барабан обертової печі; 7- відкатна головка; 8- газовий пальник; 9- контролюючий пристрій витрати і тиску природного газу; 10- шахтний охолоджувач повітря; 11- температурні датчики; 12- система вивантаження; 13- вентилятор; 14- замір тиску і витрати вентиляторного повітря; 15- заслінка; 16- повітророзподільна насадка; 17- рукава для підводу повітря; 18- димохід; 19- повітряна заслінка; 20- циклони (1-ша ступінь очистки); 21- електрофільтр (2-га ступінь очистки); 22- димосос; 23- димова труба

Рис.1- Технологічна схема виробництва вапняку

Очікується, що розробка засобів підвищення утилізації не змінить традиційного процесу обпалювання вапняку, а витрати на реалізацію

будуть значно менші у порівнянні з одержаним економічним ефектом від його використання.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

1. Дослідити та проаналізувати відомі пристрої для утилізації тепла продуктів згорання.
2. Визначити задачі теоретичних та експериментальних досліджень.
3. Розробити фізичну, математичну моделі та алгоритм розрахунку системи утилізації тепла продуктів згорання в печі для обпалу вапняку.
4. Розрахувати матеріальний та тепловий баланс установки та кінетики процесу утилізації тепла.
5. Експериментально дослідити процес обпалу вапняку з системою утилізації тепла для перевірки адекватності математичної моделі та встановлення значень основних параметрів процесу.

### **Перелік посилань**

1. Свинолобов Н.П., Бровкин В.Л. Печи черной металлургии: учебное пособие для вузов. - Днепропетровск: Пороги. – 2002.-154с
2. Колодяжный В.С. Тепловая работа нагревательных печей в условиях резкого снижения их производительности / Колодяжный В.С., Губинский М.В. // Сборник докладов Научно-технической конференции “Металлургическая теплотехника как основа энерго- и ресурсосбережения в металлургии”.- Екатеринбург. – 2010. – С.203-206.

3. УДК 621.182-693.1

## ВПЛИВ ВВЕДЕННЯ ВОЛОГИ З ДУТТЄВИМ ПОВІТРЯМ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОТЛА

Сігал О.І., Бикоріз Є.Й., Капітонов В.І., Корінчук К.О.

Інститут технічної теплофізики НАНУ, м.Київ

Введення вологи з дуттєвим повітрям в топку котла по своєму прямому призначенню направлено на пригнічення процесу утворення оксидів азоту. Крім того, наявна волога в процесі горіння впливає на зниження виходу монооксиду вуглецю, а також інших продуктів неповного згорання, серед яких присутній ряд канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Ця технологія як і інші розробки в цій галузі, сприятиме виконанню зобов'язань про зниження рівня викидів шкідливих речовин, які прийняла на себе Україна з підписанням Меморандуму про приєднання до Угоди про енергетичне співтовариство (Директива 2001/80/ЄС).

Однак, негативним фактором є зменшення ККД котла.

В екранній топці при введенні зволоженого дуттєвого повітря і спалювання природного газу маємо декілька ефектів, що впливають на ефективність спалювання палива:

1. Підвищення ефективності:

- введення трьохатомних газів підвищує світимість продуктів спалювання, що інтенсифікує радіаційну теплопередачу на топкові екрани;
- дисоціація води при  $T > 1850$  К інтенсифікує процес спалювання вуглеводів за рахунок утворення сильнодіючих окислювачів-радикалів.

2. Зниження ефективності:

- введення вологи, як баласту, зменшує температуру факелу і, відповідно, ефективність теплопередачі;
- дисоціація води при  $T > 1850$  К представляє ендотермічну реакцію, що обумовлює зменшення теплового ефекту горіння.

В опалювальних котлах утримати ККД на початковому рівні або збільшити на декілька відсотків при зволоженні дуттєвого повітря можна лише в послідовній тепловій системі-комплексі: повітрозволожувач – котел – теплоутилізатор. Дуттєве повітря зволожується в контактному теплообміннику до сталої відносної вологості близької до  $\psi = 100\%$ . Кількість вологи, що вводиться, регулюється температурою підігрітого

повітря.

Для розробки відповідного комплексу необхідно визначити оптимальну кількість додатково введеної вологи з позицій фізичного і хіміко-кінетичного впливів, що мають протилежний вплив на топкові процеси.

По аналогії з коефіцієнтом надлишку повітря авторами пропонується ввести поняття коефіцієнту надлишку вологи -  $\beta$ , як відношення вологи, що міститься в початковій суміші компонентів до тієї, яка бере участь в хімічних реакціях горіння.

66.911

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ РАДІАЦІЙНОМУ НАГРІВУ ЗМЕРЗЛИХ ВАНТАЖІВ

к.т.н., доц. Троценко Л.М., к.т.н., доц. Воронін Л.Г.,  
магістрант Зуй К.О.

Національний технічний інститут України  
«Київський політехнічний інститут»

Робота присвячена створенню математичного забезпечення для розрахунку процесу розморожування (з одночасним прогріванням) на певну глибину сипучих матеріалів (шихти), які знаходяться в залізничних товарних вагонах відкритого типу, і містять в своєму складі замерзлу воду. Температура такого конгломерату може досягати мінус 20 °С і нижче. Процес розігріву, як запропоновано [1], здійснюється шляхом підводу тепла до матеріалів, що нагріваються у вигляді радіаційного потоку від випромінюючих труб та екранів до стінок вагонів і теплопровідністю через стінки вагона.

В процесі побудови математичного опису були запропоновані певні допущення [2], зумовлені повільним характером процесу плавлення замерзлої води і прогріву суміші шихта – крига, шихта – вода, які розглядаються як єдиний субстрат з усередненими теплофізичними показаннями. Наявність деякої кількості тепла в порах шихти не враховувалась. Випромінююча поверхня приймалась у вигляді плоского безрозмірного випромінювача. Теплообмін між випромінювачем і поверхнею вагонів за рахунок природної конвекції враховувався, на відміну від [2].

Авторами раніше пропонувалося встановити як змінюється температура не лише вглиб вагону ( по товщині конгломерату), а й по висоті стінки вагону, в залежності від ступеню промерзання, теплофізичних властивостей матеріалу і т.ін.. Адже поверхні прогриваються не рівномірно і в деяких місцях максимальна температура досягається раніше. Таким чином потрібно визначити час, що потрібний для повного розмерзання вантажу.

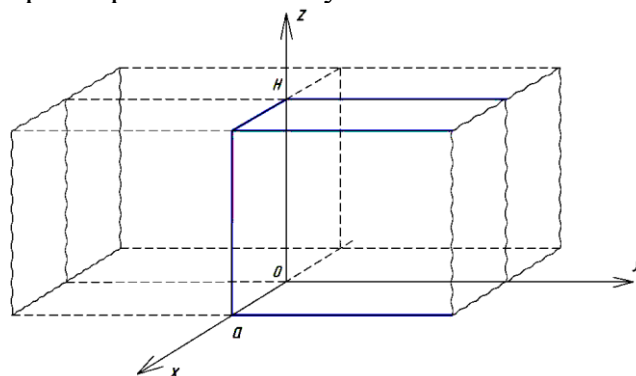


Рисунок 1 – Схема вагону із вантажем

На рисунку 1 зображена схема вагону із вантажем в координатах  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , виразимо поставлену задачу за допомогою рівняння в  $x$ ,  $z$  координатах, розміри по  $y$  координаті набагато більші ніж по  $x$  та  $z$ , тому теплопровідністю по  $y$  нехтуємо, отже рівняння матиме вигляд:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

де  $\lambda, \rho, c_p$  – відповідно теплопровідність, густина, теплоємність конгломерату шихта - крига, що розморожується.

Початкова умова має вигляд:

$$T|_{\tau=0} = T_0$$

де  $T_0$  – початкова температура замерзлого конгломерату, К;

$\tau$  – час, с.

Крайові умови :

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=a} = K_{r_1} ((T_{r_1} + 273)^4 - (T + 273)^4) \Big|_{x=a}$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = K_{r_2} ((T_{r_2} + 273)^4 - (T + 273)^4) \Big|_{z=0}$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=H} = \alpha (T - T_c) \Big|_{z=H}$$

$$K_{r_1} = 10^{-8} \sigma \varepsilon_1$$

$$K_{r_2} = 10^{-8} \sigma \varepsilon_2$$

де  $\sigma$  – постійна Стефана – Больцмана, кВт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>)

$\varepsilon_1$  – ступінь чорноти екранів;

$\varepsilon_2$  – ступінь чорноти підлоги;

$T_{r_1}$  – температура відбиваючих екранів, К;

$T_{r_2}$  – температура підлоги, К;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітого повітря, кВт/м<sup>2</sup>К

$T$  – температура шихти, К;

$T_c$  – температура навколишнього середовища, К;

$a$  – половина ширини вагону, м;

$H$  – висота вагону, м.

Розв'язок представлених вище рівнянь дає можливість визначити розподіл температур вздовж стінки вагону та вглиб вагону, в залежності від теплофізичних властивостей шихти, температури її змерзання і визначити час для повного розморожування.

Література:

1. Пикашов В.С., Троценко Л.Н. Эффективный способ обогрева смерзшихся грузов в железнодорожных вагонах и отопления производственных помещений// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006 - №6 – с.76-79
2. Колесник В.В., Орлик В.Н., Пикашов В.С., Троценко Л.Н, Бунь В.П. Математическое моделирование и расчет процесса радиационного нагрева смерзшихся грузов// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2006 - №6 – с.70-74

УДК 662.76.035

**ПРОЦЕС ТЕРМООБРОБКИ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ В  
ВИХРОВОМУ АПАРАТІ КОНІЧНОЇ ФОРМИ**

**к.т.н. доц. Собченко В.В.**

Інститут газу НАН України

**магістрант Негода О.А.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Не зважаючи на тенденцію останніх років використання в більшому обсязі вітчизняних паливних ресурсів в промисловості та комунальному господарстві України, залежність від імпортованого природного газу все ще залишається значною. В той самий час на багатьох підприємствах харчової та деревообробної промисловості накопичуються як відходи дрібнодисперсні матеріали з теплою спалювання 8-16 МДж/кг. Так на середньому за потужністю спиртовому заводі одержують 2-8 т/г спиртової барди, яка частково знаходить попит у тваринництві. Однак більша її частина накопичується на звалищах. На деяких підприємствах споруджують установки по виробленню біогазу. Але це потребує значних капіталовкладень, виробничих площ та витрат енергії на підтримування необхідного температурного режиму у метантенках. Спалювання ж частки такого матеріалу та використання отриманої теплоти для сушки товарної спиртової барди та одержання технологічної водяної пари на підприємствах дозволяє суттєво зменшити витрати природного газу [1].

Україна, незважаючи на досягнення останніх років, посідає одне з останніх місць за рівнем енергоефективності народного господарства. В промисловості будівельних матеріалів, гірничорудної, харчової та інших широко використовуються технології сушки, термообробки та спалювання дисперсних матеріалів. Підвищення енергоефективності цих технологій, використання в якості палива дрібнодисперсних матеріалів рослинного походження дозволять зменшити залежність України від імпортованого природного газу.

На сьогоднішній день реальною альтернативою природному газу може бути генераторний газ (синтез-газ), котрий отримують шляхом газифікації твердого палива (вугілля, торфу, біомаси [2]).

Газифікація - термохімічний процес взаємодії вуглецю палива з окислювачами, що проводиться з метою отримання горючих газів ( $H_2$ , CO). В якості окислювачів, які іноді називають газифікуючими агентами, використовують кисень (або збагачене їм повітря), водяна пара, діоксид вуглецю або суміші зазначених речовин. В залежно від співвідношення вихідних реагентів, температури, тривалості реакції та інших факторів



можна отримувати газові суміші різного складу. Проходить процес в апаратах, які називаються газогенераторами.

За конструктивними особливостями реакційної зони газогенератори класифікуються на апарати з нерухомим щільним, псевдозрідженим та вихровим шаром [3].

В процесі виконання магістерської роботи буде досліджуватись процес термообробки дисперсних матеріалів в вихровому конічному апараті. Незважаючи на відомі недоліки таких апаратів, вони мають суттєві переваги, що змушують продовжувати наполегливо займатися їх вдосконаленням та створенням для них нових технологічних схем. По-перше, сильна закрутка газових потоків надійно стабілізує займання палив, навіть при зміні його теплотехнічних і ряду інших характеристик. По-друге, істотно прискорюється розігрів твердої фази, вихід летких компонентів і стійке займання продуктів швидкого піролізу. Це пов'язано з більш високою інтенсивністю транспорту теплоти і  $O_2$  в потрібні технологічні зони реактора.

Таким чином, метою даної роботи є створення на основі загальних положень газової динаміки та тепло-масообміну двохфазних систем газ-твердий дисперсний матеріал методів розрахунку і конструювання обладнання для спалювання і газифікації дисперсних відходів рослинного походження, експериментальна перевірка фізичної та математичної моделей та визначення впливу на процес технологічних параметрів.

### **Перелік посилань**

1. В.П.Клюс, Д.С.Довженко - Газификация твердого топлива-альтернатива природному газу. Компрессорное и энергетическое машиностроение. – Суммы, №3 (25) сентябрь 2011 – 55с..
2. Канторов М.В. Газогенераторы и газогенераторные станции в металлургической промышленности. – Свердловск: Металлургиздат, 1958. – 467с.
3. Канторович В.Б. Основы теории горения и газификации твёрдого топлива. – Москва: Металлургиздат, 1960 – 350с.

УДК 662.76.035

## **ПРОЦЕС ТЕРМООБРОБКИ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ В АПАРАТІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ**

**к. т. н., доц. Собченко В.В.**

Інститут газу НАН України

**магістрант Орайло О.Г.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

В історії розвитку методів використання енергетичних ресурсів первісним є процес газифікації. Задовго до виникнення нафтопромисловості суспільство користувалось горючими газами (СО, Н<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>) отриманим шляхом взаємодії матеріалу органічного походження ( в основному вугілля) з окисниками (кисень, водяна пара та ін.) при високотемпературному нагріві (1000°С-2000°С) [1,2]. З розвитком нафтогазової промисловості газифікація почала втрачати свою актуальність. На сьогоднішній день основними джерелами енергії є нафта та природній газ, але з кожним роком їх запаси значно зменшуються, тому сучасні фахівці в області енергетики намагаються відновити використання горючих газів отриманих шляхом газифікації.

Газифікація є одним з найбільш дешевих та екобезпечних способів отримання електричної та теплової енергії. В нашій країні досить велика кількість економічно доступної біологічної сировини – лісосічні відходи, відходи деревообробних та меблевих виробництв, відходи зерноочисних виробництв, різні види соломи і стебел рослин (пшениця, рис, льон, кукурудза, соняшник, бавовна тощо), очерет, плодові кісточки і горіхова шкарлупа, різні промислові та побутові відходи.

На багатьох підприємствах харчової та деревообробної промисловості накопичуються відходи - дрібнодисперсні матеріали з теплотою спалювання 8-16 МДж/кг. Так, на середньому за потужністю спиртовому заводі одержують 2-8 т/г спиртової барди, яка частково знаходить попит у тваринництві. Однак більша її частина накопичується на звалищах. Газифікуючи ж частки такого матеріалу і використовуючи отриману теплоту для сушки товарної спиртової барди та одержання технологічної водяної пари на підприємствах можна суттєво зменшити витрати природного газу.

До складу генераторного газу входять такі гази: СО, Н<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>С, СО<sub>2</sub>, О<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>. Горючими з них являються СО, Н<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub>. Ккалорійність одержаних газів залежить від виду сировини що використовується та становить 4,6 – 6,3 мДж/м<sup>3</sup> [1]. Наприклад,

калорійність газу отриманого при переробці рисового лушпиння 5,83 мДж/м<sup>3</sup>. Вміст смоли в отриманому газі менше 50 мг/Нм<sup>3</sup>, що відповідає міжнародним нормам.

В процесі виконання магістерської роботи будуть досліджені теплообмінні та газодинамічні характеристики процесів термообробки дисперсних матеріалів в апараті з псевдозрідженим шаром. Дослідження будуть виконуватися стосовно одержання альтернативного газу при використанні дисперсних паливовміщуючих відходів харчової та деревообробної промисловості, а також енергозбереження в промисловості. Базовими матеріалами для термообробки є спиртова барда, тирса, солома злакових культур, торф-сушонка та ін.

#### **Перелік посилань**

1. И.В. Калечица – М.: Химические вещества из угля. Химия, 1980. - 616 с., ил.
2. Wood gas as engine fuel, FAO Foresrtry Department, 1986 г., 136 с.

