

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*VII Міжнародної науково-практичної
конференції*

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

9-13 вересня 2019 р.



ОДЕСА
2019

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська
Я.О. Масельська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

- | | |
|--|--|
| Єгоров
<i>Богдан Вікторович</i> | – голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор |
| Бурдо
<i>Олег Григорович</i> | – вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор |
| Атаманюк
<i>Володимир Михайлович</i> | – Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор |
| Васильєв
<i>Леонард Леонідович</i> | – Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор |
| Гавва
<i>Олександр Миколайович</i> | – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор |
| Гумницький
<i>Ярослав Михайлович</i> | – Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор |
| Долинський
<i>Анатолій Андрійович</i> | – Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України |
| Зав’ялов
<i>Владимир Леонідович</i> | – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор |
| Сукманов
<i>Валерій Олександрович</i> | – Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор |
| Колтун
<i>Павло Семенович</i> | – Technident Pty. Ltd., Australia, Dr |
| Корнієнко
<i>Ярослав Микитович</i> | – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор |
| Малежик
<i>Іван Федорович</i> | – Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор |
| Михайлов
<i>Валерій Михайлович</i> | – Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор |
| Паламарчук
<i>Ігор Павлович</i> | – Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор |
| Снежкін
<i>Юрій Федорович</i> | – Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України |
| Сорока
<i>Петро Гнатович</i> | – Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор |
| Сухий
<i>Константин Михайлович</i> | – ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., професор |
| Тасімов
<i>Юрій Миколайович</i> | – Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України |
| Товажнянський
<i>Леонід Леонідович</i> | – Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України |
| Ткаченко
<i>Станіслав Йосифович</i> | – Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор |
| Черевко
<i>Олександр Іванович</i> | – Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор |
| Шит
<i>Михайл Львович</i> | – Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с |

СЕКЦІЯ 2.

**ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ
ХІМІЧНИХ І ФАРМАЦЕВТИЧНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

УДК 532.696:541.182.644

РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОГО ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Грабова Т. Л., к.т.н., пров.наук.сп., Шматок О.І., к.т.н., пров.наук.сп.,
Сильнягіна Н.Б., ст. наук. сп.
Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ), м. Київ

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE HEAT AND MASS EXCHANGE EQUIPMENT FOR PHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

Grabova T. PhD, Leading Researcher, Shmatok O. PhD, Leading Researcher,
Silnyagina N., Senior Researcher
Institute of Engineering Thermophysics (IET of NASU), Kyiv

Анотація. В роботі досліджено вплив гідродинамічних ефектів, які реалізуються у роторно-пульсаційних апаратах дисково-циліндричного типу, на реологічні, структурні та текстурні характеристики дисперсних систем зі структурами складного коагуляційного і конденсаційно-коагуляційного типу. Досліджувані системи мають міцну високорозвинену структуру з аномальною реологічною поведінкою. Виявлено, що системи з коагуляційною структурою здатні до повного тиксотропного відновлення після зняття навантаження, а системи зі змішаною структурою – тільки частково. Останні є чутливими до зсувних деформацій, вплив яких різко зростає в процесі структуроутворення і призводить до втрати плинності системи, що ускладнює технологію отримання таких систем. Виявлено, що при гідродинамічній обробці, з одного боку зростає дисперсність, а з іншого – відбуваються текстурні перебудови, що призводить до зміни функціональних властивостей.

Часові і просторові фактори впливу на систему залежать від конструктивних особливостей апаратів та повинні бути узгоджені з фізичними і фізико-хімічними властивостями компонентів системи. Для отримання структурованих дисперсних систем було запропоновано проточні апарати з двома роторно-статорними парами у вертикальному виконанні і з трьома парами в горизонтальному виконанні, які можуть бути задіяні як в одному циркуляційному контурі, так і працювати в автономних режимах. За результатами досліджень запропоновано технологічне обладнання для отримання структурно однорідних функціональних продуктів.

