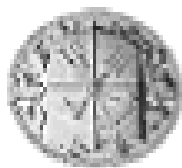
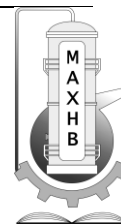


Збірник тез доповідей ХХІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет



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

**”ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ  
ВИРОБНИЦТВ  
І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ  
МАТЕРІАЛІВ”**

23-25 квітня  
Київ 2018

УДК 66

ББК 35.11-5я43

О 16

Збірник тез доповідей ХХІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв підприємств будівельних матеріалів" (23-25 квітня 2018 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 114 с

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

## **"ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ"**

Голова оргкомітету: д.т.н., професор, зав. кафедри МАХНВ  
Корнієнко Ярослав Микитович

Члени оргкомітету:

НТУУ «КПІ»

к.т.н., професор Марчевський Віктор Миколайович

к.т.н., доц. Андреев Ігор Анатолійович

к.т.н., доц. Швед Микола Петрович

к.т.н., доц. Зубрій Олег Григорович

к.т.н., доц. Степанюк Андрій Романович

ІТТФ НАН України

д.т.н., професор Снежкін Юрій Федорович

Інститут Газу НАН України

к.т.н., доц. Ільєнко Борис Кузьмич

Редактор к.т.н., доц. Степанюк Андрій Романович

Комп'ютерна верстка: Улітько Р.М.

Рекомендовано до друку  
Кафедрою машин та апаратів  
хімічних  
і нафтопереробних виробництв  
Протокол № 6  
від 14 квітня 2018 р.

**СЕКЦІЯ 1**

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

УДК 66.081.2

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ ГРАНУЛЬОВАНОГО**

студент Гришин О.Ю., к.т.н., ст.викл., Двойнос Я.Г.

**Національний технічний університет України**

**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

В сучасних умовах розвитку промисловості збільшується потреба у виробництві добрив, а саме, карбаміду, що, в свою чергу, викликає необхідність впровадження нових технологій його виробництва.

Більшість діючих цехів виробництва карбаміду має степінь використання основного виду сировини – аміаку – в межах 95-96% (витратний коефіцієнт 590-595 кг на 1 т). Витрати аміаку відбуваються на різних стадіях технологічного процесу.

Промислові стоки виробництва карбаміду, які складаються з реакційної води (300 кг на 1 т карбаміду); парового конденсату; конденсату, який витрачається на охолодження сальників плунжерних насосів 21 та 22, та періодичних неорганізованих викидів (промивки апаратури, обігрів запобіжних клапанів тощо).

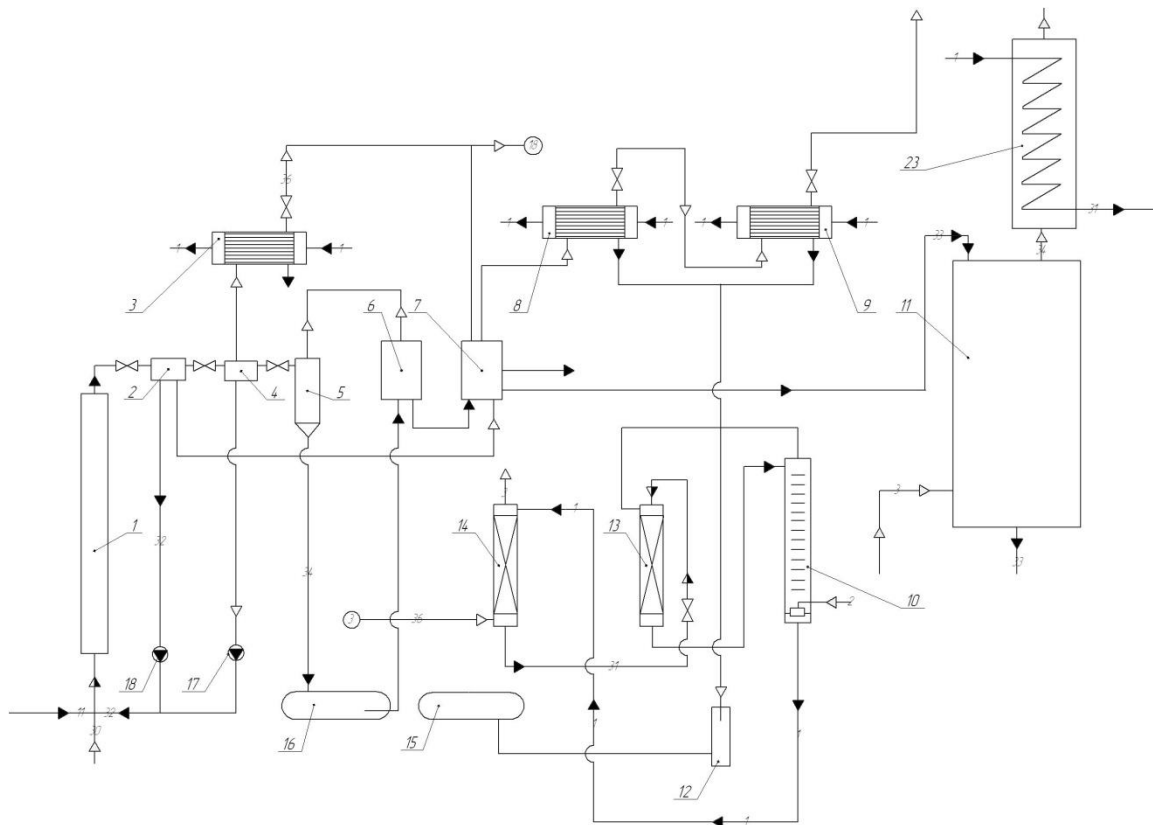
Викиди в атмосферу складаються з повітря, яке відводиться від грануляційної башти 15; інертних газів, які виходять зі скрубера 3 та абсорбера 18; повітря місцевої та загальнообмінної системи вентиляції.

Гранулюванню піддаються розплави в яких міститься від 0,3 до 1 % води. Хоча є свідчення про гранулювання у башті розчинів в яких міститься 85-90 % карбаміду.

Викиди аміаку не тільки збільшують собівартість продукції, а і шкодять довкіллю, тому впровадження сучасних технологій вловлювання аміаку є актуальним.

Пропонується модернізувати абсорбер очистки повітря після грануляційної башти.

Технологічну схему виробництва гранульованого карбаміду зображено на рисунку 1.



1 – Колона синтезу; 2 – вузол дистиляції I ступеня; 3 – скруббер для відмивки  $\text{NH}_3$ ; 4 – вузол дистиляції II ступеня; 5 – вакуумний випарник; 6 – вузол випарки I ступеня; 7 – вузол випарки II ступеня; 8, 9 – конденсатор сокових парів I та II ступеня випарки; 10 – десорбер II ступеня; 11 – грануляційна башта; 12 – гідравлічний затвор для конденсату сокового пару; 13 – десорбер I ступеня; 14 – абсорбер; 15 – збірник аміачної води; 16 – збірник розчину карбаміду; 17 – насос низького тиску для карбомату амонію; 18 – насос високого тиску для карбомату амонія

Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва карбаміду гранульованого.

**Висновок:** використання модернізованого абсорбера дозволяє зменшити витрати абсорбенту за рахунок збільшення тривалості контакту фаз, та збільшення коефіцієнту змащування насадки, тобто уникнення сухих поверхонь за рахунок збільшення товщини плівки абсорбенту, який рухається по нахиленій поверхні і гальмується потоком газу що очищується.

### Перелік посилань

1. Синтез и применение карбамида. Издание Химия. 1970 год.

УДК 66–911.48

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІННОГО АПАРАТУ

студент Євзютін П.Ю., ст.викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Промислові підприємства генерують величезну кількість шкідливих викидів, в тому числі запилених газів, що є серйозною екологічною проблемою. Її вирішення має важливе значення для безпеки планети в цілому. Для вирішення цих проблем розробляються і застосовуються газоочисні і пиловловлювальні установки і цілі системи, потреба в яких зростає з кожним роком і є складовою частиною добре налагодженого виробництва. Стрімкий розвиток промислових виробництв сприяє розширенню і урізноманітненню технологічних процесів, пов'язаних з викидами в атмосферу величезної кількості сумішей, що містять пил і газ.

Для очистки газу від домішок застосовують скрубери, а саме в цій роботі буде розглянуто пінний апарат (барботаажний скрубери). Принцип дії пінного апарату полягає в утворенні потрійної емульсії – вода-газ-тверді частинки. Основною проблемою таких методів очистки – є великі витрати води і утворення великої кількості шламу.

Вирішення наведених вище проблем (зменшення витрат води) можливе за рахунок застосування замість води розчину стеаринової кислоти. Це дозволяє забезпечити зниження витрат води та утворення піни, що має здатність притягувати тверді частинки (фізична модель цього процесу зображена на рисунку 1). Стеаринова кислота – ПАР тваринного походження, що не має негативного впливу на довкілля, після реакції з лугом омилюється і утворюється стеарат, який можливо відновити за допомогою гідролізу в початковий реагент.

Швидкість газу в пінному апараті становить 2 м/с, збільшення швидкості призводить до стискання піни і зменшення корисної дії скрубера. Піна стеаринової кислоти через наявність гідрофобної частина, яка вловлює

частинки пилу, втрачає свої властивості при більшій швидкості і в такому апараті можна збільшити продуктивність при незмінних габаритах.

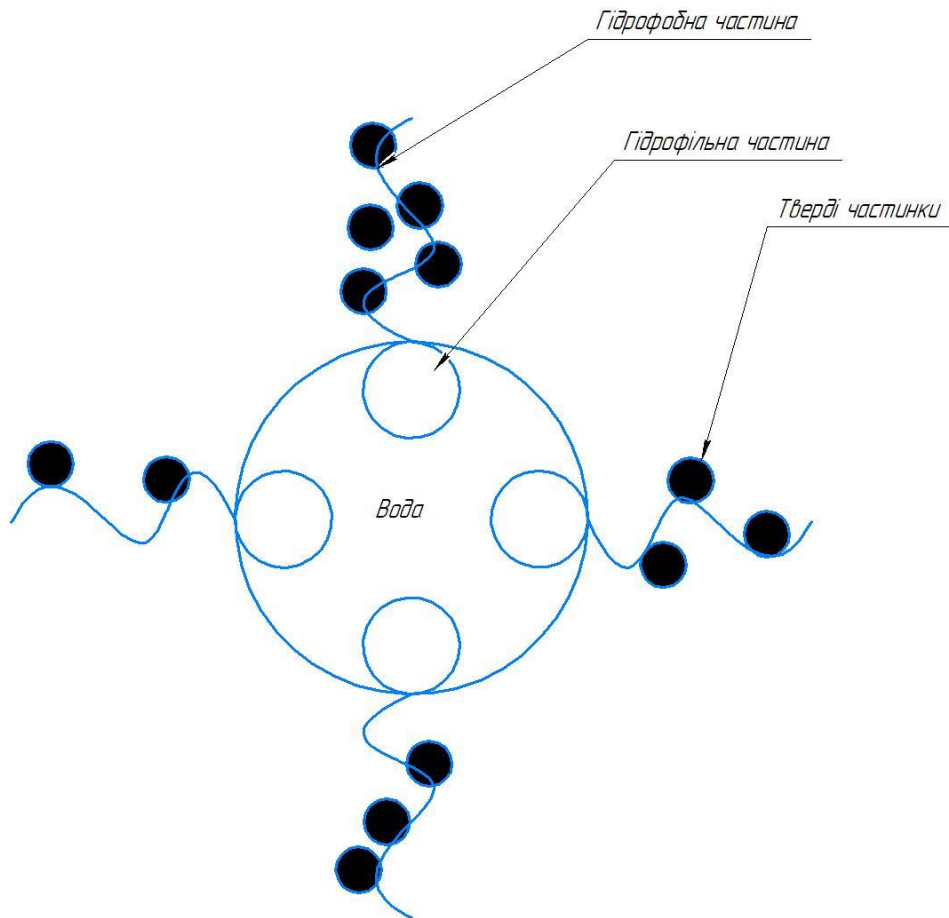


Рисунок 1 – Схема вловлювання твердих частинок за допомогою ПАВ

Підсумовуючи, застосування стеаринової кислоти в процесах мокрої газоочистки є економічно та екологічно доцільним, тому це є актуальним.

### Перелік посилань:

1. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды Учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1989. — 512 с.
2. ГОСТ 6484-96 . Кислота стеариновая техническая (стеарин). Технические условия.

УДК 678.742

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ В СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТУ БЕЗПРЕРИВНИМ СПОСОБОМ

студент Євзютін П.Ю., к.т.н., доцент Швед М.П.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Полівінілацетат(ПВА)– полімер вінілацетату. Інертний прозорий нетоксичний полімер без смаку і запаху, густиною 1180—1190 кг/м<sup>3</sup>. Його молекулярна маса знаходиться в межах від 10000 до 1600000 залежно від способу і умов полімеризації. Має аморфну структуру. Теплостійкість по Віка становить 37–38°C, температура склування — 28°C. При 120°C розвивається незворотня пластична течія.

При нагріванні до 170°C відбувається деструкція ПВА, яка супроводжується виділенням оцтової кислоти і утворенням подвійних зв'язків у головному ланцюгу. В присутності водних розчинів, кислот і лугів при нагріванні він легко гідролізується в полівініловий спирт.

На перший погляд ПВА відіграє малу роль серед полімерів але це не так. Його застосовують для зберігання латексних фарб виготовлення клею, покриття підлоги та паперу та багато іншого.

Технологічний процес отримання ПВА безперервним методом (Рис.1.) складається зі стадій приготування розчину ініціатора, полімеризації вінілацетату і відгону вінілацетату, що непрореагував.

Вінілацетат у вигляді рідини безперервно надходить в перший полімеризатор-1, до якого подається також ініціатор - розчин динітрилу азобісізомаєляноїкислоти в метанолі. Полімеризацію проводять при 65-68°C протягом 4 годин.

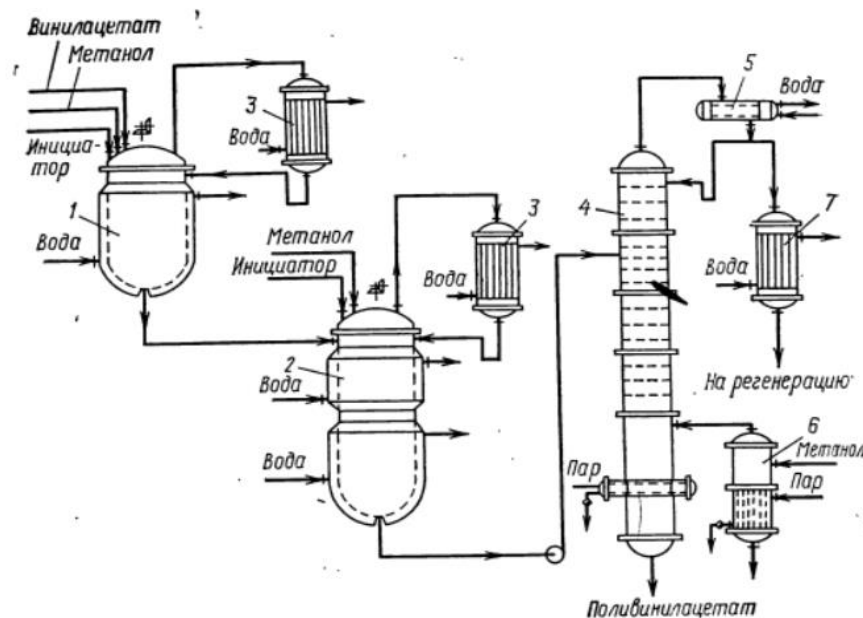
Потім реакційна суміш надходить у полімеризатор –2, куди безперервно завантажують метанол і розчин ініціатора в метанолі. Вміст метанолу в полімеризаторі доводять до 25-30% (об.) та ініціатора до 0,065-0,075 мас.ч. в перерахунку на вінілацетат та підвищують температуру до 68-70°C



Полімеризацію проводять протягом 4-5 год. Конверсія мономера становить 60-65%.

Розчин ПВА метанолі відганяють ректифікаційній колоні – 4, попередньо розбавивши метанолом. Вінілацетат відганяють подачею метанолу в випарник - 6. Пари вінілацетату, метанолу, ацетальдегіду через конденсатор - 7 направляють на регенерацію. розчин ПВА в метанолі, що містить 25% полімеру, накопичується в збирачі.

Виділення мономера і концентрування метанолу проводять в колонному агрегаті (на схемі не вказано). Вінілацетат після очищення повертають в цикл. Метанол після екстрактивної ректифікації і додаткового очищення використовується для розведення полівінілацетатного лаку.



1,2 –полімеризатори; 3,5,7 – теплообмінники; 4- колона; 6 – випарник.

Рис.1 – Схема безперервного виробництва ПВА:

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що теплообмінники 3,5,7 виконують важливу роль в процесі виробництва, тому їх модернізація є актуальною задачею.

#### Перелік посилань:

1. Коршак В.В. Технология пластических масс –М.,1985. – 562с.

УДК 66.081.63

## **ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ**

студент Камінський В.С., ст.викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Використання процесів ультрафільтрації, нанофільтрації та зворотного осмосу починаючи з 70-х років ХХ століття постійно зростає. Методи моделювання цих процесів є в дуже зручним інструментом при їх проектуванні, модернізації та оптимізації [1]. Однак, внаслідок складності розглядуваних процесів та недоступність явищ, що протікають в порах мембрани, для безпосереднього спостереження існуючими методами, єдиного підходу до моделювання баромембранних процесів не вироблено. Так, в окремих випадках для моделювання використовували методи термодинаміки необоротних процесів, дифузійні моделі, моделі, що враховують потоки в порах, та моделі, що враховують електростатичні явища. Однак, всі вони мають обмеження в застосуванні.

Відносно новим методом, що почав застосовуватися для моделювання різноманітних процесів, є штучні нейронні мережі (ШНМ). ШНМ є спробою частково змоделювати структуру і функції мозку та нейронних систем живих створінь. Кажучи загалом, ШНМ є інформаційною системою, яка складається з величезної кількості простих оброблюючих елементів, що називаються штучними нейронами. Вони взаємно з'єднуються за допомогою ланок або зв'язків і кооперуються для виконання паралельно розподіленого оброблення сигналів для розв'язання певної обчислювальної задачі. Нейронні мережі здатні адаптуватися до умов середовища зміною сили зв'язків або структури [2].

В останні десятиліття метод ШНМ був застосований для моделювання баромембранних процесів. Так, в роботі [1] було проведено порівняння моделей на основі ШНМ та традиційних дифузійних моделей, а також гібридних моделей для випадку підготовки води нанофільтрацією та

зворотним осмосом. Було встановлено, що гібридні моделі та моделі на основі ШНМ передбачають селективність мембран точніше за будь-яку з існуючих дифузійних моделей. Крім того, моделі на основі ШНМ можуть передбачати ефекти, які не можуть бути описані дифузійними моделями, зокрема різкі зміни в селективності при певних комбінаціях потоків та ступенів вилучення.

В роботі [3] було проведено моделювання розділення розчинів органічних сполук нанофільтрцією та зворотним осмосом з використанням ШНМ та обчислювального алгоритму QSAR. При побудові моделі використовувалися експериментальні дані щодо розділення мембранними методами 50 різних органічних речовин. В результаті моделювання було встановлено, що передбачення за моделлю ШНМ збігається з результатами вимірювань на 97%, а стандартне відхилення похибки становить 5%.

Також ШНМ можуть бути застосовані для моделювання дифузійно-мембранних процесів, наприклад вилучення вуглецю з природного газу [4].

Отже, ШНМ, є перспективним інструментом для моделювання процесів мембранного розділення.

#### **Перелік посилань:**

1. Zhao Y., Taylor J., Chellam S. Predicting RO/NF water quality by modified solution diffusion model and artificial neural networks, *Journal of Membrane Science*, 263 (2005) 38–46.
2. Штучні нейронні мережі: навч. Посібник / П.В. Тимошук. – Львів: Вмдавництво Львівської політехніки, 2011. – 444 с.
3. Yangali-Quintanilla V., Verliedde A., Kim T.-U., Sadmani A., Kennedy M., Amy G. Artificial neural network models based on QSAR for predicting rejection of neutral organic compounds by polyamide nanofiltration and reverse osmosis membranes, *Journal of Membrane Science*, 342 (2009) 251–262.
4. Shamsavand A., Pourafshari Chenar M., Neural networks modeling of hollow fiber membrane processes, *Journal of Membrane Science*, 297 (2007) 59–73.

УДК 62-784.431

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЦИЛІНДРО-КОНІЧНОГО ЦИКЛОНА

студенти: Коваль В. О., Крамар. О. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

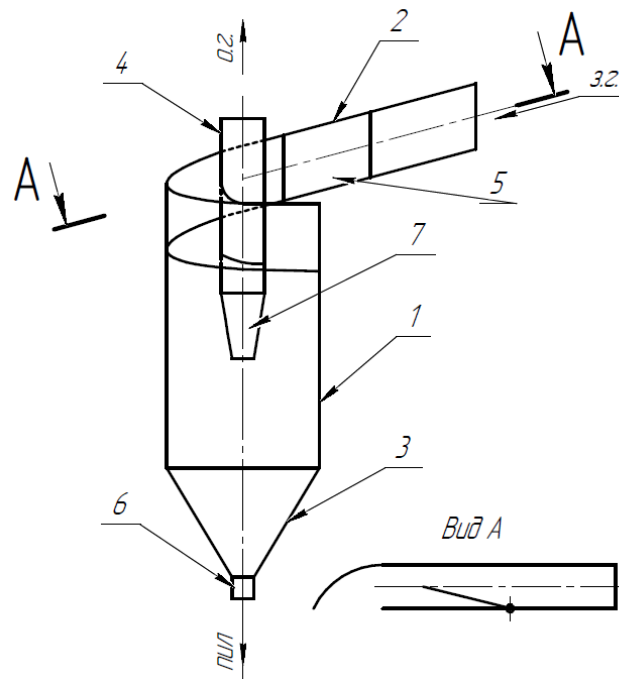
Циклон — апарат для очищення газів або рідин від твердих часток. Принцип очищення полягає в осадженні пилу під дією відцентрових сил. Потік неоднорідної газової системи рухається криволінійним каналом у нерухомому апараті.

Циклон використовують для уловлювання великого і середнього (більше 120 мкм) зернового пилу в аспіраційних установках елеваторів і борошномельних підприємств [1].

Для підвищення розділу неоднорідної газової системи за рахунок інтенсифікації взаємодії відцентрових сил в циліндричному корпусі на вихлопній трубі безпосередньо під вхідним патрубком встановлюють плоску діафрагму, яка утворює зі стінкою корпусу кільцевий прохідний канал, також додають лійкоподібну вставку, більша основа якої з'єднана з корпусом, а вершина розташована на рівні верхнього краю бункера [2]. Ці вдосконалення призводять до утворення застійної зони між лійкоподібною вставкою та корпусом, а також ускладнюють виготовлення конструкції.

Щоб не втрачати ефективності розділення газових систем при вдосконаленні даної конструкції пропонується встановити вхідний патрубок під кутом  $15^\circ$ , а також встановити конічний інерційний жалюзійний віддільник на вихідний патрубок. Для регулювання швидкості в вхідному патрубку встановлюється регулююча заслонка, яка може змінювати площу вхідного патрубка. Для полегшення конструкції пропонується видалення плоскої діафрагми закріпленої на вихідному патрубку. Також потрібно позбутись лійкоподібною вставки, тому що вона призводить до утворення застійної зони між вставкою та корпусом за рахунок того, що потоки газової системи не проходять в цю зону і сприймають її як бункер для пилу.

Удосконалений циклон містить корпус 1 до якого під кутом 15 градусів надходить вхідний патрубок 2, всередині якого знаходиться регулююча заслонка. В нижній частині корпусу знаходиться конічна частина циклона 3, до якої приєднаний пиловідвідний штуцер 6, через який з циклона відводиться осаджений пил. На вихідному патрубку 4 змонтований конічний інерційний жалюзійний віддільник 7, за рахунок якого ми отримуємо додаткову ступінь вловлювання пилю в циклоні (див. рисунок).



1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – конічна частина;  
4 – вихідний патрубок; 5 – регулююча заслонка; 6 – пиловідвідний  
штуцер; 7 - конічний інерційний жалюзійний віддільник.

Рисунок 1 – Схема вдосконаленого циклона

Впроваджуючи ці вдосконалення можна здійснювати більш якісне очищення газової неоднорідної системи з невисокою енерговитратою, також ефективність підвищується, а ступінь очищення газу зростає.

#### Перелік посилань:

1. [https://e-formula.ru/Cyclons/Cyclons\\_index.htm](https://e-formula.ru/Cyclons/Cyclons_index.htm)

Пат. 1722604 Україна МПК(2017.01) B04C 5/08, 5/103. Циклон.

Патентовласник: И. А. Жданов. – №4412074/26; заявл. 18.04.1988; опублік. 30.03.1992, бюл. №12.

УДК 678.742

## ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ У СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ НИЗЬКОГО ТИСКУ

студентка Ковба А.М., к.т.н., доцент Швед М.П.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

В сучасному світі кожухотрубні теплообмінники широко використовуються у різних галузях промисловості. Кожухотрубний теплообмінник – це апарат, що використовується в промисловості для охолодження гарячого теплоносія холодним до заданих параметрів. У виробництві поліетилену кожухотрубний теплообмінник є холодильником, що призначений для охолодження бензину водою.

Кожухотрубні теплообмінники мають суттєві переваги у порівнянні з іншими видами, а саме: висока зносостійкість, простота конструкції, легкість експлуатації, стійкість до високого тиску і його зміни та інші.

Незважаючи на ряд позитивних якостей, модернізація теплообмінного обладнання досі є актуальним питанням, тому що, як і всі інші апарати, кожухотрубні теплообмінники мають певні недоліки. Доволі значним недоліком вважається недостатня інтенсифікація процесу тепловіддачі з боку органічного теплоносія, що спричинено його незначною теплопровідністю.

Кожухотрубний теплообмінник складається з циліндричної обичайки 3, до якої приварені верхня 4 та нижня 9 трубні решітки, у яких закріплені пучок теплообмінних трубок 8. За допомогою болтового з'єднання до верхньої 4 та нижньої 9 трубних решіток кріпляться верхня 5 і нижня 1 кришки. Для підвищення турбулізації потоку в трубному просторі в середину трубок встановлений стержень 12, оснащений набором металевих чи полімерних дистанційно розташованих похилих сегментних полок 13. Стержень фіксується в трубах за допомогою поперечно вставлених на кінцях штифтів 10.

Теплообмінник працює наступним чином: через патрубок 11 подається органічна рідина, яка рухається по трубному простору, омиваючи внутрішню поверхню труб та стержень з похилими сегментними полками, а потім

виходить через патрубок 6. На зустріч у патрубок 2 подається теплоносій, який омиває зовнішню поверхню трубок 8 і виходить через патрубок 7.

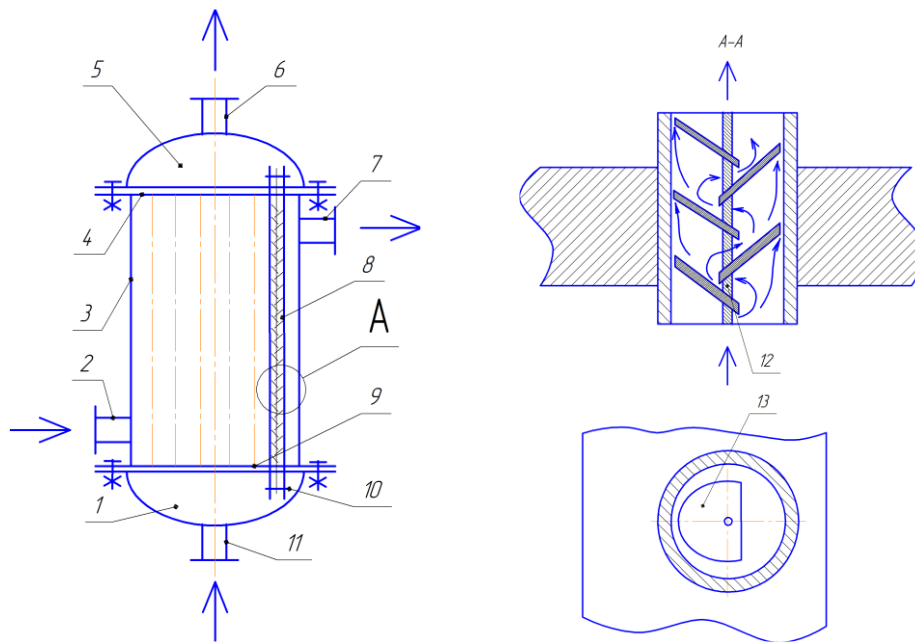


Рисунок 1 – Загальний вигляд апарата

Наявність в середині трубок 8 стержнів 12 із наборами дистанційно розташованих сегментних полок 13 дає змогу пришвидшити та збільшити турбулентність потоку рідини і, тим самим, інтенсифікувати процес тепловіддачі від органічної рідини до стінок трубок, і, відповідно, процес теплопередачі від гарячого теплоносія до холодного. Обертаючи та переміщуючи стержені вздовж трубок можна легко виконати очищення забруднень на внутрішній поверхні трубок, за рахунок взаємодії сегментних полок зі стінками трубок, що дає змогу зменшити термічний опір тепловіддачі.