УДК 66.047-912

## **СУШІННЯ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ТІЛ**

**д.т.н., проф.. Снежкін Ю.Ф**

**Інститут технічної теплофізики НАН України**

**к.т.н., доц. Зубрій О.Г., магістрант Фільова М.Р.**

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут»**

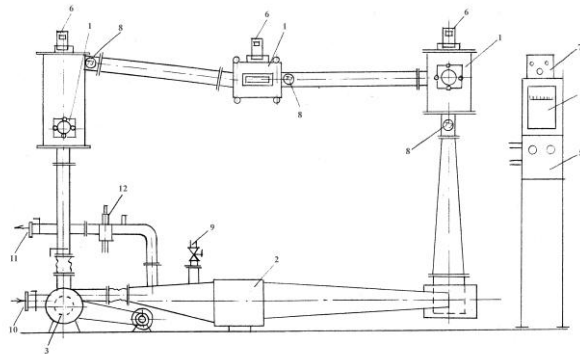
Процес сушіння використовується в багатьох технологічних процесах промисловості. Об'єктами сушіння можуть бути різноманітні матеріали на різних стадіях їх переробки (сировина, напівфабрикати, готові вироби). Метою сушіння є покращення фізико-хімічних властивостей матеріалу або надання нових, зниження його ваги, покращення транспортабельності тощо. Сушіння використовується як один із методів консервування овочів і фруктів відомий ще давніх часів, який дійшов до нашого часу і стрімко розвивається. На даному етапі розвитку – це складний та енергоємний процес і визначається тісним взаємозв'язком теплотехнічних закономірностей і технічних властивостей об'єктів переробки.

До капілярно-пористих тіл відносяться матеріали, в яких в основному зв'язана капілярними силами: (вологий кварцовий пісок, будівельні матеріали, деревне вугілля, глина, папір, деякі продукти харчування тощо). В процесі обезводнення капілярно-пористі тіла стають крихкими і в висушеному стані можуть бути перетворені в порошок, вони мало стискаються і всмоктують будь-яку рідину, яка їх змочує. Для таких тіл капілярні сили значно перевищують сили тяжіння, тому вони повністю визначають розподіл рідини в тілі.

На базі Інституту технічної теплофізики НАН України з застосуванням сучасної сушильної камери. Буде проведено ряд дослідів для вивчення кінетики процесу сушки харчових сумішей. Така суміш має велику кількість корисних мікроелементів, білків, вітамінів та кислот, які покращують працездатність організму людини. Тому максимальне збереження корисних компонентів є важливим критерієм під час виробництва таких сумішей.

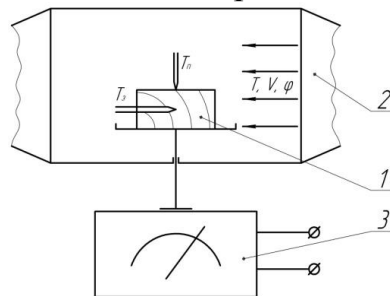
Сушильна камера 1 являє собою прямокутний короб із листової сталі. В центрі камери розміщується піддон з дослідним матеріалом. Піддон розміщується на штоці вагів, що дозволяє заміряти масу зразка. Камера має бокові прозорі люки, через які можна спостерігати за станом матеріалу в процесі сушіння. Камера має штуцери для виходу термоелектричних перетворювачів та штоці вагів.

Рух повітря відбувається за допомогою відцентрового вентилятора 3 середнього тиску за системою повітроводів. Зміна в широких діапазонах швидкості руху теплоносія, його температури та вологовмісту досягається регулюванням роботи вентилятора; співвідношення між відпрацьованим та свіжим повітрям і парою регулюється за допомогою заслонок на патрубках 9, 10 і 11.



1 – робочі (сушильні) камери; 2 – ділянка нагріву теплоносія;  
3 – вентилятор; 4 – потенціометр; 5 – пульт управління; 6 – ваги; 7 –  
регулятор температури повітря; 8 – термометр опору; 9 – патрубок  
підведення пари з голчастим вентиляем; 10 – повітровід підсосу; 11 –  
патрубок вихлопу повітря; 12 – психрометр

Рисунок 1.- Схема експериментальної установки



1 – дослідний зразок; 2 – робоча камера; 3 – електронні ваги

Рисунок 2.- Схема робочої камери

**Перелік посилань:**

1. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Переробка плодоовочевої сировини на сушену продукцію. – К.: «Наукові доповіді НАУ», 2006 – 218с.
2. Лыков А.В. Теория сушки. М., «Энергия», 1968. – 472с. С ил.
3. Ткаченко С.Й., Співак О.Ю. Сушильні процеси та установки.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1974. – 784с.

УДК 678.4:658.567

**РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ УЛЬТРАСЕЛЕКТИВНОГО ПІРОЛІЗУ  
РІДКИХ НАФТОВИХ ФРАКЦІЙ**

**к.т.н., доц. Ільєнко Б.К., к.т.н. Дмитрієв В.М.**

Інститут газу НАН України,

**магістрант Гета В.В.**

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

**Актуальність проблеми.** Процеси піролізу є основним джерелом отримання нижчих олефінів – сировини для органічного і нафтохімічного синтезів. В даний час об'єм їх виробництва лімітується відносно малою одиничною потужністю піролізних печей та низькою селективністю процесу (сумарний вихід нижчих олефінів при піролізі легкого прямогонного бензину не перевищує 55мас.%).

Для усунення даних недоліків необхідна розробка процесів піролізу доступних видів вуглеводневої сировини в високопродуктивних реакторах нового типу з більш високим температурним рівнем процесу. Необхідна розробка відповідних технічних рішень по вдосконаленню існуючих конструкцій печей піролізу з традиційним реактором – змієвиком, які без значних капітальних затрат на реконструкцію дозволять значно підвищити отримання цільового продукту.

**Мета** дисертації – аналітичне і експериментальне дослідження з розробки процесу піролізу середніх і важких нафтових дистилятів в високопродуктивному реакторі з підвищеною селективністю процесу та розробка технічних рішень по вдосконаленню існуючих конструкцій печей піролізу з реактором змієвикового типу.

Для досягнення поставленої мети в дисертації вирішуються наступні задачі:

- дослідження процесу піролізу середніх і важких нафтових дистилятів;
- аналітичне і експериментальне дослідження гідродинамічних і теплотехнічних показників роботи реактора;
- розробка методики гідродинамічного розрахунку реактора піролізу і вирішення задачі по усуненню гідравлічної нерівномірності реакційних труб при його роботі;
- дослідження по інтенсифікації процесу піролізу в промислових умовах;
- розробка промислових високопродуктивних пічних агрегатів селективного типу.

Основним технологічним елементом печі є трубчаті змієвики і реакційні труби. Тому саме їх моделюванню повинна приділятися особлива увага. Процеси в них не стаціонарні в часі внаслідок відкладення

коксу на стінках труб. Проте швидкості закоксування незначні в порівнянні зі швидкістю основних хімічних перетворень, тепло- та масообміну. Тому робимо припущення, що в будь який момент часу процес стаціонарний, але з різною товщиною шару коксу. В загальному випадку зміювки та реакційні труби являють собою реактори витіснення з поздовжньою і поперечною дифузією та теплопровідністю. Процеси в них описані системою диференціальних рівнянь в частинних похідних зі змінними коефіцієнтами переносу:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r D_r \frac{\partial C_i}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial l} \left( D_l \frac{\partial C_i}{\partial l} \right) + W \frac{\partial C_i}{\partial l} - \omega_j^*(C, t) = 0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial l} \left( \lambda_l \frac{\partial t}{\partial l} \right) + W C_p \frac{\partial t}{\partial l} - \square \omega_j^*(C, t) \Delta h_i = 0$$

з граничними умовами:

$$\text{при } r=R \quad -\lambda \frac{\partial t}{\partial r} = \alpha(t_{cm} - t)$$

$$\text{при } r=0 \quad \frac{\partial C_i}{\partial r} = \frac{\partial t_i}{\partial r} = 0$$

$$\text{при } l=0 \quad C_i = C_{i0}, t = t_0$$

де  $R$  – радіус реактора;  $l, r$  – координати по довжині і радіусу реактора;  $D, \lambda$  – ефективні коефіцієнти дифузії і теплопровідності;  $C$  – концентрація;  $W$  – швидкість потоку;  $t, t_{cm}$  – температура потоку і стінки реактора;  $\omega^*$  – спостерігаємо швидкість реакції;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;  $C_p$  – теплоємність.

#### **Перелік посилань:**

1. Багиров И.Т., Кардаш И.М. Снижение энергозатрат на нефтеперерабатывающих заводах. – М.: Химия, 1972. – 144 с.
2. Клименко А.П. Разделение природных углеводородных газов. – Киев: Техника, 1984. – 380 с.
3. Степанов А.В. Производство низших олефинов. – Киев: Наукова думка, 1978. – 248 с.
4. Гориславец С.П., Масальский К.Е., Гершова И.И. Промышленные трубчатые печи пролиза. – Киев: Наукова думка, 1976. – 44с.

УДК 532.137: 666.97

## ПЛИН ФІБРОБЕТОННОЇ СУМІШІ В КІЛЬЦЕВОМУ КАНАЛІ, ЯКИЙ ЗВУЖУЄТЬСЯ

к.т.н., доц Л.Г.Воронін., к.т.н., доц І.А.Андрєєв,  
магістрант Н. В.Комкіна,

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

Для оцінювання процесу віброекструзії фібробетону, який здійснюється при формуванні труб, в роботі пропонується методика розрахунку швидкості плинущої суміші у круглому кільцевому каналі, що звужується. Враховується, що вібруючі фібробетонні суміші при віброекструзії являють собою псевдоньютонівські системи.

У випадку ізотермічного сталого прямолінійного плинущої ньютонівської рідини за рахунок перепаду тиску  $\frac{\partial p}{\partial z}$  у круглому кільцевому каналі постійного поперечного перерізу при граничній умові, що швидкість плинущої на стінках каналу дорівнює нулю, формули для розрахунку швидкості  $u$  і об'ємної витрати  $Q$  мають вигляд:

$$u = -\frac{1}{4\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \left[ \left( R_{\sigma}^2 - R_m^2 \right) \frac{\ln \frac{r}{R_m}}{\ln \frac{R_{\sigma}}{R_m}} - \left( r^2 - R_m^2 \right) \right], \quad (1)$$

$$Q = -\frac{\pi}{8\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \left( R_{\sigma}^2 - R_m^2 \right) \left( R_{\sigma}^2 + R_m^2 - \frac{R_{\sigma}^2 - R_m^2}{\ln \frac{R_{\sigma}}{R_m}} \right), \quad (2)$$

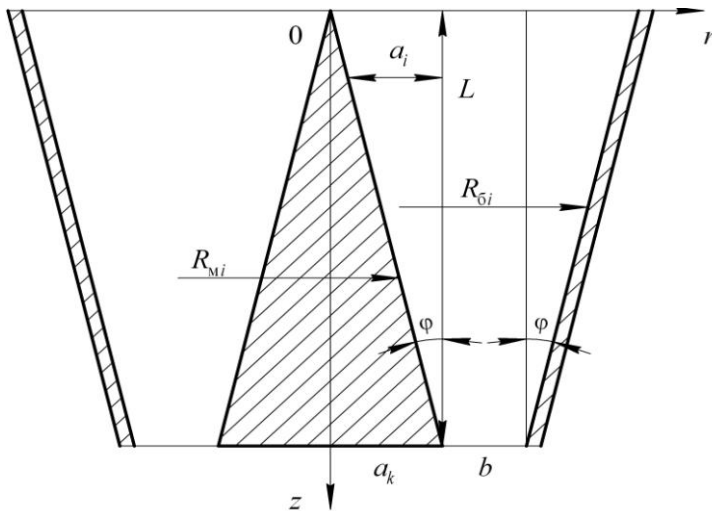
де  $R_{\sigma}$  – більший радіус круглого кільцевого каналу, м;  $R_m$  – менший радіус круглого кільцевого каналу, м;  $r$  – поточний радіус круглого кільцевого каналу, м;  $\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості суміші, Па·с.

Розрахункова схема процесу у круглому кільцевому каналі, що звужується, подана на рис. 1. Висота стовпа суміші  $L$  у вертикальному каналі підтримується постійною.

Застосовуючи рівняння (2), знаходимо

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{8\mu Q}{\pi \left( R_{\sigma}^2 - R_m^2 \right) \left( R_{\sigma}^2 + R_m^2 - \frac{R_{\sigma}^2 - R_m^2}{\ln \frac{R_{\sigma}}{R_m}} \right)} \quad (3)$$





Приймаємо, що в елементарному об'ємі висотою  $dz$  ( $0 \leq z \leq L$ ) значення  $\frac{\partial p}{\partial z}$  є сталою величиною і обчислюється за формулою (3), а поточні радіуси кільцевого перерізу  $R_{oi}$ ,  $R_{mi}$  обчислюються за допомогою поточних значень координат  $z_i = z_{i-1} + dz$   $i = 1, 2, \dots$  за формулами  $R_{mi} = a_k - a_i$ ,  $R_{oi} = a_i + \epsilon + a_k$  де  $a_i = L - z_i \operatorname{tg} \varphi$ ;

Рис.1 – Розрахункова схема процесу

$L = a_k \operatorname{ctg} \varphi$ ;  $a_k, \epsilon$  – задані кінцеві розміри круглого кільцевого каналу, що звужується (див. рис. 2), м,  $\varphi$  – кут нахилу твірної каналу до вертикалі, град.

Розрахунок швидкості, який базується на використанні формули (1) і урахуванні наведених припущень дозволяє оцінити процес плинку суміші у збіжному кільцевому каналі віброекструдера при формуванні фібробетонних труб. Для визначення характеру зміни складової швидкості плинку  $u_i$  по перерізу каналу віброекструдера було розроблена програма розрахунку на ПЕОМ. Результати виконання розрахунку наведені на рисунку 2.

На рисунку 2 позначені:  $u_{max}$  – максимальна швидкість плинку ньютонівської рідини на виході з каналу, м/с

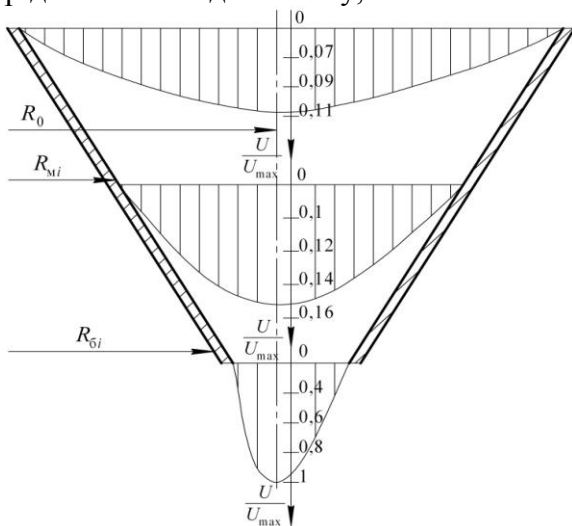


Рис. 2 – Розподіл відносних швидкостей  $\frac{u_i}{u_{max}}$  на початку, в середині і на виході із збіжного кільцевого каналу

Розподіл відносних швидкостей було отримано у каналі висотою  $L = 0,5$  м з кутом нахилу твірної каналу до вертикалі  $\varphi = 30^\circ$  і радіусами на виході  $R_{ок} = 0,18$  м,  $R_{мк} = 0,15$  м.

Впровадження наведеного у статті методу розрахунку ізотермічної ламінарної усталеної течії нестисливої ньютонівської рідини дозволяє оцінити різноманітні гідродинамічні процеси у кільцевих збіжних каналах при низьких значеннях числа Рейнольдса, коли не виникають так звані «повзучі течії». Це якраз відбувається при плинні фібробетонної суміші в каналах віброекструдера при виготовленні круглих труб.

УДК 66.074.48:621.928.9

**Визначення коефіцієнту вловлювання часток за допомогою  
матриці перехідних імовірностей**

**к.т.н. Д.О. Серебрянський, магістрант М.В. Семенюк**

Національний Технічний Університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Класифікатори широко використовуються в якості апаратів для розділення та класифікації вихідного порошку на фракції. Зі зміною характерного розміру часток порошку, їх поведінка виявляє якісно нові сторони. Надзвичайно розвинена питома поверхня особливо тонких порошоків призводить до появи різних форм її активності, зокрема до утворення агломератів частинок, які з'являються завдяки поверхневим силам. Це призводить до зниження продуктивності установки і погіршення роботи апаратів класифікації, оскільки відбувається залипання частинок на внутрішній поверхні корпусу апарату. У той же час великий вміст крупних часток у готовому продукті, наприклад, у хімічній промисловості при виробництві фосфорних добрив - погіршує умови грануляції, в цементній промисловості - знижує марку цементу, в теплоенергетиці, що використовує тверде паливо - знижує к.к.д. парогенератора і т.д.[1].