Abstract. The influence of hydrodynamic effects realized in rotary-pulsation disk-cylindrical apparatus on the rheological, structural and texture characteristics of disperse systems with structures of complex coagulation and condensation-coagulation type is investigated in the work. The researched systems have a strong, highly developed structure with abnormal rheological behavior. It was discovered that a system with a coagulation structure is capable of full thixotropic recovery after removal of the load and a system with a mixed structure only partially. The last is sensitive to shear deformations, the influence of which sharply increases in the process of structuring and leads to loss of fluidity of the system, complicating the technology for producing such systems. It was determined that during hydrodynamic processing dispersion increases on the one hand and textural changes occur on the other hand which leads to a change in functional properties.

The time and spatial factors of influence on the system depend on the design features of the apparatuses and must be agreed with the physical and chemical properties of the system components. Flow apparatuses with two rotor-stator pairs in a vertical version and with three pairs in a horizontal version, which can be used both in one circulation circuit and operate in autonomous modes were proposed to obtain structured disperse systems. The technological equipment was proposed for obtaining structurally homogeneous functional products as the result of the research.

Ключові слова: нанодисперсні системи, структурування, роторно-пульсаційний апарат, реологічна поведінка.

Keywords: nanodispersed systems, structuring, rotary-pulsation apparatus, rheological behavior.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. За даними міжнародних експертів настає “золота ера інновацій в області досліджень та розробці нових лікарських засобів”. Однак, аналіз ринку фармацевтичного обладнання і техніко-технологічного оснащення виробництв фармацевтичної галузі України свідчить про те, що більш ніж 95 % є імпортом [1]. В зв'язку з цим, є незаперечна необхідність у запровадженні вітчизняних технологій та обладнання.

Фахівці Інституту технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ) мають вагомий досвід у розробці, створенні та впровадженні інноваційного обладнання, в тому числі для потреб фармацевтичної промисловості (рис. 1). Для здійснення та інтенсифікації процесів, таких як гомогенізація, диспергування, структурування, деагрегація і деагломерація, екстрагування та інше, в технологічних схемах застосовуються роторно-пульсаційні апарати дисково-циліндричного типу (РПА), в яких реалізується комплекс гідродинамічних, гідроакустичних та механічних впливів на рідинне середовище. Апарати відрізняються виконанням,

конструктивними особливостями робочих елементів та комбінацією статорно-роторних пар. Все це впливає на гідродинамічні параметри збурень потоку рідинного середовища, яке проходить через РПА [2-4].