Таким чином, таке виконання кожухотрубного теплообмінника дозволить підвищити коефіцієнт теплопередачі в теплообміннику за рахунок чого можна зменшити поверхню теплопередачі в випадку проектного розрахунку, або збільшити теплове навантаження теплообмінника при перевірочному розрахунку.

#### **Перелік посилань:**

1. Заявка на патент України, МПК8 F28D 7/00 Вертикальний кожухотрубний теплообмінник / Швед М.П., Ковба А.М.; заявник і патентовласник вони ж. №201712192; заявл. 11.12.2017.

УДК 66.048.5

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ДОСУШУВАЧА ВИРОБНИЦТВА СЕЛІТРИ

студент Король А.Ю., к.т.н., ст.викл. Двойнос Я.Г.

Національний технічний університет України

" Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського "

Аміачна селітра має відносно не високу температуру плавлення (кристалізації), яка дорівнює  $169,6^{\circ}\text{C}$ , в промисловості аміачну селітру ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) гранулюють більшою частиною шляхом розбризкування розплаву в середовищі газу або рідше рідини. Використовуються і інші методи грануляції в барабанних, тарілчастих грануляторах, пресування ті інші.

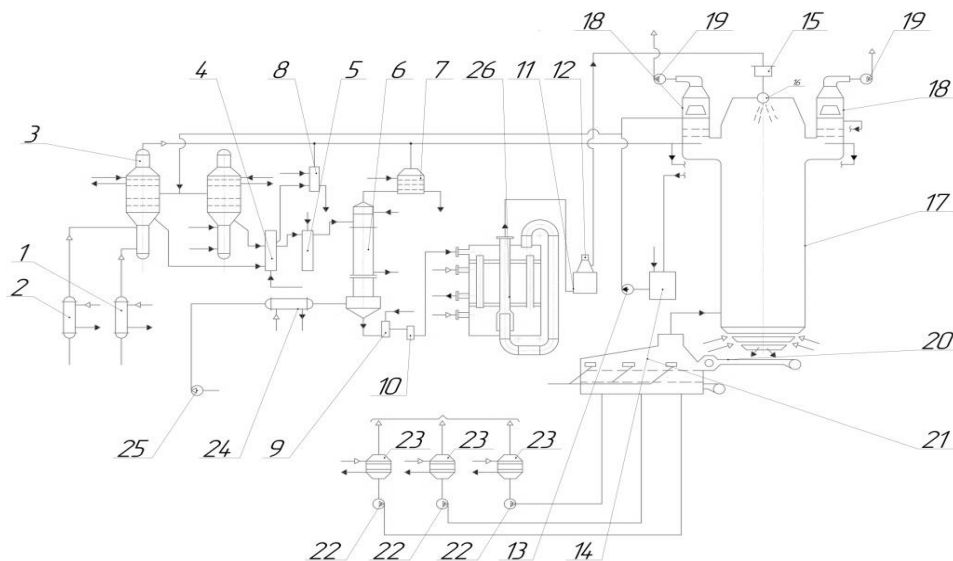
В обраній схемі АС-72М, рисунок 1, азотну кислоту (58-60%) підігрівають у апараті 2 до  $80-90^{\circ}\text{C}$  соковим паром з апарату ІТН 3. Газоподібний аміак у підігрівачі 1 нагрівається паровим конденсатом до  $100-120^{\circ}\text{C}$ . Азотна кислота та газоподібний аміак у автоматично регульовальному співвідношенні надходять до реакційних частин двох апаратів ІТН 3, працюючих паралельно. Виходячи з апаратів ІТН  $89-92\%$  розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  при  $155-170^{\circ}\text{C}$  має надлишок азотної кислоти у межах  $2-5\text{г/л}$ , забезпечуючи повне поглинання аміаку.

У верхній частині апарату соковий пар з реакційної частини відмивається від крапель аміачної селітри, парів  $\text{HNO}_3$  та  $\text{NH}_3$   $20\%$  - вим розчином аміачної селітри з промивного скрубера 18 та конденсатом сокового пару з підігрівача азотної кислоти 2, які подають на ковпачкові тарілки верхньої частини апарат ІТН. Частину сокової пари використовують для підігрівання азотної кислоти у підігрівачі 2, а загальну його масу направляють у промивний скрубера 18, де змішують з повітрям з грануляційної башти, з пароповітряної суміші з випарного апарата 6 та промивають на промивних тарілках скрубера. Промиту пароповітряну суміш викидають у повітря вентилятором 19.

Розчин з апаратів ІТН 3 послідовно проходить до нейтралізатора 4, та донейтралізатора 5.



В обраній схемі використовується процес грануляції який включає в себе розбризування розплаву, затвердіння і охолодження крапель при падінні їх в повітряному середовищі.



- 1 – підігрівач газоподібного аміаку; 2 – підігрівач азотної кислоти;  
3 – апарат ІТН; 4, 5 – донейтралізатор; 6 – комбінований випарний апарат;  
7 – промивач паро-рідинної суміші; 8, 18 – скруббер; 9 – гідрозатвор – донейтралізатор; 10 – фільтр плаву; 11 – бак для плаву аміачної селітри;  
12 – погрузний насос; 13 – насос відцентровий; 14 – бак для розчину аміачної селітри; 15 – бак напірний; 16 – гранулятор акустичний;  
17 – грануляційна башта; 19, 22, 25 – вентилятор;  
20 – стрічковий конвеєр; 21 – апарат охолодження аміачної селітри;  
23, 24 – підігрівач повітря; 26 – досушувальний апарат;

Рисунок 1 – Технологічна схема процесу виробництва аміачної селітри.

**Висновок:** використання модернізованого досушувача плаву селітри дозволяє зменшити вологовміст гранули до 0,2% і запобігти їх злипанню при транспортуванні споживачу.

### Перелік посилань

1. Справочник азотчика. Издание 2е. Москва. Издание Химия. 1987.

УДК 66.048.3

## МОДЕРНІЗАЦІЯ НАСАДКОВОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ ВОДА-ЕТАНОВА КИСЛОТА

студ. Нурадіннов І.А., к. т. н., доцент Степанюк А.Р.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

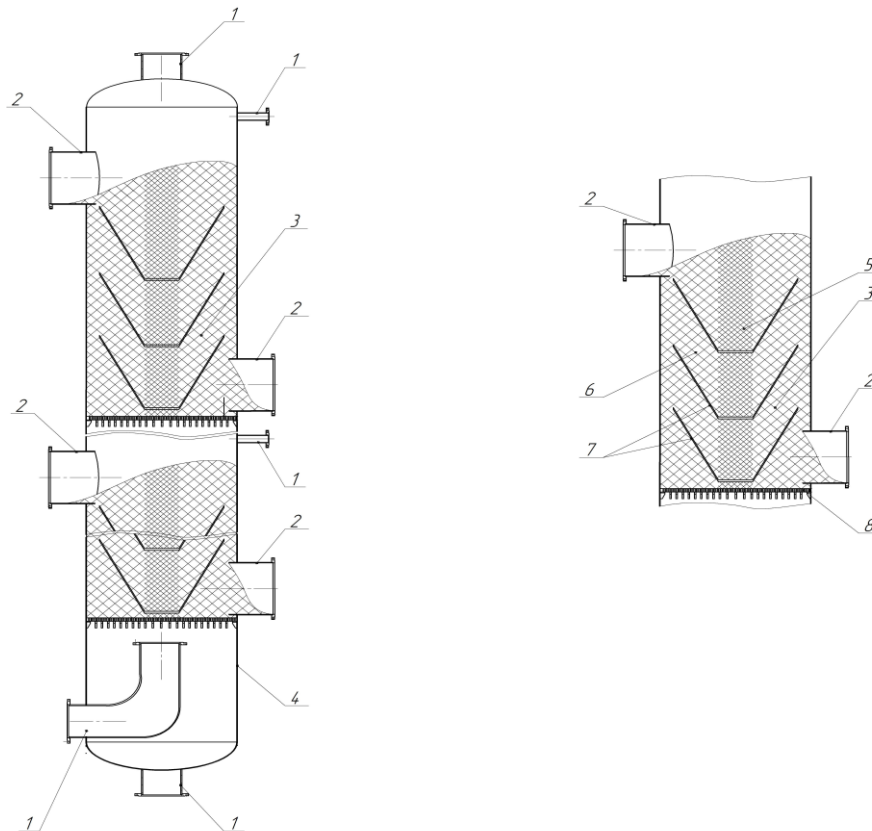
Початкова суміш (вода-етанова кислота) із збірника 6 відцентровим насосом подається в теплообмінник, де підігривається до температури кипіння. Підігріта суміш надходить до ректифікаційної колони 5 на тарілку, де відбувається живлення і змішування з флегмою, що стікає з верхньої частини колони. Стікаючи донизу, рідина взаємодіє з паром, що утворюється при кипінні кубового залишку в кубі. Внаслідок цього з рідини вилучається низькокиплячий компонент (НКК). Пара, після збагачення НКК, піднімається догори і надходить у дефлегматор, а після конденсації – у сепаратор. У сепараторі конденсат ділиться на два потоки: один (флегма) повертається на зрошення колони, інший (дистилят) надходить у холодильник дистиляту а далі – до збірника дистиляту. З нижньої частини колони безперервно відводиться кубовий залишок, який охолоджується в теплообміннику та надходить до збірника кубового залишку [1].

Недоліком існуючої конструкції є низька ефективність розподілу парової фази та рідкої фази, тобто низький ККД колони.

В основу запропонованої модернізації поставлено задачу вдосконалити елемент насадки ректифікаційної колони і зменшити гідравлічний опір колони.

Поставлена задача вирішується тим, що елемент насадки ректифікаційної колони виконано у вигляді декількох, щонайменше двох радіальних пристроїв з вікнами заповнених насипною насадкою різного діаметра, що складається з традиційних елементів насадки (наприклад кілець Рашига), згідно з запропонованою корисною моделлю, новим є те, що всередині колони розміщено декілька радіальних елементів насадки з вікнами, які заповнені насипною насадкою різного діаметра, причому

насипна насадка меншого розміру розташована в середині колони, а більшого на периферії [2].



1, 2 – штуцери; 3, 5, 6, 7 – елементи насадки; 4 – корпус; 8 – кільце  
Рашига.

Рисунок 1- Загальний вигляд апарату

Встановлення нових елементів насадки, які спрямовують частину рідини до центральної частини колони, дозволять збільшити долю поверхні насадки, що зрошується.

### Перелік посилань

1. Збірник тез доповідей ХХІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв підприємств будівельних матеріалів" (29-30 листопада 2017 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПШ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 166 с.

2. Патент України UA №124246 МПК B01D 3/00 26.03.2018

УДК 66.048.5

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА СЕЛІТРИ

студент Пінчук А.Є., к.т.н., ст.викл. Двойнос Я.Г.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Випарні установки з виносним циркуляційним насосом поширені у хімічній, харчовій та фармацевтичній галузі, і використовуються для згущення розчинів.

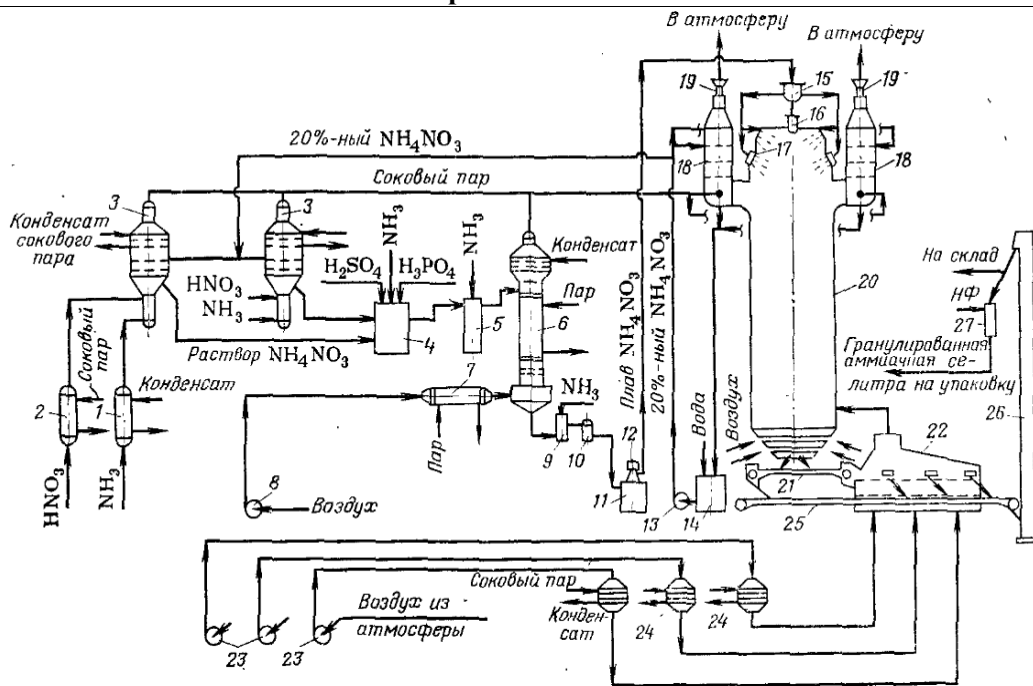
Технологічну схему виробництва аміачної селітри зображено на рисунку 1. Основні теплові процеси виробництва: отримання сокового пару в результаті екзотермічної реакції аміаку з азотною кислотою у реакторі ІТН; підігрів азотної кислоти (58–60%) в апараті 2 до 80–90°C соковим паром з апарату ІТН; нагрів газоподібного аміаку в підігрівачі паровим конденсатом до 120–160°C; випарювання розчину.

Основні масообмінні процеси відбуваються у реакторі ІТН (у верхній частині апарату соковий пар з реакційної частини омивається від аміачної селітри, парів  $\text{HNO}_3$  та  $\text{NH}_3$  20 %-им розчином аміачної селітри з промивного скрубера), на ковпачкових тарілках верхньої частини апарату; промивному скрубери.

Технологічною особливістю процесів в реакторі є надлишок азотної кислоти для нейтралізації аміаку, викиди якого у навколишнє середовище необхідно нейтралізувати, що забезпечується 2-5 г/л надлишку азотної кислоти, який забезпечує повноту поглинання аміаку. Для донейтралізації аміаку в розчин аміачної селітри з апарату ІТН вводяться сірчана та фосфорна кислоти.

Після нейтралізації розчин аміачної селітри потравляє в випарний апарат 6.

З метою використання низькотемпературного теплоносія (вторинного сокового пару) у випаровувачі пропонується збільшити поверхню теплообміну за рахунок заміни труб довжиною 6 метрів на труби довжиною 8 метрів з відповідним подовженням обичайки. Дана модернізація, за розрахунками вимагає збільшення напору циркуляційного насоса на 20%, і може бути реалізована відповідно до [1].



1,2 – підігрівачі відповідно газоподібного аміаку та азотної кислоти; 3 – апарат ІТН; 4,5 – донейтралізатори; 6 – комбінований випарний апарат; 7, 24 – підігрівачі повітря; 8 – нагнітач повітря; 9 – досушувач; 10 – фільтр плаву; 11 – бак для плаву аміачної селітри; 12 – насос; 13 – насос відцентровий; 14 – бак для розчину аміачної селітри; 15 – бак напірний; 16,17 – гранулятори відповідно акустичний та монодисперсний; 18 – скруббер; 19, 23 – вентилятори; 20 – грануляційна башта; 21, 25 – стрічкові конвеєри; 22 – апарат для охолодження аміачної селітри в киплячому шарі; 26 – елеватор; 27 – апарат для обробки гранул ПАВ.

Рисунок 1 – Технологічна схема процесу отримання селітри.

**Висновок:** використання даного насосу веде до збільшення напору, як наслідок збільшується площа теплообміну, зменшується різниця температур, що дає можливість використання низькотемпературного теплоносія.

### Перелік посилань

1. Заяв. на патент України. МПК(F04D 3/00). Циркуляційний осьовий насос / Пінчук А. Є., Двойнос Я.Г; заявник і патентовласник вони ж. – № u201709632; заявл. 02.10.2017.

УДК 621.57

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ

студент Пінчук В. В., к.т.н., ст.викл. Двойнос Я.Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Карбамід має температуру плавлення (137°C), в промисловості він називається сечовина (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O) його гранулюють зазвичай розбризкуванням розплаву в середовищі газу або рідше рідини.

В технологічній схемі виробництва карбаміду, рисунок 1, аміак та діоксид вуглецю вступають в реакцію з утворенням карбаміду. Особливість реакції в утворенні солей амонію, та нерозчинного карбамату. Для збільшення відсотку карбаміду у плаві після реактору до економічно обґрунтованих показників необхідно проводити реакцію під тиском не менше 16 МПа. Обладнання, яке при цьому використовується для підвищення тиску аміаку – насос плунжерний (аміак рідкий). Теоретичні питомі енерговитрати на створення тиску рідини визначаються залежністю:

$$l_{\text{аміак}} = \Delta p \cdot V = \frac{\Delta p}{\rho} = \frac{16 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6}{624,7} = 25452 \left[ \frac{\text{Ае}}{\text{еа}} \right],$$
 де  $\rho$  – густина рідкого аміаку за температури +10°C [1].

Діоксид вуглецю стискається у двоступеневому турбокомпресорі до 1,5 МПа, після чого у першій ступені компресора поршневого до 6,0 МПа і у другій ступені до необхідних 16 МПа.

Теоретична питома робота стискання діоксиду вуглецю [2] у другій ступені становить:

$$l_{\text{діоксид}} \Big|_{S=\text{const}} = RT_1 \frac{k}{k-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = 189 \cdot 293 \frac{1,3}{1,3-1} \left[ \left( \frac{16}{6,0} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} - 1 \right] = 61022 \left[ \frac{\text{Ае}}{\text{еа}} \right].$$

Також, перетоки для газу значно більше, ніж для рідини. Таким чином, технологія конденсації діоксиду вуглецю з наступним використанням плунжерних насосів для нагнітання рідини актуальна. Основною перешкодою

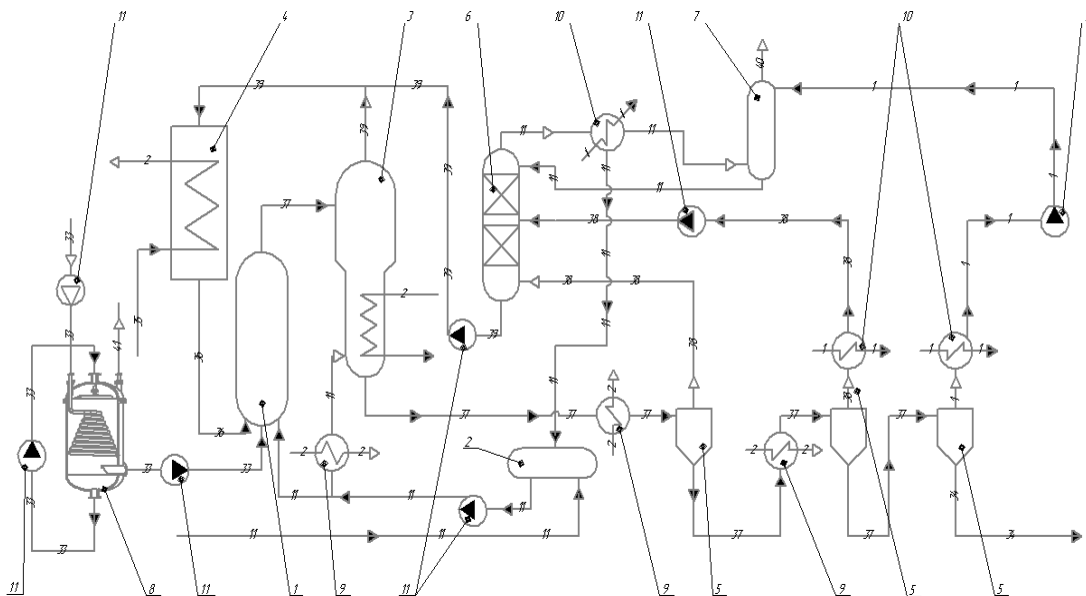
для реалізації даної модернізації є процес охолодження стиснутого діоксиду вуглецю при тиску 6,0 МПа та температурі +10°C. Малий коефіцієнт

тепловіддачі для газів ( $\sim 300 \left[ \frac{\dot{A} \delta}{i^2 \hat{E}} \right]$ ) і незначний ефективний перепад температури (2°C) вимагає значень питомої поверхні теплообміну

$$f = \frac{C_p \cdot \Delta t_{i \hat{\alpha} \hat{e}}}{\alpha \cdot \Delta t_{\hat{\alpha} \hat{o}}} \approx \frac{2681,6 \cdot (120 - 10)}{300 \cdot 2} = 492 \left[ \frac{i^2}{\hat{e} \hat{\alpha} / \hat{n}} \right], \text{ що затратно при використанні}$$

традиційної теплообмінної апаратури.

Пропонується використати контактний конденсатор з крапельним розпилювачем, та відповідно питомою поверхнею крапель 1200÷1600 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.



1 – реактор; 2 – ємкість; 3 – дистилятор;

4 – конденсатор; 5 – випарник ; 6 – абсорбер; 7 – скруббер для

вловлювання NH<sub>3</sub>; 8 – конденсатор; 9 – нагрівач; 10 – конденсатор; 11– насос

.Рисунок 1.1 – Технологічна схема для виробництва карбаміду

**Перелік посилань:**

1. <http://www.prommash.com.ua/ua/prop-amiak/> від 26.03.2018.

2. Теплофизические свойства двуокиси углерода, Алтунин В. В. М.,

Издательство стандартов, 1975, с. 546.

УДК: 66.021.3

## МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ МЕТИЛОВОГО СПИРТУ-СИРЦЮ

студентка Процюк О.О., ст.викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

У хімічній та нафтопереробній промисловості метиловий спирт служить селективним розчинником для очищення бензинів від меркаптанів і азеотропним агентом при виділенні толуолу ректифікацію. У суміші з етиленгліколем метиловий спирт застосовується для екстракції толуолу з бензинів.

Вміст домішок в спирті-сирці невеликий, проте зважаючи на утворення різних азеотропних сумішей для отримання чистого метилового спирту потрібно багаторазова ректифікація спирту-сирцю в поєднанні з екстракцією.

Для покращення роботи апарату поставлена задача вдосконалення конструкції ректифікаційної колонни, яка б дозволила б рівномірно розподілювати пару по висоті ковпачків.

Поставлена задача модернізації вирішується тим, що є в ректифікаційній колонні, яка відрізняється тим що контактні пристрої виконані у вигляді ковпачків, які мають отвори різного діаметру, згідно корисної моделі що пропонована новим є те що отвори розташовані по висоті ковпачка

Ректифікаційна колонна (Рисунок 1) складається з корпусу тарілки 1, на якому встановлені патрубки 2 з ковпачками 3. Ковпачки тарілки 3 мають отвори 4, розташовані по висоті ковпачка.

Ректифікаційна колона працює наступним чином. При подачі парового живлення колонни пара проходить через патрубки 2, і попадає під ковпачок 3, далі вона проходить по отворах 4, розташованих по висоті ковпачка, за рахунок чого збільшується площа контакту фаз.



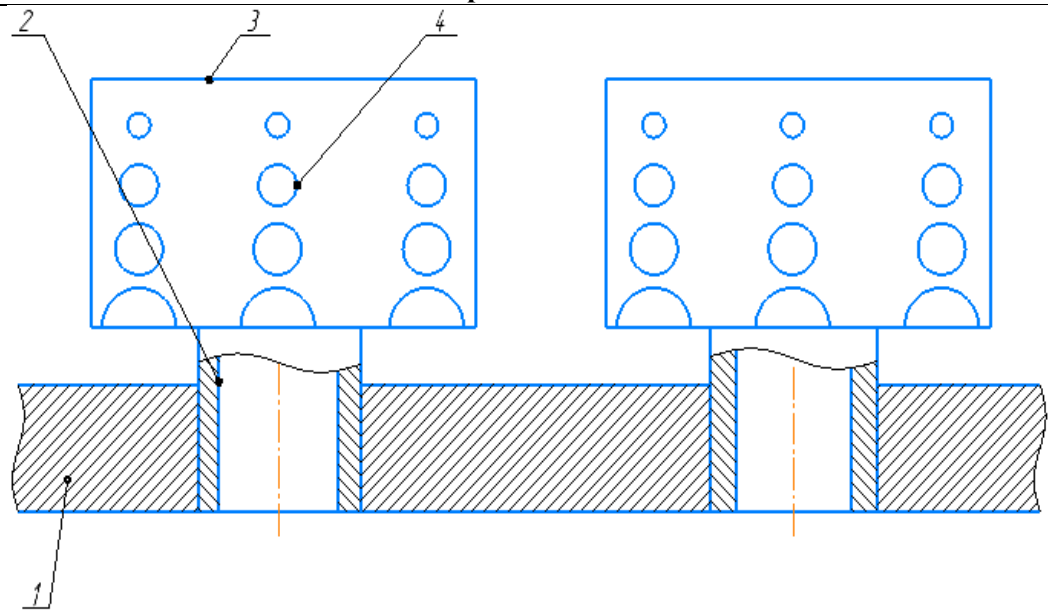


Рисунок 1 – Схема контактної елементи

Запропонована конструкція ковпачків дозволяє забезпечити рівномірний розподіл пари по всій висоті ковпачка

**Перелік посилань:**

1. Касаткін А.Г. "Основні процеси і апарати хімічної технології", - М.:Хімія, 1973. – 780 с.]
2. Заявка на патент України, МПК В01D1/06 Апарат випарний / Гулієнко С.В., Процюк О.О.; заявник і патентовласник вони ж. №201711992; заявл. 06.12.2017.

УДК 66.081.63

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ

студент Терещенко І.Ю., ст.викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Для проведення мембранних процесів використовують специфічні конструкції апаратів, зокрема спіральні та порожнисто-волоконні мембранні модулі. Експериментальне дослідження масообміну та течії рідини в таких каналах ускладнене, оскільки можливе вимірювання лише сумарних ефектів. Тому важливими інструментами аналізу таких процесів виступають методи математичного моделювання. Однак, в зв'язку зі складністю геометрії каналів, в яких рухаються рідини в процесі мембранного розділення, використовувати надмірно спрощені вирази не можна, оскільки в таких випадках результати моделювання не відповідають результатам експерименту [1].

Використання більш точних рівнянь вимагає, складніших методів їх розв'язання, що обумовило поширення методів обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics – CFD) та відповідних програмних пакетів для аналізу процесів мембранного розділення.

В роботі [1] було проведено точне моделювання потоку речовини через мембрану та явища концентраційної поляризації з використанням методу CFD, модель була ретельно перевірена з підтвердженням її адекватності. Хоча розроблена модель CFD містить специфічні рівняння для розглянутих явищ, вона може бути легко модифікована для включення будь-якої комбінації варіантів у потоці в пристінному шарі, напружень зсуву, в'язкості та коефіцієнта дифузії. Гнучкість поточної моделі обмежена лише здатністю користувача точно визначити варіації зазначених властивостей в реальних умовах.

В роботі [2] розглядалися умови течії в напірному каналі спірального мембранного модуля за наявності сітки сепаратора, зокрема було досліджено вплив геометрії спейсера на гідродинаміку та масообмін. Виявлено значний вплив геометричних параметрів спейсера, таких як відстань між нитками, їх товщина і кут атаки потоку на величину коефіцієнта масовіддачі. Спейсери з нитками в осьовому і поперечному напрямках індукують вищі напруження зсуву на верхній поверхні мембрани, якщо порівнювати з нижньою. Розподіл коефіцієнтів масовіддачі стає рівномірним, коли відстань між осьовими нитками збільшується або зменшується поперечна товщина нитки. Для спейсерів з нитками, нахиленими до осі каналу, структура потоку залежить від відстані та кута нахилу. Рідина слідує зигзагоподібним шляхом, При огинанні потоком волокон волокон збільшується напруга зсуву, але обмежується область більш високих значень коефіцієнта масовіддачі порівняно з більш вузькою частиною. Зигзагоподібний рух збільшує ці значення на основній ділянці поверхні мембрани, яка підвищує інтенсивність масовіддачі.

Також метод CFD дозволяє прогнозувати роботу мембранних установок в специфічних умовах, наприклад введення в потік сировини газу [3].

Отже, моделювання мембранних процесів з використанням методів обчислювальної гідродинаміки є зручним і ефективним інструментом, що дозволяє встановлювати особливості протікання процесів в складних умовах.

#### **Перелік посилань:**

1. Wiley D., Fletcher D. (2003), Techniques for computational fluid dynamics modelling of flow in membrane channels, *Journal of Membrane Science*, 211, pp. 127–137.
2. Shakaib M., Hasani S.M.F., M. Mahmood (2009), CFD modeling for flow and mass transfer in spacer-obstructed membrane feed channels, *Journal of Membrane Science*, 326, pp. 270–284.
3. Taha Taha, Z.F. (2002), Cui CFD modelling of gas-sparged ultrafiltration in tubular membranes, *Journal of Membrane Science*, 210, pp. 13–27

УДК 665.664.29

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СПІРАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА УСТАНОВКИ ГІДРООЧИСТКИ

студент Тертус О.Г., к.т.н., доцент Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені ІгоряСікорського"

Гідроочищення - видалення з нафтових фракцій, які містять сірчисті й азотисті сполуки, небажаних компонентів, що можуть або отруювати каталізатори, або погіршувати якість товарних нафтопродуктів. Застосовується для десульфурації нафтових фракцій і їхньої стабілізації.