Для визначення ефективності роботи класифікатора користуються такими критеріями оцінки як коефіцієнт вловлення ( $\eta, \%$ ), коефіцієнт виносу ( $\varepsilon, \%$ ), ефективність та к.п.д. розділення ( $\xi_p, \eta_p$ ), фактор розділення ( $\Phi_p$ ), межа розподілу ( $\delta$ ). Всі класифікатори залежать від: а) початкової концентрації повітря ( $c$ ), б) витрат потоку, в) коефіцієнтів Рейнольдса ( $Re$ ), динамічної та кінематичної в'язкості ( $\mu, \vartheta$ ), температури потоку та тиску ( $t^0, P$ ), г) медіанного діаметру ( $d_{50}$ ).

Класифікатори з замкнутими контурами розраховуються з урахуванням з'єднання з бункером послідовно двох його каналів і змінного винесення з нього пилу при нестационарних умовах. Загальний коефіцієнт уловлювання по парціальним коефіцієнтам визначається за формулою:

$$\eta = \int \eta(\delta) f(\delta) d\delta.$$

Міграція золи або пилу по елементах класифікатора із замкнутими контурами представлена наведеним на (рис. 1) графом станів.

В першому наближенні ці перехідні ймовірності рівні:

$$P_{1,n-1}(\delta) = 1 - P_{1,n-1}(\delta) = F\left(\frac{\vartheta_\delta^{-2}}{2\sigma_\delta^2}\right).$$

Виконавши розрахунок матриці, маємо значення загального коефіцієнта вловлення часток для восьми каналів, що сполучені з бункерами [2].

$$\eta_{\text{заг}} = \frac{\sum_m \Delta f_m}{\sum_m f_m} = 87.6\%.$$

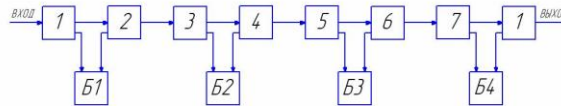


Рис. 1 Міграція часток в замкнутих контурах

Матриця перехідних ймовірностей має вигляд:

$$A := \begin{pmatrix} 0 & \frac{P_{0,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b0,m} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1-P_{1,m}}{8} & 0 & \frac{1-P_{1,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b0,m} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1-P_{2,m}}{8} & 0 & \frac{1-P_{2,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b1,m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-P_{3,m}}{8} & 0 & \frac{1-P_{3,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b1,m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-P_{4,m}}{8} & 0 & \frac{1-P_{4,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b2,m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-P_{5,m}}{8} & 0 & \frac{1-P_{5,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b2,m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-P_{6,m}}{8} & 0 & \frac{1-P_{6,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b3,m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{P_{b0,m}+P_{b6,m}}{14} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{b3,m} \\ \frac{P_{bu0,m}}{2} & \frac{P_{bu0,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{P_{bu1,m}}{2} & \frac{P_{bu1,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{P_{bu2,m}}{2} & \frac{P_{bu2,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - P_{bu0,m} + P_{bu1,m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{P_{bu3,m}}{2} & \frac{P_{bu3,m}}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Отримане значення загального коефіцієнта вловлення за допомогою матриці перехідних ймовірностей потребує уточнення експериментальним шляхом та підтвердження чисельним моделюванням за допомогою спеціалізованих розрахункових CFD пакетів.

**Перелік посилань**

1. Мелихов С.В. Разработка центробежного сепаратора с турбинной зоной разделения. Белгород, 2004, 202с.
2. Серебрянский Д.А., Повышение эффективности газоочистки тепловых энергетических установок – Одесский Национальный Политехнический университет, 2004. – 150с.
3. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрыбин Г.М. Очистка газов и воздуха от пыли в химической промышленности – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.:Химия 1993. – 320с.

УДК 621.78

## ЕКСПЕРИМЕНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМОПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА СПУЧЕНОГО ПЕРЛІТУ

магістрант Химич І.І.,

Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”

к.т.н. Собченко В.В.

Інститут газу НАН України, м. Київ, Дегтярівська, 39

Спучений перліт – матеріал широкого цільового використання. При його виробництві за допомогою технологічних режимів можливо регулювати фізико-технічні показники спученого перліту [1]. При використанні спученого перліту в будівництві, для його одержання запропоновано застосовувати схему виробництва з термopідготовкою сировинного матеріалу в апаратах псевдо зрідженого шару [2]. Задачею представленого матеріалу було експериментальне дослідження процесу термopідготовки перліту. Для цього використали лабораторну установку Інституту газу НАН України КС-02 [3, 4].

Основні технічні дані і характеристики установки:

-разове завантаження матеріалу, кг	0,04-0,05
-розмір часток матеріалу, мм	0,16-2,5
-потужність електронагрівача, кВт, не більше	3
-витрата зріджуючого агента (повітря), м <sup>3</sup> /ч, не більше	15
-температура в псевдозрідженому шарі, °С, не більше	550

Схема лабораторної установки КС-02 представлена на рисунку.1.

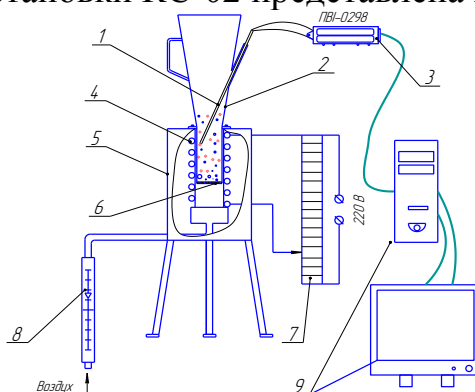


Рисунок. 1. Схема лабораторної установки КС-02.

1 – термопара; 2 – стакан; 3 – перетворювач вимірний інтелектуальний «ПВІ-0298»; 4 – електронагрівач; 5 – корпус; 6 – перфорована решітка; 7 – трансформатор; 8 – ротаметр, 9 - комп'ютер.

Повітря для зрідження частинок матеріалу в установці КС-02 подається від вентилятора, його витрати контролюються ротаметром 8. Повітря яке попадає в установку, нагрівається електронагрівачем 4, попадає через отвори перфорованої решітки 6 в стакан 2, виготовленої з

нержавіючої сталі внутрішнім діаметром 60мм з розширеною верхньою частиною. В стакані є гніздо для кріплення термопари 1 ХК (L) (-40...+600 °С). Термопара, пов'язана з інтелектуальним перетворювачем «ПВІ-0298» 3, який передає перетворений сигнал для відображення на комп'ютер 9. Для регулювання температури в робочій зоні стакана передбачена подача живильної напруги на електронагрівач 4 через регулюючий трансформатор 7.

В результаті досліджень для фракції перліту 0,16-0,4 мм були отримані експериментальні дані, представлені на рисунку 2

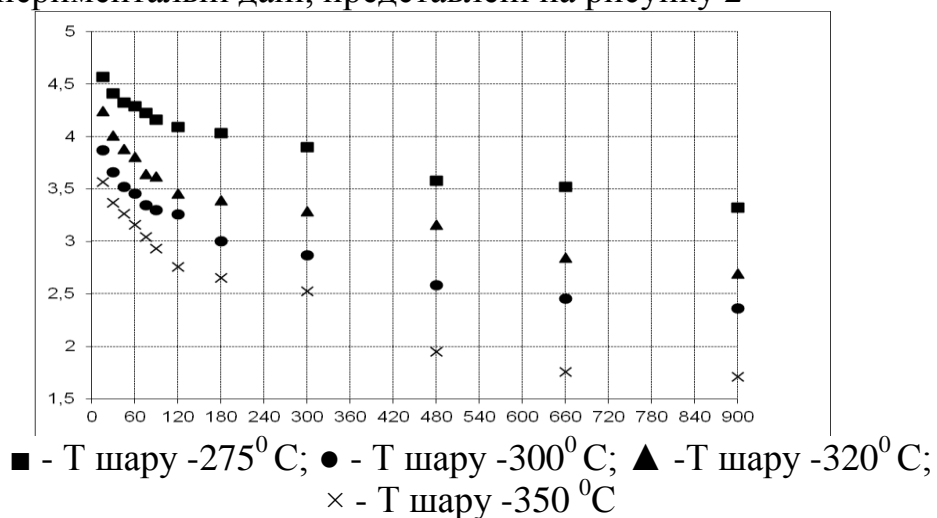


Рисунок.2. Дані експериментальних досліджень дегідратації перліту фракції 0,16-0,4 мм

### Перелік посилань

1. Костогрыз К.П., Хвастухин Ю.И., Алексеева Л.В. Термоподготовка сырья в псевдооживленном слое – средство регулирования качества перлитового песка // Строительные материалы и изделия. – 2005, №6, С. 17 – 21.
2. Л.В. Алексеева, Ю.И. Хвастухин, Н.К. Когута Двухстадийное производство вспученного перлита из сырья Украины с применением нового технологического оборудования – тепловых агрегатов кипящего слоя // Строительные материалы и изделия, 2002, № 4, с.5-10
3. Отчет о научно-исследовательской работе Института газа НАН Украины №1-07«Создание технологических основ и исследование процессов термослойной обработки топливосодержащих отходов и минерального сырья»
4. Хвастухин Ю.И., Костогрыз К.П., Роман С.Н., Алексеева Л.В. Кинетика дегидратации перлита в псевдооживленном слое // Строительные материалы и изделия. – № 3-4, 2007. – с.19 – 24

УДК 504.054: 662.749.39: 632.151

**ВДОСКОНАЛЕННЯ УСТАНОВОК ПИЛЕВЛОВЛЕННЯ В  
СИСТЕМАХ АСПІРАЦІЇ ЦЕХІВ АНОДНОЇ МАСИ АЛЮМІНІЄВИХ  
ВИРОБНИЦТВ**

**к.т.н., доц. Ільєнко Б.К.**

Інститут газу НАН України,

**магістрант Шпиль М.О.**

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

**Актуальність проблеми.** Процеси обробки і транспортування коксових матеріалів при виробництві анодної маси супроводжуються інтенсивним виділенням коксового пилу як у повітря робочої зони, так і в атмосферу. Це зумовлено невідповідністю фактичних значень витрат повітря, що відсмоктується від устаткування, прийнятих за проектом, і низькою ефективністю очищення повітря апаратами пиловловлення.

В існуючих системах аспірації в якості пиловловлюючого устаткування застосовуються на першій ступені очищення апарати інерційного типу, на другій і третій – рукавні та електрофільтри.

Рукавні фільтри систем аспірації цехів анодної маси мають низьку ефективність очищення газів і високий аеродинамічний опір (до 2,5 кПа). Це обумовлено наявністю конденсації води на поверхні фільтрувальних рукавів, що призводить до ущільнення осажденного на них пилу. Поряд з цим, має місце капілярна конденсація води в порах фільтрувального матеріалу, яка впливає на аеродинамічний опір рукавних фільтрів при збереженні ступеня очищення газів. Підвищений аеродинамічний опір фільтрів призводить до зниження продуктивності систем аспірації і, як наслідок, до підвищення викидів коксового пилу з технологічного обладнання, що аспірується, в повітря робочої зони.

Разом з тим, рукавні фільтри, за умов правильного підбору і дотримання параметрів роботи, характеризуються високою ефективністю очищення газів (до 98%). Крім того, уловлений фільтрами коксовий пил не змінює своїх фізичних властивостей, на відміну від уловленого в електрофільтрах, і є цінною сировиною для виробництва анодної маси.

Тому задача підвищення ефективності очищення газів від коксового пилу рукавними фільтрами, зниження їх аеродинамічного опору для зменшення кількості коксового пилу, що викидається, в атмосферу і робочу зону цеху є актуальною.

**Мета** дисертації – удосконалення установок очистки газів в системах аспірації цехів анодної маси алюмінієвих виробництв за допомогою

підвищення ефективності роботи рукавних фільтрів для зниження виділення коксового пилу в робочу зону цеху і навколишнє середовище.

Для досягнення поставленої мети в дисертації вирішуються наступні задачі:

– дослідження теоретичних основ фізико-хімічних процесів утримання дисперсних частинок пилу тканинними фільтрами;

– уточнення математичної моделі процесів, що відбуваються при очищенні газу в тканинних фільтрах з урахуванням капілярної конденсації води;

– теоретичні та експериментальні дослідження залежності ефективності вловлювання коксового пилу фільтрувальними матеріалами від їх аеродинамічного опору, швидкості фільтрації та відносної вологості газу, що очищається;

– експериментальні дослідження фізико-хімічних і аеродинамічних властивостей пилу, що надходить на очищення в рукавні фільтри систем аспірації цеху анодної маси.

На даний момент вирішені майже всі поставлені задачі, в тому числі уточнено математичну модель процесів, що відбуваються при очищенні газу в тканинних фільтрах з урахуванням капілярної конденсації води:

$$\eta = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{K'_c \cdot \tau_{рл}}{\mu^2 \tau} \right)^{0,5} K_W^P K_0 \frac{\mu G (1 - m_{п})^2}{\delta_0^2 m_{п}^3 \rho_T} \right] \right\}$$

де  $K'_c$  – коефіцієнт проникності шару, м<sup>2</sup>,

$\tau$  – тривалість циклу фільтрування, с,

$\tau_{рл}$  – час релаксації шару часток, с,

$\mu$  – динамічна в'язкість газу, Па·с,

$K_0$  – коефіцієнт, що приймається, для пилу  $\delta < 6$  мкм рівним 240,

$m_{п}$  – пористість шару пилу, що дорівнює  $m_{п} = (\rho_T - \rho_H) / \rho_T$  (тут  $\rho_H$  щільність насипного шару, кг/м<sup>3</sup>), кг/м<sup>3</sup>,

$G$  – маса пилу, що осіла, віднесена до одиниці площі фільтра, кг/м<sup>2</sup>,

$K_W^P$  – коефіцієнт, що відображає зміну маси пилу від відносної вологості повітря:  $K_W^P = 1 + 0,057 e^{2,0014\varphi}$  (тут  $\varphi$  – відносна вологість повітря),

### **Перелік посилань:**

1. Пылеулавливание в металлургии: Справочник / В.М. Алешина, А.Ю. Вальдберг, Г.М. Гордон и др.; - М.: Металлургия,. 1984. - 336 с.
2. Мазус М.Г., Мальгин М.Л., Моргулис М.Л. Фильтры для улавливания промышленных выбросов. М.: Машиностроение, 1985. - 240 с.

УДК 664.8.047

**ТЕПЛОНАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ  
ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Дабіжа Н.О., Корінчук Д.М.**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України  
м. Київ,  
dabizha@i.ua

Споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) в процесах сушіння досягає 10 % від загальної витрати ПЕР в промисловості, тому роботи спрямовані на раціональне використання енергоресурсів в процесах сушіння є актуальними.

Найбільш широко в промисловості застосовується конвективний спосіб сушіння. Він передбачає обдування висушуваного матеріалу потоком гарячого повітря з подальшим викидом зволоженого повітря в атмосферу. Основні недоліки традиційних конвективних сушильних установок — низька інтенсивність видалення вологи, значні втрати теплоти з відпрацьованим повітрям, залежність ефективності роботи сушарки від погодних умов (вологості атмосферного повітря), а також недостатня захищеність продукції від пошкодження мікроорганізмами, які знаходяться в атмосферному повітрі.

Традиційні підходи передбачають інтенсифікацію процесу конвективного сушіння шляхом підвищення температури теплоносія, однак, при сушінні термолабільних матеріалів це призводить до погіршення якості висушеної продукції. Природа термолабільних матеріалів така, що їхня якість після сушіння тим вища, чим нижчий температурний рівень процесу зневоднення і менша його тривалість.

Одним з перспективних напрямків конвективного сушіння термолабільних матеріалів є застосування теплових насосів, що дозволяє за рахунок примусового осушення повітря незалежно від умов навколишнього середовища підтримувати необхідні тепловологісні параметри сушильного агенту та створювати керовані умови технологічного процесу зневоднення, що гарантує високу якість готового продукту, а також значно (в 1,5-2 рази) скоротити витрати енергії на вилучення вологи.

При теплонасосному сушінні волога, що видалається, не виноситься сушильним агентом в навколишнє середовище, а конденсується на холодній поверхні випарника і відводиться в рідкому стані. Сприйнята випарником теплота конденсації водяної пари за допомогою теплового насоса трансформується на більш високий температурний рівень і повертається в процес сушіння, що забезпечує значне зменшення величини



питомих енерговитрат у порівнянні з традиційними системами і сприяє зниженню теплового «забруднення» навколишнього середовища.

Дослідження спрямовані на обґрунтування та розробку енергозберігаючих режимів конвективного сушіння, заснованих на інтенсифікації процесу низькотемпературного зневоднення шляхом підвищення масообмінного напору між теплоносієм і матеріалом, а також оптимізації енерговитрат шляхом керованого осушення теплоносія за допомогою пароконпресійних теплових насосів.