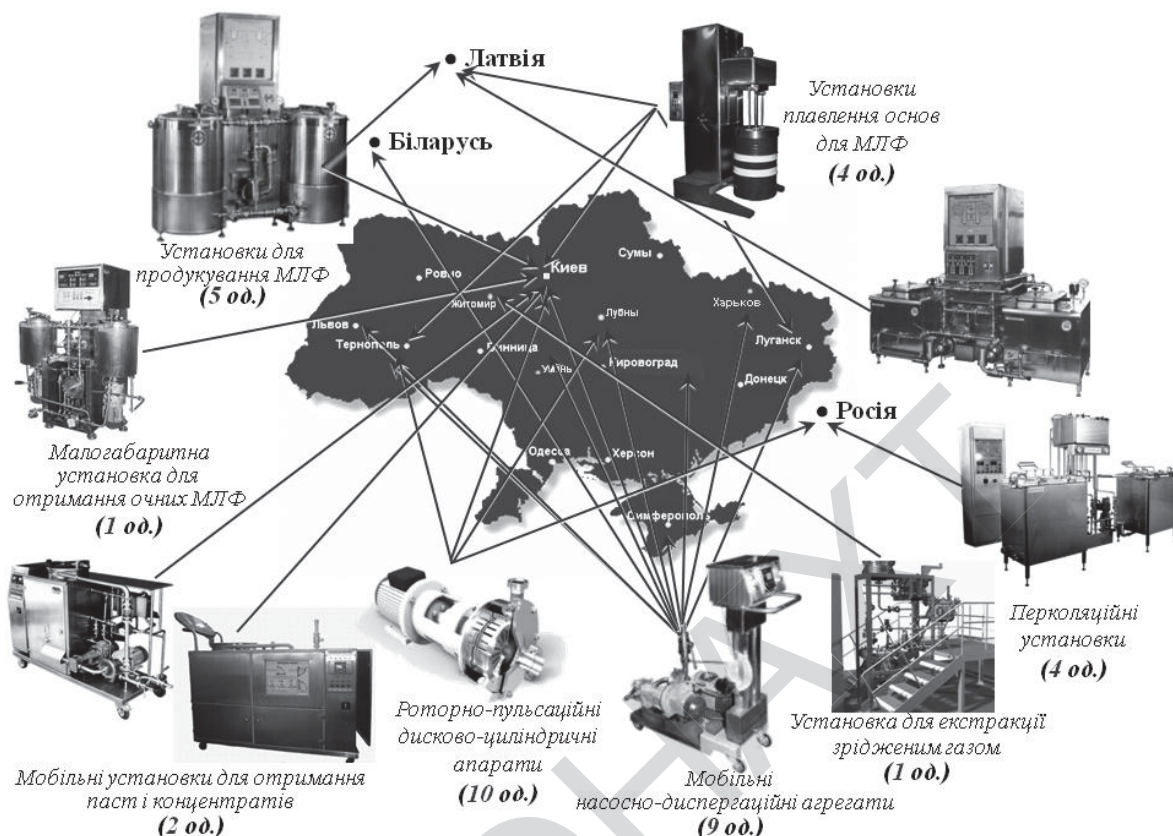
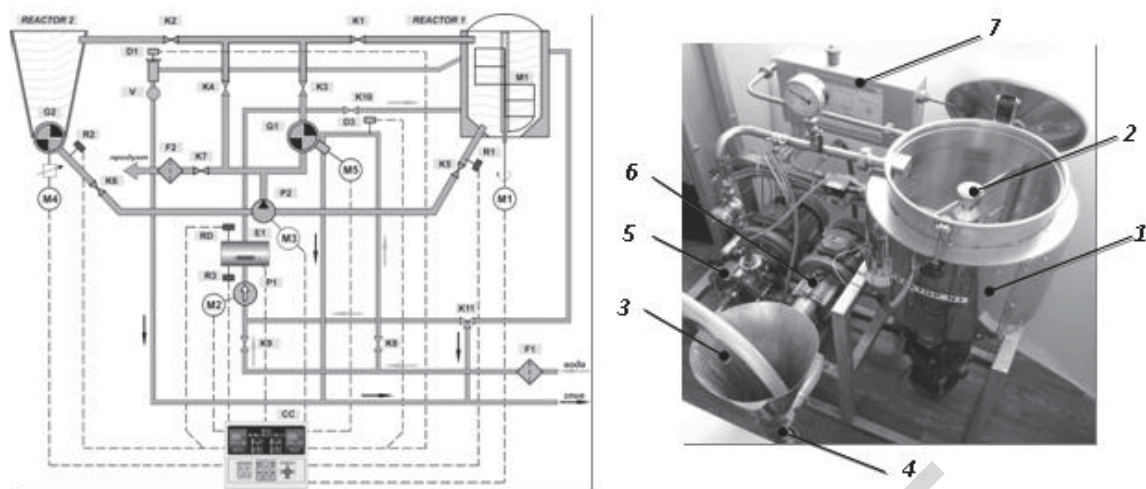


Рисунок 1. Карта впровадженнь тепломасообмінного обладнання для фармацевтичної промисловості

Розробка нових продуктів зумовлює рішення широкого спектру теоретичних та експериментальних задач: від вивчення властивостей окремих компонентів системи і системи вцілому до розробки технології та обладнання для продукування готового продукту з заданими функціональними властивостями.

Зазвичай, технологічне обладнання проектується індивідуально під кожен виробничий процес в залежності від типу рідких або м'яких лікарських форм і властивостей їх компонентів. Широкий спектр суспензійних або суспензійно-емульсійних лікарських засобів являє собою структуровані або зв'язано-дисперсні системи: мазі, гелі, пасти та концентрати. Технологічний процес при отриманні таких систем ускладнений у зв'язку з тим, що дисперсна система в процесі обробки проходить широкий спектр станів – від істинно рідинних через структуровані рідини, гелі до твердоподібних систем. Виникнення структур і їх взаємні перетворення в дисперсних системах при зміні концентрації, температури, складу та ін. в значній мірі визначаються характером міжмолекулярних взаємодій у системі, просторовою будовою структурних одиниць, особливостями теплового руху частинок, інтенсивністю і часом зовнішнього впливу [1, 5-8].