Запропонований в технологічній схемі спіральний теплообмінник має значний гідравлічний опір на вхідних та вихідних участках апарата.

В основу запропонованого рішення покладено задачу створити такий спіральний теплообмінник, в якому його нове конструктивне виконання забезпечило би можливість зменшення гідравлічного опору (Рисунок 1).

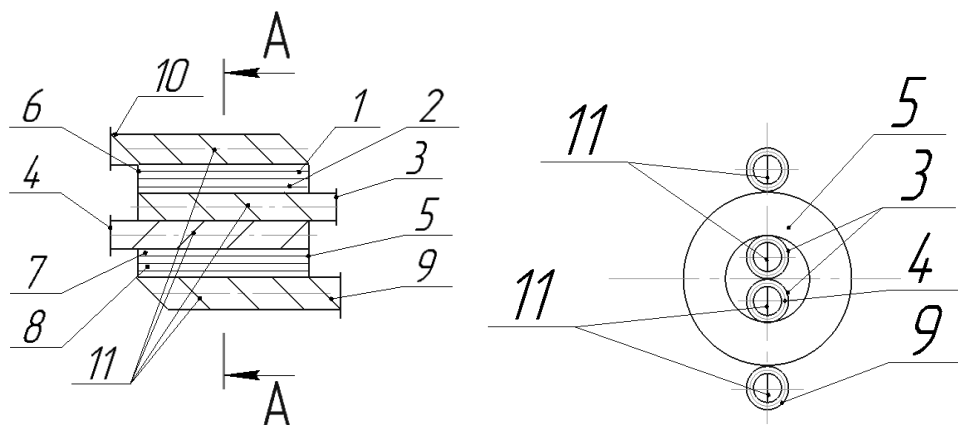


Рисунок 1 – Схема спірального теплообмінника

Спіральний теплообмінник містить два довгих металевих листа 1 і 2, які одними кінцями приєднані до патрубків 3 і 4 підведення й відведення теплоносіїв у центрі кришок, самі металеві листи 1 і 2 згорнуті по спіралі, а

з торців закриті двома плоскими кільцевими кришками 5, 6 і ущільнені прокладками (на рисунках не показані), в результаті чого утворюються два ізольованих один від одного спіральні канали 7 і 8. Теплообмінник споряджений також патрубками 9 і 10 на зовнішніх кінцях листів, в яких встановлено спіральні вставки 11. При цьому патрубки підведення й відведення теплоносіїв 3, 9 приєднані безпосередньо до прямокутного каналу 7, а патрубки підведення й відведення теплоносіїв 4, 10 - до прямокутного каналу 8. У вхідні і вихідні патрубки 3,4,9,10 встановлено спіральні вставки 11.

Пристрій працює в такий спосіб. Один з теплоносіїв через патрубок 3 (або 4) з боку кільцевої кришки 5 (або 6) рухається по спіральній вставці (11)і, далі, по спіральному каналу 7 (або 8) від центра апарата до периферії і через штуцер 9 (або 10), який знаходиться на корпусі, виходить із теплообмінника. Інший теплоносій через інший штуцер 10 (або 9) на корпусі теплообмінника і рухається по каналу 8 (або 7) від периферії до центру апарата, тобто протитоком до першого теплоносія, і через патрубок 4 (або 3), що містить спіральні вставки 11, з боку кільцевої кришки 6 (або 5) виходить із теплообмінника. Передача тепла здійснюється через металеві листи 1 і 2

Виконання апарата дозволить значно зменшити гідравлічний опір апарата.

### **Перелік посилань:**

1. Патент України на корисну модель № 46153, МПК (2009) F28D 7/00, заявл. 16.06.2009, опубл. 10.12. 2009.
2. . Справочник нефтепереработчика: Справочник /Под ред. Г.А. Ластовкина, Е.Д. Радченко и М.Г. Рудина.- Л.: Химия,1968-648 с., ил.

УДК 665.65

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ

студентка Тищенко К.В., ст.викл., к.т.н. Двойнос Я.Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Аміачна селітра просто незамінна в сільському господарстві в ролі добрива. Це речовина більш ніж на третину складається з азоту. Азот, в свою чергу важливий будь-якій рослини для повноцінного розвитку. Застосування аміачної селітри широко поширене в сільському господарстві.

Аміачна селітра має відносно не високу температуру плавлення (кристалізації), яка дорівнює  $169,6^{\circ}\text{C}$ , в промисловості аміачну селітру ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) гранулюють більшою частиною шляхом розбризкування розплаву в середовищі газу або рідше рідини.

За основу була взята робоча технологічна схема грануляції аміачної селітри розроблена ГІАП з проектною потужністю до 1360 т/д.

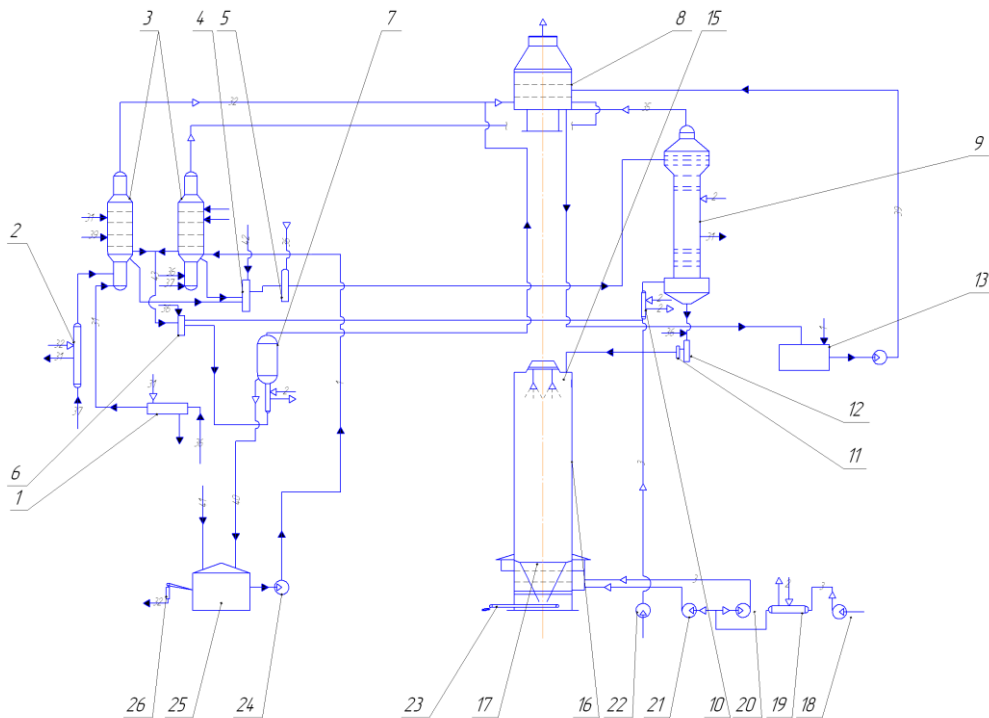
Модернізовану технологічну схему виробництва гранульованої аміачної селітри з 58-60% кислоти та газоподібного аміаку в апаратах ІТН, зображено на рисунку 1.

Важливою частиною технологічної схеми є нейтралізація надлишку азотної кислоти у розчині після апарату ІТН. Надлишок азотної кислоти забезпечують повне зв'язування аміаку для запобігання його потраплянню в атмосферу. У донейтралізаторі 4 і контрольному донейтралізаторі 5 проходить нейтралізація вільної  $\text{HNO}_3$  в розчині селітри і отримання сульфатної добавки із сірчаної кислоти, дозованої в до нейтралізатор 4. Ємність до нейтралізатора 5 служить буфером перед подачею розчинів у випарний апарат 9.

Розчин із донейтралізатора 5 концентрацією 88-92%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  упарюють під атмосферним тиском в комбінованому випарному апараті 9.

Плав в башті розбризкується шістьма статичними перфорованими воронками, встановленими в стелі башти. Плав з випарного апарату 9 через

гідрозатор 12, і касетні фільтри 11 спрямовують до розподільного колектору грануляторів 15. Охолоджену гранульовану селітру направляють на обробку ПАВ. Обробку ведуть у порожніх апаратах 26 шляхом сприскування з двох сторін за допомогою пневматичних форсунок потоку гранул водним розчином НФ. Оброблену гранульовану селітру упаковують в мішки і направляють на склад, або відгружають користувачам.



1 – підігрівач аміаку; 2 – підігрівач азотної кислоти; 3 – апарат ІТН; 4,6 – донейтралізатори; 7 – випарний апарат; 8 – скруббер; 9 – комбінований випарний апарат з падаючою плівкою; 10, 19 – підігрівач повітря; 11 – фільтр; 12 – гідравлічний затвор; 13 – бак для розчину аміачної селітри; 14, 24 – відцентровий насос; 15 – гранулятор; 16 – грануляційні башти; 17 – апарат для охолодження гранул в киплячому шарі; 18, 20, 21 – вентилятори; 22 – нагнітач; 23 – конвеєр; 25 – сховище для розчинів аміачної селітри; 26 – апарат для обробки гранул ПАВ

Рисунок 1 – Технологічна схема агрегата АС-67

### Перелік посилань:

1. Справочник азотчика. Издание 2е. Москва. Издание Химия. 1987 год,

УДК 66.048.3

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ТАРІЛЬЧАСТОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ МЕТАНОЛ-ЕТАНОЛ

студ. Ткачук М.В., к. т. н., доцент Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

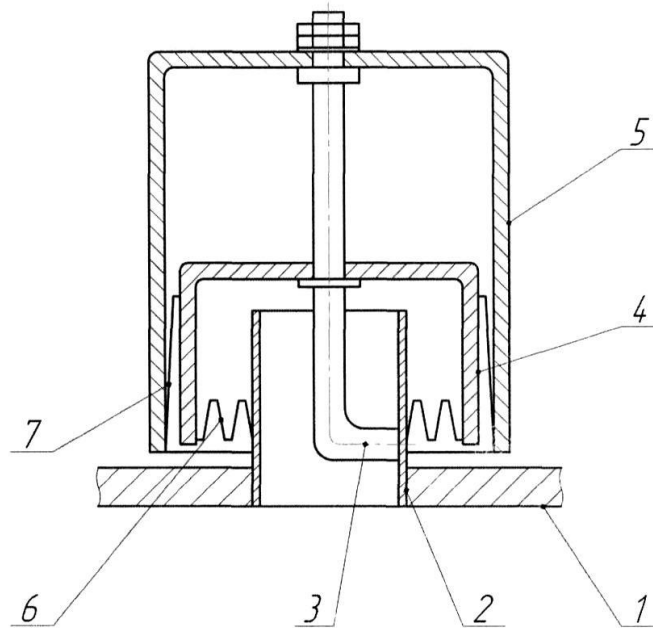
Початкова суміш (етанол-метанол) із збірника подається в теплообмінник, де підігрівається до температури кипіння. Підігріта суміш надходить до ректифікаційної колони на тарілку, де відбувається живлення і змішування з флегмою, що стікає з верхньої частини колони. Стікаючи донизу, рідина взаємодіє з парою, що утворюється при кипінні кубового залишку в кубі. Внаслідок цього з рідини вилучається низькокиплячий компонент (НКК). У ректифікаційну колону подаються пари рідин, що розділяються, піднімаються знизу, а в режимі протитечії назустріч парам йде рідина, яка конденсується нагорі в холодильнику [1].

Недоліком данної ректифікаційної колони є недостатньо ефективно конструктивне рішення по розподіленню рідкої фази, що знижує інтенсифікацію процесу масообміну.

В основу модернізації поставлено задачу підвищення інтенсифікації процесу масообміну, шляхом встановлення подвійних ковпачків, для рівномірного розподілу рідини по об'єму масообмінної тарілки, запобігання утворенню пристінного ефекту рідиною, та можливість регулювання поверхні контакту фаз, тобто ККД тарілки, без зменшення продуктивності колони.

Поставлена задача вирішується тим, що у ректифікаційній колоні на масообмінній тарілці встановлюються подвійні ковпачки, причому зовнішній ковпачок закріплено нерухомо, а внутрішній ковпачок може вільно переміщуватись вздовж осі їх кріплення.





1 – масообмінні тарілки; 2 – патрубок; 3 – вісь кріплення ковпачків; 4 – внутрішній ковпачок; 5 – зовнішній ковпачок.

Рисунок 1- Загальний вигляд апарату

При подачі парового живлення колони пара проходить через патрубки 2 та потрапляє під внутрішні ковпачки 4, і, далі, через прорізи 6 у між ковпачковий простір. Після чого парова фаза надходить через прорізи 7 потрапляє у рідку фазу. При збільшенні витрат парової фази, вона піднімає внутрішній ковпачок 4, за рахунок чого збільшується площа прорізів через які може рухатися парова фаза та, відповідно, зменшується гідравлічний опір подвійних ковпачків.

Така конструкція контактних пристроїв масообмінної тарілки забезпечує рівномірність розподілу рідини по об'єму масообмінної тарілки, зменшення гідравлічного опору колони, тобто збільшення ККД тарілки [2].

### Перелік посилань

1. Збірник тез доповідей XXI всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Обладнання хімічних виробництв підприємств будівельних матеріалів" (29-30 листопада 2017 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 166 с.

2. Патент України UA №124245 B01D 3/00 26.03.2018р.

УДК66.045.5

**ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ У СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА  
ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ НИЗЬКОГО ТИСКУ**

студент Турчанінов Д.О., ст. викл., к.т.н. Гулієнко С. В.

**Національний технічний університет України**

**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

В сучасному світі апарати повітряного охолодження широко використовуються у різних галузях промисловості. Апарат повітряного охолодження – це апарат, що використовується в промисловості для охолодження гарячого теплоносія повітрям до заданих параметрів. В процесі вісбрекінгу апарат повітряного охолодження призначений для охолодження газойлю, понижуючи його температуру з 108°C до 70°C.

Апарати повітряного охолодження мають суттєві переваги у порівнянні з іншими видами, з яких найголовнішими є: економія охолоджуючої води і зменшення кількості стічних вод; значне зменшення витрат праці на очистку апарата в зв'язку з відсутністю накипу і відкладання солей; зменшення витрат, пов'язаних з організацією оборотного водопостачання технологічних установок.

Незважаючи на ряд позитивних якостей, модернізація досі є актуальним питанням, тому що, як і у всіх інших апаратів, апарати повітряного охолодження мають певні недоліки, зокрема забезпечення компенсації температурних деформації при збереженні достатньої жорсткості конструкції.

В основу роботи поставлена задача вдосконалення конструкції апарату повітряного охолодження, в якому нове виконання корпусу та опори забезпечить компенсацію температурних деформацій і достатню жорсткість конструкції.

Поставлена задача вирішується тим, що в апараті повітряного охолодження, що містить трубні решітки, пучок оребрених труб, опору, вентилятор, та бокові кришки, згідно корисної моделі, що пропонується, новим є те, що трубні решітки приєднані до бокових стінок за допомогою

пружин та бокові кришки кріпляться до опори болтовим з'єднанням, при чому принаймні в одному елементі отвори під болти виконані у формі овалу (рисунок 1).

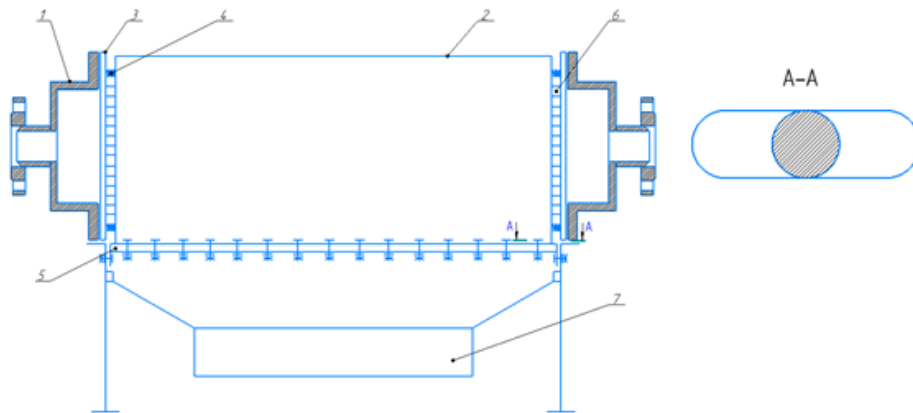


Рисунок 1 – Схема апарату повітряного охолодження

Апарат повітряного охолодження складається з кришки 1, трубних решіток 2, які приєднані до бокових стінок 3 за допомогою пружин 4. Трубний пучок встановлений на опорах 5, отвори під болти в яких виконано у формі овалу. Вентилятор 7 встановлений під трубним пучком. При температурному розширенні трубного пучка відбувається деформація гофрованих труб 6.

Апарат повітряного охолодження працює наступним чином. При увімкненому вентиляторі потік повітря обдуває трубний пучок, через теплообмінну поверхню якого відбувається теплообмін між повітрям і прокачуваним по трубному пучку продуктом, відбувається компенсація деформацій за рахунок деформацій гофрованих туб.

Така конструкція забезпечує компенсацію температурних деформацій і достатню жорсткість конструкції.

### Перелік посилань:

1. Заявка на патент України, МПК F28D 7/00 Апарат повітряного охолодження / Гулієнко С.В., Турчанінов Д.О.; заявник і патентовласник вони ж. № u 201804162 ; заявл. 16.04.2018.

УДК 621.565.83

## ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОВОЇ ТРУБИ

студент Яцюк І. О., Стеблецький І. М., ст. викл., к.т.н. Двойнос Я.Г.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

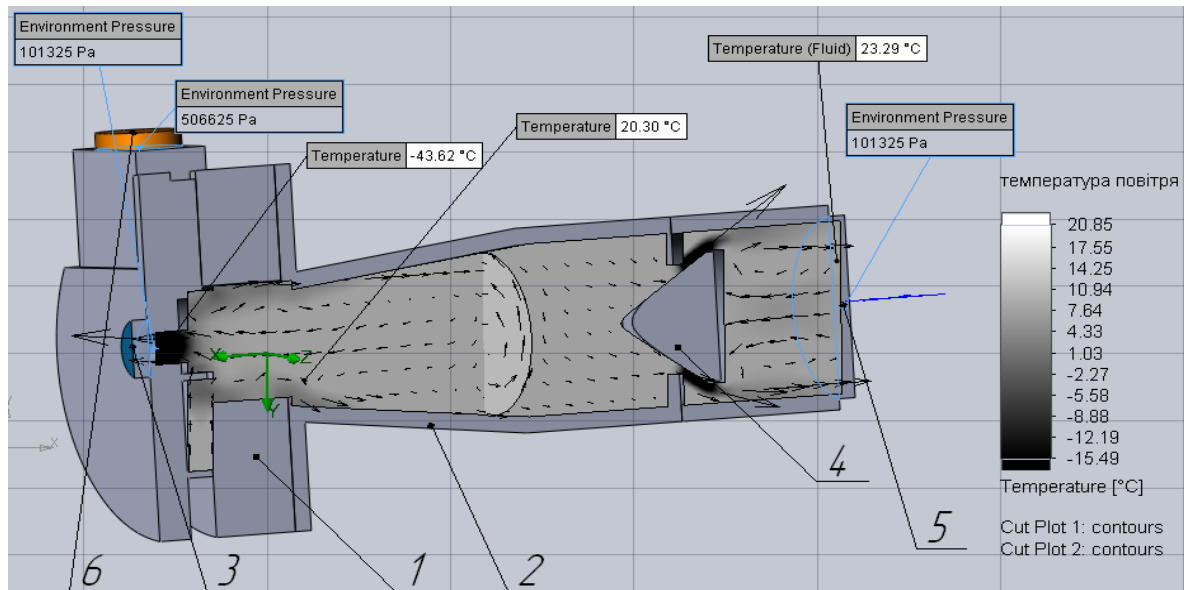
Першовідкривачем вихрового ефекту вважають француза Ж. Ранка. В 20-і роки минулого століття він розробив циклон — пристрій, що очищує гази від пилу під дією відцентрових сил. Так як теоретично пояснити вихровий ефект у Ранка не вийшло, патент вихрової трубки датується 1931-1934 роками [1]. Опоненти вважали, що даний ефект суперечить другому закону термодинаміки, також поясненню цього ефекту перешкоджало відсутність теорії турбулентності. Після війни вихрову трубу вдосконалив німець Рудольф Хілш, який опублікував на цю тему роботу в 1947 році. У США роботами по охолоджуючій техніці на основі вихрового ефекту займався Фултон з 1952 по 1963, який заснував компанію Fulton Cryogenics. Також за допомогою цієї технології можна проводити криогенний поділ газів, тобто отримувати рідкий азот і кисень з повітря, але широкого застосування ці процеси не знайшли.

Вихрова труба (рис.1) — це довга трубка з трьома отворами, один з яких знаходиться під кутом до осі. Подаючи через патрубок тангенційного вводу стиснений газ (з високою швидкістю) в трубу, газовий потік починає рухатись по спіральній траєкторії вздовж стінок трубки і при цьому розділяється на два нових потоки відмінних за своїми термодинамічними параметрами. У пристінній зоні стінки формується перший потік (розширяється і нагрівається, в порівнянні з вихідним газом) і тече від входу газу в трубі до її виходу. Вздовж осі трубки формується другий потік газу, параметри якого відрізняються зниженим тиском і температурою. Він охолоджується (ефект дроселювання) і змінює траєкторію свого руху в напрямку до біля якого знаходиться другий вихідний отвір.

Ефект тим сильніше, чим довше трубка і вище тиск газу. Таким чином, подаючи стиснений газ можна отримати холодильник і нагрівач в одному

комплекті без електричних і рухомих механічних частин.

Недоліками вихрової труби є високий рівень шуму (3 кГц і 120 дБ при різниці температур вище 40 градусів [2]) і можливість виникнення вібрацій.



1 - завихрювач; 2 - корпус; 3 – вихідний патрубок охолодженого повітря; 4 – дифузор; 5- вихідний патрубок підігрітого повітря; 6 –вхідний патрубок

Рис.1 – Модуляція потоку повітря в вихровій трубі .

Поділ газу на внутрішній холодний і зовнішній гарячий газ відбувається під дією відцентрових сил. Енергія тиску газу, що входить в трубу, переходить в кінетичну енергію завихрення, а потім в теплову за рахунок тертя об стінку. А газ в трубі з меншою швидкістю переміщується в центр, де на думку автора гіпотези він в деякому наближенні адіабатично розширюється і, охолоджується.

Висновки: В змодельованій вихровій трубі ми отримали холодильний коефіцієнт рівний  $\epsilon=0.34$  та різницю температур  $\Delta t=66.91^\circ\text{C}$ .

### Перелік посилань:

1. M. G. Ranque, J. de. Phys. et Rad. 4, 112 (1933)
2. [Електронний ресурс] <https://de.wikipedia.org/wiki/Wirbelrohr> від 20.03.2018 р.
3. А.Ф. Гуцол. Эффект Ранка. Успехи физических наук. Т.167.№6 1997.

УДК 621.564.23

## ВИКОРИСТАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ХОЛОДИЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

студент Яцюк І.О., Стеблецький І. М., ст.викл. Двойнос Я.Г.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

За останні роки перспективність CO<sub>2</sub> (R744) як холодоагенту помітно підвищилася. Діоксид вуглецю - один з декількох холодоагентів для холодильних систем, актуальний з точки зору ефективності застосування та безпеки для навколишнього середовища. Застосування традиційних холодоагентів обмежується різними нормами, причому в усьому світі спостерігається тенденція до підвищення їх жорсткості. У зв'язку з цим природні холодоагенти знаходять все більше застосування.

Холодоагент R744 належить до групи природних холодоагентів (аміак, пропан, бутан, вода і ін.). Має нульовий потенціал руйнування озонового шару Землі (ODP = 0) і є еталонною одиницею при розрахунку потенціалу глобального потепління (GWP = 1), що в тисячі разів менше ніж у холодоагентів ДФУ.

Ініціатива повернутися до використання діоксиду вуглецю в холодильній техніці належить скандинавським країнам, де закони значно обмежують використання холодоагентів HFC та HCFC.

Досвід багатьох холодильних компаній показує, що традиційні установки з ДФУ холодоагентами поступаються за своєю енергоефективністю вуглекислотним системам, як в комерційному, так і промисловому холодопостачанні. Низька в'язкість, високі щільність, тепловіддача та об'ємна продуктивність, відносно менші втрати тиску і температурні напори в комунікаціях і апаратах дозволяють підвищити енергоефективність систем R744, а також знизити їх масогабаритні характеристики.

Діоксид вуглецю є холодоагентом високого тиску і для забезпечення його ефективності потрібні високі робочі тиски. Поряд з цим, R744 характеризується малим ступенем стиснення в компресорі (на 20-50% менше в

порівнянні з ДФУ і аміаком), що збільшує об'ємну ефективність холодоагенту. При температурах кипіння від -55 °С до 0 °С показники об'ємної ефективності R744 в 4-12 разів вище, ніж у аміаку, що забезпечує можливість використання компресорів з меншим робочим об'ємом. Діоксид вуглецю використовується в якості холодоагенту в мобільних системах кондиціонування повітря, невеликих теплових насосах і системах охолодження супермаркетів.

Достатньо великі механічні навантаження та розчинність газу в холодильних маслах визначають особливі вимоги до мастил для R744. Використання поліалкілен-гліколевих (PAG) мастил в компресорах для R744 не рекомендується. Поліефірні мастила (Polar-POE) мають високий індекс в'язкості, добрі змащувальні характеристики, задовільну розчинність в R744, тому рекомендовані для використання. Проте при використанні поліефірних мастил на практиці зустрічається забивання поверхонь підшипників тертя через утворення газової фази в суміші при випаровуванні вуглекислоти у випадках різкого падіння тиску та теплоутворення.

Тому, наприклад, компанія Bitzer використовує підшипники, розраховані на високе навантаження, а система змащування проектується так, щоб гарантувати особливо швидку подачу мастила після пуску холодильного компресора та не допускати високої концентрації газу в мастилі, що йде на підшипники. Насиченню мастила ефективно запобігають манжетні ущільнення. Тиск в корпусі підшипникової камери з нагнітаючої сторони знижується, що забезпечує мінімальний вміст розчиненого в мастилі CO<sub>2</sub> та підтримує максимально можливу його в'язкість.

На думку багатьох фахівців R744 є найближчою перспективною традиційним холодоагентів. Діоксид вуглецю не вибухонебезпечний і в малих концентраціях не токсичний, екологічний і більш ефективний.

**Перелік посилань:**

1. Електронний ресурс <http://refrigerationandairconditioning.danfoss.ru>
2. Електронний ресурс <http://www.emersonclimate.com>
3. Електронний ресурс <http://www.frigodesign.ru/energy-saving>

**СЕКЦІЯ 2**  
**«КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ**  
**БІОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**



УДК 66.045

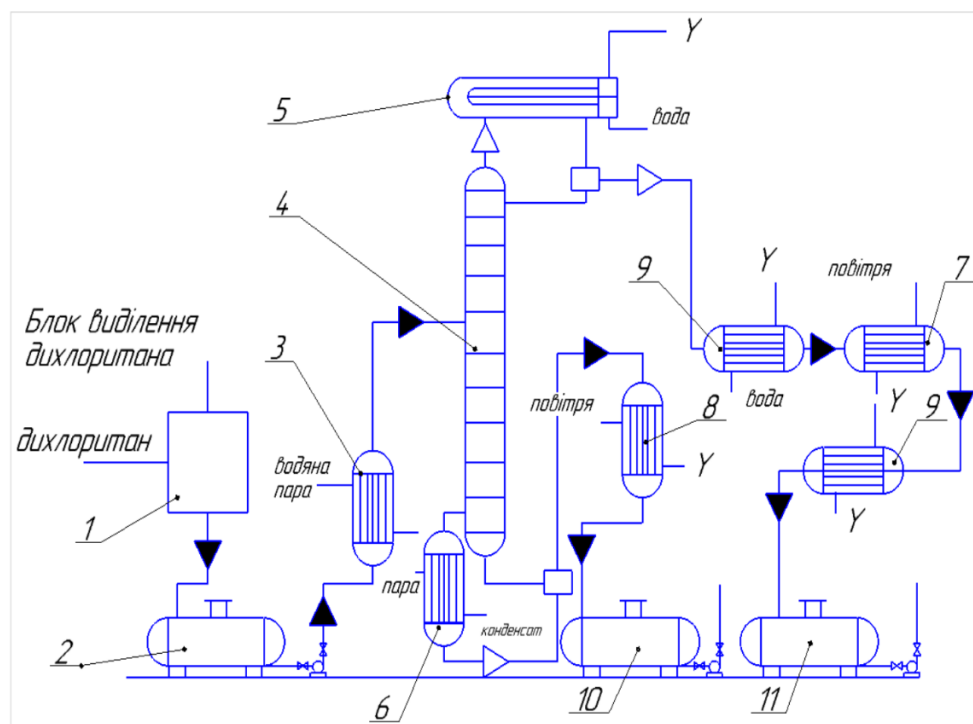
## ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО КОНДЕНСАТОРА В ПРОЦЕСІ ВИДІЛЕННЯ БЕНЗОЛУ

студент Валько М.П., к.т.н., доц. Андреев І.А.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Технологічна схема процесу виділення бензолу з бензол-метанолової фракції подана на рисунку 1.