Основним недоліком традиційних конденсаційних теплонасосних сушарок є неузгодженість процесів примусового осушення теплоносія в тепловому насосі і десорбції вологи з матеріалу в сушильній камері. Температурні параметри теплонасосного циклу і, відповідно, ступінь зневоднення сушильного агента, протягом усього періоду сушіння підтримуються незмінними, у той час як тепловологісні характеристики висушуваного матеріалу змінюються. При такому режимі роботи не забезпечується достатня швидкість процесу і оптимальні енерговитрати протягом усього періоду сушіння, що призводить до зайвих енерговитрат [1].

У теплонасосних сушарках величина поточних енерговитрат залежить від вологовмісту сушильного агента і температурного режиму його зневоднення [2]. З підвищенням вологовмісту сушильного агента енерговитрати на видалення вологи зменшуються, разом з тим, залежність інтенсивності десорбції вологи з матеріалу від вологовмісту сушильного агента носить зворотній характер, і з підвищенням вологовмісту сушіння сповільнюється.

На основі експериментальних досліджень кінетики низькотемпературного зневоднення термолабільних матеріалів та гігротермічної рівноваги між матеріалом та вологим повітрям планується розробити режими процесу конвективного сушіння з змінюваною глибиною осушення теплоносія на протязі процесу сушіння. В початковий період, коли матеріал має найбільшу вологість, і з нього легко видаляється вільна волога, немає необхідності підтримувати високий ступінь осушення сушильного агента, а наприкінці процесу, коли в матеріалі залишається лише зв'язана волога, необхідно проводити більш глибоке осушення агента, тому що при невеликому ступені осушення тривалість останнього періоду сушіння значно збільшується.

Розрахунок поточних енерговитрат і енергетичних показників теплонасосного циклу на різних стадіях процесу сушіння дозволить провести вибір оптимальних за енерговитратами режимів технологічного процесу.

**Висновки і напрямки подальших досліджень.**

1). Можливість за допомогою теплового насоса знижувати вологовміст сушильного агента сприяє інтенсифікації вологовидалення під час конвективного низькотемпературного сушіння термолабільних матеріалів. Крім того в порівнянні з традиційними конвективними сушарками технологія сушіння з тепловим насосом забезпечує зниження питомих енерговитрат.

2). Розробка режимів зневоднення термолабільних матеріалів з перемінним режимом роботи теплонасосного агрегату дозволить створити оптимальні умови для сушіння термолабільних матеріалів і мінімізувати енерговитрати шляхом регулювання ступеня осушення агента протягом усього періоду сушіння.

### **Перелік посилань.**

1. Дабижа Н.А. Оптимизация режимов теплонасосной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов / Н.А. Дабижа // Промышленная теплотехника. – 2007. – Т.29, № 5. С.57-60.
2. Снежкин Ю.Ф. Эффективность применения тепловых насосов в процессах конвективной сушки / Ю.Ф. Снежкин, Д.М. Чалаев, В.С. Шаврин, Н.А. Дабижа, К.А. Гатиллов // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: 2007. – Вип.30. – Т.1. – С.185-189

УДК 664.8.047

**ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ  
АДСОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

**Корінчук Д.М., Дабіжа Н.О., Корінчевська Т.В.**

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України  
м. Київ  
ntps@bk.ru

Останніми роками, у зв'язку з підвищеними екологічними вимогами до робочих речовин теплових насосів і холодильних машин, а також з метою залучення в енергетичний обіг низькопотенційних джерел енергії, в розвинених країнах значну увагу стали приділяти адсорбційним термотрансформаторам і дослідженням, спрямованим на вдосконалення їхніх конструкцій та пошук нових ефективних сорбційних пар. Адсорбційні теплові насоси розглядаються як реальна альтернатива компресійним — за їх допомогою можна виробляти холод, здійснювати теплопостачання, а також комбіноване вироблення холоду і теплоти.

Адсорбційні термотрансформатори мають високі теплоакумулюючі властивості завдяки можливості накопичення теплової енергії у вигляді термохімічного потенціалу сорбенту, а також здатні перетворювати низькопотенційну теплоту навколишнього середовища в теплоту підвищеного потенціалу без одночасної витрати енергії шляхом реалізації теплонасосного циклу [1].

Важливою умовою широкого використання адсорбційних термотрансформаторів є підвищення їхньої енергетичної ефективності шляхом впровадження в практику нових енергоефективних робочих тіл, всебічне вивчення теоретичного і дійсного адсорбційно-десорбційного циклів і отримання кількісних даних, необхідних для розрахунку і проектування таких систем.

Основними показниками ефективності робочої пари є вологоємність сорбенту, температура його регенерації і теплота десорбції сорбату [2]. З якісного боку можна сказати, що чим сильніша енергія зв'язку між твердим тілом і адсорбованою молекулою, тим нижча температура, при якій зможе працювати випарник, але тим нижчим буде тепловий коефіцієнт і вищою температура регенерації сорбенту.

Окрім перерахованих показників сорбент повинен зберігати стабільну структуру при багатократних циклах сорбції-десорбції, а також володіти достатньо високою ефективною теплопровідністю для відведення з шару сорбенту теплоти сорбції, а також рівномірного підведення теплоти десорбції в умовах його регенерації.

Дослідження направлені на створення композитного сорбенту з високою вологоємністю, стійкою структурою та високою теплопровідністю і вивчення його енергетичних показників в діапазоні робочих температур термохімічного акумулятора теплової енергії.

Традиційні сорбенти (цеоліти, силікагелі, активоване вугілля) мають невелику вологоємність, близько 10 % від маси. Вища сорбційна ємність може бути досягнута при застосуванні як сорбенту солей лужних і лужноземельних металів, сорбційна дія яких заснована на ефекті оборотних термохімічних реакцій [3]. Проте використання цих солей в чистому вигляді пов'язане з проблемою збереження стабільності гранульованої структури шару сорбенту, оскільки при багатократних циклах сорбції-десорбції відбувається руйнування або розчинення гранул.

Для підвищення стабільності сольових сорбентів запропоновано використовувати інертний носій з розвиненою пористою структурою, який при перенасиченні міг би утримувати рідкий сольовий розчин в гранулі. Застосування пористого носія сприяє розширенню зони робочих концентрацій сольового сорбенту за рахунок забезпечення його працездатності як в зоні рідкого, так і твердого сольового розчину. Тобто сорбент такого типу охоплює робочий діапазон концентрацій як твердо-, так і рідкотільних сорбційних термотрансформаторів.

В якості пористого носія передбачається використовувати спучений перліт, пористість якого може досягати 70 %.

Оскільки як чисті сорбенти, так і композитні мають низьку теплопровідність для забезпечення ефективного теплообміну в усьому об'ємі сорбенту в процесі одержання пористого носія вводяться дрібнодисперсні металеві частки. Металеві включення, володіючи теплопровідністю, що на порядок вища, ніж сорбенту і носія, визначають ефективну теплопровідність усього шару.

#### **Висновки й напрямки подальших досліджень**

1. Розробка нових композитних сорбентів «сіль - пористий носій з металевими включеннями», що працюють із застосуванням термохімічних реакцій, перспективна для застосування як робочих тіл адсорбційних термотрансформаторів.

2. Вивчення енергетичних показників композитних сорбентів в діапазоні робочих температур дозволить оптимізувати робочі характеристики термохімічного теплового акумулятора.

Дослідження проводяться за грантом НАН України для молодих учених (Договір № 2773).

#### **Перелік посилань.**

1. Корінчевська Т.В. Перспективні матеріали для акумуляторів теплової енергії / Т.В. Корінчевська, Ю.Ф. Снежкін, Д.М. Чалаєв, В.С. Шаврин, Н.О. Дабіжа // Вісник НУ «Львівська політехніка». Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – 2009. – № 659. – С. 139-141.
2. Aristov Yu.I. New family of materials for adsorption cooling: material scientist approach / Yu.I. Aristov // J. Engn. Thermophys. – 2007. – V. 16. – No. 2. – P. 63-72.
3. Чалаєв Д.М. Перспективні робочі речовини для адсорбційних теплових насосів / Д.М. Чалаєв // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса: 2011. – Вип.39. – Т.2. – С.336-341.

УДК 621.593.001.24

## МЕМБРАННА ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ\*

аспирант Елизаров И.В.

ФГОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет  
им. В.П. Горячкина, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58,  
hakuhakuji@gmail.com

Присутствие растворенного кислорода и углекислого газа в питательной и подпиточной воде котельных установок нежелательно. Под воздействием растворенного кислорода происходит окисление железа, что вызывает коррозию металла элементов котлоагрегатов и трубопроводов тепловых сетей. Углекислота способствует кислородной коррозии тем, что препятствует образованию защитного слоя окислов металла, а при высокой температуре (выше 100 °С) сама становится активным коррозионным агентом [1]. Согласно существующим нормам, содержание растворенного кислорода в воде, восполняющей утечки в тепловой сети, а также поступающей в водогрейные котлоагрегаты (т.н. подпиточная вода) не должно превышать 50 мкг/л [2]. Для воды, поступающей в паровые котлы (т.н. питательная вода) требования, предъявляемые к содержанию растворенного кислорода доходят до 10 мкг/л [3]. В подпиточной и питательной воде не допускается присутствия растворенного углекислого газа [2, 3].

Чтобы снизить и довести до допустимых пределов содержание в воде кислорода и углекислоты необходимо провести деаэрацию (дегазацию) подпиточной и питательной воды, традиционно с этой целью применяются термические деаэраторы, получившие наибольшее распространение. Термическая деаэрация воды основана на использовании закона растворимости газов в жидкости – закона Генри:

$$p = EC, \quad (1)$$

Для удаления из воды газов необходимо создать в деаэраторе температуру и давление, при которой растворимость газа станет равной нулю. Конструктивно термические деаэраторы, состоят из деаэрационной колонки имеющей перфорированные тарелки, по которым обрабатываемая вода разделяется на капли и струи и бака-аккумулятора. К недостаткам термических деаэраторов относят крупные габариты, большой вес, большую металлоемкость, необходимость подвода пара, в случае если в деаэраторе поддерживается атмосферное давление, наличие существенного количества оборудования и трубопроводов, находящихся под разряжением, через негерметичные соединения которого осуществляется присос воздуха и снижается эффективность процесса деаэрации, а также необходимость расположения на значительной высоте для поддержания допустимой вакуумметрической высоты всасывания центробежных насосов, в случае если в деаэраторе поддерживается давление ниже атмосферного [4].

\* - работа выполнена под руководством д.т.н., профессора С.П. Рудобашты.

Перспективним является применение нового метода удаления растворенных в воде газов — метода мембранной деаэрации. Сущность метода заключается в использовании пористых гидрофобных мембран. По одну сторону поверхности мембран движется вода, из которой требуется удалить кислород и углекислоту, по другую создается вакуум. Растворенный в воде газы десорбируются из воды у устьев несмачиваемых пор мембраны, диффундирует по ним на другую её сторону и далее откачивается вакуумным насосом. В процессе мембранной деаэрации могут использоваться: плоские, трубчатые или половолоконные мембраны, изготовленные из гидрофобных полимеров – полипропилена или поливинилиденфторида. Аппаратурное оформление данного метода обладает целым рядом преимуществ перед традиционными термическими деаэраторами: во много раз меньшая металлоемкость, вода, поступающая на обработку находится под избыточным давлением, следовательно, нет необходимость располагать установку на значительной высоте относительно центробежных насосов, значительно меньшие габариты, меньший вес, модульность конструкции, позволяющая увеличивать производительность без полной замены оборудования установки.

Массоперенос в мембранно-деаэрационном модуле (МДМ) характеризуется следующими стадиями [5, 6]. Перенос газа через диффузионный пограничный слой в жидкой фазе:

$$i = \beta_{ж.с} (C_{ж} - C_{ж.п1}), \quad (2)$$

Перенос газа через поры мембраны:

$$i = \frac{D_{e.p}}{\delta} p_{п1} - p_{п2} , \quad (3)$$

Перенос газа через диффузионный пограничный слой в газовой фазе:

$$i = \beta_{г.р} (p_{п2} - p), \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1)-(4) получим уравнение, характеризующее массоперенос в МДМ:

$$i = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{ж.с}} + \frac{\delta}{ED_{e.p}} + \frac{1}{E\beta_{г.р}}} (C_{ж} - C_{ж}^*) = K_{ж.с} (C_{ж} - C_{ж}^*), \quad (5)$$

Основным параметром мембранно-деаэрационного модуля (МДМ) является поверхность массообмена  $F$ , обеспечивающая заданную его производительность:

$$M = K_{ж.с} (C - C^*) F d\tau, \quad (6)$$

Массоперенос через поры мембран и в газовой фазе происходит в процессе газовой диффузии, который приблизительно в  $10^4$  раз быстрее, чем в жидкой фазе, поэтому величину коэффициента массопередачи  $K_{ж.с}$  определяет коэффициент массоотдачи в жидкой фазе  $\beta_{ж.с}$ :

$$K_{ж.с} \approx \beta_{ж.с}, \quad (7)$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе для конкретной конструкции МДМ можно определить по опытной критериальной зависимости вида:

$$Sh = f(Re, Sc). \quad (8)$$

### Обозначения

- $p$  – парциальное давление кислорода в газовой фазе, Па;  
 $E$  – константа Генри, Па/(кмоль/кмоль);  
 $i = dM / (F d\tau)$  – скорость массопередачи, кг/(м<sup>2</sup> с);  
 $M$  – масса десорбированного газа, кг;  
 $C_{ж}$  – концентрация газа в жидкой фазе (воде), кг/м<sup>3</sup>;  
 $C_{ж}^*$  – концентрация кислорода в жидкой фазе, равновесная парциальному давлению  $p$  газа в газовой фазе, кг/м<sup>3</sup>;  
 $D_e$  – эффективный коэффициент диффузии кислорода в порах мембраны, м<sup>2</sup>/с;  
 $D_{p,e} = D_e / (RT)$  – эффективный коэффициент диффузии кислорода в порах мембраны, отнесённый к разности парциальных давлений пара, кг/(м с Па);  
 $F$  – поверхность массообмена, м<sup>2</sup>;  
 $K_{ж,с}$  – коэффициент массопередачи по жидкой фазе, отнесённый к разности концентраций, кг/(м<sup>2</sup> с (кг/м<sup>3</sup>));  
 $l$  – характерный размер, выбранный за масштаб длины, м;  
 $R$  – газовая постоянная, Дж/(кг К);  
 $Re = (\nu l) / \nu_{ж}$  – число Рейнольдса;  
 $\nu$  – скорость движения воды, м/с;  
 $Sc = \nu_{ж} / D_{ж}$  – число Шмидта;  
 $Sh = (\beta_{ж,с} l) / D_{ж}$  – число Шервуда;  
 $\beta_{ж,с}$  – коэффициент массоотдачи кислорода в жидкой фазе, отнесённый к разности концентраций, м/с;  
 $\beta_{г,р}$  – коэффициент массоотдачи кислорода в газовой фазе, отнесённый к разности парциальных давлений пара, кг/(м<sup>2</sup> с Па);  
 $\delta$  – толщина стенки полого волокна, м;  
 $\nu_{ж}$  – кинематическая вязкость жидкости (воды), м<sup>2</sup>/с.  
Индексы: г – газ; ж – жидкость.

### Литература

1. Труб И.А., Литвин О.П. Вакуумные деаэратеры. – М.: Энергия, 1967. – 100 с.
2. РД 34.37.504-83 Нормы качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1984. – 7 с.
3. СО 153-34.20.501 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: Госэнергонадзор, 2003. – 29 с.
4. Громов Н.Н. Деаэрация воды в котельных без подвода пара // Новости теплоснабжения. – 2001. – №3.
5. Tariq Ah., Semmens M.J. The use of sealed and hollow fibers for bubbles membrane aeration: experimental studies // Journal of Membrane Science. 1992. V.69. P. 1-10.
6. Leiknes T., Semmens M.J. Vacuum degassing using microporous hollow fiber membranes // Separation and Purification Technology. 2000. № 22-23. P. 287-294.25

УДК 631.563.2:674-4.031.2/031.3

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШИЛЬНОГО  
АГЕНТА НА КИНЕТИКУ СУШКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОРОД  
ДРЕВЕСИНЫ**

**Д.Н. Коринчук, Е.М. Бякова**

Институт технической теплофизики НАН Украины,  
г. Киев, ул. Желябова 2А

В условиях уменьшения запасов углеводородного сырья и повышения его стоимости использование биомассы для производства твердых видов топлива приобрело большое значение. Основным источником биомассы являются древесина и сельскохозяйственные отходы. Энергетический потенциал биомассы в Украине составляет 12,39 млн.т.у.т. [1]. Древесина, как энергетическое сырье, включает отходы лесозаготовок, деревообрабатывающей промышленности, а также лозу деревьев, выращиваемых в «энергетических лесах» [2].