Для визначення шляхів і особливостей управління технологічними процесами, вибору оптимальних умов гідродинамічної обробки при отриманні структурованих систем із заданими функціональними властивостями в ІТТФ НАНУ розроблено пілотну установку (рис. 2). Складовою одиницею установки є реактор 1 з кришкою, оснащений оригінальним перемішувачем 2 зі шкребками і регульованою швидкістю обертання, сорочкою для нагрівання/охолодження і термостатування. Відмінною рисою запропонованої установки є те, що у циркуляційному контурі передбачено оригінальний дисково-циліндричний апарат (ДЦА) у вертикальному виконанні 4, який безпосередньо приєднаний до конусного реактора 3. Реактори між собою з'єднані системою трубопроводів та запірно-регулюючою апаратурою. Циркуляція системи по контуру здійснюється насосом 6. Крім того, для інтенсифікації технологічних процесів, особливо на етапі коли у дисперсній системі починаються глибинні процеси структуроутворення і середовище втрачає плинність, в циркуляційній схемі передбачено ДЦА у горизонтальному виконанні 5



а) принципова схема установки; б) пілотна установка

1 – реактор з сорочкою; 2 – перемішувач (M1); 3 – конусний реактор; 4 – вертикальний ДЦА (G2); 5 – горизонтальний ДЦА (G1); 6 – роторний насос (P2); 7 – електронагрівач (E1)

Рисунок 2. Установка для отримання структурованих високодисперсних систем

Пілотна установка пройшла апробацію в процесах отримання структурованих систем, таких як ентеросорбційні пасти та аплікаційні гелі.

Матеріали та методи експериментальних досліджень.

Складовими для ентеросорбційної пасти є гідрогель метилкремнієвої кислоти (ТОВ “Креома-Фарм”, Україна) та вода у співвідношенні 7:3.

Гідрогель метилкремнієвої кислоти (ГМКК) являє собою вологі (вологість 96...98 %) полідисперсні гранули (до 20 мм). Просторовий каркас структури складається з наноструктурованих глобул, а пори заповнені іммобілізованою водою. На поверхні глобули розміщені органічні радикали, за рахунок чого гідрогель є гідрофобним ($\approx 75\%$), а за рахунок несконденсованих гідроксильних груп – гідрофільним ($\approx 25\%$) [9, 10].

Стояло завдання запропонувати технологію та обладнання для отримання паст з високими адсорбційними властивостями з дисперсністю понад $0,3 \cdot 10^{-9}$ м.

Складовими іншого продукту є нанорозмірний діоксид кремнію SiO_2 Орисил®300 (виробник ТОВ “ЗАВОД ДК ОРІСІЛ”, Україна), карбомер Flogel® 860 (SNF FLOERGER, Франція) та суміш водо-спиртових рослинних екстрактів. Орисил®300 має розміри частинок 5...20 нм і карбомер Flogel® 860 – 5...25 мкм.

Для такої системи поставлене завдання запропонувати технологічне обладнання для отримання структурно однорідних гелів пролонгованої дії.

Про появу і характер структур, які утворюються в системах, судять на основі вивчення структурно-механічних властивостей, текстурних характеристик та мікроскопічних досліджень.

Структурно-механічні властивості та вплив зсувних напружень на процеси структурування вивчалися на ротаційних віскозиметрах типу “RHEOTEST” у режимі неперервної деформації за методом Сирле. Дослідження проводили при ступеневому збільшенні швидкості зсуву D_r з наступним ступеневим зниженням. Час експозиції визначався виходячи зі специфіки систем, що досліджувались. Результати досліджень представлено у вигляді реограм напруження деформації від швидкості зсуву $\tau = f(D_r)$.

Текстурні характеристики (питома поверхня, об’єми і діаметри пор, розподіл пор за розмірами) вивчалися шляхом неспецифічної адсорбції-десорбції *n*-гексану на зразках (комплекс NovaWin2, Quantochrome Instrument Corp.): величина питомої поверхні визначалася методом Brunauer-Emmett-Teller (BET) і питомого обсягу пор – методом Barrett-Joyner-Halenda (BJH), які базуються на теорії капілярної конденсації.