- 1 – блок виділення дихлоритана, 2 – збірник фракції бензол-метанол,  
3 – теплообмінник, 4 – ректифікаційна колона, 5 – дефлегматор,  
6 – парогенератор, 7 – конденсатор метанолу, 8 – холодильник бензолу,  
9 – холодильник метанолу, 10 – збірник бензолу, 11 – збірник метанолу

Рисунок 1 – Технологічна схема виділення бензолу

Зі збірника бензол-метанолу 2 суміш подається на теплообмінник 3, де суміш підігривається водяною парою до температури кипіння, а далі подається в ректифікаційну колону. В ректифікаційній колоні 4 проходить

розділення на метанол та бензол. Пари метанолу відводяться через верхню частину колони до дефлегматора 5, де здійснюється відділення пари від рідини. Далі пара йде на конденсатори 7, а рідина на омивання колони. Після конденсатора рідина подається на охолодження на холодильник 9, а потім – в збірник для метанолу 11. В свою чергу частина бензолу з нижньої частини колони відводиться на випарювання у парогенератор 6, а інша частина безперервно відводиться, охолоджується у холодильнику 8 і подається в збірник для бензолу 10.

Удосконалений горизонтальний кожухотрубний конденсатор 7, на відміну від традиційного теплообмінника, містить теплообмінні труби, які на ділянці між трубними решітками виконуються з поздовжніми западинами у своїх нижніх частинах [1].

Запропоноване виконання теплообмінних труб забезпечує стікання утворюваного конденсату у вигляді двох (а не одного) потоків у місцях переходу поздовжньої западини в безпосередньо циліндричну поверхню кожної теплообмінної труби, звільняє нижню частину теплообмінної труби від товстої плівки конденсату, а отже й інтенсифікує процес конденсації. Одночасно, через зменшення поперечного перерізу кожної з теплообмінних труб (зі збереженням її поверхні) інтенсифікується також і процес тепловіддачі всередині труб. Усе це істотно підвищує теплопередачу і ефективність горизонтального конденсатора в цілому.

### **Перелік посилань:**

1. Пат. 123003U Україна МПК (2006.01) F28B 9/08. Горизонтальний конденсатор / Мікульонок І.О., Андреев І.А., Валько М.П.; заявник і патентовласник вони ж. – № у 201706395; заявл. 22.06.2017; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3.

УДК 66.021.3

## МОДЕРНІЗАЦІЯ МАСООБМІННОГО АПАРАТУ

студент Кушнірук В. М. ст. викл., к.т.н. Гулієнко С. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Масообмінний апарат належить до апаратів призначених для здійснення процесів тепло та масообміну між газом і рідиною і може використовуватись в газопереробній, хімічній і нафтохімічних промисловостях.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення ефективності масообмінного апарата, шляхом збільшення ефективності використання перерізу колони стабілізатором.

Принциповий масообмінний апарат представлений на рисунку 1.

Масообмінний апарат складається з корпусу 1 з вхідним 2 і вихідним 3 штуцерами, штуцером 4 для відводу рідини з апарата, всередині якого розташована тарілка 5 провального типу, на якій безпосередньо встановлено стабілізатор 6 пінного шару із пилоподібно зігнутих перфорованих по всій висоті пластин, з'єднаних між собою вершинами з утворенням шестикутної чарунки. Над стабілізатором 6 на відстані 20-50 мм від вище розташованої тарілки встановлено сепараційну секцію 7 у вигляді пакету регулярної насадки, наприклад сітчастої, насадки з гофрами та інші. Всередині корпусу 1 встановлено зрошувальний пристрій 8.

Масообмінний апарат працює таким чином. Сирий газ через штуцер 2 подається всередину нижньої частини корпусу 1 апарата в підтарілчастий простір, проходить через провальну тарілку 5, взаємодіє з рідиною, яка надходить в корпус 1 через зрошувальний пристрій 8, і утворює на тарілці 5 високорозвинений дрібностільниковий прошарок піни, в якому інтенсивно проходять процеси тепло і масообміну. Стабілізатор 6 сприяє рівномірному розподілу рідини уздовж площини тарілки і запобігає руйнуванню піни газовими бульбашками, які з неї виходять, сприяє інтенсивному

піноутворенню, заважає встановленню хвильового режиму піноутворення на тарілці, а у випадку нерівномірної подачі рідини на тарілку 5 відбувається вирівнювання її розподілу по площині тарілки 5 завдяки перетіканню через перфоровані пластини стабілізатора 6 піни в сусідні стільники більш "важкої піни". Бризки піни уловлюються сепараційною секцією 7 із регулярної насадки, яку встановлено над стабілізатором 6. Оброблений газ виходить із апарата через штуцер 3, а рідина, що проконтактувала з газом - через штуцер 4.

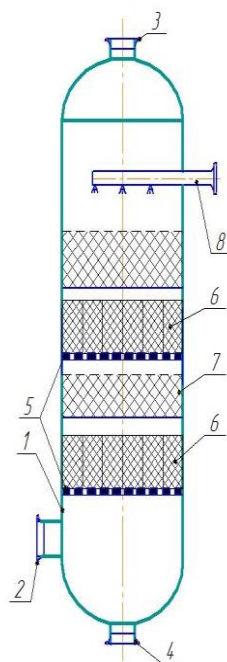


Рисунок 1 – Масообмінний апарат

Таке виконання цього стабілізатора піни дозволяє повністю використати переріз колони.

### Перелік посилань:

1. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты атмосферы от газовых выбросов. Учебное пособие по проектированию. – Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2003. - с.:ил., 12 библиогр.

УДК 66.045

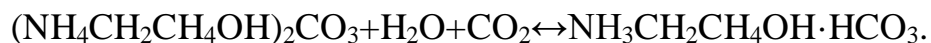
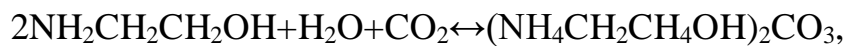
**ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО КОЖУХОТРУБНОГО  
ТЕПЛООБМІННИКА В ПРОЦЕСІ ОЧИСТКИ ГАЗУ  
ВІД ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ**

студент Орел О.Ю., к.т.н., доц. Андреев І.А.

**Національний технічний університет України**

**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

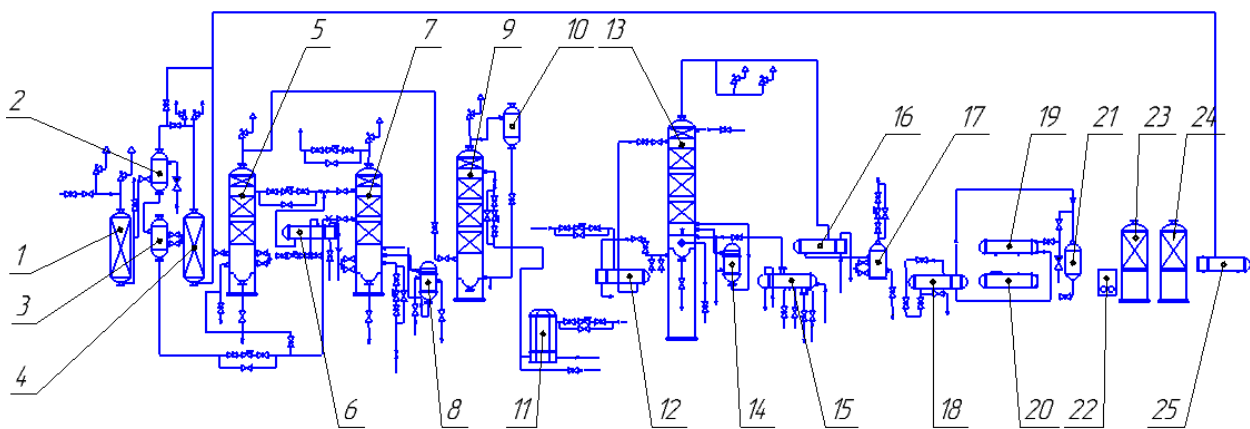
Очистка гідрогену від двоокису вуглецю розчином моноетаноламіна (МЕА) протікає в абсорбері 9 (див. рисунок) з утворенням хімічних з'єднань по наступним реакціям:



Гідроген насичений під тиском 0,4-0,7 МПа та з температурою  $\sim 40^\circ\text{C}$  подається в абсорбер 9 знизу. Зверху подається 15%-ий розчин МЕА. Насичений розчин МЕА виходить із нижньої частини абсорбера 9 із вмістом карбонатної кислоти 0,55(моль  $\text{CO}_2$ /моль МЕА), температурою  $60^\circ\text{C}$  і надходить на регенерацію в апарат колонного типу 13. Насичений розчин МЕА із абсорбера 9 насосом через теплообмінник 12 прямує у верхню частину регенератора 13. В теплообміннику 12 насичений розчин МЕА нагрівається до  $100^\circ\text{C}$  за рахунок тепла регенованого МЕА. Остаточна десорбція карбонатної кислоти із розчину відбувається при кип'ятінні його у виносному кип'ятильнику 14 до остаточного вмісту карбонатної кислоти 0,15(моль  $\text{CO}_2$ /моль МЕА). Регенований розчин МЕА з температурою  $120^\circ\text{C}$  через фільтри надходить у теплообмінник 12, де віддає свою теплоту насиченому розчину МЕА, а потім насосами через холодильник поз.11 з температурою  $40^\circ\text{C}$  подається у верхню частину абсорбера 9.

В модернізованому теплообміннику 12 теплообмінні труби заповнюються неупорядковано розміщеними в них насадковими тілами з теплопровідного матеріалу, виконаних, наприклад, у вигляді металевих

перфорованих кільцевих циліндрів. Утримання насадкових тіл у теплообмінних трубах здійснюється за рахунок перфорованих листів, закріплених між трубними решітками, а також кришками [1]. Це сприяє підвищенню тепловіддачі в трубному просторі теплообмінника, що поліпшує ефективність його роботи в разі значного перевищення коефіцієнта тепловіддачі міжтрубного простору над коефіцієнтом тепловіддачі в трубному просторі.



- 1 – конвертор; 2 – зволожувач; 3 – збірник конденсату; 4 – конвертор;  
5 – скруббер; 6 – холодильник конденсату; 7 – відпарна колона;  
8 – кип'ятильник відпарної колони; 9 – абсорбер; 10 – збирач МЕА;  
11 – холодильник; 12 – теплообмінник; 13 – регенератор;  
14 – кип'ятильник; 15 – смоловідокремлювач; 16 – холодильник флегми;  
17 – збирач флегми; 18 – теплообмінник водню; 19 – випарник; 20 –  
холодильна машина; 21 – монжус; 22 – підігрівач водню; 23 – адсорбер; 24 –  
адсорбер; 25 – холодильник водню.

Рисунок – Технологічна схема блоку очистки газових викидів

### Перелік посилань:

1. Пат. 121952 U Україна МПК (2017.01) F28D 7/00, F28F 1/00, F28F 1/10, (2006.01), F28F 1/40, (2006.01). Кожухотрубний теплообмінник / Мікульонок І.О., Андреев І.А., Орел О.Ю.; заявник і патентовласник вони ж. – № u 201705788; заявл. 12.06.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

УДК66.045.5

## ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ У СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ НИЗЬКОГО ТИСКУ

студент Креденцер І. Д., доцент, к.т.н. Швед М.П.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

В сучасному світі кожухотрубні теплообмінники широко використовуються у різних галузях промисловості. Кожухотрубний теплообмінник відноситься до теплообмінної апаратури, зокрема до апаратів з трубчастими теплообмінними елементами, і може бути використана в хімічній, нафтохімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості.

Незважаючи на ряд позитивних якостей, модернізація досі є актуальним питанням, тому що, як і у всіх інших апаратів, кожухотрубні теплообмінники мають певні недоліки, зокрема забезпечення компенсації температурних деформації при збереженні достатньої жорсткості конструкції.

В основу корисної моделі покладено задачу розробити такий теплообмінник, у який зможе працювати призначно більшої різниці температур між теплоносіями.

Поставлена задача вирішується встановленням теплообмінних трубок які мають хвилеподібний по довжині характер.

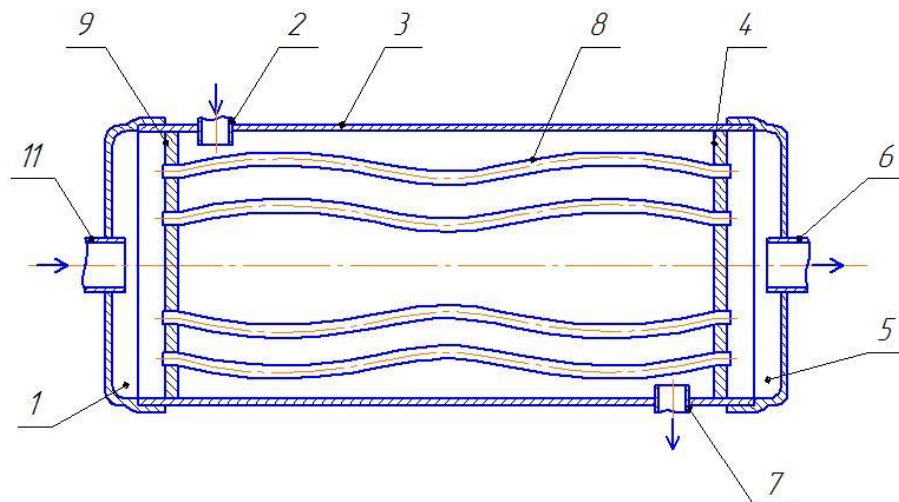


Рисунок 1 – Схема кожухотрубного теплообмінника

Теплообмінник складається з циліндричної обичайки 3, до якої приварені трубні решітки 4 та 9, у яких закріплений пучок теплообмінних трубок 8. За допомогою зварного з'єднання до верхньої 4 та нижньої 9 трубних решіток кріпляться кришки 5 та 1. Для зняття температурних напружень, які виникають при значній різниці температур між циліндричною обичайкою та пучком теплообмінних трубок. Останні мають хвилеподібний характер, що забезпечує достатній пружні властивості для компенсації температурних напружень в трубах та циліндричній обичайці.

Теплообмінник працює наступним чином: через патрубок 11 подається органічна рідина, яка рухається по трубному простору хвилеподібних грійних трубок, омиваючи внутрішню поверхню труб, а потім виходить через патрубок 6. На зустріч у патрубок 2 подається теплоносій, який омиває зовнішню поверхню трубок 8 і виходить через патрубок 7.

Наявність хвилеподібних трубок 8 дає змогу зменшити температурні напруження та збільшити турбулентність потоку рідини через свою кривизну і, тим самим, інтенсифікувати процес тепловіддачі від гарячого теплоносія до холодного.

Таким чином, застосування запропонованого винаходу дозволяє зменшити температурні напруження при значній різниці температур між теплоносіями та підвищити турбулентність потоку в трубному та міжтрубному просторі, а також підвищити коефіцієнт теплопередачі в теплообміннику за рахунок чого можна зменшити поверхню теплопередачі в випадку проектного розрахунку, або збільшити теплове навантаження теплообмінника при перевірочному розрахунку.

### **Перелік посилань:**

1. Заявка на патент України, МПКF28D 7/ Кожухотрубний теплообмінник/ Креденцер І. Д., доцент Швед М. П.; заявник і патентовласник вони ж.



УДК 661.741.112

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРТУ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ

студентка Крестошина О.П., к.т.н. доц. Зубрій О. Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лимонна кислота  $C_6H_8O_7$  – це органічна кислота, розчинна у воді, спирті і ефірі. У воді лимонна кислота дисоціює, її аніон називають цитратом. Лимонна кислота є трьохосновною оксикислотою, яка кристалізується з водних розчинів з однією молекулою води у вигляді безбарвних прозорих ромбічних призм.

Лимонна кислота широко використовується в харчовій, медичній, хімічній та інших видах промисловості. Одним з основних характеристик лимонноїкислоти, є властивість охороняти продукти від впливу важких металів. Харчова лимонна кислота виходить за допомогою ферментації цукровмісних середовищ (бурякова маса, цукор-пісок) грибом *Aspergillusniger*.

Виробництво лимонної кислоти складається з декількох основних етапів, найбільш енергоємним з яких є стерилізація поживного середовища. Проводять стерилізацію гострою парою, під надлишковим тиском 0,5 МПа, температура поживного середовища на виході з апарату повинна становити 125 °С. Теплообмінні процеси є одними з найбільш енергоємних, і як наслідок доволі дорогими. Враховуючи, що апарат працює безперервно важливо отримана від нього як можна більший коефіцієнт теплопередачі, тому доцільним буде провести модернізацію.

У теплообмінному апараті, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що в труби між собою з'єднані послідовно проточками в трубних дошках, у порожнину кожної теплообмінної труби співвісно встановлено витискувач, який фіксується опорами, а на кінцях витискувача встановлено деталі з невеликою пружністю. Таке виконання дозволить надійно зафіксувати

витискувач та зменшити осьове зусилля. Цей теплообмінник забезпечує рух теплоносія всередині внутрішніх труб у тонкому шарі, що підвищує ефективність його термооброблення [1].

Працює теплообмінник у такий спосіб. Теплоносій камери 1 проходить через патрубок 11 плоского днища 10 і послідовно теплообмінні труби 3, через стінки яких здійснюється теплопередача до теплоносія камери 2. Вихід теплоносія камери 1 здійснюється через патрубок 12 днища 10. Теплоносій камери 2 проходить через патрубок 7 у внутрішній простір обичайки 6, контактуючи із зовнішньою поверхнею теплообмінних труб 3. Вихід теплоносія камери 2 здійснюється через патрубок 8 обичайки 6 [2].

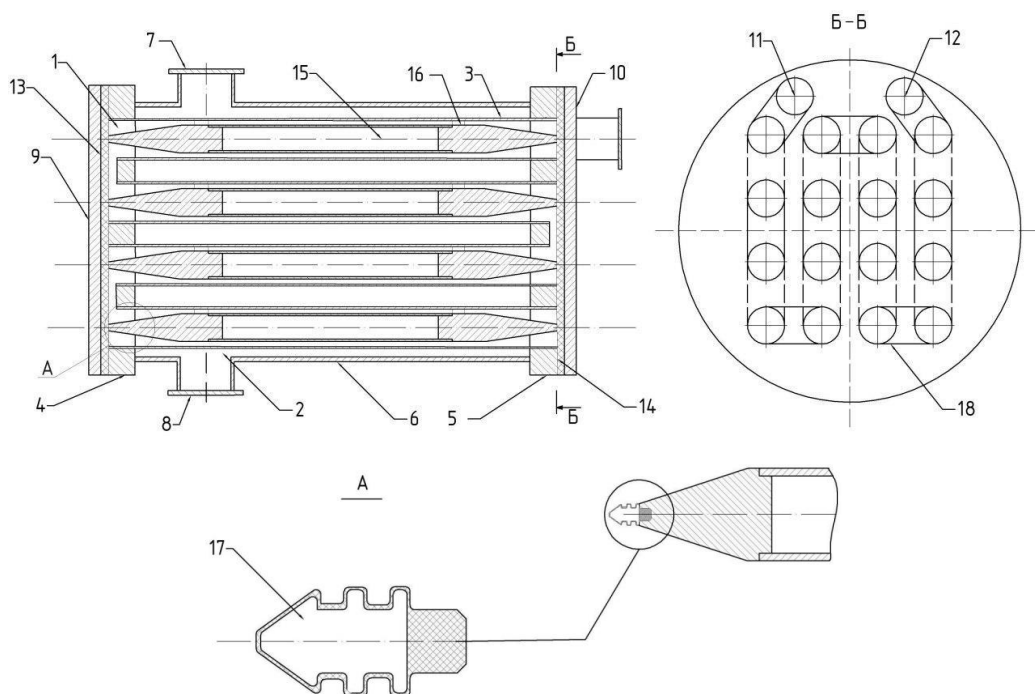


Рисунок 1 - Загальний вигляд апарата

Виконання апарата з витискувачами в трубах збільшує швидкість руху рідини в камері 1 і, як наслідок, коефіцієнт теплопередачі при тій же поверхні теплообміну, тим самим інтенсифікуючи процес теплообміну.

#### Перелік посилань:

1. <http://www.tair.com.ua/products/pasterizacionnyie-ustanovki/>
2. Волчков И.И. Теплообменные аппараты для молока и молочных продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 1972. - С. 140.

УДК 66.045

**ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕПЛООБМІННИКА  
ПРИ ПЕРЕРОБЦІ РАПСОВОЇ ОЛІЇ В БІОДИЗЕЛЬНЕ ПАЛИВО**

студент. Чайківський К.В., к.т.н., доц. Андреев І.А.

**Національний технічний університет України**

**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

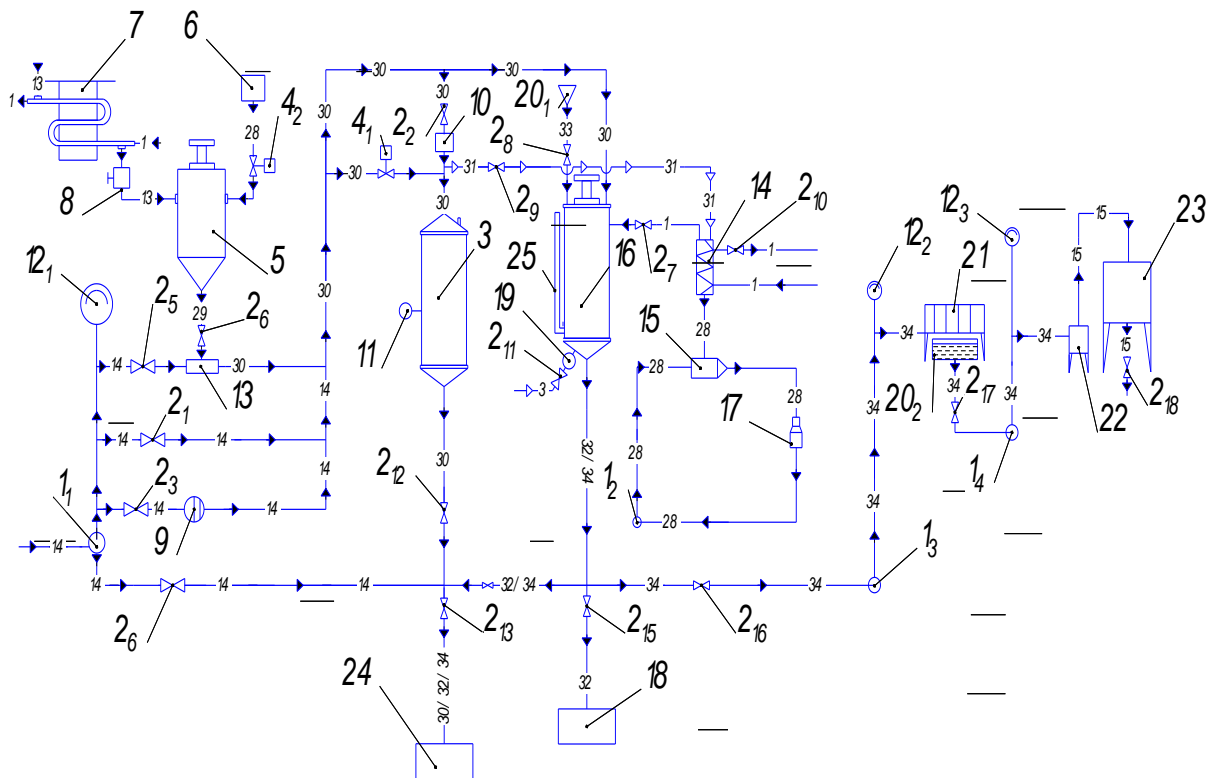
Повний технологічний процес переробки рапсової олії в біодизельне паливо складається з трьох етапів: 1) прийом олійної сировини, зберігання та операції з підготовки насіння до вилучення масла; 2) витяг масла, його очищення, нейтралізація, виморожування, інші підготовчі до етерифікації операції, зберігання та подача до виробництва метилових ефірів жирних кислот; 3) виробництво біодизельного палива з олії на лінії етерифікації, змішування і відправка.

На рисунку подано третій етап технологічного процесу.

Очищена олія зливається в ємність для очищеної олії, а звідки за допомогою насоса через вентиль перекачується в реактор, заповнення якого регулюється за допомогою електромагнітного клапана 4<sub>1</sub>. Перед наповненням ресивера олією в десольвері 5 готується суміш метанолу з лугом (20% NaOH) - метоксид, для чого із закритої ємності для метанолу 6 через електромагнітний клапан 4<sub>2</sub> заповнюється десольвер 5 метанолом у кількості 12-20% від об'єму оброблюваної олії і включається привід мішалки. Луг подається через дозатор 8, попередньо пройшовши стадію охолодження від 60° до 30° в теплообміннику «труба в трубі» 7 (див. рисунок).

В удосконаленому теплообміннику 7 зовнішня труба виконується конічною з постійною висотою кільцевої порожнини в її нижній частині. У найприйнятнішому прикладі виконання теплообмінника на зовнішній поверхні внутрішньої труби виконують щонайменше одне поперечне ребро, наприклад, кільцеве або гвинтове, з утворенням гарантованого зазору між ним і зовнішньою трубою. Така конструкція підвищує інтенсивність теплообміну за рахунок зменшення еквівалентного діаметра кільцевої порожнини вздовж

руху в ній теплоносія, додаткової турбулізації потоку у кільцевій порожнині і усуває можливість утворення застійних зон у кільцевій порожнині [1].



1<sub>1-4</sub> – насоси, 2<sub>1-18</sub> – вентилі, 3 – реактор, 4<sub>1-2</sub> – клапани електромагнітні,  
5 – десольвер, 6 – ємність закрита для метанолу, 7 – теплообмінник, 8 – дозатор об'ємний, 9 – кавітатор дросельний, 10 – випромінювач ультразвуковий, 11 – термометр, 12<sub>1-3</sub> – манометри, 13 – ежектор, 14 – конденсатор, 15 – насос ежекторний, 16 – відстійник, 17 – закрита ємність для конденсованого метанолу, 18 – ємність для гліцерину, 19 – клапан зворотний, 20<sub>1-2</sub> – ємність, 21 – фільтр для грубого очищення, 22 – фільтр тонкого очищення, 23 – ємність для готового біодизелю, 24 – ємність для санітарної обробки, 25 – показчик рівня

Рисунок – Технологічна схема отримання біодизеля

### Перелік посилань:

1. Пат. 122008 U Україна МПК (2006.01) F28D 7/10. Теплообмінник «труба в трубі» / Андреев І.А., Мікульонок І.О., Чайківський К.В.; заявник і патентовласник вони ж. – № у 201706396; заявл. 22.06.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

УДК 664.1

## ВИПАРНИЙ АПАРАТ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МИЛА

студент Шевченко Я.М., ст.викл., к.т.н. Гулієнко С.В.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

У побуті та на промисловості часто зустрічаються найрізноманітніші забруднюючі речовини, деякі з них погано розчиняються, або взагалі не розчиняються у воді.

Мило – це розчинна у воді миюча речовина, що адсорбується на поверхні розділення фаз, та видаляє забруднення з поверхні переводячи його у водний розчин. Використання миючих засобів у побуті, та для особистої гігієни значно знизило рівень захворюваності населення та кількість харчових отруєнь. Як хімічний продукт воно являє собою відносно складну сполуку жирних кислот з лугами. За своєю будовою воно відноситься до класу солей.

Основним лугом, що використовується при виробництві мила для омилення жирів, являється гідроксид натрію (NaOH). У миловарінні його використовують у вигляді розчинів різної концентрації. Його легко отримують з розчинів карбонату натрію, з концентрацією 13 – 15%, та упарюють до необхідної концентрації. Випарні установки являються найбільш енергоємними елементами лінії виробництва мила.

Метою модернізації є інтенсифікування процесу теплообміну в міжтрубному просторі за рахунок турбулізації плівки водяної пари без суттєвого сповільнення її стікання. Поставлена задача вирішується тим, що на теплообмінних трубах випарного апарата виконані S – подібні турбулізуючі вставки.

Випарний апарат працює наступним чином: початкова суміш через патрубок 3 потрапляє в трубний простір гріючої камери 1, яка містить труби 2 які закріплені з обох сторін за допомогою трубних решіток. В міжтрубний простір через патрубок 4 входить гріюча пара, яка нагріває розчин в трубах і

конденсується. Конденсат стікає плівко, плівка турбулізується за рахунок турбулізуючих вставок виконаних у S – подібній формі 7. Конденсат виходить через патрубок 5. Парорідинна суміш попадає в сепаратор 6 де відокремлюється вторинна пара і виводиться через патрубок 9, від упареного розчину виводиться через патрубок 8.