Использование древесины в производстве различных видов композиционного твердого топлива предполагает сушку измельченного материала до влажности, определяемой технологическими требованиями. Основными факторами, влияющими на кинетику сушки, являются температура и относительная скорость сушильного агента, дисперсный состав и исходная влажность материала.

В зависимости от происхождения и условий хранения влажность сырья может колебаться в значительных пределах. Теплотворная способность древесины при относительной влажности 50 – 60 % составляет 6 – 8 кДж/кг, но после сушки до влажности 10 – 20 % – возрастает в два раза [1].

Целью экспериментальных исследований было определение рациональных кинетических параметров конвективной сушки измельченной древесины тополя, ивы и ольхи.

Учитывая схожесть процессов конвективной сушки опилок древесины тополя, ивы и ольхи ниже, в качестве примера, представлена информация о кинетике сушки ольхи.

Процесс сушки можно разделить на три этапа. Первый этап – прогрев материала. Известно, что прогрев сопровождается испарением влаги, ее конденсации в порах, а так же термодиффузией опилок ольхи. Указанные явления, а так же их влияние на процесс сушки в значительной мере зависят от толщины слоя.

Анализ кривых кинетики сушки в слое 10 мм (рис.1) показал, что на участке прогрева, отрезок АВ, интенсивно нарастает скорость сушки, достигая максимума через минуту (точка В).

Второй этап (отрезок ВС) – сушка до так называемого критического влагосодержания. Кривая скорости процесса идет круто вниз, достигая критической точки С, что характерно при лимитирующем влиянии диффузионного переноса влаги внутри материала. На этом этапе удаляется



свободная вода при незначительном возрастании содержания связанной воды, из-за уменьшения её удельного содержания в материале.

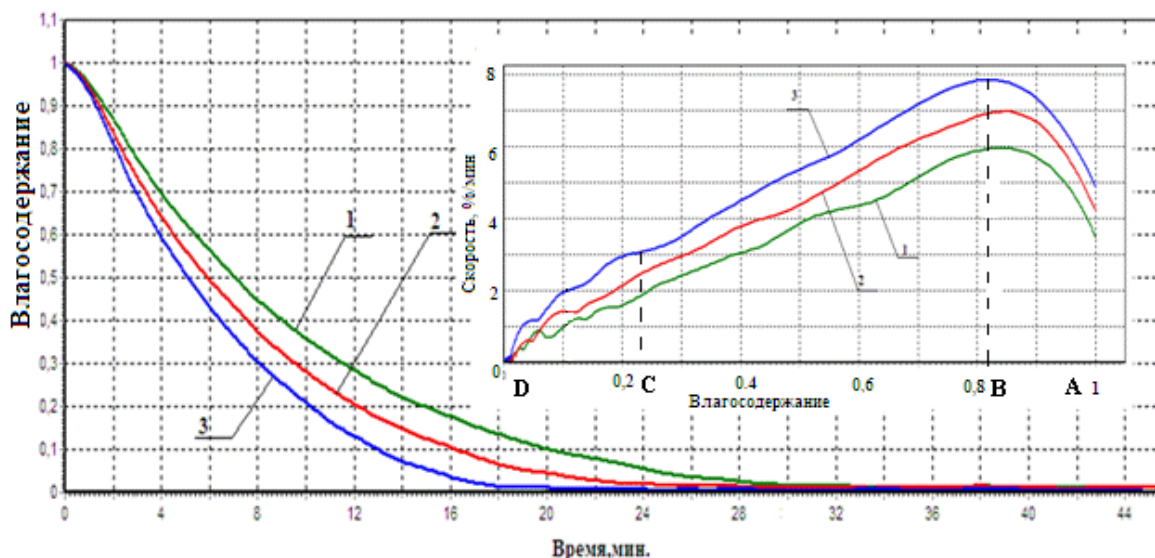


Рис. 1. Влияние температуры сушильного агента на кинетику сушки опилок ольхи:  
1 – 100; 2 – 120; 3 – 140 °С. Скорость сушильного агента 3 м/с.

Третий этап – сушка от критического влагосодержания до заданной конечной влажности материала. На этом этапе в основном удаляется связанная влага (отрезок CD). Процесс сушки замедляется, кривая сушки становится более полой, а кривая скорости резко падает. В конце третьего этапа кривая сушки переходит в горизонтальную прямую, т.е. процесс сушки заканчивается, приближаясь к равновесной влажности.

Изучение влияния температуры сушильного агента на кинетику сушки опилок показало, что увеличение температуры со 100 до 140 °С сокращает время достижения критического влагосодержания материала с 13,0 до 9,0 мин, при этом интенсивность сушки в точке С повышается на 41 %. В среднем увеличение температуры сушильного агента на 10 °С сокращает длительность сушки на 10 – 12 %.

### Перелік посилань.

1. Корінчук Д.М. Розробка композиційного палива на основі торфу і рослинної біомаси: автореф. Дис. На здобуття наук. Ступеня канд. Техн. Наук : 05.14.06 05.14.06 – «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика» / Корінчук Дмитро Миколайович. – К., 2010. – 20 с.
2. Снежкин Ю.Ф. Исследование кинетики сушки энергетических пород древесины / Ю.Ф.Снежкин, В.А. Михайлик, Д.Н. Коринчук, Е.М. Бякова // Пром. Теплотехника. — 2011. — 34, N 7. — С. 173-174.

УДК 66.047:66.013

## **РОЗПИЛЮВАЛЬНИЙ МЕТОД ВИСУШУВАННЯ РІДИННИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Магістрант Голубок Д.С., к.т.н., доц., Зубрій О.Г.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»**

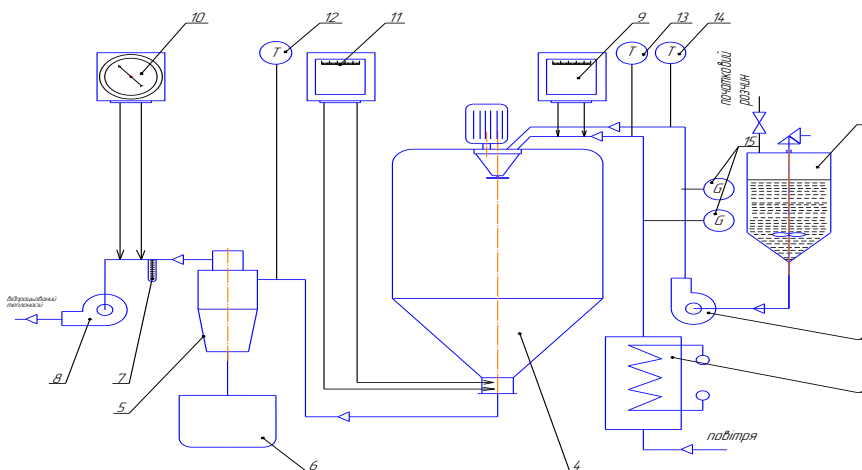
Одним з поширених методів зневоднення є розпилювальна сушка, що використовується для отримання порошкоподібного продукту з рідких та пастоподібних речовин. Основними перевагами цього способу є висока інтенсивність масо- та теплообмінних процесів. Останнє набуває особливої ваги при висушуванні термолабільних, чутливих до високих температур матеріалів. Оскільки при розпилювальній сушці час перебування частинок в об'ємі сушильної камери достатньо малий (5-30с) та через високу інтенсивність випаровування вологи, температура матеріалу, навіть в зоні високих температур теплоносія, є низькою, близькою до температури рівноважного випаровування (температури мокрого термометра).

Можливість використання теплоносія з високою температурою при збереженні якісних показників кінцевого продукту, висока степінь дисперсності порошку та інтенсивність тепломасообмінних процесів, можливість регулювання його властивостей дозволяють вважати розпилювальний метод одним з найбільш прогресивних методів зневоднення рідких та пастоподібних матеріалів.

Метою роботи є визначання впливу структури факелу розпилю на інтенсивність процесів тепло- та масообміну, що відбуваються при зневодненні термолабільних речовин.

Вплив структури факелу розпилю на інтенсивність сушки визначається на прикладі зневоднення на експериментальній установці (рисунок 1) [2].

Дана розпилювальна установка працює наступним чином: повітря що забирається з атмосфери подається на електрокалорифер 3, де відбувається його нагріванням до необхідної температури. Далі нагріте повітря подається в повітрерозподілювач. Паралельно відбувається подача початкового розчину з допомогою насоса-дозатора 2 на розпилюючий пристрій. Після того як розчин розпилюється він контактуючи з теплоносієм рухається в низ камери розпилювальної сушарки 4, паралельно випаровуючись. Висушений продукт разом з відпрацьованим повітрям потрапляє до циклону 5, де відбувається їх розділення. Далі очищене повітря через вентилятор 8 викидається в навколишнє середовище, а висушений продукт потрапляє до бункера-накопичувача 6.



1 — ємність з розчином; 2 — насос дозатор;  
3 — електрокалорифер; 4 — розпилювальна сушарка; 5 — циклон;  
6 — бункер-накопичувача; 7 — дифманометр;  
8 — вентилятор; 9 — електронний психометр; 10 — газоаналізатор;  
11 — електронний психометр; 12,13,14 — термометри; 15 — витратоміри  
Рисунок 1- Схема експериментальної сушильної установки типу РСМ

На даній установці є можливість регулювання витрати початкового розчину та теплоносія, їх початкового рівня температури, а також заміри температури, вологості та якісного складу відпрацьованого повітря та продукту на виході з апарату. Крім того, можна визначати дисперсний склад факелу за допомогою пристрою, що розташований всередині корпусу. Експериментальні дані порівнюються з розрахунковими значеннями, що визначаються за відомими формулами. З цих формул видно, що показники інтенсивності процесу сушки високою мірою залежить від діаметр розпиленних капель. Тому можливість варіювати розміри частинок розпилу дасть змогу краще контролювати процес і підвищити його ефективність.

Висновки. Дослідження факелу розпилу та пошук режимів роботи розпилюючих пристроїв, при яких вдається забезпечити монодисперсність розмірів отриманих капель, має важливе значення для подальшого розвитку методу розпилювальної сушки, так як відкриває можливість використання теплоносіїв з більш високою температурою без небезпеки перегріву та пригорання найдрібніших часточок.

### Перелік посилань.

1. Пажи Д.Г., Галустов В.С., Основы техники распыливания жидкостей., Москва:Химия,1984.

2.Сушилки распылительные. Типы, основное параметр и размеры. ГОСТ 18906-80 М. Изд-во стандартов, 1980 9с.

УДК 66.021.3/4

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ У РОТОРНО-ПЛІВКОВОМУ АПАРАТІ

Магістрант Безушко Н.А, к.т.н., доц. Зубрій О.Г.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

Впровадження енергозберігаючих технологій та одержання якісних продуктів сприяють усталеному розвитку промислового комплексу України.

Випарні установки широко використовуються в різних галузях промисловості: фармацевтичній, хімічній, харчовій, металургійній, целюлозно-паперовій та ін.

Багато термолабільних речовин при нагріванні під атмосферним тиском розкладаються ще задовго до того, як досягається температура їх кипіння. Процесу деструкції речовин сприяє:

- висока температура обігрівуючої стінки апарата;
- тривалий нагрів;
- наявність домішок.

При виборі випарника необхідно керуватись, головним чином, двома основними вимогами [1]:

- випарник повинен мати мінімальний гідравлічний опір при проході парів через нього;
- час перебування продукту в зоні нагріву повинен бути мінімальним.

Абсолютна величина втрати речовини в значній мірі визначається конструкцією випарника. Мінімальні втрати досягаються, при використанні плівкових і роторно-плівкових випарників, що обумовлено мінімальним часом перебування і затримки речовини в них, а також невеликим опором в таких апаратах.

Плівкові випарники з падаючою плівкою кращі ніж випарники з висхідною плівкою внаслідок меншої затримки рідини і меншого опору випарника.

Плівкові випарники не використовуються в тих випадках, коли необхідно проводити упарювання речовини до утворення твердого чи дуже в'язкого залишку[2]. В таких випадках доцільно використовувати роторно-плівкові апарати (РПА).

В загальному випадку задачею гідродинаміки є швидкості руху і тиску в рідині.

В РПА ця задача теоретично не розв'язується. А отже, слід користуватися залежностями, які отримані дослідним шляхом. Тому, було досліджено співвідношення кільцевої  $W_x$  і вертикальної  $W_z$  швидкостей

течії плівки рідини від густини зрошення, кількості лопатей, зазору між лопаттю і корпусом, кількості обертів. Часткові результати дослідів представлені на рисунку 1.

Досліди показали, що зі збільшенням густини зрошення збільшується значення  $\frac{W_x}{W_z}$ . Це обумовлено тим, що при збільшенні густини зрошення імпульс передається ротором через шар повітря, який поступово зменшується і самі лопаті передають плівці рідини кільцеву швидкість.

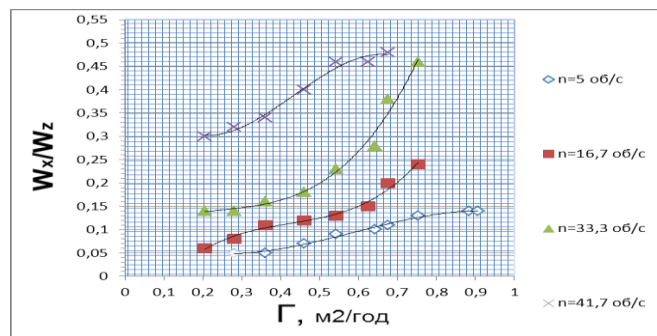


Рисунок 1 – Залежність співвідношення кільцевої і вертикальної швидкостей течії плівки рідини від густини зрошення при  $\Delta = 2 \text{ мм}, z = 6 \text{ шт}$

А отже, зменшуються втрати кінетичної енергії на тертя в шарі повітря між лопаттю і рідиною, через це збільшується  $W_x$  плівки.

Приріст  $W_x$  більший аніж приріст  $W_z$  (внаслідок збільшення навантаження по рідині) і в результаті збільшується  $\frac{W_x}{W_z}$ .

Розглянуті результати дослідів можуть бути представлені у вигляді рівняння

$$\frac{W_x}{W_z} = A \cdot \text{Re}^\alpha \cdot \text{Re}_{nl}^\beta \cdot z^\varphi,$$

### **Перелік посилань.**

1. Отчет по исследованию процесса молекулярной дистилляции в жидкостных пленках, стекающих по полимерным поверхностям в производстве ихитиена / Ю.Е. Лукач, Е.Г. Воронцов, Ю.В. Шевчук // Киев тип. №1 1980г №295-10т – 47с

2. Гидродинамика и теплообмен при двухстадийной обработке осадкообразующих продуктов в роторно-пленочных аппаратах / Барштейн В.Ю. // Авторефер. дис. на соиск. уч. степени канд. тех. наук. К.- КПИ, 1994. - 26с.

**СЕКЦІЯ 4**

**«КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ  
УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОГО  
ВИРОБНИЦТВА»**

УДК 676.038.2

## АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФОРМУВАННЯ КАРТОННОГО ПОЛОТНА

магістрант Баранович С.О., доцент, к.т.н. Семінський О.О

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Однорідність структури, поряд з композицією і масою метра квадратного полотна, суттєво впливає на технологічні параметри виробництва і експлуатаційні характеристики картону. Неоднорідність макроструктури картону зумовлює нерівномірність фізичних властивостей, що негативно впливає на безобривне проведення, друкарські та міцнісні властивості картону [1].

На основі аналізу літературних джерел [1-3] встановлено, що основними факторами, які впливають на формування картонного полотна є: флокуляція, ступінь і параметри розмелювання, параметри відливання та умови формування.

Флокуляція волокон проявляється у злипанні волокон внаслідок хімічної взаємодії між волокнами. Рівень флокуляції волокнистої суспензії залежить від виду волокнистого матеріалу і параметрів його розмелювання. Найбільшою мірою на флокуляцію волокнистої суспензії впливають: довжина, діаметр, фракційний склад, жорсткість, поверхневі властивості, поверхневий заряд і форма волокон [2].

На інтенсивність флокуляції волокон також впливають фактори, що визначаються виробничими параметрами, такими як концентрація волокна і хімічних домішок, в'язкість, температура рідини, і рівень турбулентності потоку волокнистої суспензії. В процесі формування волокна піддаються зсувним зусиллям, що виникають внаслідок різниці швидкостей руху суспензії і сітки, змінної швидкості фільтрації, пульсації маси, що витікає з напірних та напускних пристроїв.

На формування полотна суттєво впливають параметри відливання маси, що проявляються у зміні складу маси, через видалення разом з водою дрібних волокон зміні умов фільтрації по довжині сіткової частини.