Морфологію поверхонь систем досліджено за допомогою електронного растрового мікроскопу JSM-9490LV (Японія).

Гідродинамічну обробку здійснювали в дисково-циліндричних апаратах (ДЦА), в яких передбачена можливість варіювання кількості, комбінацією та конструкцією статорно-роторних пар, швидкістю обертання рухомих робочих елементів (табл. 1).

Основні технічні характеристики ДЦА

Тип ДЦА	Виконання	Продуктивність (по воді)	Максимальна кількість статорно-роторних пар, од.	Частота генеруючих пульсацій, Гц	Швидкість зсуву, γ^{-1} , с	Середня окружна швидкість, м/с
ДЦД-4	горизонтальне	до 100 л/хв.	4	3500	до $200 \cdot 10^3$	до 17
ЛДЦДМ-850	вертикальне	до 40 л/хв.	3	200...4000	$9,4 \cdot 10^3 \dots 47 \cdot 10^3$	4,6...23

Результати досліджень та обговорення.

Всі структури в нанодисперсних системах за класифікацією П.О. Ребіндера поділяються на два типи: коагуляційні та конденсаційно-кристалізаційні. Але різноманітність структур у реальних дисперсних системах не дозволяє чітко поділити їх на типи [8, 11]. Тому підтвердженням є дисперсні системи розглянуті в роботі.

Для першої системи "ГГМКК-вода" характерний змішаний тип структури (коагуляційно-конденсаційний). З одного боку гранули ГГМКК мають конденсаційну структуру, а у воді утворюються ще й коагуляційні контакти. Гранули ГГМКК мають досить високі показники еластичності (0,55), пластичності (1,6 с) і період релаксації становить 7700 секунд [9, 12].

На рис. 3 представлено криві течії досліджуваних систем в режимі "навантаження-розвантаження".



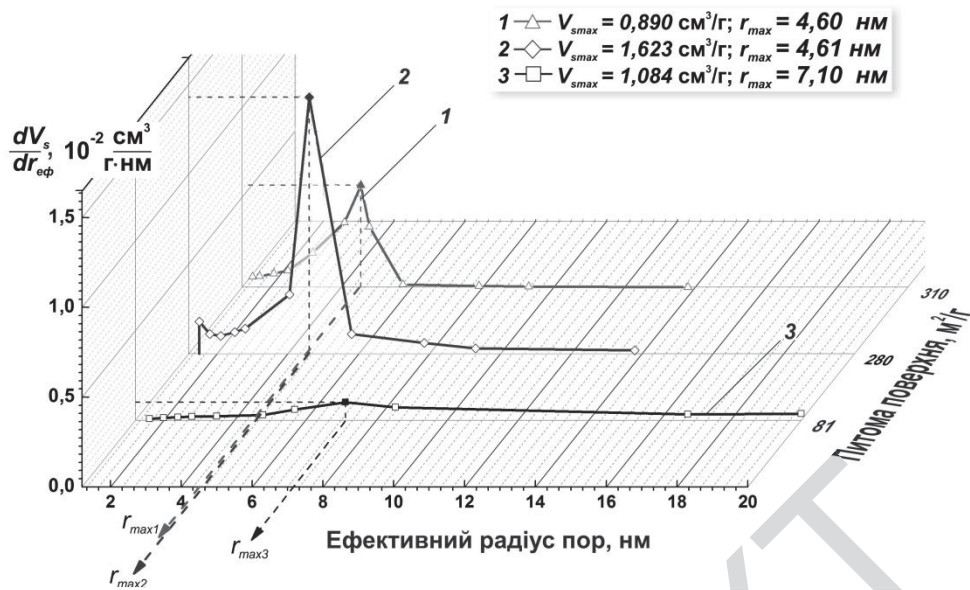
а) вихідний ГГМКК; б) система "ГГМКК-вода" зі співвідношенням 7:3 після гідродинамічної обробки; в) схема структури ГГМКК

Рисунок 3. Реограми (а-б) та схема будови (в) наноструктурованих систем

Дослідження показали, що вихідна система (рис. 3, а) більш чутлива до зсувних деформацій, ніж система, яка пройшла гідродинамічну обробку (рис. 3, б). Поступове накладення зсувних напружень, а потім їх зняття призводить до незворотних деформацій. Для системи після гідродинамічної обробки в режимі "розвантаження" відбувається різке зниження зсувних напружень (у 2 рази).