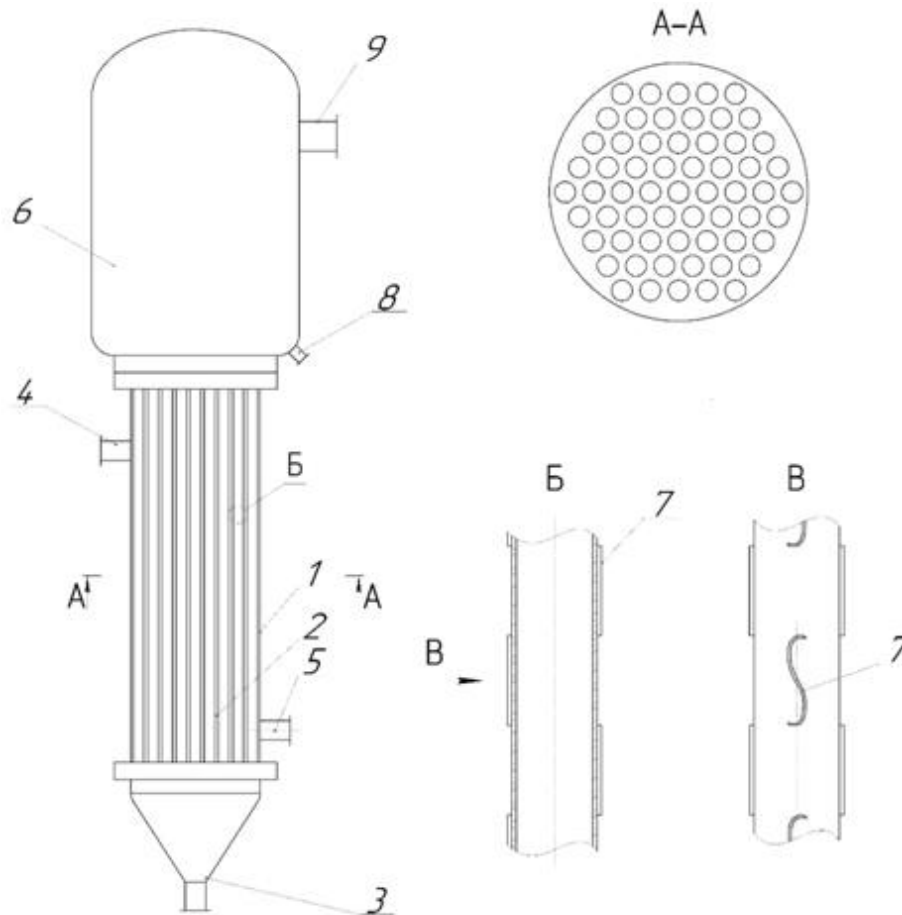


Рисунок 1 – Загальний вигляд апарата

Таке виконання випарного апарата дозволяє турбулізувати плівку конденсату без суттєвого сповільнення її стікання, тим самим інтенсифікувати процес тепловіддачі.

#### Перелік посилань:

1. И.М. Товбин, М.Н. Залипо, А.М. Журавлев Производство мыла – М. Пищевая промышленность, 1976 – 204 с.
2. Заявка на патент України, МПК В01D1/06 Апарат випарний / Гулієнко С.В., Шевченко Я.М.; заявник і патентовласник вони ж. №201711143; заявл. 14.11.2017.

**СЕКЦІЯ 3  
«ОБЛАДНАННЯ ЛІСОВОГО КОМПЛЕКСУ»**

УДК 676.05

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРЕСОВИХ ЧАСТИН КАРТОНОРІБНИХ  
МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ЖОЛОБЧАТИХ ПРЕСОВИХ  
ЦИЛІНДРІВ**

студент Байда Є.А., к.т.н., доцент Семінський О.О.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Процес зневоднення картону в пресовій частині відбувається механічним віджиманням під дією стискання між пресовими циліндрами і розрідження та виступає основним фактором для зменшення витрат на сушіння – найбільш енергоємний процес при виготовленні картону (збільшення сухості після пресів на 1 % дозволяє зменшити витрату пари на 4...5 %).

Пресові частини повинні забезпечувати: максимальне зневоднення полотна картону з досягненням заданих фізико-механічних властивостей, рівномірну сухість полотна по ширині, безобривне проведення полотна з мінімальним вільним пробігом [1].

При виробництві картону на картоноробній машині сформоване та зневоднене до сухості 17...25 %, картонне полотно передається з сіткової частини на пресову, де відбувається видалення рідини що втримує в собі волокниста маса. Максимальна сухість, що досягається механічним пресуванням складає:

- на звичайних пресах – 40- 44 %
- на пресах з розширеною зоною пресування – 48 – 50 %
- на башмачних пресах - 50 – 58 %
- на гарячих пресах – до 80 %

Пресування картонного полотна здійснюється на м'якій фільтруючій підкладці – пресовому сукні. Для збільшення часу пресування зазвичай використовують декілька (3 або 4 ) пресів, які встановлені послідовно. У



процесі пресування зменшується пористість картону та покращуються його фізико-механічні властивості.

Для пресування картону використовують різні типи та комбінації пресів, які мають свої переваги та недоліки. Зазвичай прес складається з двох або трьох валів. В якості нижнього валу пресу найчастіше використовують відсмоктуючий вал, а інші підбираються під задані параметри паперу або картону та розміщення в пресовій частині. Також відомі преси з 3 або 4 пресовими захватами, проте вони малопоширені через недосконалість та складність конструкцій.

Для модернізації пресів запропоновані наступні шляхи: використання відсмоктуючих, жолобчастих, проміжних та гарячих валів, використання підкладної сітки, башмаків, використання більш м'якого покриття.

Найбільш простим та ефективним методом інтенсифікації пресування є використання пресових захватів з жолобчастими циліндрами. Призначенням цих жолобків (крок жолобків - 2 мм ширина жолобків - 0,5мм глибина жолобків - 2...2,5 мм) є відведення з зони пресування води, яка видаляється з жолобів під дією відцентрової сили. Перевагою пресів з жолобчастими валами є робота при великому лінійному тиску, простота конструкції, надійність, зниження експлуатаційних витрат, забезпечення підвищення сухості картонного полотна, а також його якості та міцності.

Використання жолобчастих валів, для комплектації пресів картоноробних машин дозволяє інтенсифікувати зневоднення картонного полотна, підвищити його сухість на виході з пресової частини, зменшити витрати пари на подальше зневоднення картону в сушильній частині та покращити економічні показники виробництва.

#### **Перелік посилань:**

1. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В двух томах. Т. 2. Бумагоделательные машины / В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимова и др. Лесная промышленность, 1981. – 264 с.

**УДК 626.026**

### **ВАЛ З ГІДРОПІДТРИМКОЮ ОБОЛОНКИ**

студент Котенко Д.В., к.т.н., професор Марчевський В.М.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

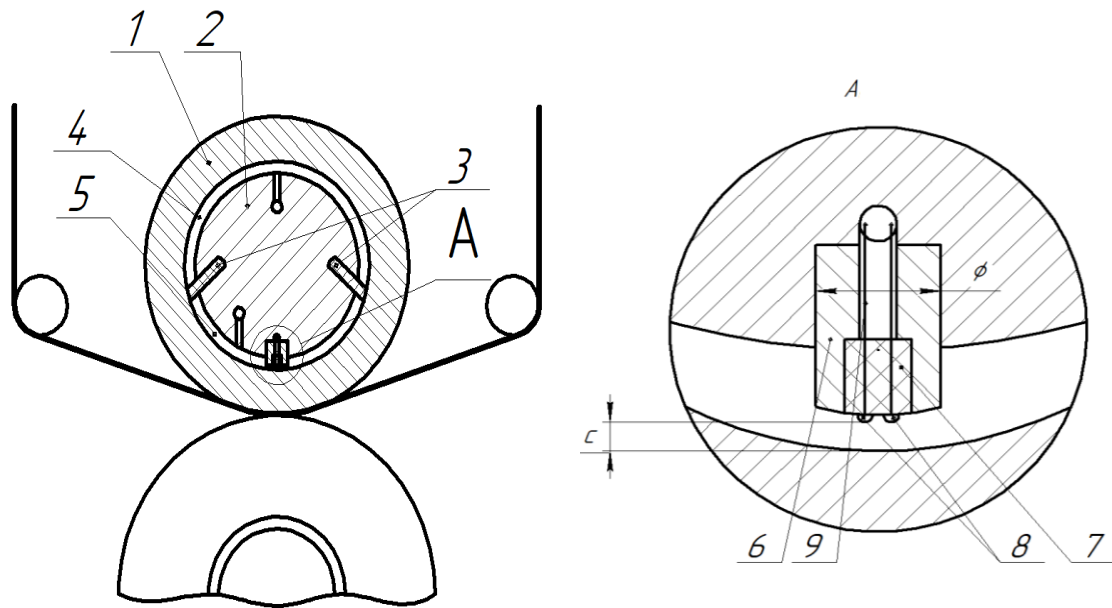
Вали з гідропідтримкою оболонки широко використовуються у целюлозно-паперовому виробництві. Вали даного типу використовуються в пресовій та каландровій частинах папероробної на картоноробної машин. Саме тому їх модернізація є актуальним питанням.

В моєму дипломному проекті, запропонована нова конструкція вала з гідропідтримкою оболонки, яка відрізняється тим, що в притискній камері в осердя встановлено штифт з контактами на його торцевій поверхні, які встановлені на відстані критичного прогину від внутрішньої поверхні оболонки та з'єднані провідниками, прокладеними в каналі осердя, з системою аварійного відключення приводу [1].

Вал з гідропідтримкою оболонки працює у такий спосіб: в притискну камеру подається мастило під тиском, яке врівноважує тиск на зовнішню поверхню оболонки. Під дією тиску мастила ущільнення притискається до внутрішньої поверхні оболонки вала, таким чином не даючи можливості протіканню мастила. Мастило, що просочилось через ущільнення, потрапляє в дренажну камеру, і звідти відводиться в гідросистему вала.

При раптовому зникненні тиску мастила, оболонка почне прогинатись, і коли вона дійде до максимального критичного прогину, вона замкне контакти, які розміщені на торцевій поверхні штифта. В цей момент через провідники, прокладені в каналі осердя вала, подається сигнал на контролер для негайної зупинки приводу притискання.

На рисунку 1 показано схему вала вальцевого пресу.



- 1 – оболонка, 2 – осердя, 3 – ущільнення, 4 – дренажна камера,  
5 – притискна камера, 6 – штифт, 7 – полімерна вкладка,  
8 – контакти, 9 – провідники, с – величина максимального прогину.

Рисунок 1 – Вал вальцевого пресу:

Розроблена конструкція дозволить запобігти руйнування оболонки вала вальцевого пресу в аварійних ситуаціях.

### Перелік посилань:

1. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В двух томах. Т2. Бумагоделательные машины/ В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимова и др. Лесная промышленность, 1981.

УДК 676.026.2

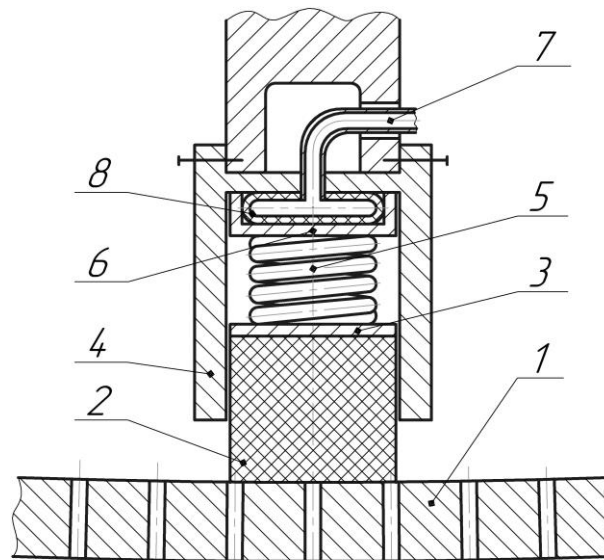
## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРИТИСКАННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ГАУЧ-ВАЛА

студент Матохнюк М.Б., к.т.н., ст.викл. Новохат О.А.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Для формування картонного полотна існують різні типи сіткових частин, що мають як переваги, так і недоліки [1].

Встановлено, що останнім валом сіткової частини за ходом картонного полотна є гауч-вал [2]. В середині нього знаходиться вакуум-камера з однією або з декількома секціями. Герметичність з часом може зменшуватись через погіршення контакту ущільнення з внутрішньою поверхнею оболонки вала. Тому запропоновано конструкцію системи притискання ущільнення (рис.1).



1 – оболонка вала; 2 – ущільнення; 3 – платформа; 4 – направляючі; 5 – пружний елемент; 6 – П-подібна платформа; 7 – патрубок; 8 – замкнена пустотіла пружна камера.

Рисунок 1. – Система притискання ущільнення у вакуум-камері

Модернізований гауч-вал містить перфоровану оболонку 1. До її внутрішньої поверхні завдяки пружному елементу 5 притискається ущільнення 2 по направляючим 4. Пружний елемент 5 спирається на П-подібну платформу 6, в середині якої знаходиться замкнена пружна

пустотіла камера 8. Ця камера може змінювати свої розміри завдяки подачі в неї під надлишковим тиском газоподібного чи рідкого носія через патрубків 7.

Вздовж твірної вала для забезпечення рівносильного притискання розміщено n-штук пружних елементів 5 та патрубків 7.

З часом ущільнення 2 частково стирається і притискання до внутрішньої поверхні вала зменшується. Тоді по патрубку 7 в замкнену пружну пустотілу камеру 8 під надлишковим тиском подається газоподібний чи рідкий носій. В результаті цього об'єм камери збільшується і вона починає тиснути на П-подібну платформу 6, зміщуючи її. Тоді платформа разом з пружними елементами та ущільненням зміщується в сторону внутрішньої поверхні вала. Це компенсує зменшення розмірів ущільнення через його стирання, не змінюючи зусилля притискання.

Наявність пружних елементів створює притискання ущільнення до внутрішньої перфорованої поверхні відсмоктувального валу з початку його роботи. Встановлення пружної камери дозволяє компенсувати зменшення сили притискання ущільнення під час часткового його стирання.

Отже, розроблена конструкція системи притискання ущільнення дозволить збільшити термін працездатності цього ущільнення зі збереженням постійного зусилля притискання. Також технічне рішення дозволяє регулювати зусилля притискання ущільнення впродовж всього терміну роботи.

#### **Перелік посилань:**

1. Матохнюк М.Б. Методи модернізації формувальної частини картоноробної машини / М.Б. Матохнюк, О.А. Новохат // Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів: XXI всеукр. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених ( Київ, 29-30 листопада 2017 р.): зб. тез доп. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 98 – 99.

2. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. — СПб.: Политехника, 2005.— 423 с.: ил.

УДК 676.026.2

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ ВІДСМОКТУВАЛЬНОГО ВАЛА

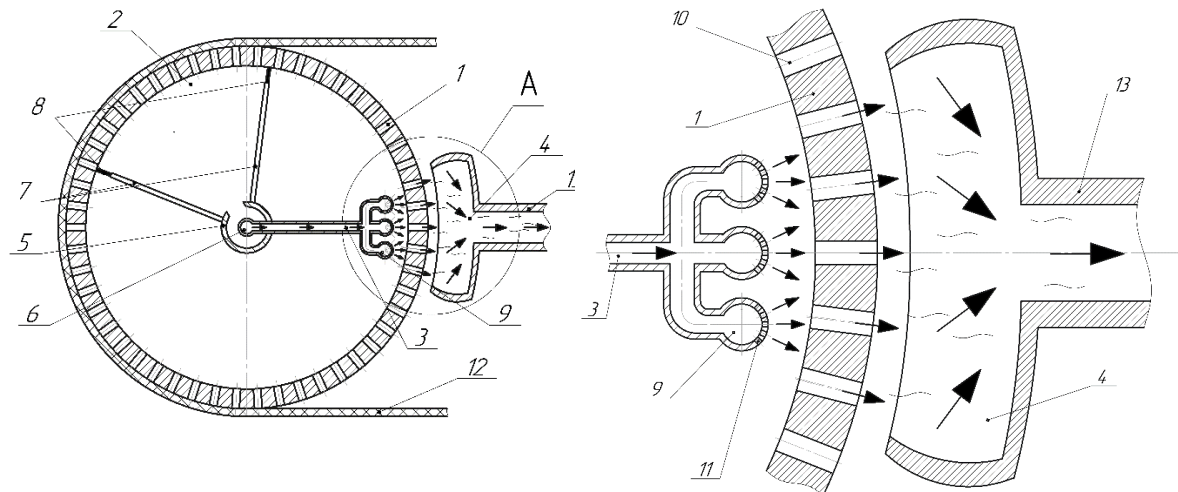
студент Михалишина Т.С., к.т.н., ст.викл. Новохат О.А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Якість картону і продуктивність картоноробних машин значною мірою залежить від ефективності та інтенсивності зневоднення полотна картону. [1] Встановлено, що для отримання багатошарового картону першим пресом з конструктивних міркувань доцільно використовувати поворотний прес. Він складається з двох валів: нижнього відсмоктувального та верхнього гумованого [2].

Для інтенсифікації зневоднення запропонована конструкція відсмоктувального вала з встановленою системою очищення перфорації оболонки вала (рисунок 1).



1 –перфорована оболонка; 2 –відсмоктувальна вакуумна камера; 3 – центральна труба; 4 –пустотіла камера; 5 –пустотіла труба з вирізом; 6 – центральна труба; 7 –перегородки; 8 –ущільнення; 9 –патрубок; 10 –отвори перфорованої оболонки;

11 –отвори патрубка; 12 –полотно; 13 –трубопровід

Рисунок 1 – Система підводу і відводу стиснутого рідкого чи газоподібного носія

Модернізований відсмоктувальний вал містить перфоровану оболонку 1, відсмоктувальної вакуумної камери 2 з перегородками 7, що закріплені на пустотілій трубі з вирізом 5. Між перегородками 7 та перфорованою оболонкою 1 знаходяться ущільнення 8. Ззовні оболонки паперове, картонне або інше полотно 12 частково її огинає. В середині вала до центральної труби 6 під'єднано патрубок 3, що закінчується однією або більше форсунками 9, отвори 11 яких направлені на внутрішню поверхню перфорованої оболонки вала 1. Навпроти форсунок 9 ззовні перфорованої оболонки 1 розміщено пустотілу камеру 4 з трубопроводом 13, що відкритою стороною направлена в напрямку отворів 11 форсунок 9. При цьому, перфорована оболонка 1 між форсунками 9 та пустотілою камерою 4 не огинається полотном 12.

Система очищення перфорованої оболонки 1 вала працює наступним чином. По центральній трубі 6 через патрубок 3 подається стиснутий рідкий або газоподібний носій. Він під тиском виходить з отворів 11 форсунок 9, що направлені на внутрішню поверхню перфорованого вала. Проходячи через отвори 10 перфорованої оболонки 1, носій витискає з них забруднення, що потрапило до отворів 10. Далі забруднення засмоктується розрідженням в пустотілій камері 4 та виводиться по трубопроводу 13.

Наявність системи підводу та відводу стиснутого рідкого чи газоподібного носія інтенсифікує очищення отворів перфорованої оболонки від забруднення. Це дозволить інтенсифікувати зневоднення вологого полотна, що дотикається до нього.

#### **Перелік посилань:**

1. Оборудование целлюлозно-бумажного производства В 2-х томах/ В.А.Чичаев, М. Л. Глезин, В.А. Екимова и др. Т. 2. Бумагоделательные машины. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.

2. Михалишина Т.С., Новохат О.А. Методи модернізації формувальної частини картоноробної машини // Обл. хім. вир. і підприємств буд. мат.: XXI всеукр. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених (Київ, 29-30 листопада 2017 р.): зб. Тез доп. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 100–101.

УДК 676.05

## ЦИЛІНДР ХОЛОДИЛЬНИЙ

студент Нечипоренко Р.А., к.т.н., проф. Марчевський В.М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Холодильна частина картоноробної машини дозволяє зменшити температуру та частково зволожити картонне полотно після сушильної частини, що покращує подальше каландрування і зменшує кількість обривів полотна. Саме тому модернізація циліндра холодильного є актуальним.

Для охолодження паперу існують різні типи холодильних циліндрів, що мають як переваги, так і недоліки [1]. В дипломному проекті спроектована нова конструкція холодильного циліндра, який відрізняється тим, що в конструкції корпусу, що містить закріплену на опорних кришках оболонку, на зовнішній поверхні якої розміщено шар хрому, поверхня якого полірована.

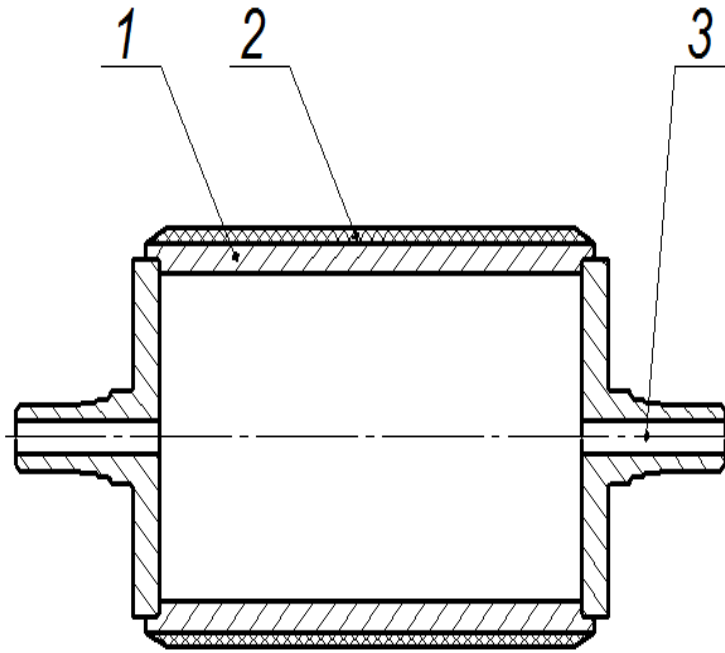
При охолодженні на зовнішній поверхні циліндра холодильного випадає роса, яка викликає корозію поверхні. В результаті корозії зменшується контакт полотна з поверхнею. Між ними з'являється тонкий шар поверхні, який має дуже низьку теплопровідність, і відповідно високий термічний опір, що зменшує швидкість охолодження паперового полотна.

Циліндр холодильний працює у такий спосіб: у приведений до обертання циліндр через отвір в цапфі подається холодна вода, яка забирає тепло і нагрівається на внутрішній поверхні оболонки. Тепло від паперу передається до зовнішньої оболонки циліндра і через товщину оболонки до її внутрішньої поверхні та від внутрішньої поверхні до води.

На рис.1 зображено повздовжній розріз циліндра холодильного.

Циліндр холодильний містить оболонку 1, зовнішня поверхня якої містить шар хрому 2, закріплений з поверхнею оболонки силами поверхневої дифузії. Оболонка опирається на кришки 3.





1 – оболонка, 2– зовнішня поверхня, 3 –кришка.

Рисунок 1 – Холодильний циліндр

Розроблена конструкція холодильного циліндру дозволить захистити зовнішню поверхню холодильного циліндра від корозії, полірована поверхня шару хрому покращує контакт полотна з поверхнею, що збільшує швидкість процесу охолодження.

**Перелік посилань:**

2. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В двух томах. Т2. Бумагоделательные машины/ В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимова и др. Лесная промышленность, 1981, ст.141, рис. 88.

3. УДК 676.058.1

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ПОЛОТНА  
НА НАКАТІ КАРТОНОРІБНОЇ МАШИНИ**

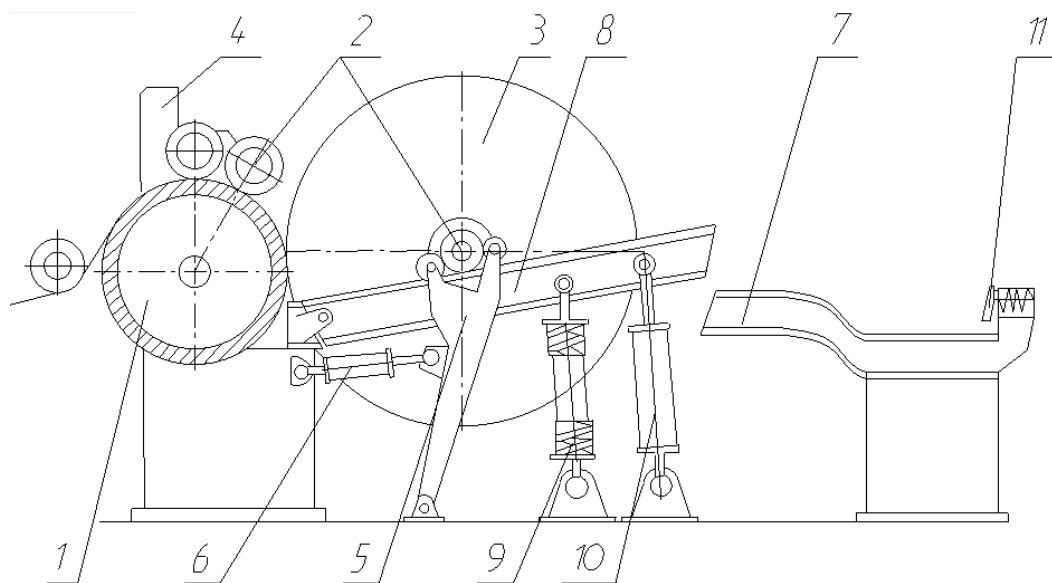
студент Ходаківський Н.Ю., к.т.н., ст.викл. Новохат О.А.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Накат – пристрій картоноробної машини, що здійснює намотування картону в рулони. Найрозповсюдженішим є периферичний накат. Існують різні шляхи його вдосконалення [1].

Однією з проблем накату є процес гальмування рулону. Тому вирішено вдосконалити реалізацію цього процесу. Це досягається завдяки тому, що станина накату має криволінійну поверхню з ухилом донизу, що переходить в горизонтальну поверхню (рис. 1).



1 - накат ; 2 – тамбурний вал; 3 –рулон; 4, 5 – заправочні та основні важелі; 6, 10 – пневмоциліндр, 7 – станина; 8 – намямні балки; 9 – пружина;

Рисунок. 1 – Конструкція периферичного накату

Периферичний накат картоноробної машини складається з приводного циліндра накату, тамбурного валу, рулону, що намотується, заправочних (приймальних) важелів, робочих (основних) важелів, пневматичних циліндрів робочих важелів. Також накат має станини, на яких розміщується рулон,

направляючі балки (направляючої відкидної частини станини), пружин та пневмоциліндри, що підтримують направляючі балки.

Накат працює наступним чином.

Заправка здійснюється, коли тамбурний вал встановлюється в заправочні важелі над центром циліндра наката. Після часткового намотування рулон автоматично переводиться на робочі важелі направляючих балках. Останні за допомогою пружин трохи підіймаються так, щоб центр рулону був трохи вище центра циліндра. На початковому етапі для запобігання відскакування рулону від циліндра встановлені робочі важелі і пневмоциліндри, що притискають рулон до циліндру. У міру намотування рулон все більше починає притискатися до циліндра наката під дією сили власної ваги, а пневмоциліндри все менше і менше задіяні у притисканні.

Під дією сил інерції рулон по станині прямує до гальма. Від удару об гальмо рулон може дещо відскочити назад. Проте ухил криволінійної поверхні станини не дає можливості рулону відскочити назад в зону намотування на направляючі. Це унеможлиблює пошкодження намотаного рулону об обертаючу поверхню циліндра наката або нового рулону, що намотується.

Отже, дана конструкція без значних затрат покращить систему гальмування рулону в накаті картоноробної машини.

### **Перелік посилань:**

1. Ходаківський Н. Ю. Модернізація наката картоноробної машини / Н. Ю. Ходаківський, О.А. Новохат // Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів: XXI всеукр. наук.-практ. конф. студ., аспірантів та молодих вчених (Київ, 29-30 листопада 2017 р.): зб. тез доп. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – С. 113 – 114.

УДК 676.05

## ЦИЛІНДР СУКНОСУШИЛЬНИЙ

студент Холод І.І., к.т.н., проф. Марчевський В.М.