Розмелювання також значно впливає на структуру та властивості волокон. При розмелюванні волокон у водному середовищі поряд з механічним впливом на волокна, що проявляються у зміні їх розмірів і форми, протікають колоїдно-хімічні процеси, які призводять до гідратації волокон. Гідратація починається з набрякання волокон та надає їм можливість зчеплюватись з утворенням міцної структури листа. Адсорбція

води на зовнішній поверхні волокон сприяє набряканню волокон, підвищенню їх гнучкості і утворенню сприятливих умов для встановлення між волоконних зв'язків, що визначають основні властивості картону-механічну міцність, поглинальну здатність та ін.

Зміни, що протікають в процесі розмелювання, можна розділити на дві групи-первинні і вторинні. До первинних відносяться: зовнішнє і внутрішнє фібрилювання, укорочення волокна, утворення дрібної фракції, структурні зміни, мікрокомпресії, скручуваність і звільнення хімічних компонентів. Вторинні об'єднують всі інші ефекти і зміни властивостей волокна, які виникають під час розмелювання. Під час розмелювання розщеплення внутрішньої структури волокна збільшується і фібрили відділяються одна від одної, що призводить до збільшення гнучкості волокон. Більш гнучкі волокна схильні до утворення більш міцної і однорідної структури.

За рахунок механічного впливу зв'язки, що обмежують набрякання геміцелюлоз, стрімко руйнуються, що призводить до випрямлення волокна. Зовнішнє фібрилювання супроводжується видаленням первинної стінки, що робить доступним фібрили вторинної стінки. Головний результат зовнішнього фібрилювання-збільшення площі поверхні волокон, що призводить до збільшення кількості зв'язків між волокнами під час процесу сушіння кртонного полотна.

#### **Перелік посилань.**

1. Смолин А.С. Макроструктура бумаги-измерение, формирование, влияние, целюлоза / Смолин А.С., Аксельрод Г.З. // Бумага. Картон. -1999.-№7-8. -С. 26-27.
2. Смолин А.С., Аксельрод Г.З. Технология формования бумаги и картона. -М.,- 1984.- С. 4-12.
3. Богомол Г. М. Формирование многослойного картона. -М. : Лесн. пром-сть, -1982. -С. 25-31.



УДК 676.04.02

## ПРОЦЕС СУШІННЯ НАПОВНЮВАЧА ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА (ОКСИДУ ТИТАНУ $TiO_2$ )

магістрант Гробовенко Я. В., к.т.н. проф. Марчевський В. М.

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

У целюлозно-паперовій промисловості при виробництві високоякісного дорогого паперу в якості наповнювача паперового полотна використовують діоксид титану  $TiO_2$ . У зв'язку з цим є значний попит на пігмент діоксиду титану  $TiO_2$ .

В залежності від специфіки будови кристалічної решітки діоксид титана в природі зустрічається в різних модифікаціях: кубічна сингонія (рутил), тетрагональна сингонія (анатаз) і рідко – ромбічна сингонія (брукіт). При добуванні в основному отримують модифікацію анатаз і рутил двома методами: сульфатним або хлоридним. Найчастіше початковим матеріалом для отримання діоксида титана сульфатним методом виступає ільменит – природна суміш різних оксидів, в основному чотирьохвалентного титана і трьохвалентного заліза. При хлоридному методі вихідною сировиною являється хлоридна сіль чотирьохвалентного титану. Ці два методи дозволяють добувати пігмент діоксид титана двох модифікацій [1].

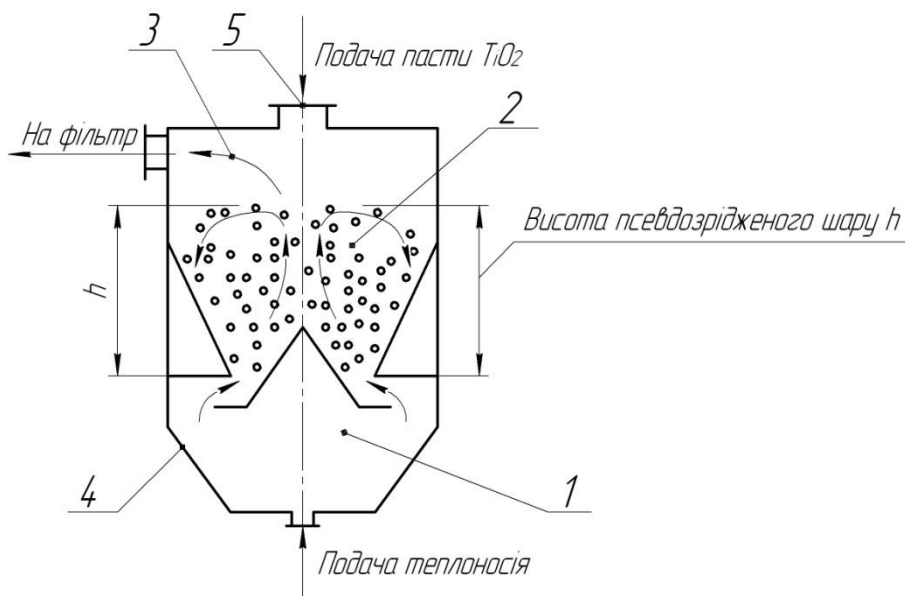
Технологічна схема виробництва оксиду титану  $TiO_2$  включає наступні етапи: отримання тонко дисперсної ( $d_{\text{част}} < 1$  мкн) суспензії, відділення рідкої фази до концентрації осаду 70 % сухих речовин. Отримана паста потребує висушування до залишкової вологості 0,3 %. Форма висушеного продукту – тонко дисперсний порошок яскраво-білого кольору.

Процес сушіння даної пасту є найбільш енергоємний і лімітуючий процес в технології отримання  $TiO_2$ . Тому розробка нового високоефективного і економного обладнання для сушіння  $TiO_2$  є актуальною проблемою.

В теперішній час паста  $TiO_2$  висушується на вібросушарках, в так званому псевдозрідженому шарі, з використанням дорогих інертних тіл. В якості інертних тіл використовувався міцний дорогий мінерал – цирконій.

Цей спосіб сушіння має багато недоліків: 1. Негативний вплив вібрації на організм людини; 2. Значні економічні затрати; 3. Не стійкий киплячий шар; 4. Великі габарити установки; 5. Важкість обслуговування, ремонту та монтажу.

Тому нами пропонується інший спосіб сушіння в “фонтануючому шарі” з використанням простих та дешевих інертних тіл сушіння – керамічних гранул.



1 – дифузор; 2 – зона фонтануючого шару; 3 – висушений продукт;  
4 – корпус; 5 – патрубок.

Рисунок 1. Схема сушильної установки з псевдозрідженим (фонтануючим) шаром

Отже, для розробки даної установки, тобто знаходження швидкості сушіння пасту  $TiO_2$  необхідно зняти криву сушіння пасту на лабораторній установці, зображеній на рисунку 1 та отримати ряд важливих показників на даній експериментальній установці. До цих показників відноситься температура повітря, що надходить в камеру, температура в фонтануючому шарі та температура на виході готового продукту; вологість пасту і висушеного продукту; витрати повітря, тепла та електроенергії; питома продуктивність  $1 \text{ м}^3$  фонтануючого шару по випаруваній волозі.

#### Перелік посилань:

1.  $tio_2$  – двуокись титана, диоксид титана, производители, новости отрасли, обзоры / Режим доступу:[ <http://www.titanium-chemical.com/titanium-dioxide-manufacturing-processes/>].
2. Збірник тез доповідей науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів” – К. КПІ, 2008 – 111 с.

**УДК 676.056.42**

**ПРОЦЕС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРЕСУВАННЯ  
ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА**

**к.т.н., проф. Марчевський В.М., ас. Мельник О.П.,  
магістрант Макаренко А.А.**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»**

Від ефективності роботи пресової частини ПРМ залежать витрати теплової енергії на сушильній частині і продуктивність машини. Преси на вітчизняних ПРМ забезпечують максимальну сухість 35-40%. З метою скорочення витрат пари на сушіння, після пресової частини прагнуть отримати максимально можливу сухість паперового полотна. Тому розробки принципово нових конструкцій пресів і технологій пресування актуальні.

Метою роботи є збільшення кінцевої сухості паперу шляхом інтенсифікації процесу пресування методом контакту паперового полотна з валом, поверхня якого нагрівається до температури понад 150° С.

В роботі поставлені наступні задачі: вдосконалити конструкцію та налагодити роботу існуючої установки для дослідження процесу високотемпературного пресування паперового полотна верхнім пресовим валом, поверхня якого нагріта до температури 250-300 °С; експериментально дослідити кінетику високотемпературного пресування; отримати експериментальні дані, необхідні для конструювання промислового зразка пресу.

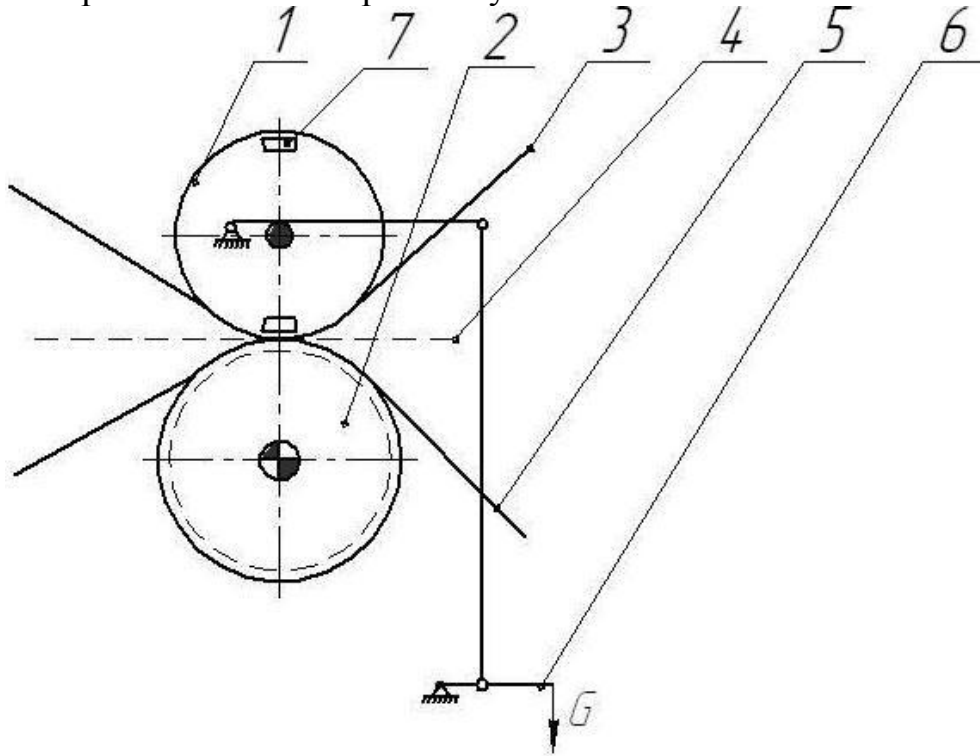
Об'єкт дослідження – процес високотемпературного пресування паперового полотна.

Предмет – дослідження кінетика високотемпературного пресування паперового полотна.

Значного збільшення сухості паперового полотна можна досягти шляхом застосуванням високотемпературного пресування, сутність якого полягає в видаленні вологи з комірок паперу тиском пари, який утворюється в зоні контакту паперового полотна з поверхнею валу, яка нагріта до температури 250 – 300 °С.

Для проведення досліджень розроблено лабораторно-дослідну установку (рисунок 1), яка складається з верхнього гарячого 1 і нижнього жолобчатого валу 2, в захваті яких, між пресовим сукном 5 і сіткою 3, проходить паперове полотно В результаті контакту гарячої поверхні валу з плівкою води, відбувається миттєве скипання води з різким підвищенням тиску пари на поверхні паперового полотна. Під дією тиску, пара витісняє воду з капілярів паперу і конденсується в сукні. Такий спосіб пресування

забезпечує значне підвищення кінцевої сухості паперу і відповідно зменшує витрати теплової енергії на сушильній частині.



- 1 – верхній пресовий вал; 2 – нижній пресовий жолобчатий вал; 3 - сітка;  
4 – паперове полотно; 5 – нижнє сукно, 6 – механізм притискання  
верхнього валу;  
7 – нерухомий електричний нагрівач

Рисунок 1 – Схема дослідної установки для високотемпературного пресування паперового полотна

#### Перелік посилань.

1. В. М. Марчевський, О.П. Мельник. Результати досліджень процесу гарячого пресування паперового полотна. Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. № 1(1)-2008.
2. Дослідження процесу гарячого пресування паперового полотна: Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів(частина 1), зб. тез доповідей VIII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, (Київ, 20-22 квітня 2011 р.) / В.М. Марчевський, О.П. Мельник, М.Г. Дзюба - Національний технічний університет України, Інженерно-хімічний факультет :НТУУ «КПІ» 2011. - 100 с.

УДК 676.05

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КАЛАНДРУВАННЯ ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА НА МАШИННИХ КАЛАНДРАХ

к.т.н., доц. Семінський О.О., магістрант Мигаль О.В.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Каландрування паперового полотна є одним з найбільш важливих технологічних процесів у паперовому виробництві, від якого залежить якість готової продукції. На більшості папероробних машин машинний каландр встановлюється після сушильної частини, і призначений для підвищення лоску, гладкості та об'ємної маси паперу, а також для надання йому рівномірної товщини по ширині полотна і збільшення довжини.

Конструкційно машинний каландр складається з металевих валів, які зазвичай розташовані у вигляді вертикальної батареї. При каландруванні паперове полотно послідовно проходить в зазорах між валами. Вали притискаються один до одного бічними поверхнями за рахунок власної ваги та за допомогою механізмів притискання і виважування і опираються на корінний вал станини, в якій розміщені корпуси підшипників і важелі валів, привод для обертання нижнього або другого знизу вала.

На показники каландрування в основному впливають, лінійний тиск в захватах валів, число хватів, тривалість каландрування, температура валів і вологість оброблюваного полотна. Найбільш важливий параметр каландрування – лінійний тиск і його розподілення по ширині площадки контакту між валами і паперовим полотном. Ширина площадки контакту між валами та папером залежить від ступеня ущільнення паперу між валами, що забезпечується, за рахунок коректного вибору, фізико-механічними характеристиками матеріалу валів, обробки бічної поверхні.  
[1]

Кількість валів в каландрі залежить від типу виробленого паперу. На машинах малої та середньої швидкості у більшості випадків встановлюють шестивальний каландр, а при виготовленні тонкого паперу кількість валів може бути обмежена трьома. Більшу кількість валів (8...10) мають каландри швидкохідних папероробних машин для створення газетного паперу, який повинен мати високу гладкість.

Тиск між валами каландра зазвичай створюється їх власною вагою, і додатковим притисканням. За відсутності додаткового притискання лінійний тиск між першим і другим знизу валами шестивального каландра  $q_{1-2} = 500 \dots 600 \text{ Н/м}$ , при восьмивальному каландрі  $q_{1-2} = 700 \dots 800 \text{ Н/м}$ , а при десятивальному— до  $1000 \text{ Н/м}$

На папероробних машинах малої та середньої швидкості в сушильній частині, з метою зволоження та ущільнення паперового полотна, інколи додатково встановлюється двовальний напівсухий каландр.

Ущільнення паперу на двовальному каландрі, окрім лінійного тиску між валами, суттєво залежить від сухості паперу, що проходить через каландр. При необхідності сильно ущільнити папір двовальний каландр встановлюється після першої третини або половини сушильних циліндрів; сухість паперу при пропусканні через каландр складає 55...65%. Коли паперове полотно повинно бути ущільнене менше, двовальний каландр встановлюється після 2/3 сушильних циліндрів, де сухість паперу складає 75...80%, що полегшує заправлення і зменшує можливість роздавлення паперу. Величина лінійного тиску між валами (400...500 Н/м) регулюється механізмом притискання і виважування валів.

Холодильні циліндри в сушильній частині підвищують вологість паперового полотна перед підходом його на каландр на 1...2,5%, що позитивно впливає на процес каландрування.

При каландруванні частина механічної енергії переходить в теплову і виділяється значна кількість тепла. У зв'язку з цим вологість паперового полотна на каландрі зменшується, а з нею знижується і ступінь впливу каландрування на паперове полотно. Для відведення тепла передбачено охолодження середніх валів водою. Для подачі води під тиском 0,1...0,15 МПа вали оснащені наскрізними отворами.

Якщо паперове полотно має велику вологість то його пропускання між нижніми валами, де лінійний тиск досягає максимуму, ускладнюється. У зв'язку з цим передбачається можливість подачі пари під тиском 0,2...0,8 МПа для підігрівання середніх валів.

Підігрівання попередньо охолоджених валів, або охолодження попередньо нагрітих валів проводиться поступово, за декілька годин, щоб не викликати значних температурних напружень, які можуть призвести до недопустимим деформацій валу. [2]

#### **Перелік посилань:**

1. В.А. Чичаев, Оборудование целлюлозно-бумажного производства, 1981г., ст. 196
2. И.Я. Эйлин, Бумагоделательные и отделочные машины, 1970г., ст. 388

**УДК 66.047.541**

**ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ  
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ БІШОФІТУ**

**к.т.н., проф. Марчевський В.М., асистент Улітько Р.М.,  
магістрант Галстян А.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Шестиводний хлорид магнію (більш відомий, як BISHOFIT, або bishophit), є природним осадовим мінералом класу галогенідів. Найбільш відомі родовища розташовані в Німеччині, Ізраїлі (Мертве море), Росії (Волгоград), та Китаї [1]. В Україні крупні поклади розвідані в Полтавській та Чернігівській областях.

Одна з сфер застосування бішофіту – в можливості отримання з нього цінних речовин, таких як оксид, гідроксид, карбонат магнію, металічний магній. З 1 м<sup>3</sup> ропи хлориду магнію з концентрацією 420 кг/м<sup>3</sup> можна отримати біля 177 кг оксиду магнію, або 107 кг металічного магнію[2]. Ринок для цих продуктів величезний, тому дослідні роботи з вдосконалення виробництва та розробки і впровадження ефективних сушарок актуальні.

Мета роботи – дослідження кінетики процесу сушіння кристалічного бішофіту і отримання основних показників, необхідних для розробки промислової установки.

Задачі дослідження – розробка методики експериментального дослідження, створення лабораторної установки, та отримання на основі експериментальних досліджень питомих показників процесу сушіння.

Об'єкт дослідження – процес сушіння бішофіту.

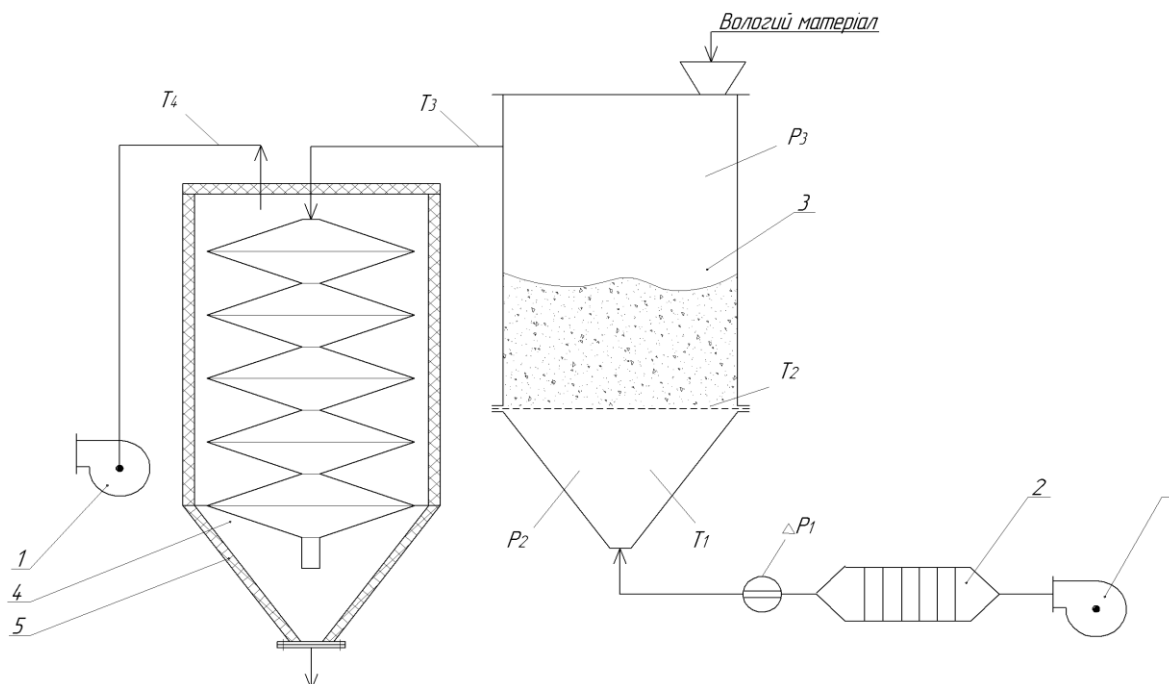
Предмет дослідження – кінетика сушіння і визначення основних параметрів процесу.

Для виконання робіт було створено лабораторну установку (рис. 1), яка складається з двох вентиляторів високого тиску 1 для подачі свіжого і видалення відпрацьованого сушильного агента, електричного калорифера 2, сушарки псевдозрідженого шару 3 з безпровальною газорозподільчою решіткою, рукавного фільтра 4.

Для вимірювання температури на вході в сушарку  $T_1$ , киплячого шару  $T_2$ , на виході з сушарки  $T_3$  та на виході з фільтра  $T_4$  використано цифровий потенціометр. Різницю тисків на діафрагмі  $\Delta P_1$ , тиск під газорозподільчою решіткою  $P_2$  та розрідження в сушарці  $P_3$  вимірювались за допомогою водяних дифманометрів.

Початковими дослідженнями встановлено недостатню ефективність очистки відпрацьованого сушильного агента циклоном, який допускав втрати до 50% виносу дрібних частинок. Тому замість циклона встановлено рукавний фільтр, що забезпечує ефективну очистку відпрацьованого теплоносія.

Для запобігання втрат тепла зовнішньою поверхнею фільтра та конденсації вологи в його середині корпус фільтра теплоізований мінераловатним полотном.



1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – сушарка з киплячим шаром;  
4 – рукавний фільтр; 5 – теплоізоляція.

Рисунок 1 – Лабораторна установка

На лабораторній установці було проведено пілотні досліди, під час яких отримано наступні результати:

Експериментально визначено робочу швидкість псевдозрідження  $V = 0,9 \div 1,25$  м/с; максимальну висоту псевдозрідженого шару  $H_{п} = 0,4 \div 0,45$  м; висоту нерухомого шару  $H_{н} = 0,2 \div 0,4$  м; відсоток виносу з псевдозрідженого шару в рукавний фільтр  $\varphi = 30$  %.

При запуску сушарки на вологому матеріалі спостерігалось сильне комкування бішофіту, яке значно погіршує режим кипіння; пуск на сухому шарі відбувається легко, кипіння шару при вказаній висоті шару та рівномірній подачі вологого бішофіту стійке; при температурі теплоносія на вході в шар до  $100$  °С і температурі в шарі  $70 \div 80$  °С оплавлення і налипання бішофіту на газорозподільну решітку не відбувається. Оплавлення кристалів бішофіту починається при температурі теплоносія  $115$  °С. Отримана залежність гідравлічного опору решітки від величини динамічного напору

$$\Delta p = 13200(W^2\rho)/2-2280, \text{ Па,}$$

де  $W$  – швидкість теплоносія в перетині сушарки, м/с;

$\rho$  – густина теплоносія,  $\text{кг/м}^3$ .

Проведені попередні досліди показали, що лабораторна установка підготовлена для проведення заключних дослідів кінетики сушіння бішофіту в псевдозрідженому шарі.

Перелік посилань:

1. Кольман Я., Рём К.Г. Наглядная биохимия: Пер. с нем. М., Мир, 2000.
2. Greenwood N.N., Earnshaw A. Chemistry of the Elements, Oxford: Butterworth, 1997.



УДК 676.05

**УСТАНОВКА ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ЦЕЛЮЛОЗНО-  
ПАПЕРОВИХ ВІДХОДІВ**

**магістрант Котляр К.М., к.т.н., проф. Марчевський В.М.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Біогаз - суміш газів. Його основні компоненти: метан ( $\text{CH}_4$ ) - 55-70% і вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) - 28-43%, а також в дуже малих кількостях інші гази та водяна пара, наприклад - сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ). [1]

Актуальним є вирішення проблеми виробництва біогазу шляхом подальшого використання відходів целюлозно-паперових підприємств для перетворення їх в цукри за допомогою ферментів, які в подальшому використовуються в якості поживних речовин для бактерій метанового бродіння.

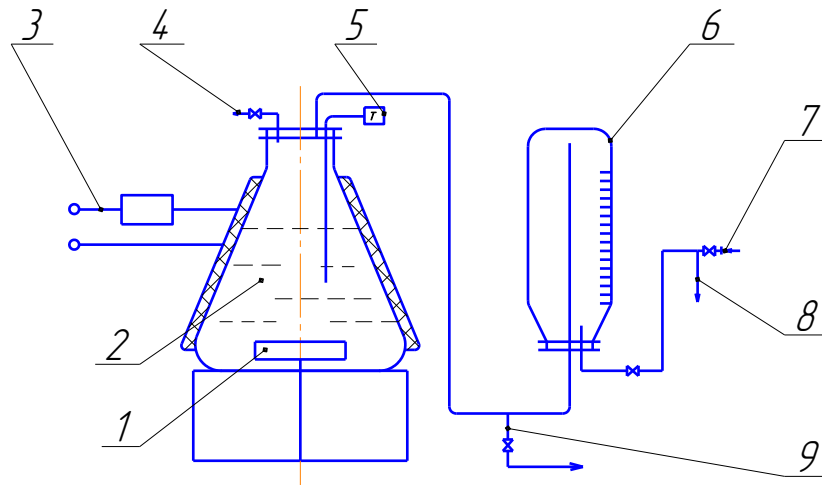
Метою даної роботи є теоретичне і експериментальне вивчення кінетичних закономірностей процесу отримання біогазу із відходів целюлозно-паперового виробництва та встановлення основних параметрів технологічного процесу.

Найбільш ефективним і перспективним базовим методом утилізації відходів є метанове зброджування в анаеробних умовах. У процесі переробки вихідної сировини методом метанового зброджування утворюється три первинних продукти, а саме: мул, біогаз і рідкі стоки. [2]

В умовах гострої нестачі енергоресурсів в Україні, є можливість отримати додаткові обсяги енергоносіїв шляхом виробництва біогазу з відходів целюлозно-паперових підприємств.

Але для практичного вирішення цієї проблеми необхідно мати достовірні експериментальні дані, необхідні для розрахунків виробничого процесу і конструкції реактора.

На рис. 1 представлена схема отримання біогазу.



1 - магнітна мішалка; 2 – біореактор; 3 – регулятор температури; 4 – штуцер для скиду повітря; 5 – термометр; 6 – газгольдер; 7 – штуцер для заповнення газгольдера водою; 8 – штуцер для відводу води; 9 – штуцер для відбору газу.

Рисунок 1 Схема лабораторної установки для отримання біогазу

Впровадження біогазових установок покращує екологічну обстановку на прилеглих територіях, запобігають шкідливим впливам на довкілля.

Біогаз, отриманий з використанням відходів целюлозно-паперового виробництва, які постійно поновлюються, є високоефективним альтернативним джерелом енергії, а активний мул, очевидно, можна використати в якості органічних добрив.

#### Перелік посилань:

1. Л.А. Кособуцкый, И.Ф. Клещев. Основы общей микробиологии. – Харьков, 2005г. – 245 с.
2. Бейли Д., Оллис Д. Основы биохимической инженерии. В 2-х частях. – М.: Мир, 1989.

УДК 676.026.522

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПАПЕРУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

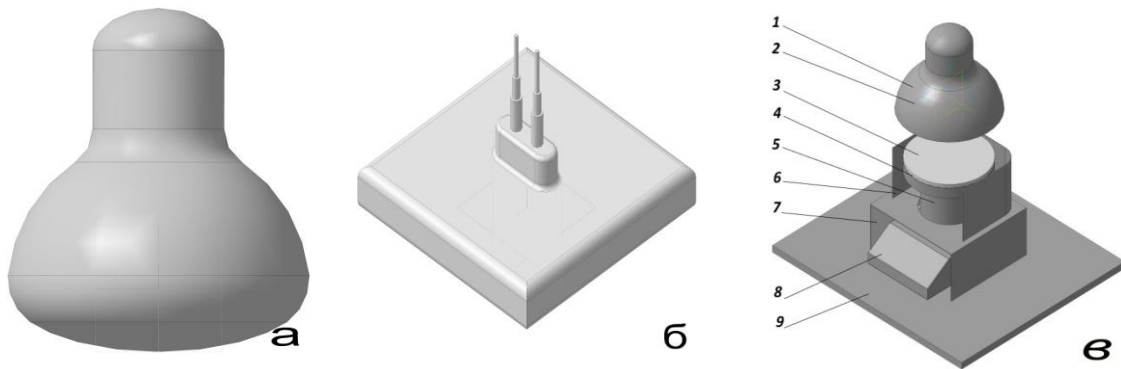
асист. Новохат О.А.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Процес сушіння паперу в целюлозно-паперовому виробництві є одним з найбільш енергоємних [1]. Тому покращення цього процесу зі зменшенням витрат енергії є актуальним.

Аналіз сучасних папероробних машин (ПРМ) показав, що найпоширенішим методом сушіння паперу є сушіння контактним методом на сушильних циліндрах. Рідше застосовують фільтраційне сушіння, конвективне, в вакуумі та ін. Для інтенсифікації процесу за кордоном широко застосовують інфрачервоні (ІЧ) випромінювачі [2]. Цей метод (радіаційний) є безконтактним. Напротивагу закордонним ПРМ, в Україні радіаційний метод не знайшов широкого застосування. Це спонукало до вивчення доцільності використання цього методу.

В роботі досліджено кінетичні закономірності сушіння паперу із використанням електричних ІЧ випромінювачів лампового та плоского типу потужністю 200 та 1000 кВт відповідно (рис. 1).



а – лампового типу (200 Вт); б – керамічний плоского типу (1000 Вт);  
в – лабораторна установка

1,2 - рефлектор з ІЧ випромінювачем; 3 – дослідний зразок  
(папір); 4 – сітка; 5 – підтримуюча платформа; 6 – повітрязахисний  
кожух; 7 – теплоізоляційний кожух; 8 – ваги; 9 – вібростійка  
поверхня

Рисунок 1 – Спрощена модель лабораторної установки та типи  
інфрачервоних випромінювачів

За отриманими даними побудовано ряд графічних залежностей [3].  
На рисунку 2 та 3 показано графічні залежності вологовмісту паперу від

часу сушіння (криві сушіння) для обох типів ІЧ випромінювачів для флютингового та газетного паперів відповідно.

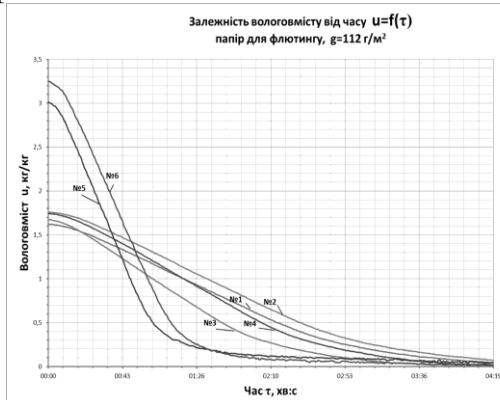


Рисунок 2 – Криві сушіння для флютингового паперу

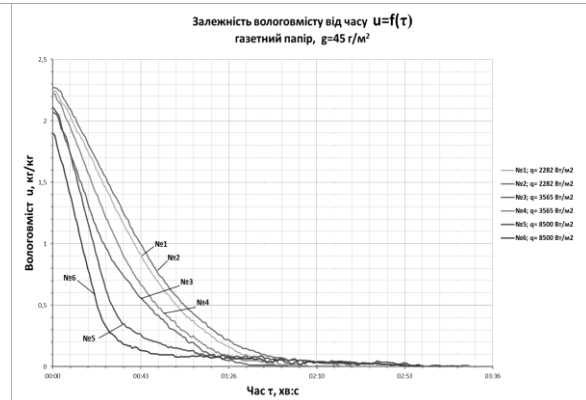


Рисунок 3 - Криві сушіння для газетного паперу

Аналіз результатів дослідів та літературного огляду встановив, що найбільш доцільно використовувати ІЧ випромінювачі в таких випадках:

— На початку сушіння для більш швидкого прогріву паперу. Це пов'язано з тим, що ІЧ випромінювання має здатність проникати в увесь об'єм пористого матеріалу і швидкість прогріву не обмежується теплопровідністю матеріалу. При цьому велика вологість паперу на початку сушіння дозволить застосовувати більш потужні випромінювачі.

— Після нанесення покриття на паперове полотно. Адже радіаційний є безконтактним методом. Це унеможливує налипання клеїльного розчину на робочу поверхню подальших сушильних циліндрів.

— В кінці сушильної частини як спосіб автоматичного вирівнювання сухості паперового полотна по всій його ширині та досушування полотна при необхідності.