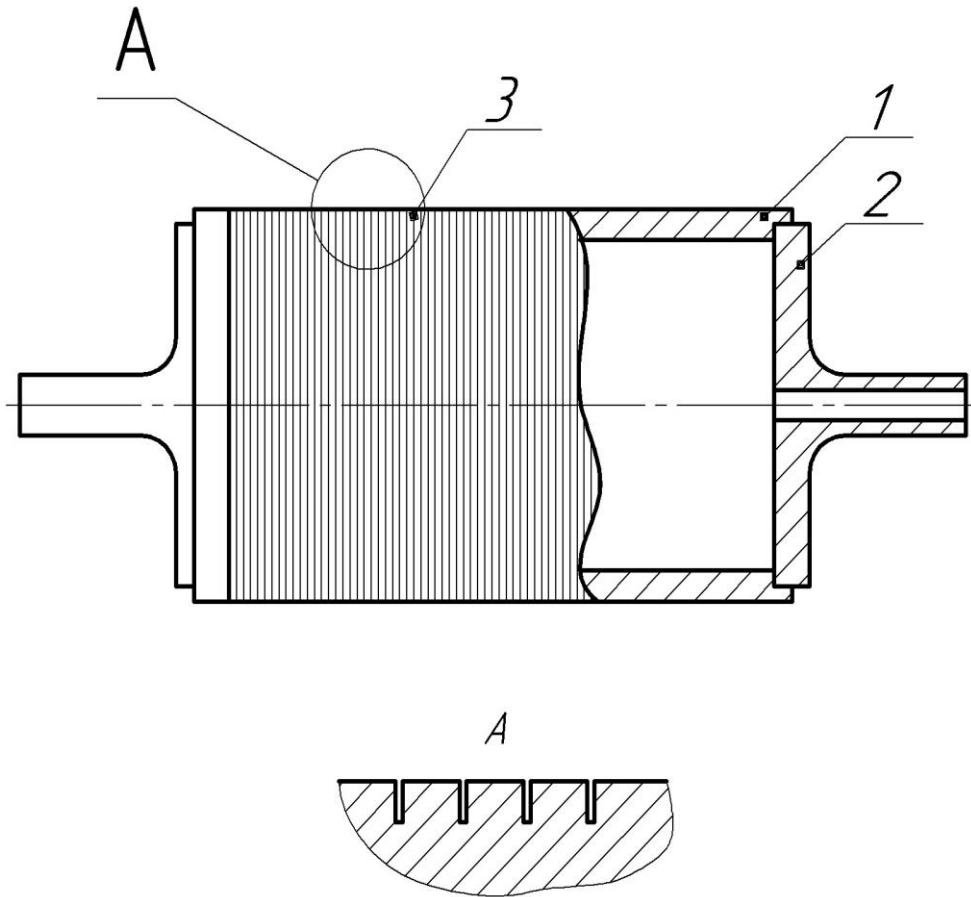
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Процес сушіння являється самим енергозатратним процесом при виготовленні паперу, тому вдосконалення сушильних і сукносушильних циліндрів з метою підвищення інтенсивності процесу сушіння та зменшення затрат енергії є актуальним.

Для сушіння сукна існують різні типи сукносушильних циліндрів, що мають як переваги, так і недоліки [1]. В моїй дипломній роботі застосовується нова конструкція сукносушильного циліндра, який відрізняється тим, що на поверхні оболонки нарізані кільцеві жолобки для відводу пари. Див. рисунок 1.

Сушильний циліндр працює у такий спосіб: у приведений до обертання циліндр через отвір в цапфі подається водяна пара, яка конденсується на внутрішній поверхні оболонки, теплота конденсації передається через плівку конденсату внутрішньої поверхні оболонки. Від внутрішньої поверхні оболонки до її зовнішньої поверхні, що контактує з сукном теплота передається теплопровідністю, а також від зовнішньої поверхні до сукна. За рахунок тиску пари, що зменшує щільне прилягання сукна до поверхні циліндру, між поверхнею циліндра і сукном утворюється шар пари. Низька теплопровідність шару пари зменшує швидкість теплопередачі і швидкість сушіння. При наявності жолобків які відводять пар, з зони контакту назовні, збільшується краще притискання сукна до поверхні циліндра і відповідно зростає коефіцієнт теплопровідності та швидкість сушіння.



1 – оболонка, 2– кришки, на які спирається оболонка,  
3 – жолобки паровідведення.

Рисунок 1 – Сукносушильний циліндр

Розроблений новий сукносушильний циліндр, який дозволить підвищити швидкість і якість сушіння сукон.

**Перелік посилань:**

Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В двух томах. Т2. Бумагоделательные машины/ В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимова и др. Лесная промышленность, 1981, ст.141, рис. 88.

**СЕКЦІЯ 4  
«ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»**

УДК 546.726

## МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФЕРРАТУ КАЛІЮ В ПРОЦЕСАХ ВОДОПІДГОТОВКИ

студенти Гаркушина А.О., Довголап С.Д., доц., к.т.н. Іваненко О.І.

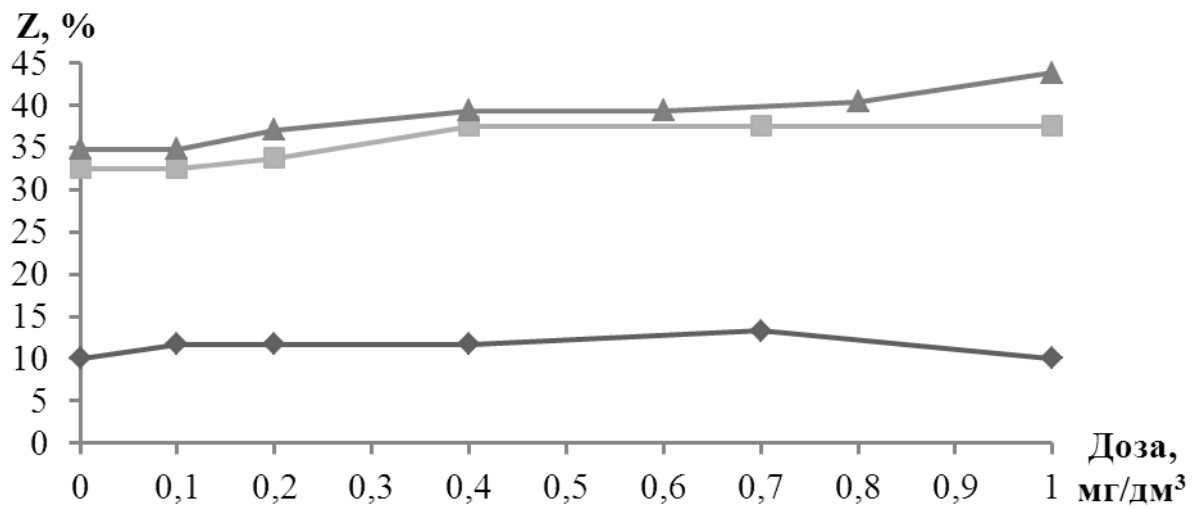
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В час широкого впровадження ресурсозберігаючих технологій у процесах підготовки питної води є вкрай актуальною та необхідною реалізація пошуку нових реагентів, щоб поєднували в собі не тільки їх високу якість та безпечність, але й комплексність одночасної дії як коагулянту так і дезінфектанту. Зараз на водопровідних станціях нашої держави застосовуються для коагуляції найдоступніший реагент - сульфат алюмінію, та в зимовий період для покращення процесу відділення грубодисперсних часток додають в невеликих дозах більш вартісний гідроксосульфат алюмінію. Найпоширенішим методом знезараження води та доокислення важко органічно розкладних органічних сполук залишається хлорування, проте його застосування призводить до утворення навіть більш токсичних продуктів, ніж вихідні забруднювачі. Відсутність ефекту післядії значно обмежують використання озону як ефективного деструкуючого реагенту на станціях водопідготовки та в системах водовідведення.

Новим і досить перспективним методом очищення води є застосування ферратів (VI) лужних металів [1], що володіють багатофункціональною дією. Феррати (VI) є одними з найбільш сильних окисників. В кислому середовищі окисний потенціал  $\text{FeO}_4^{2-}$ -іона вищий за потенціал озону і є найбільшим у ряді сполук, що використовують на сьогодні [2], і здатні розкласти чимало токсичних речовин до малотоксичних продуктів, а також викликати загибель мікроорганізмів. Продуктом розкладу самих ферратів у розчині є гідроксид заліза (III), тобто малотоксичний продукт. Крім цього, гідроксид заліза (III) виділяється у вигляді колоїдних агрегатів з дуже розвиненою поверхнею, які

ефективно адсорбують іони важких металів, часточки суспензій і органічні залишки, забезпечуючи додаткове очищення води шляхом коагуляції забруднювачів.

Проведені нами дослідження показали найвищу ступінь очищення від зважених речовин при використанні в якості коагулянту феррату калію, застосованого навіть в незначних дозах 0,1-1 мг/дм<sup>3</sup>, в порівнянні з сульфатом алюмінію та сульфатом двовалентного заліза (рисунок 1).



початкова мутність – 180 мг/дм<sup>3</sup>; замутнювач – глина;

час освітлення – 3 години; температура – 16 °С;

▲ – K<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub>; ■ - FeSO<sub>4</sub>; ♦ - Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>

Рисунок 1 – Вплив виду коагулянту та його дози на ефективність освітлення води

### Перелік посилань:

Хенце М. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван // Пер. с англ. Т.П. Мосоловой; Под ред. С.В. Калюжного. - М.: Мир, 2004. – 480 с.

Jiang J-Q. Progress in the development and use of ferrate (VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment / J-Q Jiang, B. Lloyd // Water Research. - 2002. - № 36(6). - С. 1397- 1408.



**СЕКЦІЯ 5  
«ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ»**

УДК 676.05

## **ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ У ХАРЧОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

студент Д. Рибальченко, доц., к.т.н. А.В. Копиленко

**Національний університет харчових технологій**

Використання сировини в харчовому в харчовому виробництві не перевищує в середньому 55-60%. Велика маса відходів, яка утворюється при цьому, погіршує екологічний стан навколишнього середовища. Крім того, низька ефективність використання сировини погіршує економічні характеристики виробництва за рахунок витрат на вивезення та ліквідацію відходів.

В той же час вивчення якісного складу відходів харчових виробництв дозволяє зробити висновок, що вони можуть бути використанні як сировина для отримання додаткової продукції. При цьому ступінь використання сировини можна довести до 80-90% від початкової маси. Невисока ступінь використання відходів пояснюється відсутністю технологічних можливостей для їх переробки. Відсутність системного аналізу складу відходів, обладнання та способів їх переробки, а також шляхів реалізації отриманих продуктів не дозволяють розробити загальний принцип утворення безвідходних технологій.

Для підвищення ступеня використання сировини необхідно доти- по перше характеристику відходів як сировини та об'єкту переробки. Для того щоб охарактеризувати відходи як потенціальну сировину необхідно вивчення їх складу, а для характеристики як об'єкту переробки- фізичних та технічних властивостей. В результаті аналізу літературних даних розроблені класифікаційні схеми відходів цими ознаками. Відходи як сировина розділяють на дві групи: відходи тваринного походження, вміщують в основному білки та жири, та відходи рослинного походження, які вміщують

білки, жири та вуглеводи. Відходи як об'єкту переробки також розділяються на структуровані та не структуровані.

Наступним етапом на шляху розробки безвідходної технології повинна бути класифікація способів переробки відходів для вибору обладнання і визначення послідовності технологічних операцій. Класифікація виділяє три основних способи:

- 1.біологічні;
- 2.хімічні;
- 3.фізичні.

В результаті такого системного підходу розроблений загальний алгоритм утворення утилізаційних технологій.

Реалізація цього алгоритму при вирішенні задачі утилізації кавового шламу дозволила розробити безвідходну технологію виготовлення розчинної кави. Згідно з цією технологією кавовий шлам до екстрагують гарячою водою в результаті чого отримують дієтичний кавовий напій та активізований твердий залишок. Далі твердий залишок висушують з подальшою екстракцією кавової олії, яка заважає переробляти активізований білковий залишок.

Оскільки при екстракції відбувається масообмін проміж двох фаз, компонент, який екстрагується, переходить з твердої фази в рідку.

### **Перелік посилань**

1. Шведов В. В. Шляхи вирішення проблем переробки відходів у харчовій промисловості.

УДК 646.854

## ВИКОРИСТАННЯ ЗАРОДКІВ ПШЕНИЦІ ТА ПШЕНИЧНИХ ВИСІВОК У ХАРЧОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

студент Кохан Б. А., к.т.н., доц. Копиленко А. В.

**Національний університет харчових технологій**

На сьогоднішній день актуальною є проблема неповноцінного харчування, рішення якої приділяється багато уваги. Розробляються нові технології, які забезпечують створення нових видів харчових продуктів функціонального призначення для підвищення якості харчування.

Перед робітниками харчової галузі поставлена задача значно підвищити якість, харчову та біологічну цінність харчових продуктів, поліпшити їх асортимент, розробити нові технології виробництва продукції з урахуванням раціонального використання сировини.

У раціоні харчування людини значне місце займають вироби із борошна. Таким чином, особливе значення набуває удосконалення асортименту борошняних виробів у напрямку задоволення усіх груп населення у високоякісній, конкурентоздатній продукції, перед усім по хімічному складу, бо висока енергомісткість не може служити показником цінності у сучасних умовах.

При визначенні енергетичної цінності їжі враховується вміст тільки засвоюваних вуглеводів. Однак і незасвоювані (баластні речовини) відіграють у організмі людини істотне значення, позитивно впливають на моторні функції травного тракту, на перистальтику кишечника та життєдіяльність у ньому корисної мікрофлори, знижують рівень холестерину у крові. Велику кількість таких речовин містять в собі пшеничні висівки, рівень харчових волокон в яких досягає 53,38%, що дуже важливо при розробці дієтичних видів печива, особливо для хворих цукровим діабетом.

Пшеничні зародки містять до 30% високоякісного білка, що в 2-3 рази більше ніж у борошні чи у зерні в цілому, велику кількість полінасичених кислот, цінний вітамінний, макро- та мікроелементний склад, що дозволяє їх віднести до продуктів з високою біологічною активністю.

Зародок, завдяки своєму хімічному складу, характеризується високими радіотропними властивостями, що дуже важливо, враховуючи складну екологічну ситуацію в нашій країні.

Пшеничні зародки відносяться до продуктів, які швидко окислюються при зберіганні у зв'язку з високим вмістом жиро-лабільних речовин. Тому було вирішено попередньо провести їх термообробку. Пшеничні зародки термічно обробляли при температурі 130°C протягом 20 хвилин. Це дозволило збільшити термін їх зберігання до 3-65 місяців, не знижуючи біологічну цінність, та поліпшити їх засвоювання.

Пшеничні зародки та висівки характеризуються абсолютно нешкідливістю для організму, дешевизною, доступністю і розповсюдженістю. Отже, внесення у борошняні кондитерські вироби пшеничних висівок та зародків дозволяє зміни витрати борошна, підвищити харчову цінність готової продукції. Тому що чим борошно бідніше висівками, тим менше у ньому вітамінів, мінеральних речовин та клітковини, які життєва необхідні для людини.

З метою отримання оптимальних співвідношень цих добавок, у тісто можна додавати висівки та зародки окремо чи у комплексі. В дослідженнях вивчали вплив добавок на кількість та якість клейковини, на структурно-механічні в'язкісні та адгезійні властивості тіста. Зміну якості готових виробів при внесенні добавок оцінювали по лужності, намокаємості, твердості та по органолептичним показникам. Отримані дані свідчать про те, що внесення зародків та висівок поліпшує якість готових виробів, незначно впливає на технологічні властивості тіста та на якість клейковини. Темне забарвлення, яке надають висівки, наприклад, печиву, компенсується жовтим кольором борошна зародків. Таким чином, по результатам проведених досліджень можна зробити висновок, що комплексне використання пшеничних зародків та висівок при виробництві борошняних виробів є доцільним.

УДК 628.356.665

## ПОЛІПШЕННЯ РОБОТИ ОЧИСНИХ СПОРУД НА М'ЯСОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

студент В. Морозов, доц., к.т.н. А.В. Копиленко

**Національний університет харчових технологій, Київ, Україна**

М'ясопереробна промисловість є пріоритетною галуззю харчової промисловості, але як і будь-яке інше споріднене виробництво має достатньо серйозну екологічну проблему - забруднення стічних вод. Харчові виробництва витрачають велику кількість води на різноманітні цілі, і ця вода у вигляді забруднених стоків надходить у навколишнє середовище. Стічні води містять розчинні органічні речовини, які містяться в сировині та в продуктах виробництва. Усі вони є забруднювачами.

Для очищення забруднених стічних вод харчових виробництв необхідні особливі методи. Основні забруднювальні речовини галузі неможливо відфільтрувати або осадити за допомогою коагулянтів, видаляти за допомогою флотації та інших методів. Для окиснення органічних речовин у стічних водах можна застосовувати тільки біохімічний (або мікробіологічний) метод, тому, що він не залишає практично ніяких побічних продуктів, тобто відбувається розклад речовин на двоокис вуглецю та воду.

Універсальним способом біохімічного очищення є застосування мікроорганізмів у спеціальних очисних спорудах-метантенках чи аеротенках, залежно від показників забруднення стоків.

За невеликої забрудненості стічних вод (близько 1000-1500 мг O<sub>2</sub>/л за ХСК) можна застосовувати традиційну аеробну ферментацію. За більшого рівня забрудненості стоків застосовують комплексну анаеробно-аеробну ферментацію із застосуванням метанового бродіння на першій стадії блока біологічного очищення.

У той же час біохімічний метод, як і будь-який інший має ряд недоліків, серед яких найважливішими є достатньо тривале окиснення забруднюючих речовин і необхідність великої площі для розташування очисних споруд. Частково усунути ці недоліки можна за допомогою методів інтенсифікації процесу. Інтенсифікація роботи аеротенка як традиційної споруди біохімічного очищення здійснюється поліпшенням умов контактування реагуючих фаз (забруднювачів, активного мулу, кисню) з

метою збільшення загальної швидкості процесу. При цьому збільшується глибина процесу окиснення удосконаленням процесу аерації, введенням ферментативних добавок або інших речовин, здатних стимулювати біологічну активність мулу, а також прискоренням процесу біохімічного окиснення шляхом впливу на активність мікробних клітин фізичними факторами, наприклад електростатичними або електродинамічними полями.

Впливом електричного струму, як одного з ефективних способів інтенсифікації є те, що за допомогою електричного струму можна досягти не тільки підвищення ефективності очищення стічної води, а й прискорення даного процесу. В цілому даний спосіб інтенсифікації (електростимулювання) є високоефективним, оскільки він значно підвищує глибину процесу очищення, не потребує великих витрат електричного струму та додаткової площі для розміщення апаратів очищення, що особливо важливо для локальних біохімічних установок невеликого розміру.

Зниження часу перебування забрудненої стічної води в аеротенку на 25% дає змогу підвищити кількість очищених стічних вод, тобто підвищити продуктивність очисної установки. У виробничих умовах це дає можливість без ризику для навколишнього середовища підвищити потужність м'ясокомбінату, або очищати стічну воду за показниками забруднення наближену до стічної води інших підприємств даної місцевості.

Висновок на основі проведеного аналізу, визначено оптимальні значення потужності електроструму, технолого-біохімічні показники та режими процесу очищення стоків м'ясних підприємств. Розглянутий метод інтенсифікації процесу очищення електростимулюванням мікроорганізмів активного мулу цілком реальний для впровадження на підприємствах, що спеціалізуються на виробництві м'ясної продукції.

УДК 66

## ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИРОБНИЦТВА ПРЕПАРАТІВ КАЛЕНДУЛИ

Степанюк А.М.

ТОВ «Лакі-фарма»

Виробництво препаратів календули є важливою проблемою виробництв екстрактів.

При екстрагуванні календули використовується дистильована вода. Це потрібно, перш за все, для забезпечення вимог охорони праці та пожежо – вибухонебезпечності. Використовуючи дистильовану воду замість спирту, ми ліквідуємо вибухонебезпеку в робочій зоні, значно зменшимо собівартість продукції та забезпечимо збереження всіх якостей препарату в сухому вигляді. Для виконання вимог GMP які затверджують використання в фармації, як мінімум, води «очищеної», в цеху, де буде знаходитися установка, повинна бути встановлена установка подвійного зворотнього осмосу, яка і забезпечить ці вимоги [1].

Для екстрагування квітів календули водою обираємо електро – пневматичний екстрактор, розроблений в ІТТФ НАНУ, який забезпечить приготування 7%-го екстракту. Для підвищення концентрації екстракту встановимо роторно – плівковий випарний апарат, який забезпечить дотримання вимог термолабільності календули.

Враховуючи що в фармацевтичній промисловості використовується метод виробництва серіями препарату, потрібно вживати заходів щодо попередження можливості перехресної кантамінації. Для цього встановлено три проміжні ємності, кожна з яких використовуватиметься на певному етапі технологічного процесу (підготовка сировини, перемивання, виготовлення препарату). При цьому нам необхідно певний час утримувати екстракт від випадання осаду, тому ємності повинні бути оснащені перемішувачами пристроями. Отже за ємність вибрано мішалку турбінного типу, для можливості надійного регулювання параметрів процесу перемішування.

### Перелік посилань:

1. Надлежащая производственная практика лекарственных средств. Активные фармацевтические ингредиенты. Готовые лекарственные средства. Руководство по качеству. Рекомендации PIC/S Под ред.Н.А.Ляпунова, В.А.Загоря, Георгиевского В.П., Е.П.Безуглой - К.: Морион, 2001. – 472с.



**СЕКЦІЯ 6  
«ТЕОРЕТИНЧА МЕХАНІКА»**

УДК 531/534

## ОБЧИСЛЕННЯ ГОЛОВНОГО ВЕКТОРА І ГОЛОВНОГО МОМЕНТУ СИЛ ІНЕРЦІЇ ДЛЯ ТВЕРДОГО ТІЛА

студент Дзюнь А.М., к.т.н., доцент Штефан Н.І.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Зазначимо, що обчислення головного вектора і головного моменту сил інерції тіла становить практичний інтерес для розв'язування важливих задач динаміки механізмів машин і приладів, роботів-маніпуляторів.

Як відомо, за принципом Д'Адамбера для системи, запишемо відповідні рівняння:

$$\vec{F} + \vec{R} + \vec{\Phi} = 0 \quad (1) \quad \text{і} \quad \overline{M}_0^{\text{акт}} + \overline{M}_0^{\text{п}} + \overline{M}_0^{\text{ін}} = 0, \quad (2)$$

Головний вектор і головний момент сил інерції після деяких перетворень запишемо у вигляді:

$$\vec{\Phi} = -\sum_{i=1}^n m_i \vec{w}_i = -\sum_{i=1}^n \frac{d(m_i \vec{v}_i)}{dt} = -\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i, \quad (3)$$
$$\overline{M}_A^{\text{ін}} = -\sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{\Phi}_i = -\sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt} = -\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times m_i \vec{v}_i,$$

Розглянемо вираз для кількості руху Q

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = m \vec{v}_c \quad (4)$$

і кінетичного моменту системи  $\vec{K}_A$ , відносно полюса А.

$$\vec{K}_A = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times m_i \vec{v}_i. \quad (5)$$

Вираз (3) можна записати у вигляді

$$\vec{\Phi} = -\frac{d\vec{Q}}{dt}, \quad \overline{M}_A^{\text{ін}} = -\frac{d\vec{K}_A}{dt} \quad (6)$$

Із рівності (6) стає зрозумілим, що для обчислення головного вектора і головного моменту сил інерції твердого тіла можна використовувати теореми про зміну кількості руху та головного моменту кількості руху (кінетичного моменту) тіла і, тому, застосовувати будь-яку форму їх запису в різних системах координат залежно від поставленої задачі.

Розглянемо основні динамічні співвідношення, а саме:

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = m\vec{w}_c = \vec{F}^e, \quad (7)$$

$$\frac{d\vec{K}_o}{dt} + \vec{v}_o \times \vec{Q} = \vec{M}_o^e, \quad (8)$$

$$\frac{d'\vec{Q}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{Q} = \vec{F}^e,$$

$$\frac{d'\vec{K}_o}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{K}_o + \vec{v}_o \times \vec{Q} = \vec{M}_o^e,$$

З них випливає, що незалежно від системи координат головний вектор сил інерції твердого тіла дорівнює силі інерції його центра мас, якщо зробити висновок, що в ньому зосереджена маса всього тіла:

$$\vec{\Phi} = -\frac{d\vec{Q}}{dt} = -m\vec{w}_c = -m\left(\frac{d\vec{v}_c}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{v}_c\right), \quad (9)$$

Використовуючи формули

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = m\vec{w}_c = \vec{F}^e \quad \text{і} \quad \frac{d\vec{K}_A}{dt} = \vec{M}_A, \quad (10)$$

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = m\vec{w}_c = \vec{F}^e \quad \text{і} \quad \frac{d\vec{K}_o}{dt} + \vec{v}_o \times \vec{Q} = \vec{M}_o^e, \quad (11)$$

$$\frac{d'\vec{K}_o^\omega}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{K}_o^\omega = \vec{M}_o^e - m\vec{\rho}_c \times \vec{w}_o, \quad (12)$$

Отримаємо, що головний момент сил інерції, в залежності від вибору системи координат матиме вигляд:

$$A\xi\eta\zeta: \vec{M}_A^{\text{ін}} = -\frac{d\vec{K}_A}{dt},$$

$$O\xi'\eta'\zeta': \vec{M}_o^{\text{ін}} = -\left(\frac{d\vec{K}_o}{dt} + \vec{v}_o \times \vec{Q}\right), \quad (13)$$

$$Oxyz: \vec{M}_o^{\text{ін}} = -\left(\frac{d'\vec{K}_o^\omega}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{K}_o^\omega + m\vec{\rho}_c \times \vec{w}_o\right).$$

Якщо полюс O помістити в центрі мас C тіла ( $\vec{\rho}_c = 0$ ), то два останніх вирази (13) можна записати в простішій формі:

$$O\xi'\eta'\zeta': \vec{M}_c^{\text{ін}} = -\frac{d\vec{K}_c}{dt},$$

$$Cxyz: \vec{M}_c^{\text{ін}} = -\left(\frac{d'\vec{K}_c^\omega}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{K}_c^\omega\right). \quad (14)$$

Наведені формули більш спрощуються в окремих випадках руху твердого тіла.

УДК 531/534

## ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА ЗА МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПЕРІОДУ КОЛИВАНЬ НАВКОЛО ПАРАЛЕЛЬНИХ ОСЕЙ

студент Камінський В.С., к.т.н., доцент Штефан Н.І.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Теорія коливань фізичного та математичного маятника сьогодні набуває широкого застосування в техніці для експериментального визначення моментів інерції тіл для складної геометричної форми. Для початку, що таке математичний маятник?

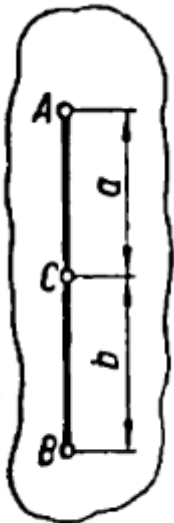


Рис.1

Математичний маятник-теоретична модель маятника, в якій матеріальна точка масою  $m$  підвішена на невагомій нерозтяжній і продовгуватій нитці. При цьому вона здійснює рух у вертикальній площині під впливом сил тяжіння з прискоренням вільного падіння  $g$ .

Момент інерції такого маятника можна визначити багатьма методами, я ж натомість розгляну метод послідовного вимірювання періоду коливань навколо паралельних осей, такий метод є досить громіздким в математичному обчисленні але його перевагою є те, що він

дає змогу одночасно знайти і положення центра мас.

Цей метод полягає у тому, що точку підвішування поміщають послідовно в точці  $A$  та  $B$  і вимірюють період коливань маятника  $T_A$ ,  $T_B$  і відстань  $d$  між точками  $A$  й  $B$ :  $d=a+b$  (рис. 1). Отже, вимірних величин отримали три, а невідомих – чотири:  $a$ ,  $b$ ,  $I_A$ ,  $I_B$ . Четверту умову отримують, користуючись формулою

$$I_z = I_C + mh^2, \quad (1)$$

та обчислюючи  $I_A - I_B$ . Після цього, застосовуючи формулу

$$T_{\phi} = 2\pi / \omega_0 = 2\pi \sqrt{I_z / (mgh)}, \quad (2)$$

випишуємо систему чотирьох рівнянь з чотирма невідомими  $a$ ,  $b$ ,  $I_A$ ,  $I_B$ .

$$\begin{aligned} 4\pi^2 \frac{I_A}{mg} &= T_A^2 a, \\ 4\pi^2 \frac{I_B}{mg} &= T_B^2 b, \\ d &= a + b, \\ I_A - I_B &= m(a^2 - b^2) = md(a - b). \end{aligned} \quad (3)$$

Розв'язання системи алгебраїчних рівнянь (3) дає кінцевий результат:

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{md^2(c_B - 1)}{c_A c_B - 1}, \\ I_B &= \frac{md^2(c_A - 1)}{c_A c_B - 1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Тут через  $c_A$  і  $c_B$  позначені такі вирази:

$$c_A = \frac{8\pi^2 d}{gT_A^2} - 1, \quad c_B = \frac{8\pi^2 d}{gT_B^2} - 1. \quad (5)$$

З останніх формул спостерігаємо, що коли заміряти відстань  $d$ , період коливань  $T_A$ ,  $T_B$  математичного маятника в точках  $A$  та  $B$  і масу тіла, то це дає нам змогу визначити експериментально  $I_A$  та  $I_B$ . Після цього з першого рівняння (3) визначаємо  $a$  і за формулою

$$I_C = I_A - ma^2, \quad (6)$$

знаходимо осьовий момент інерції тіла відносно центра інерції  $I_C$ .

Зазначимо, що незручність цього методу полягає в досить громіздких математичних обчисленнях. Та його перевагою є те, що він дає змогу одночасно знайти і положення центра мас.