### Перелік посилань:

1. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности – М.: Химия, 1970. – 483с.
2. J. Seyed-Yagoobi, S.J. Sikirica, and K.M. Counts. Heating/drying of paper sheet with gas-fired infrared emitters – pilot machine trials. – IDS2000, Paper № 319.
3. XV Міжнародна наукова конференція «Вдосконалення процесів та обладнання харчових і хімічних виробництв»: Збірник статей: – Одеса: ОНАХТ, 2011, С.240-242.

УДК 676.017

**КОНСТРУКЦІЯ МАШИН ДЛЯ БЕЗНОЖОВОГО  
РОЗМЕЛЮВАННЯ ПАПЕРОВОЇ МАСИ**

**магістрант Куріченко О.Ю., к.т.н., доц. Семінський О.О.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Машини для безножового розмелювання паперової маси набули широкого застосування при виробництві багатьох видів картонно-паперової продукції на етапі підготовки маси і використовуються для вирівнювання помелу, покращення ступеня розробки волокон в масі та гомогенізації маси.

В залежності від принципу дії та домінуючого впливу на волокна такі машини поділяються на роторно-пульсаційні, типу струміль-перешкода, кавітаційні та акустичні машини.

З усіх безножових машин для дорозпуску та часткового розмелу, найбільшого розповсюдження та розвитку набули роторні апарати пульсаційного типу. Ці млини мають найрізноманітніші варіанти виконання та назви: ентштиппер, фіберайзер, супратонатор, фібротом, відцентрово-пульсаційний апарат, диспергатор, дефібратор, дефлакер та ін.

Ентштиппер – найбільш розповсюджений варіант пульсаційного млина. Його робочими органами є статорні і роторні кільця, що встановлюються з чередуванням та розташовані співвісно одне до одного. Роторними кільцями оснащений диск, що обертається, а статорними кільцями оснащена кришка корпусу млина. І статорні, і роторні кільця мають робочі виступи з прорізами між ними. Для забезпечення кращої обробки волокнистої суспензії, збільшують кількість виступів на кільцях від центру до периферії, а ширину прорізів між виступами зменшують.

Паперова маса подається через центральний патрубок до внутрішнього роторного кільця і спрямовується в прорізи на його бічній поверхні. Рухаючись в радіальному та азимутальному напрямках маса переходить в інші прорізи ротора та статора і переміщується від кілець з меншим діаметром до кілець з більшим діаметром. Обробка волокон відбувається як в прорізах, так і в радіальних зазорах між кільцями ротора і статора.

Серед переваг ентштиппера необхідно відмітити простоту конструкції машини, високі показники енергоефективності та якості маси [1].

Менш розповсюдженою є конструкція тридискового фіберайзера, який також призначений для остаточного розпускання та гомогенізації волокнистих суспензій. Робочими органами цього млина є три диска з просвердленими отворами, діаметр яких зменшується від центру до периферії. Диск ротора розташований між двома дисками статора з зазором 1...1,5 мм. Отвори в дисках виконуються по концентричним окружностям, при чому центри отворів на роторі зміщені на півкроку по відношенню до отворів на диску статора.

Обробка маси в фіберайзері відбувається наступним чином. Маса подається по вхідному патрубку в перший ряд отворів роторного диску, і розподіляючись на два потоки, потрапляє через робочий зазор в суміжні ряди отворів лівого та правого статорних дисків. Проходячи послідовно з отворів статора в отвори ротора через робочий зазор, маса диспергується та видаляється через вихідний патрубок.

З пульсаційних млинів найбільшої уваги заслуговують пульсаційні млини конічного типу, які суміщають в собі принцип радіального та осевого переміщення маси в зоні обробки. Для створення такого руху, гарнітура, яка закріплена на валу ротора та в корпусі статора, має три ряди пазів та виступів на конічних поверхнях. Перевагами даної конструкції є: наявність механізму присадки, що дозволяє регулювати процес обробки маси; більша жорсткість та міцність кріплення робочих виступів, спроможна витримати потрапляння твердих включень.

Пульсаційний млин типу суперфайнер, як і ентштиппер, складається з рухомих та нерухомих кілець: ротора та статора. Відрізняється конструкція тим, що внутрішні поверхні статорних та зовнішні поверхні роторних кілець виконані з невеликою конусністю, і впроваджено механізм присадки, який дозволяє змінювати зазор між конічними поверхнями за допомогою переміщення ротора. Така конструкція дозволяє працювати з малими зазорами. Тому в даному млині може суміщатися ножовий та гідродинамічний вплив на волокно. Характер обробки можна регулювати в широкому діапазоні, і можливо отримати результати, близькі до результатів розмелу на ножових млинах [2].

Останнім часом, широкого розповсюдження набула конструкція пульсаційного млина, розроблена німецьким концерном Voith Paper під назвою Disperser HDT.ED, яка представляє собою модифікацію класичного дводискового ентштиппера. В цій конструкції також реалізована система підігріву суспензії парою для її пом'якшення і збільшення ефекту фібриляції та подача сировини шнековим живильником [3].

Загальним недоліком вищеописаних млинів є необхідність ретельного очищення маси від твердих домішок, оскільки потрапляння їх в робочий об'єм машини може призвести до виходу його з ладу. За рахунок особливості конструкції, негативний вплив твердих домішок зменшується в пульсаційних млинах конічного типу. Найбільший ефект збільшення ступеня помелу маси досягається в суперфайнері.

#### **Перелік посилань:**

1. Легоцкий С.С., Гончаров В.Н. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы – М: Лесная промышленность, 1982. – 364 с.
2. Пашинский В.Ф. Машины для размола волокнистой – М.: Лесная промышленность, 1972. – 160 с.
3. Disperser HDT.ED and DX.CI with direct heating: VP FES 1041 en 02, 2008 – 2 с.

## ЗМІСТ

### СЕКЦІЯ 1

#### «МАШИНИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ»

<b>1. Корнієнко Я.М., Косянчук В.О., Михальчук О.Д.</b> ОСОБЛИВОСТІ ДИСПЕРГУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ РОЗЧИНІВ МЕХАНІЧНИМ ДИСПЕРГАТОРОМ	5
<b>2. Корнієнко Я.М., Гатілов К.О., Кравчук М.А.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ АПАРАТУ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ ТА ЦИРКУЛЯЦІЙНИМИ ВСТАВКАМИ	6
<b>3. Серебрянський Д.О., Плашихін С.В., Захаров О.О.</b> ОЧИСТКА НЕОДНОРІДНИХ ГАЗОВИХ СИСТЕМ В ЦИКЛОФІЛЬТРИ	7
<b>4. Кукоба С.В., Рябцев Г.Л.</b> ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	11
<b>5. Швед М.П., Резнік Р.Ю.</b> КАСКАДНА ЕКСТРУЗІЯ ПОЛІМЕРІВ	13
<b>6. Чалов К.В., Тихонов М.Ю., Луговой Ю.В., Косивцов Ю.Ю., Сульман Э.М.</b> КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ПИРОЛИЗ НЕФТЕШЛАМОВ	15
<b>7. Косивцов Ю.Ю., Сульман Э.М.</b> КАТАЛИТИЧЕСКИЙ ПИРОЛИЗ ТОРФА И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	17
<b>8. Нагорний О.В., Смілян І.О., Степанюк А.Р.</b> ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ	19
<b>9. Подолянець В. А., Смілян І.О., Степанюк А.Р.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ В ПОЛІ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ	21
<b>10. Кучеренко І. В., Карпенко О. П., Степанюк А. Р.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ АМОРФНИХ ТА ВОДОРОЗЧИННИХ ГУМІНОВИХ КОМПОНЕНТІВ БУРОГО ВУГІЛЛЯ	23

<b>11.Швед М.П., Войцеховська Є.М.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СПІНЮВАННЯ ЕКСТРУДОВАНИХ ПІНОПОЛІМЕРІВ	25
<b>12.Корнієнко Я. М., Мельник М. П.</b> ОБГРУНТУВАННЯ УМОВ ПРОЦЕСІВ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ РІДКИХ ГЕТЕРОГЕННИХ СИСТЕМ В ПСЕВДОРОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ	27
<b>13. Корінчук Д. М., Воронін Л. Г., Захлебняк М. В., Степанюк Ю.М.</b> ОБГРУНТУВАННЯ СПРОЩЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АДСОРБЦІЙНОГО НАСИЧЕННЯ ШАРУ СОРБЕНТУ В ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІ	29
<b>14.Кучерук Д.Д., Красуленко І.С.</b> ОЧИЩЕННЯ ЛУЖНИХ РОЗЧИНІВ ВІД КАТІОННИХ БАРВНИКІВ НАНОФІЛЬТРАЦІЙНОЮ КЕРАМІЧНОЮ МЕМБРАНОЮ	31
<b>15.Швед М.П., Петренко О.В.</b> НАВАНТАЖЕННЯ, ДІЮЧІ НА ВАЛ ТА ШЕСТЕРНІ НАСОСА	33
<b>16.Швед М.П., Рудакова В.А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗЧИННОСТІ ПОЛІМЕРІВ СПІНЮВАЛЬ- НИМИ АГЕНТАМИ	35
<b>17. Корінчук Д. М., Воронін Л. Г., Степанюк Ю. М., Захлебняк М. В.</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ ШАРУ СОРБЕНТУ АДСОРБЦІЙНОГО ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА	37
<b>18.Андрєєв І.А., Валуйскова С.С.</b> ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ШАРУ ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНОГО РОЗЧИНУ ПРИ ВІБРОЕКСТРУЗІЇ ФІБРОБЕТОННИХ ВИРОБІВ	39
<b>19.Богатир А.С., Троценко Л.Н.</b> ОБПАЛЮВАЛЬНА ПІЧ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВАПНА	41

## СЕКЦІЯ 2

### «КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ БІОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»

<b>20. Кучеренко І. В., Карпенко О. П., Степанюк А. Р.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МІКРОШАРУ ПРИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВОДОРОЗЧИННИХ ГУМІНОВИХ КОМПОНЕНТІВ ТОРФУ	44
<b>21.Снежкін Ю.Ф., Сімороз Д.О., Степанюк А.Р.</b> ПРОЦЕС СУШКИ ПОДРІБНЕНОЇ МОРКВИ В КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ	46



<b>22.Андрєєв І.А., Ан Г.Ю.</b> ПРОЦЕС ЛАМІНАРНОГО КОНВЕКТИВНОГО ЗМІШУВАННЯ ПРИ ВІБРОЕКСТРУЗІЇ ФІБРОБЕТОНУ	48
<b>23.Семененко Д.С., Левчук І.О., Зубрій О.Г.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ НАДЦЕНТРИФУГИ	50
<b>24.Тимошенко В.С., Семінський О.О.</b> ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОТОРНО- ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТУ ЦИЛІНДРИЧНОГО ТИПУ	52
<b>25.Герич О.С., Ракицький В.Л.</b> ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРАКЦІЇ	54
<b>26.Дубовкіна І.О., Целень Б.Я.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВІВ МЕХАНІЗМІВ ДИСКРЕТНО- ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ	55
<b>27.Костик С.І., Процишін Б.М.,</b> ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ	58
<b>28.Зуєв Н.А.</b> СТИМУЛЯЦІЯ СЕМЯН ГОРЧИЦЫ И ЛУКА, ВЫСУШЕННЫХ ИК- СПОСОБОМ	61

### **СЕКЦІЯ 3**

#### **«ОБЛАДНАННЯ РЕСУРСОЕНЕРГОЗАОЩАДЖУЮЧИХ І ЕКОБЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ХОЛОДИЛЬНИХ І ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

<b>29.Луценко І.В., Троценко Л.М.</b> УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛА В ПЕЧІ ДЛЯ ОБПАЛУ ВАПНЯКУ	64
<b>30.Сігал О.І., Бикоріз Є.Й., Капітонов В.І, Корінчук К.О.</b> ВПЛИВ ВВЕДЕННЯ ВОЛОГИ З ДУТТЄВИМ ПОВІТР'ЯМ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОТЛА	67
<b>31.Троценко Л.М., Воронін Л.Г., Зуй К.О.</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ РАДІАЦІЙНОМУ НАГРІВУ ЗМЕРЗЛИХ ВАНТАЖІВ	69
<b>32.Собченко В.В., Негода О.А.</b> ПРОЦЕС ТЕРМООБРОБКИ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ В ВИХРОВОМУ АПАРАТІ КОНІЧНОЇ ФОРМИ	71
<b>33.Собченко В.В., Орайло О.Г.</b> ПРОЦЕС ТЕРМООБРОБКИ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ В АПАРАТІ З ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯМ ШАРОМ	73

<b>34.Снежкін Ю.Ф., Зубрій О.Г., Фільова М.Р.</b> СУШІННЯ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ТІЛ	75
<b>35.Ільєнко Б.К., Дмитрієв В.М., Гета В.В.</b> РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ УЛЬТРАСЕЛЕКТИВНОГО ПРОЛІЗУ РІДКИХ НАФТОВИХ ФРАКЦІЙ	77
<b>36.Воронін Л.Г., Андрєєв І.А., Комкіна Н. В.</b> ПЛИН ФІБРОБЕТОННОЇ СУМІШІ В КІЛЬЦЕВОМУ КАНАЛІ, ЯКИЙ ЗВУЖУЄТЬСЯ	79
<b>37.Серебрянський Д.О., Семенюк М.В.</b> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВЛОВЛЮВАННЯ ЧАСТОК ЗА ДОПОМОГОЮ МАТРИЦІ ПЕРЕХІДНИХ ІМОВІРНОСТЕЙ	81
<b>38.Химич І.І., Собченко В.В.</b> ЕКСПЕРИМЕНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРМОПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА СПУЧЕНОГО ПЕРЛІТУ	83
<b>39.Ільєнко Б.К., Шпиль М.О.</b> ВДОСКОНАЛЕННЯ УСТАНОВОК ПИЛЕВЛОВЛЕННЯ В СИСТЕМАХ АСПРАЦІЇ ЦЕХІВ АНОДНОЇ МАСИ АЛЮМІНІЄВИХ	85
<b>40.Дабіжа Н.О., Корінчук Д.М.</b> ТЕПЛОАСОСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	87
<b>41.Корінчук Д.М., Дабіжа Н.О., Корінчевська Т.В.</b> ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ АДСОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ	90
<b>42.Елизаров И.В.</b> МЕМБРАННАЯ ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ	92
<b>43.Коринчук Д.Н., Бякова Е.М.</b> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА НА КИНЕТИКУ СУШКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ	95
<b>44.Голубок Д.С., Зубрій О.Г.</b> РОЗПИЛЮВАЛЬНИЙ МЕТОД ВИСУШУВАННЯ РІДИННИХ МАТЕРІАЛІВ	97
<b>45.Безушко Н.А, Зубрій О.Г.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ У РОТОРНО-ПЛІВКОВОМУ АПАРАТІ	99

#### СЕКЦІЯ 4

### «КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯ ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОГО ВИРОБНИЦТВА»

- 46. Баранович С.О., Семінський О.О.**  
АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФОРМУВАННЯ  
КАРТОННОГО ПОЛОТНА 102
- 47. Гробовенко Я. В., Марчевський В. М.**  
ПРОЦЕС СУШІННЯ НАПОВНЮВАЧА ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА  
(ОКСИДУ ТИТАНУ  $TiO_2$ ) 104
- 48. Марчевський В.М., Мельник О.П., Макаренко А.А.**  
ПРОЦЕС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПРЕСУВАННЯ  
ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА 106
- 49. Семінський О.О., Мигаль О.В.**  
АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КАЛАНДРУВАННЯ ПАПЕРОВОГО  
ПОЛОТНА НА МАШИННИХ КАЛАНДРАХ 108
- 50. Марчевський В.М., Улітько Р.М., Галстян А.С.**  
ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ПСЕВДОЗРІДЖЕНОГО ШАРУ  
ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ БШОФІТУ 110
- 51. Котляр К.М., Марчевський В.М.**  
УСТАНОВКА ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ЦЕЛЮЛОЗНО-  
ПАПЕРОВИХ ВІДХОДІВ 112
- 52. Новохат О.А.**  
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ  
ПАПЕРУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФРАЧЕРВОНОГО  
ВИПРОМІНЮВАННЯ 114
- 53. Куріченко О.Ю., Семінський О.О.**  
КОНСТРУКЦІЇ МАШИН ДЛЯ БЕЗНОЖОВОГО  
РОЗМЕЛЮВАННЯ ПАПЕРОВОЇ МАСИ 116

---

Підписано до друку 15.11.2011 р. Формат 60x90 1/16.  
Папір офсетний. Умовн. др. арк. 5,1  
Друк різнограф. Тираж 200 прим. Зам. № 0112/01.

---

Підприємство УВОІ "Допомога" УСІ"  
Свідоцтво про державну реєстрацію №531018  
03056, м. Київ, пров. Політехнічний 6, корп. 5 (КПІ)  
Тел.: 277-41-46.