УДК 531/534

**ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ МАТЕМАТИЧНОГО  
МАЯТНИКА ЗА МЕТОДОМ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ  
ТА МАЯТНИКОВИХ КОЛИВАНЬ ТІЛА**

магістрант Сацердотов О.О., к.т.н., доцент Штефан Н. І.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"

**1.Метод крутильних коливань тіла.** За методом крутильних коливань тіло підвішують у точці  $O$  на струну  $ON$  так, щоб вона збігалася з прямою, яка проходить через центр мас тіла. Закрутивши струну на малий кут  $\theta$ , вимірюють період крутильних коливань тіла на струні. Потім порівнюють цей період з періодом коливання іншого тіла, момент інерції якого відомий. Тоді розрахункові формули отримують так. Оскільки при малому куті закручування струни момент пружних сил реакції струни пропорційний куту закручування  $\theta$ , то рівняння коливань тіла мають вигляд

$$I\ddot{\theta} = -c_{кр}\theta$$

де  $c_{кр}$  – постійний коефіцієнт, що називається жорсткістю струни на кручення.

Виконавши деякі математичні перетворення отримаємо формулу для періоду крутильних коливань  $T_{кр}$  та  $T_{ет}$ :

$$T_{кр} = 2\pi\sqrt{I/c_{кр}} ; (1)$$

$$T_{ет} = 2\pi\sqrt{I_{ет}/c_{кр}}. (2)$$

Із виразів (1) і (2) знайдемо розрахункову формулу

$$I = I_{ет} \left( \frac{T_{кр}}{T_{ет}} \right)^2. (3)$$

**2. Метод маятникових коливань тіла.** Нехай тіло вагою  $P = mg$  підвішено так, що може обертатися відносно горизонтальної осі  $AB$ , яка паралельна центральній осі тіла  $A_1B_1$  і віддалена від неї на відстань  $a$ .

Якщо невідомий момент інерції тіла відносно осі  $A_1B_1$  дорівнює  $I_{Cz}$ , то його момент інерції відносно осі  $AB$  буде

$$I_{AB} = I_{Cz} + ma^2$$

Тоді період коливань  $T$  тіла відносно осі  $AB$ , який можна заміряти буде

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{AB}}{Pa}} = 2\pi \sqrt{\frac{I_{Cz} + ma^2}{Pa}} \quad (4)$$

Із співвідношення (4) знайдемо

$$I_{Cz} = Pa \left( \frac{T^2}{4\pi^2} - \frac{a}{g} \right) \quad (5)$$

Якщо відома відстань  $a$ , то, замірявши період коливань  $T$ , за формулою (5) визначається  $I_{Cz}$ .

У тих випадках коли виникають труднощі з визначенням відстані  $a$  між осями  $AB$  і  $A_1B_1$ , то застосовують еталонні тіла наприклад циліндри з відомим осьовим моментом інерції  $I_u$ .

Якщо циліндри закріпити на осі обертання  $AB$ , то період коливання такої системи трьох тіл які вважатимемо однаковими буде

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{Cz} + 2I_u}{mga}} \quad (6)$$

а період коливань тіла без циліндрів

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{Cz}}{mga}} \quad (7)$$

Із (6) і (7) отримаємо

$$I_{Cz} = \frac{2I_u T^2}{T_u^2 - T^2}$$

Після того як знайдемо  $I_{Cz}$ , можна визначити відстань  $a$ .

**СЕКЦІЯ 7  
«ДЕТАЛІ МАШИН»**



УДК 621.882.55

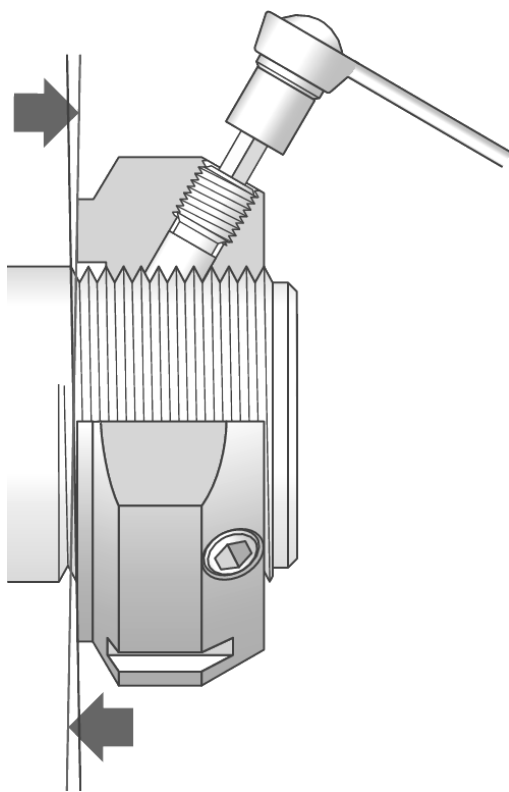
## ПРЕЦИЗИЙНІ СТОПОРНІ ГАЙКИ

студенти: Євзютін П.Ю., Яцюк І.О., доц. Скуратовський А.К.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Прецизійні стопорні гайки використовуються для фіксації підшипників на валу. Крім того, їх також можна використовувати для монтажу підшипників з конічним отвором на конічних посадочних місцях на валу і на закріпних



втулках. Три рівновіддалені стопорні штифти дозволяють встановлювати дані гайки точно під прямим кутом до валу. Крім того, вони також можуть бути використані при регулюванні для компенсації невеликих кутових відхилень сполучених деталей. Прецизійні стопорні гайки оснащені трьома стопорними штифтами, розташованими на рівновіддалених відстанях один від одного по колу гайки, які можуть затягуватися для фіксації гайки на валу. Торці штифтів механічно обробляються під різьбу вала. Отвори для установних гвинтів

просвердлені паралельно бічній поверхні різьби на валу. При затягуванні з рекомендованим моментом стопорні гвинти забезпечують достатнє тертя між кінцями штифтів і ненавантаженими бічними поверхнями різьби для запобігання відгвинчування гайки в нормальних робочих умовах. Оскільки затягнуті стопорні штифти впираються в ненавантажену бічну поверхню різьблення вала, вони не піддаються робочим навантаженням, що діють на гайку. Стопорні гайки необхідно встановлювати на сухі різьбові елементи або при наявності мінімальної кількості мастильного матеріалу.

УДК 621.882.

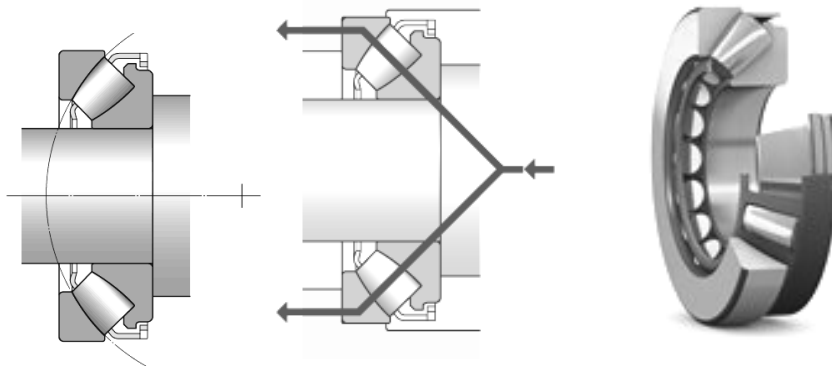
## ПІДШИПНИКОВІ ВУЗЛИ БУРОВИХ ГОЛІВОК

студенти: Міліціян О.А., Войтюк В.О., к.т.н., доц. Скуратовський А.К.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

При сучасному швидкісному бурінні підвищуються вимоги до міцності підшипників. У бурових голівках застосовуються спеціалізовані сферичні роликові підшипники, які відмінно витримують специфічні навантаження, що виникають при бурінні. Навантаження в них передається через ролики між доріжками кочення під кутом до осі підшипника, а борт направляє ролики.



Дані підшипники здатні сприймати осьові навантаження, що діють в одному напрямку, одночасно з радіальними навантаженнями. Упорні сферичні роликові підшипники мають спеціальний профіль доріжок кочення і оснащуються асиметричними роликами, що зменшує кромочні напруження в зоні контакту роликів з доріжкою кочення. Оптимізований контакт торців роликів з бортом дозволяє зберігати тепловиділення через тертя на низькому рівні навіть при високих частотах обертання. Роликові підшипники самоустановлювані і здатні компенсувати перекіс. Вони розбірні, що дозволяє монтувати і демонтувати вільне кільце окремо від тугого кільця з комплектом роликів і сепаратором. Всі елементи підшипників виготовляються з легованих високоміцних сталей. При виборі матеріалів головна увага приділяється його стійкості до абразивного зносу. Конструкція дозволяє використовувати підшипники при порівняно високих частотах обертання.

УДК 621.882.

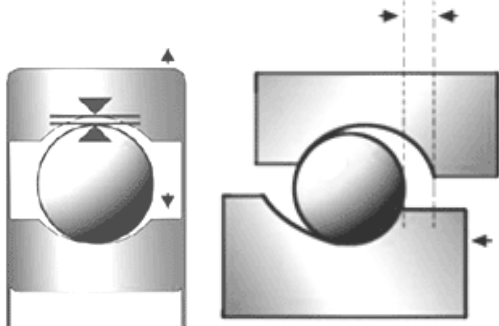
## ЗАЗОРИ В ПІДШИПНИКУ

студенти: Стеблецький І.М., Бараш Р.В., к.т.н., доц. Скуратовський А.К.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Зазор в підшипнику визначається як відстань, на яку зовнішнє кільце підшипника може бути зміщене щодо внутрішнього кільця без прикладання навантаження. Невеликий зазор завжди необхідний, щоб уникнути контакту в підшипнику між рухомими частинами. Зазор важливо брати до уваги при виборі підшипника для роботи в певних умовах. Від даного параметра безпосередньо залежить термін служби деталі, наявність шумів і вібрацій.



Зазори можуть бути двох основних видів.

Радіальний (домонтажний) зазор забезпечує вільне розширення кілець і тіл кочення під час їх нагрівання. Разом з тим потрібно зазначити, що надзвичайно широкий

радіальний зазор без температурних розширень тіл кочення буде приводити до помітних вібрацій вала. Осьовий зазор виявляється при русі кілець відносно один одного вздовж осі. Від даного параметра залежить точність роботи конструкції. При занадто маленьких значеннях осьових зазорів підшипник буде заклинювати, а при великих- відбуватиметься вібрація валу. Радіальний зазор регламентується стандартом, осьовий зазор не регламентується і залежить від внутрішньої конструкції. Крім двох основних видів зазору існують і інші:

–початковий (заводський), значення якого вказуються в технічних документах, які докладають до кожного виробу;

–посадковий, що виникає під час першої установки підшипника;

–робочий радіальний зазор, який утворюється через певний час експлуатації підшипника в нормальному режимі роботи.

УДК 621.882.

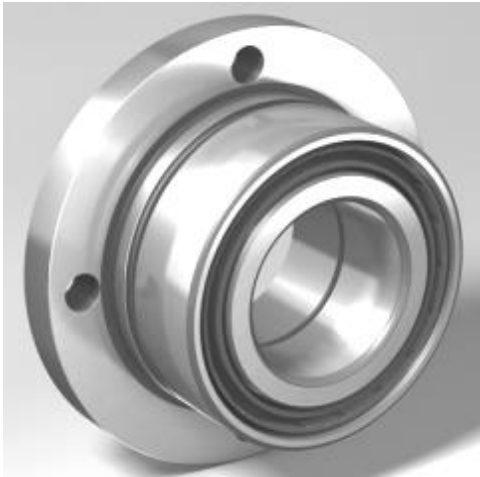
### ФЛАНЦЕВІ ПІДШИПНИКИ

студенти: Гавриленко В.В., Італьянцев О.І., к.т.н., доц. Скуратовський А.К.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Підшипники такого типу найчастіше прикріплюють до бічних частин обладнання і монтують по краях валу на його цапфах. Вони надійно кріпляться до площини і добре сприймають підвищені навантаження. Радіальні підшипники з фланцем сприймають радіальні навантаження і невеликі осьові навантаження. Використання фланця спрощує збірку вузла.



Виріб, забезпечений фланцем зовнішнього кільця, робить простішою обробку посадкової поверхні, даючи можливість відмовитися від використання заплечика. поверхности, давая возможность отказаться от использования заплечика. Фланець найчастіше має круглу форму, але також може мати квадратну з чотирма отворами, круглу з 4 кріпильними

наскрізними отворами, ромбоподібну з двома отворами, трикутну з трьома отворами. Великі фланці зазвичай бувають забезпечені кріпильними отворами, а маленькі притискаються до площини за допомогою проміжних деталей. Фланцеве кріплення є простим і надійним, тому широко використовується в якості кріпильного елемента. За допомогою фланця вдається розташувати деталь перпендикулярно робочій площині. Перекоси валів великої довжини компенсують за допомогою установки в них самовстановлюваних підшипників. Корпуси зазвичай роблять з чавунного литва. Для харчової та хімічної промисловості корпуси цих деталей виготовляють з нержавіючої сталі і термопласта. Ці матеріали відрізняються хімічною інертністю. Крім цього, використовують алюмінієве литво. Іноді використовують корпуси, зроблені з листової сталі.

**СЕКЦІЯ 8  
«ФІЗИКА»**

УДК: 621.396.67

## МЕТАМАТЕРІАЛИ У ВІЙСЬКОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

студенти Бондар Р.С., Шумивода К.О., ст.викл. Печерська Т.В.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Метаматеріали грають значну роль у сучасній військовій справі, загалом їх використовують у розробці камуфляжу для комбатантів та спецтехніки. Головними аспектами військових є напад, оборона і секретність. Для того аби надати максимальне маскування, як самим військовим, так і спецтехніці вчені розпочали розробки новітніх систем камуфляжу.

Все розпочиналось із невеликих речей. В жовтні 2017 року вчені винайшли і продемонстрували так званий "контейнер-невидимку". Хоча цей винахід і не ховає великі предмети, але робить невидимою будь-яку річ, яка лежить в самому контейнері. Очевидно, військовим цього було недостатньо і пізніше був винайдений метаматеріал, який можна було б використовувати для камуфляжу танків і іншої великогабаритної бойової техніки [1].

Також був створений метаматеріал, який робить будь-який опуклий предмет «плоским» для електромагнітних хвиль, що рухаються уздовж його поверхні. Завдяки їм будь-яка хвиля, що падає на покритий ними «горб», буде немов проходити через нього, як по плоскій поверхні, не помічаючи випуклої форми предмета, покритого даними плащем-невидимкою, і не буде розсіюватися [3].

Інший метаматеріал є унікальним завдяки своїй особливій будові. При додаванні нелінійного напівпровідника метаматеріал стане перенастроювати екрани для СТЕЛС-технологій - комплексу способів зниження радіолокаційної помітності бойових машин в радіо, інфрачервоному та інших областях спектра. На даний час цей проект вдало реалізували військові США в літаку Northrop Grumman B-2 Spirit (рис.1) [2].



Метаматеріали поки не є дозволеними, або не дозволеними у військових. Якщо поглибитись у вивчення Женевської конвенції то, відразу виникають питання що до правильності використання їх під час бойових дій. Відомо, що звичайний камуфляж допомагає зливатися з фоном, що є

законним, так як це можна розглядати просто як технологічні пристосування для досягнення бажаного результату. Однак, якщо камуфляж використовують солдати, щоб прикинутись некомбатантами, ввести противника в оману і тим самим отримати перевагу в атаці, то це вже поза законом відповідно до положення Женевської конвенції про «Заборону віроломства».

### **Перелік посилать:**

1. Інтернет-журнал «Цікаво.com» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ : 2015 – 2018. – Режим доступу: <http://cikavo.com/article/3782.html> (дата звернення 25.03.2018) – Назва з екрана.
2. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ : 2014 – 2018. – Режим доступу: <https://goo.gl/YVg5bQ> (дата звернення 25.03.2018) – Назва з екрана.
3. Інтернет-портал «ІТ українською» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ : 2016 – 2018. – Режим доступу: <https://goo.gl/BShp6Q> (дата звернення 25.03.2018) – Назва з екрана.

УДК: 535.329

## МЕТАМАТЕРІАЛИ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Кромбет М.О., ст.викл. Печерська Т.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Метаматеріали – це штучно сформовані і особливим чином структуровані середовища, які мають електромагнітні властивості, що виходять за межі властивостей компонентів, з яких вони складаються. Метаматеріали синтезують шляхом введення в природний матеріал різних періодичних структур з найрізноманітнішими геометричними формами, які модифікують діелектричну і магнітну сприйнятливості матеріалу [1].

Термін «метаматеріали» особливо часто застосовують щодо тих композитів, які демонструють властивості, не характерні для об'єктів, з якими доводиться стикатись у природі. Надзвичайні властивості метаматеріалів пояснюються резонансною взаємодією електромагнітної хвилі, що поширюється в гетерогенному середовищі, наповненому включеннями, які мають спеціальну форму. Поверхня метаматеріалів укрита безліччю крихітних металевих частинок — стрижнів, рамок, кілець. Вони відіграють ту саму роль, що й атоми та молекули в однорідній речовині, а саме: відповідають за електричні, магнітні й оптичні властивості. Адже такі частинки — це, по суті, мікроскопічні соленоїди й конденсатори. На відміну від атомів і молекул, такі частинки можна спеціально добирати, забезпечуючи нові властивості метаматеріалу, яких не можуть мати традиційні природні матеріали, наприклад від'ємний коефіцієнт заломлення в певному діапазоні частот.

Як відомо, електромагнітні властивості матеріалу визначаються двома матеріальними параметрами: діелектричною проникністю ( $\epsilon$ ) та магнітною проникністю ( $\mu$ ). Вони описують зв'язок матеріалу з відповідними компонентами електричного та магнітного поля електромагнітної хвилі.

Індекс рефракції ( $n$ ) математично визначається як швидкість світла у вакуумі, ділене на швидкість світла в середовищі:

$$n = \frac{c}{v_p} \text{ де}$$

$c$  — швидкість світла у вакуумі;

$v_p$  — швидкість світла в середовищі;

Індекс рефракції пов'язаний з електричною діелектричною проникністю та магнітною проникністю за співвідношенням Максвелла:

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Рефракція, звичайно, полягає в згині хвилі, коли вона проходить через кордон, що розділяє два середовища. Величина згинання описується законом Снелла. Закон Снелла визначається таким рівнянням:

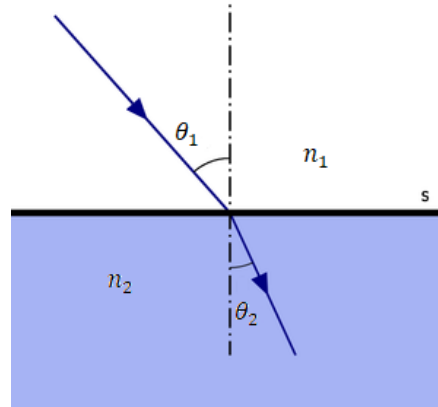


$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2, \text{ де}$$

$n_1, n_2$  — індекси рефракцій середовищ;

$\theta_1$  — кут падіння;

$\theta_2$  — кут заломлення;



Метаматеріали можна класифікувати, описуючи їх діелектричну проникність та магнітну проникність. Вони можуть бути згруповані в чотири комбінації на основі цих двох параметрів:

$$\epsilon > 0, \mu > 0 \quad \epsilon < 0, \mu > 0$$

$$\epsilon < 0, \mu < 0 \quad \epsilon > 0, \mu < 0$$

Побічні метаматеріали демонструють як негативну електричну проникність, так і магнітну проникність, що приводить до негативного показника заломлення. Негативний показник заломлення дає великий потенціал, тому що це властивість не знайдено в будь-якому несинтетичному матеріалі.

Гнучкість, яку пропонують метаматеріали, створює численні технологічні можливості. Метаматеріали обіцяють великі успіхи в галузі електроніки, оптики та ін. У випадку RF та мікрохвильових компонентів, технологія метаматеріалів може надавати значні переваги. Можуть бути реалізовані мініатюрні, малошумні версії існуючих компонентів (таких як хвилеводи, фільтри та антени).

#### Перелік посилань:

1. Метаматеріал [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://bit.ly/2G8yGwH>.

2. Metamaterials Provide Technology for the Future [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mwrf.com/components/metamaterials-provide-technology-future>.

3. Metamaterials leverage field and wave propagation... [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://metamaterialscenter.com/technology/>.

УДК 530:531

## ІОННИЙ ДВИГУН

студент Кувшинов О. В., ст.викл. Печерська Т.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Початок ХХІ ст. ознаменувався революційним розвитком технічного прогресу. Найсучасніші технології стрімко використовуються у всіх розвинутих країнах світу у найбільш значущих сферах людської діяльності (промисловості, обороні, інформаційній сфері, радіоелектроніці, енергетиці, транспорті, біотехнології, медицині). Аналіз зростання інвестицій, кількості публікацій з даної тематики і темпів упровадження фундаментальних та пошукових розробок дає змогу зробити висновок про те, що в найближчі 20 років цей прогрес буде одним із визначальних чинників наукового, економічного та оборонного розвитку держав [2]. Зокрема, велика кількість новітніх розробок присвячена освоєнню космосу.

**Іонний двигун** — різновид електричного ракетного двигуна, робочим тілом якого є іонізований газ (ксенон, цезій тощо). Принцип роботи двигуна полягає в іонізації газу і його розгоні електростатичним полем. При цьому, завдяки високому відношенню заряду до маси, можливо розігнати іони до дуже високих швидкостей (понад 210 км/с порівняно з 3-4,5 км/с у хімічних ракетних двигунів). Таким чином, в іонному двигуні можна досягти дуже великого питомого імпульсу. Це дозволяє значно зменшити витрати реактивної маси іонізованого газу порівняно з витратою реактивної маси в хімічних ракетах, але вимагає великих витрат енергії.

Джерелом іонів є газ, зазвичай аргон або водень. Бак з газом розташовується в передній частині двигуна, звідти газ надходить до відсіка іонізації, де утворюється холодна плазма, що розігрівається в наступному відсіку іонним циклотронним резонансним нагріванням. Після нагрівання високоенергетична плазма надходить до магнітного сопла, де магнітним полем формується потік, розганяється і викидається назовні – утворюється тяга [1].

Недолік двигуна в його нинішніх реалізаціях – дуже слабка тяга (десяті частки ньютонів). Неможливо використовувати іонний двигун для старту з планети, але у відкритому космосі при досить довгій роботі двигуна можливо розігнати космічний апарат до швидкостей, недоступних зараз жодним іншим існуючим видам двигунів. В існуючих реалізаціях для підтримки роботи двигуна використовуються сонячні батареї. Але для роботи в далекому космосі такий спосіб неприйнятний. Тому вже зараз для цього іноді використовуються ядерні установки. Як основний (маршовий) іонний двигун вперше застосований на космічному апараті Deep Space 1 (перший запуск двигуна відбувся 10 листопада 1998 року). Наступними апаратами стали європейський місячний зонд Смарт-1, запущений 28 вересня 2003 року, і японський апарат Хаябуса, запущений до астероїда в 2003 році.

Наступним апаратом NASA, який мав маршовий іонний двигун, став АМС Dawn, який стартував 27 вересня 2007 року. Dawn призначається для вивчення Вести і Церери, і має три двигуни NSTAR, успішно випробуваних на Deep Space 1.

Для проекту НАСА «Прометей» розробляється потужний іонний двигун, що живиться від бортового ядерного реактора. Передбачається, що вісім таких двигунів зможуть розігнати апарат до 90 км/с. Перший апарат цього проекту Jupiter Icy Moons Explorer планувалося відправити до Юпітера 2017 року, проте розробку цього апарата припинили через технічні труднощі. Станом на початок 2018 року триває пошук простішого проекту АМС для першого випробування за програмою «Прометей».

#### **Перелік посилань:**

1. Іонні та плазмові двигуни, принцип дії, різновиди, застосування, перспективи. // Журн.: «Science Ukraine». - 11/03/2015.

2. Малишев В., Лукашенко Т., Липова Л., Сущенко А. Нанотехнологія та підготовка сучасного інженера в контексті Болонського процесу. / В. Малишев, Т. Лукашенко, Л. Липова, А. Сущенко // Український науковий журнал "ОСВІТА РЕГІОНУ". - 2011. - № 5. - С. 52.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУПЕРЛІНЗ

студент Литвин О.В., к. ф.-м. н., доц. Печерська-Громадська К.Ю.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У наш час вчені досягли успіху і створили новий тип лінз, а саме – суперлінзи. "Суперлінза" являє собою квадрат зі стороною 40 сантиметрів, що складається з безлічі окремих осередків. В середині них знаходяться невеликі мідні антени. Під час роботи пристрій поміщають між приймачем і передавачем, роль яких виконують магнітні котушки. Її завдання полягає в тому, щоб сконцентрувати поле в напрямку передавача і зробити перенесення енергії більш ефективним.

Суперлінзи, дозволять створити нове покоління мікроскопів, з роздільною здатністю в 100 нанометрів. Секрет полягає в плазмонах, плазмових коливаннях близько поверхні тонкої металевої плівки в поєднанні з особливими наноструктурами. При порушенні електромагнітним полем, вони збирають світлові хвилі близько об'єкта і заломлюють його таким чином, який не зустрічається в природі і називається негативною рефракцією. Це дозволяє лінзі подолати дифракційний ліміт і дозволить нам побачити об'єкти, розміром з одну тисячну товщини людської волосини.

Розглянемо об'єкт і лінзу, розміщені вздовж осі  $z$ , так що промені з об'єкта подорожують у напрямку  $z$ . Поле, що виходить з об'єкта, може бути записано в термінах його методу кутового спектра як суперпозиції плоских хвиль:

$$E(x, y, z, t) = \sum_{k_x, k_y} A(k_x, k_y) e^{i(k_z z + k_y y + k_x x - \omega t)} \quad (1)$$

Де  $k_z$  функція  $k_x, k_y$ .

$$k_z = \sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} - (k_x^2 + k_y^2)} \quad (2)$$

Тільки позитивний квадратний корінь приймається, оскільки енергія йде в напрямку + z. Всі компоненти кутового спектру зображення, для якого  $k_z$  є реальними, передаються і перефокусовані звичайною лінзою. Однак, якщо

$$k_x^2 + k_y^2 > \frac{\omega^2}{c^2} \quad (3)$$

то  $k_z$  стає уявним, а хвиля є еванесцентною хвилею, амплітуда якої розпадається, коли хвиля поширюється вздовж осі z. Це призводить до втрати компонентів високочастотної частоти хвилі, які містять інформацію про високочастотні (дрібні) особливості об'єкта, що імпортується. Висока роздільна здатність, яку можна отримати, може бути виражена в термінах довжини хвилі:

$$k_{max} \approx \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \Delta x_{min} \approx \lambda \quad (4)$$

Суперлінзи типу Pendry мають індекс  $n = -1$  ( $\epsilon = -1$ ,  $\mu = -1$ ), і в такому матеріалі транспорт енергії в напрямку z вимагає, щоб z-компонента хвильового вектора мала протилежний знак:

$$k'_z = -\sqrt{\frac{\omega^2}{c^2} - (k_x^2 + k_y^2)} \quad (5)$$

Для великих кутових частот витікаюча хвиля зростає, тому при правильній товщині лінз - усі компоненти кутового спектра можуть бути передані через об'єктив, не спотворені.

У 2004 році перші суперлінзи з негативним показником заломлення забезпечували роздільну здатність в три рази краще, ніж дифракційна межа, і була показана на мікрохвильових частотах.

#### Перелік посилань:

- 1) Sadatgol, M.; Ozdemir, S. K.; Yang, L.; Guney, D. O. (2015). "Plasmon injection to compensate and control losses in negative index metamaterials". *Physical Review Letters*. 115
- 2) Dumé, B. (4 April 2005). "Superlens breakthrough". *Physics World*. Retrieved 2009-11-10.
- 3) <http://globalscience.ru/article/read/ua20185/>
- 4) <https://dt.ua/TECHNOLOGIES/fiziki-zrobili-superlinzu-dlya-peredachi-elektroenergiyi-na-vidstan-135360.html>

УДК: 669.14

## МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК

студент Печерний Д.В., ст. викл. Печерская Т.В.,

к.ф.-м. н., доцент Печерська-Громадська К.Ю.

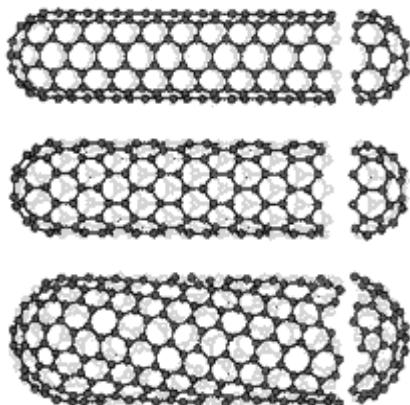
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Вуглецеві нанотрубки — протяжні циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки до декількох мікронів, складаються з однієї або декількох згорнутих у трубку гексагональних графітових площин (графенів) і закінчуються зазвичай півсферичною головкою. Відношення довжини до діаметру у нанотрубок сягає 132 000 000: 1, що значно більше, ніж у будь-якого іншого матеріалу.

Будь-яку одношарову вуглецеву нанотрубку можна представити у вигляді викрійки з листа графена (що представляє собою сітку з правильних шестикутників, в вершинах яких розташовані атоми вуглецю), яка задається парою чисел  $(n, m)$ , що називаються індексами хіральності. Індекси хіральності  $(n, m)$  при цьому є координатами радіус-вектора  $R$  в заданій на графеновій площині косокутній системі координат, що визначає орієнтацію осі трубки щодо графенової площини і її діаметр.

Рис.1. Приклади нанотрубок



Діаметр нанотрубки розраховується по діаметру циліндра, довжина кола якого дорівнює довжині вектора  $R$  і виражається через індекси хіральності  $(n, m)$  як:

$$D = \frac{\sqrt{3}d_0}{\pi} \cdot \sqrt{m^2 + n^2 + mn}, \quad \text{де } d_0 =$$

0,142 нм - відстань між сусідніми атомами вуглецю в графітовій площині.

Інший спосіб позначення хіральності складається у вказівці кута  $\alpha$  між напрямком згортання нанотрубки і напрямком, в якому сусідні шестикутники мають спільну сторону. При цьому вибирається найменший кут, такий що  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ . Однак в цьому випадку для повного опису геометрії нанотрубки необхідно вказати її діаметр.

Зв'язок між індексами хіральності  $(n, m)$  і кутом  $\alpha$  дається співвідношенням:

$$\sin \alpha = \frac{m\sqrt{3}}{2\sqrt{m^2 + n^2 + mn}}.$$

В даний час найбільш поширеним є метод термічного розпилення графітових електродів в плазмі дугового розряду. Процес синтезу здійснюється в камері, заповненій гелієм під тиском близько 500 торр (1 Торр - позасистемна одиниця тиску, рівна 133,322 Па, названа на честь Е. Торрічеллі. При горінні плазми відбувається інтенсивне термічне випаровування анода, при цьому на поверхні катода утворюється осад, в якому формуються нанотрубки вуглецю.

Максимальна кількість нанотрубок утворюється тоді, коли струм плазми мінімальний і його густина дорівнює  $100 \text{ А/см}^2$ . В експериментальних установках напруга між електродами становить близько 15-25 В, струм розряду кілька десятків ампер, відстань між кінцями графітових електродів 1-2 мм. У процесі синтезу близько 90% маси анода осідає на катоді.

Утворені численні нанотрубки мають довжину близько 40 мкм. Вони нарастають на катоді перпендикулярно плоскій його поверхні і зібрані в циліндричні пучки діаметром близько 50 мкм. Пучки нанотрубок регулярно покривають поверхню катода, утворюють стільникову структуру.

Вміст нанотрубок у вуглецевому осаді становить близько 60 %. Для розділення компонентів отриманий осад поміщають в метанол і обробляють ультразвуком. У результаті виходить суспензія, яка після додавання води піддається поділу в центрифугі. Великі частки прилипають до стінок центрифуги, а нанотрубки залишаються плаваючими в суспензії. Потім нанотрубки промивають в азотній кислоті і просушують в газоподібному потоці кисню і водню в співвідношенні 1:4 при температурі  $750^\circ\text{C}$  протягом 5

хвилин. У результаті такої обробки виходить легкий пористий матеріал, що складається з численних нанотрубок із середнім діаметром 20 нм і довжиною 10 мкм.

Нанотрубки демонструють цілий спектр несподіваних електричних, магнітних, оптичних властивостей. Наприклад, в залежності від конкретної схеми згортання графітової площини, нанотрубки можуть бути і провідниками, і напівпровідниками. Також нанотрубки використовуються, у якості дуже міцних мікроскопічних стрижнів та ниток. Як показують результати досліджень і чисельного моделювання, модуль Юнга одношарової нанотрубки сягає величин 1-5 ТПа, що на порядок більше ніж у сталі.

Розроблено, вже кілька застосувань нанотрубок у комп'ютерній індустрії. Наприклад, створені прототипи тонких пласких дисплеїв, що працюють на матриці з нанотрубок. Під дією напруги, прикладеного до одного з кінців нанотрубки, з іншого починають випромінюватися електрони, які потрапляють на фосфоресціруючий екран та визивають світіння пікселю. Отримане, при цьому зерно зображення буде фантастично малим: порядку мікрона.

Ще одно застосування нанотрубок у наноелектроніці – створення напівпровідникових гетероструктур, тобто структур типу метал напівпровідник або стик двох різних напівпровідників. Тепер для виготовлення такої гетероструктури не потрібно буде вирощувати два матеріали і потім «зварювати» їх один з одним. Все, що потрібно, це в процесі росту нанотрубки створити в ній структурний дефект. Тоді одна частина нанотрубки буде металевую, а інша напівпровідниковою.

#### **Перелік посилань:**

1. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5449980/> від 29.03.2018 р.
2. Мищенко С.В., Ткачев А.Г. М717. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.



УДК 535.329

### БИОМОРФНА КЕРАМІКА

студент Самелюк, канд. ф.-м. н. доц. Печерська-Громадська К.Ю.

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Одним з актуальних завдань сучасної щелепно-лицьової хірургії є пошук і розроблення нових імплантаційних матеріалів з метою розширення арсеналу лікувальних засобів для усунення дефектів, деформацій тканина бо надання їм нової форми і функції. Проведення деяких щелепно-лицьових операцій потребує застосування штучних матеріалів як фіксатор і в кісткових фрагментів, бар'єрів між різними видами тканин, опор для утримання форми або здійснення певної специфічної функції. Останніми роками з'явилися дані про перспективність застосування SiC-кераміки в медицині. Карбідокремнієва кераміка має низку потенційно корисних властивостей: висока механічна міцність, малий коефіцієнт термічного розширення, низька щільність, хімічна інертність, стійкість до окиснення і корозії. Завдяки високій біосумісності цей матеріал можна використовувати для виготовлення імплантатів різного призначення.

Інтерес медиків до карбіду кремнію зумовлений його особливою структурою з розвиненою системою каналних пор розміром від 20 до 100 мкм, що нагадує структуру кісткової тканини. Здатність кремнію (Si) позитивно впливати на процеси мінералізації кісткової тканини, відзначено ще в 1970р. Численні роботи свідчать про вищі адаптаційні властивості вуглецю, щодо стромальних стовбурових клітин кісткового мозку людини порівняно з матеріалом на основі біологічного гідроксіапатиту. Зокрема встановлено, що введення матеріалу з домішкою вуглецю в середовище культивування спричиняло утворення багатошарових колоній, що свідчить про стимуляцію структурно-творного потенціалу стовбурових клітин-попередників.

Останнім часом з'явився новий клас імплантаційних матеріалів, створених відповідно до принципів біоміметики. Такі матеріали синтезовано з біологічних тканин або вони мають властивості, аналогічні до живих структур чи біологічно активних продуктів їх життєдіяльності.

Виготовлення кераміки з біоморфними властивостями в більшості випадків передбачає два основних етапи: створення вуглецевої матриці з біологічної заготовки та перетворення її на кераміку. Наявність вуглецевої матриці біологічного об'єкта дає змогу отримати матеріал, псевдоморфний цьому об'єкту, який матиме аналогічну до біологічного зразка структуру на мікро-, мезо- та макрорівні. Природні ієрархічні пористі структури мають високий рівень складності, який не доступний при інших сучасних технологіях виготовлення. Потенційно перспективний матеріал зазначеного класу розроблено в Інституті фізики напівпровідників імені В.Є.Лашкарьова НАН України. Досліджені властивості біоморфного композиту на основі карбиду кремнію (так званої екокераміки або біо-SiC (ecoceramics, environment conscious ceramics)) можуть значно розширити арсенал лікувальних методик у реконструктивно-пластичній хірургії щелепно-лицьової ділянки.

Більшість дослідників високо оцінюють можливості застосування біоморфної кераміки на основі SiC з урахуванням високої механічної стійкості, біоінертності, відсутності корозії, можливості виготовлення виробів різної форми, доступності та відновлюваності ресурсів для її отримання.

### **Перелік посилань:**

1. Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering / Ed. by G. E. Wnek, G. L. Bowlin. V. 2. 2nd ed. — Marcel Dekker, 2004. — 418 p.
2. Сулима В. С., Панченко Л. М. Імунологічне обґрунтування можливості застосування матеріалів на основі біологічного гідроксиапатиту для заміщення кісткових дефектів // Гал. лік. вісн. — 2002. — Т. 9, № 1. — С. 87 — 89.
3. Карбид кремния: технология, свойства, применение / Под ред. А. Е. Беляева, Р. В. Конаковой. — Х.: ИСМА, 2010. — 532 с.
4. Маланчук В. О., Копчак А. В. Оцінка якості кісткової тканини лицевого відділу черепа та класифікація її типів на основі біомеханічних параметрів

**ВАРІАТИВНІСТЬ МОДЕЛЕЙ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ.  
МЕТОД ВІРТУАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ**

студ. Сорокіна О.С., ст.викл. Печерська Т.В.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Розвиток варіативності мислення студента є об'єктивною основою розвитку його творчих здібностей. Є очевидним, що, чим з більшою кількістю математичних схем розв'язку задачі ознайомлений студент, тим вища його математична культура. Розвиток же математичної культури є не менш важливим для успішного навчання, ніж розвиток умінь здійснювати аналіз фізичної ситуації явища. Розглянемо розв'язок задачі:

**Задача.** Тонке металеве кільце радіуса  $R$ , по якому тече струм  $I$ , розміщене в однорідному магнітному полі з індукцією  $B$ , при чому вектор  $\vec{B}$  перпендикулярний до площини кільця (рис.1). Визначити значення сили натягу, що виникає в кільці.

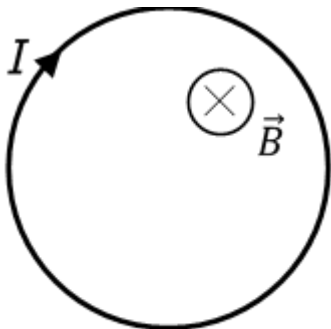


Рис. 1

Окрім диференціального та інтегрального способів розв'язання, цю задачу можна розв'язати, застосовуючи метод віртуальних переміщень. Згідно з цим принципом сума елементарних робіт активних сил, які діють у системі, за віртуального переміщення системи дорівнює нулю.

За незначного переміщення прямолінійного провідника зі струмом  $I$  в однорідному магнітному полі з індукцією  $B$  елементарна робота сили Ампера дорівнює:

$$\Delta A = \Delta F_A \Delta x = IB I \Delta x = IB \Delta S = I \Delta \Phi,$$

де  $\Delta x$  – переміщення провідника, довжина якого  $l$ ,  $\Delta \Phi$  – зміна магнітного потоку внаслідок переміщення провідника.

Нехай під дією сил Ампера, що діють на кожний елемент контура (рис. 2), його радіус збільшився на  $\Delta R$ . За цих умов зміна площі контура

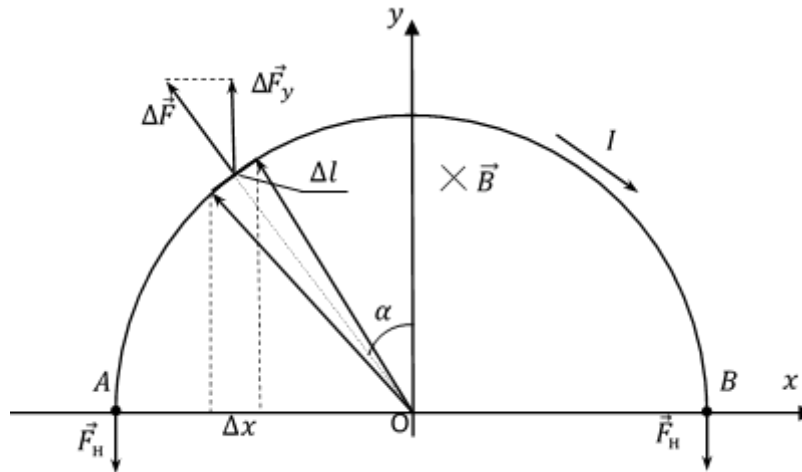


Рис. 2

$$\Delta S = \pi(R + \Delta R)^2 - \pi R^2.$$

Нехтуючи доданком  $\Delta R^2$ , дістанемо:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = 2\pi R \Delta R.$$

Формула для визначення віртуальної роботи сили Ампера запишеться так:

$$\Delta A_1 = 2\pi I B R \Delta R.$$

Оскільки за такого віртуального переміщення зростає довжина кола на  $\Delta l = l_2 - l_1 = 2\pi \Delta R$ , робота сил натягу (сил пружності) визначається із співвідношення:

$$\Delta A_2 = -F_n \Delta l = -2\pi F_n \Delta R.$$

Виходячи з принципу віртуальних переміщень, сума робіт діючих сил Ампера і натягу дорівнює нулю:

$$\Delta A_1 + \Delta A_2 = 0, \text{ або } 2\pi I B R \Delta R - 2\pi F_n \Delta R = 0.$$

Звідси:

$$F_n = I B R.$$

### Перелік посилань:

1. Галатюк Ю.М., Левшенюк Я.Ф., Левшенюк В.Я., Тищук В.І. Методи розв'язування фізичних задач. Методи моделювання та аналогії.// видавнича група «Основа», 2007.

2. Галатюк Ю.М., Самойленко П.И., Сергеев А.В. Моделирование процесса решения творческих учебных задач по физике // Специалист. – 2001. - №2. – С. 31-33.

УДК: 535-94, 535.581, 535.016

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАНІПУЛЯЦІЇ СВІТЛОМ

студент Ясеньчук В. В., ст.викл. Печерська Т.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

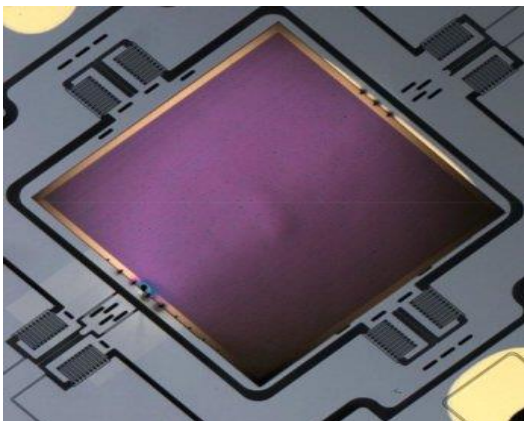
Світло — це справжня дивина нашого Всесвіту. Здається, людина ніколи не вичерпає можливості його вивчення. Наприклад, гарвардські дослідники розробили унікальний матеріал, що може створювати зовсім нові та складні стани світла: вихори, спіралі. Це все стало можливо за допомогою метаповерхонь.

Метаповерхні – це штучно сформовані і особливим чином структуровані середовища, які мають електромагнітні властивості, що виходять за межі властивостей компонентів, з яких вони складаються. Метаповерхні синтезують шляхом введення в природний матеріал різних періодичних структур, які модифікують діелектричну і магнітну сприйнятливність матеріалу.

Раніше вже було доведено, що промінь світла виявляє два типи моменту імпульсу. Завдяки їх поєднанню та використанню поляризації утворюються нові та складні форми такі як вихори та штопори. Досі це було неможливо.

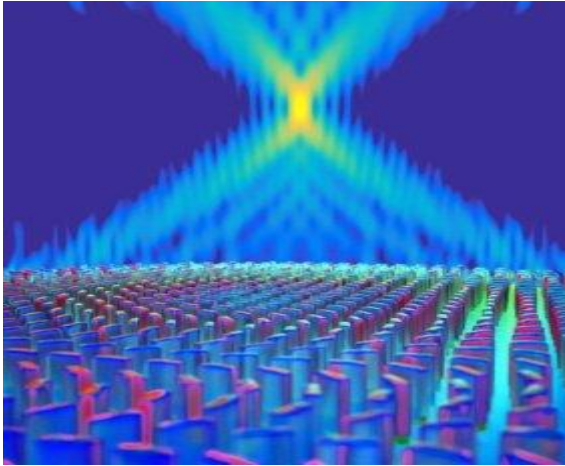
Перспективи використання самої метаповерхні — безмежні, адже завдяки їй можна буде формувати оптичні пінцети для маніпулювання об'єктами розміром з атом або молекулу, а змінюючи поляризацію можна буде змінювати напрям прикладеної сили.

У спільних зусиллях між Департаментом енергетики США та Гарвардським університетом, дослідники успішно створили лінзу на платформі мікроелектромеханічної системи (MEMS). Результатом є нова інфрачервона система фокусування світла.



У технологічно злитій оптичній системі дзеркала MEMS відбивають світло, яке метали потім фокусують без необхідності додаткового оптичного компонента, такого як фокусуюча лінза(рис.1)

Вчені з Університету Нанджинг та Хуангянг Чен опублікували результати дослідження нових конформних лінз.



Мета цих лінз – взяти промінь світла і викривити його шлях бажаним чином.

Рисунок 1 – Плоска лінза (квадратна частина), заснована на поверхні металу, яка допоможе керувати світлом.

У звичайних матеріалах світло рухається по прямій до тих пір, поки воно не досягне межі поділу між двома прозорими матеріалами. І тільки в цей момент воно змінить напрямок руху.

Однак при застосуванні метаматеріалу світло можна спрямувати вздовж кривої. Це відкриває перспективу створення таких приладів, як наприклад шапка-невидимка.

Рис.2 – Лінза складена з нанофінів титану діоксиду на скляній підкладці. Мета-лінза фокусує падаюче світло (що надходить з дна і поширюється вгору).

Дослідники з Гарвардського інженерно-прикладного інституту ім. Джона Полсона продемонстрували першу планарну лінзу, яка працює з високою ефективністю в межах видимого спектру світла, що охоплює весь спектр кольорів від червоного до синього. Об'єktiv може вирішити нанорозмірні характеристики. Він використовує ультратонкий масив крихітних хвилеводів, відомих як метаповерхня, яка вигинає світло, коли воно проходить, подібно до кривої лінзи.

Ця технологія є потенційно революційною, оскільки вона працює у видимому спектрі, що означає, що вона здатна замінити об'єктиви на всі види пристроїв, від мікроскопів до камери, до дисплеїв і стільникових телефонів.

Отже, всі ці відкриття це великий прорив в науці що вирішить багато проблем пов'язаних з оптикою.

#### **Перелік посилань:**

1. Журнали «Science News», «Обрій».
2. Тапаши Рой, Шуян Чжан, Іл Вунг Юнг. Динамічна мета-поверхнева лінза на основі технології MEMS .

## ЗМІСТ

### СЕКЦІЯ 1

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

|   |    |
|---|----|
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ<br/>ГРАНУЛЬОВАНОГО</b>  |    |
| Гришин О.Ю., Двойнос Я.Г.   | 4  |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІННОГО АПАРАТУ</b>   |    |
| Євзютін П.Ю., Гулієнко С.В.   | 6  |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ В СХЕМІ<br/>ВИРОБНИЦТВА ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТУ БЕЗПРЕРИВНИМ<br/>СПОСОБОМ</b> |    |
| Євзютін П.Ю., Швед М.П.   | 8  |
| <b>ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ<br/>МОДЕЛЮВАННЯ МЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ</b>                           |    |
| Камінський В.С., Гулієнко С.В.  | 10 |
| <b>УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЦИЛІНДРО-КОНІЧНОГО<br/>ЦИКЛОНА</b>   |    |
| Коваль В. О., Крамар. О. В.   | 12 |
| <b>ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ У СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА<br/>ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ НИЗЬКОГО ТИСКУ</b>                       |    |
| Ковба А.М., Швед М.П.   | 14 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ДОСУШУВАЧА ВИРОБНИЦТВА СЕЛІТРИ</b>  |    |
| Король А.Ю., Двойнос Я.Г.   | 16 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ НАСАДКОВОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ<br/>ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ ВОДА-ЕТАНОВА КИСЛОТА</b>          |    |
| Нурадіннов І.А., Степанюк А.Р.  | 18 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА СЕЛІТРИ</b>   |    |
| Пінчук А.Є., Двойнос Я.Г.   | 20 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ</b>   |    |
| Пінчук В. В., Двойнос Я.Г.  | 22 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ УСТАНОВКИ<br/>ОЧИЩЕННЯ МЕТИЛОВОГО СПИРТУ-СИРЦЮ</b>                     |    |
| Процюк О.О., Гулієнко С.В.  | 24 |
| <b>ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОДИНА-<br/>МІКИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ</b>            |    |
| Терещенко І.Ю., Гулієнко С.В.   | 26 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ СПІРАЛЬНОГО ТЕПЛООБМІННИКА<br/>УСТАНОВКИ ГІДРООЧИСТКИ</b>                                     |    |
| Тертус О.Г., Степанюк А.Р.  | 28 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ</b>  |    |
| Тищенко К.В., Двойнос Я.Г.  | 30 |

|  |    |
|--|----|
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ТАРИЛЬЧАСТОЇ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ<br/>ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ МЕТАНОЛ-ЕТАНОЛ</b> |    |
| Ткачук М.В., Степанюк А.Р.   | 32 |
| <b>ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ У СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА<br/>ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ НИЗЬКОГО ТИСКУ</b>          |    |
| Турчанінов Д.О., Гулієнко С. В.  | 34 |
| <b>ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОВОЇ ТРУБИ</b>   |    |
| Яцюк І. О., Стеблецький І. М., Двойнос Я.Г.  | 36 |
| <b>ВИКОРИСТАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ХОЛОДИЛЬНІЙ<br/>ТЕХНІЦІ</b>                                   |    |
| Яцюк І.О., Стеблецький І. М., Двойнос Я.Г.   | 38 |

## СЕКЦІЯ 2

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

|   |    |
|---|----|
| <b>ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО КОНДЕНСАТОРА<br/>В ПРОЦЕСІ ВИДІЛЕННЯ БЕНЗОЛУ</b>                                       |    |
| Валько М.П., Андреев І.А.   | 41 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ МАСООБМІННОГО АПАРАТУ</b>   |    |
| Кушнірук В. М. Гулієнко С. В.   | 43 |
| <b>ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО КОЖУХОТРУБНОГО<br/>ТЕПЛООБМІННИКА В ПРОЦЕСІ ОЧИСТКИ ГАЗУ ВІД<br/>ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ</b> |    |
| Орел О.Ю., Андреев І.А.   | 45 |
| <b>ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ У СХЕМІ ВИРОБНИЦТВА<br/>ПОЛІЕТИЛЕНУ ПІД ДІЄЮ НИЗЬКОГО ТИСКУ</b>                               |    |
| Креденцер І. Д., Швед М.П.  | 47 |
| <b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛООБМІННОГО АПАРАТУ ЛІНІЇ<br/>ВИРОБНИЦТВА ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ</b>                                     |    |
| Крестошина О.П., Зубрій О.Г.  | 49 |
| <b>ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕПЛООБМІННИКА<br/>ПРИ ПЕРЕРОБЦІ РАПСОВОЇ ОЛІЇ В БІОДИЗЕЛЬНЕ ПАЛИВО</b>                |    |
| Чайківський К.В., Андреев І.А.  | 51 |
| <b>ВИПАРНИЙ АПАРАТ УСТАНОВКИ ВИРОБНИЦТВА МИЛА</b>   |    |
| Шевченко Я.М., Гулієнко С.В.  | 53 |

## СЕКЦІЯ 3

### «ОБЛАДНАННЯ ЛІСОВОГО КОМПЛЕКСУ»

|  |    |
|--|----|
| <b>ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРЕСОВИХ ЧАСТИН КАРТОНОРОБНИХ<br/>МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ ЖОЛОБЧАТИХ ПРЕСОВИХ<br/>ЦИЛІНДРІВ</b> |    |
| Байда Є.А., Семінський О.О.  | 56 |
| <b>ВАЛ З ГІДРОПІДТРИМКОЮ ОБОЛОНКИ</b>  |    |
| Котенко Д.В., Марчевський В.М.   | 58 |



|   |    |
|---|----|
| <b>РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРИТИСКАННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ГАУЧ-ВАЛА</b>                        |    |
| Матохнюк М.Б., Новохат О.А.   | 60 |
| <b>РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ ВІДСМОКТУВАЛЬНОГО ВАЛА</b>                |    |
| Михалишина Т.С., Новохат О.А.   | 62 |
| <b>ЦИЛІНДР ХОЛОДИЛЬНИЙ</b>  |    |
| Нечипоренко Р.А., Марчевський В.М.  | 64 |
| <b>ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ПОЛОТНА НА НАКАТІ КАРТОНОРІБНОЇ МАШИНИ</b> |    |
| Ходаківський Н.Ю., Новохат О.А.   | 66 |
| <b>ЦИЛІНДР СУКНОСУШИЛЬНИЙ</b>   |    |
| Холод І.І., Марчевський В.М.  | 68 |

#### СЕКЦІЯ 4

##### «ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ РОСЛИННИХ ПОЛІМЕРІВ»

|  |    |
|--|----|
| <b>МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФЕРРАТУ КАЛІЮ В ПРОЦЕСАХ ВОДОПІДГОТОВКИ</b> |    |
| Гаркушина А.О., Довголап С.Д., Іваненко О.І.                           | 71 |

#### СЕКЦІЯ 5

##### «ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

|   |    |
|---|----|
| <b>ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ У ХАРЧОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ</b>                    |    |
| Д. Рибальченко, А.В. Копиленко  | 74 |
| <b>ВИКОРИСТАННЯ ЗАРОДКІВ ПШЕНИЦІ ТА ПШЕНИЧНИХ ВИСІВОК У ХАРЧОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ</b> |    |
| Кохан Б. А., Копиленко А. В.  | 76 |
| <b>ПОЛПШЕННЯ РОБОТИ ОЧИСНИХ СПОРУД НА М'ЯСОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ</b>           |    |
| В. Морозов, А. Копиленко  | 78 |
| <b>ОСНОВНІ ЕТАПИ ВИРОБНИЦТВА ПРЕПАРАТІВ КАЛЕНДУЛИ</b>                             |    |
| Степанюк А.М.   | 80 |

#### СЕКЦІЯ 6

##### «ТЕОРЕТИНЧА МЕХАНІКА»

|   |    |
|---|----|
| <b>ОБЧИСЛЕННЯ ГОЛОВНОГО ВЕКТОРА І ГОЛОВНОГО МОМЕНТУ СИЛ ІНЕРЦІЇ ДЛЯ ТВЕРДОГО ТІЛА</b>   |    |
| Дзюнь А.М., Штефан Н.І.   | 82 |
| <b>ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА ЗА МЕТОДОМ ПОСЛІДОВНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПЕРІОДУ КОЛИВАНЬ НАВКОЛО ПАРАЛЕЛЬНИХ ОСЕЙ</b> |    |
| Камінський В.С., Штефан Н.І.  | 84 |

|   |    |
|---|----|
| <b>ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА ЗА МЕТОДОМ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ТА МАЯТНИКОВИХ КОЛИВАНЬ ТІЛА</b> |    |
| Сацердотов О.О., Штефан Н. І.   | 86 |

**СЕКЦІЯ 7**  
**«ДЕТАЛІ МАШИН»**

|  |    |
|--|----|
| <b>ПРЕЦИЗІЙНІ СТОПОРНІ ГАЙКИ</b>                     |    |
| Євзютін П.Ю., Яцюк І.О., Скуратовський А.К.          | 89 |
| <b>ПІДШИПНИКОВІ ВУЗЛИ БУРОВИХ ГОЛІВОК</b>            |    |
| Міліціян О.А., Войтюк В.О., Скуратовський А.К.       | 90 |
| <b>ЗАЗОРИ В ПІДШИПНИКУ</b>                           |    |
| Стеблецький І.М., Бараш Р.В., Скуратовський А.К.     | 91 |
| <b>ФЛАНЦЕВІ ПІДШИПНИКИ</b>                           |    |
| Гавриленко В.В., Італьянцев О.І., Скуратовський А.К. | 92 |

**СЕКЦІЯ 8**  
**«ФІЗИКА»**

|   |     |
|---|-----|
| <b>МЕТАМАТЕРІАЛИ У ВІЙСЬКОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ</b>                                   |     |
| Бондар Р.С., К.О.Шумивода, Печерська Т.В.                                       | 94  |
| <b>МЕТАМАТЕРІАЛИ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ</b>                                     |     |
| Кромбет М.О., Печерська Т.В.  | 96  |
| <b>ІОННИЙ ДВИГУН</b>  |     |
| Кувшинов О. В., Печерська Т.В.  | 99  |
| <b>ДОСЛІДЖЕННЯ СУПЕРЛІНЗ</b>  |     |
| Литвин О.В., Печерська-Громадська К.Ю.  | 100 |
| <b>МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК</b>                                   |     |
| Печерний Д.В., Печерская Т.В., Печерська-Громадська К.Ю.                        | 102 |
| <b>БІОМОРФНА КЕРАМІКА</b>   |     |
| Самелюк, Печерська-Громадська К.Ю.  | 105 |
| <b>ВАРІАТИВНІСТЬ МОДЕЛЕЙ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ. МЕТОД ВІРТУАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ</b> |     |
| Сорокіна О.С., Печерська Т.В.   | 107 |
| <b>ДОСЛІДЖЕННЯ МАНІПУЛЯЦІЇ СВІТЛОМ</b>  |     |
| Ясеньчук В. В., Печерська Т.В.  | 109 |

**Підписано до друку 20.04.2018 р. Формат 60x90 1/16.  
Папір офсетний. Умовн. др. арк. 4,75  
Друк різнограф. Тираж 200 прим. Зам. № 2004/01.**

---

**ФОП Гузік О.М.  
Податковий номер №2705814113  
м. Київ, вул. Б. Гаврилишина, 16  
Тел.: 338-16-61.**