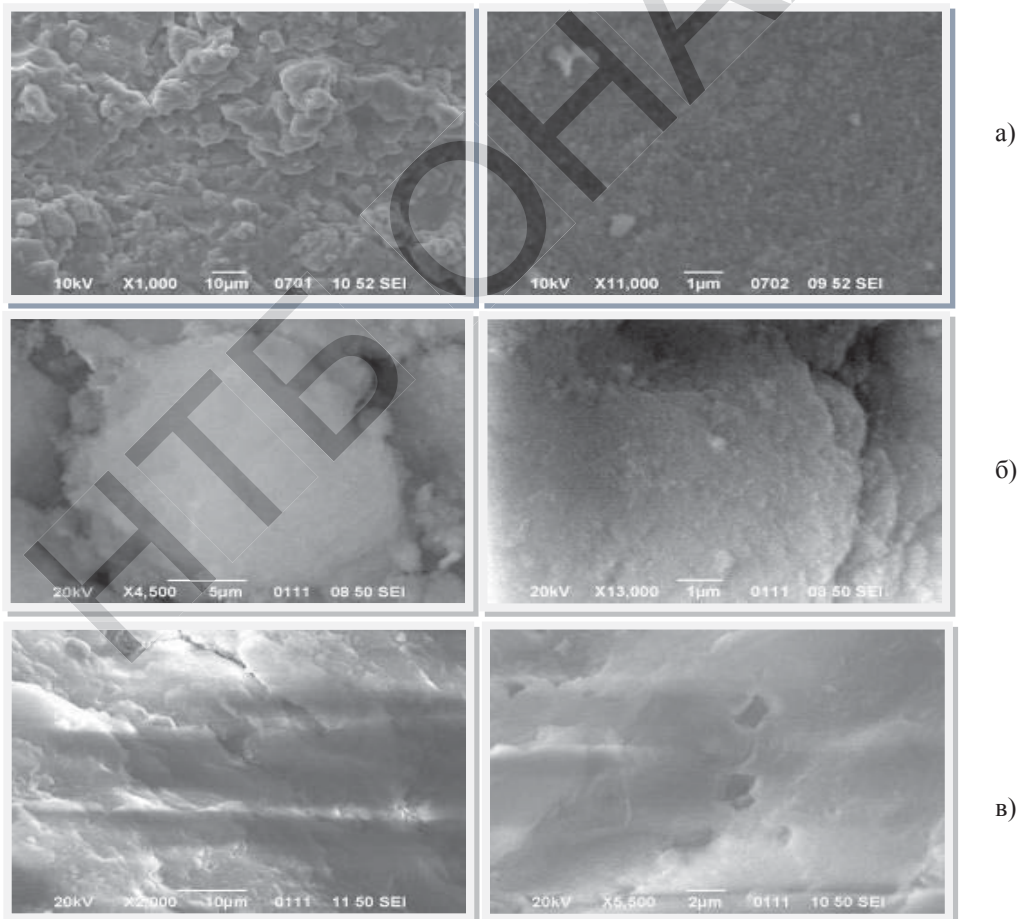
Відновлення зруйнованих зв'язків структури системи після зняття навантаження відбувається частково лише за рахунок коагуляційної взаємодії, а зруйновані конденсаційні зв'язки не відновлюються.

Характер реологічної поведінки таких структурованих систем залежить не тільки від типу структур і дисперсності, а і від способу та часу гідродинамічної обробки. Тому підтвердженням є результати досліджень текстурних характеристик вихідної системи та систем, які пройшли 1 і 10 циклів обробки (рис. 4).



1 – зразок вихідного ГГМКК; 2 – зразок системи “ГГМКК-вода”, яка пройшла 1 цикл гідродинамічної обробки; 3 – зразок системи, яка пройшла 10 циклів обробки

Рисунок 4. Текстульні характеристики наноструктур



а) вихідного ГГМКК; б) системи “ГГМКК-вода”, яка пройшла 1 цикл гідродинамічної обробки; в) система “ГГМКК-вода”, яка пройшла 10 циклів обробки

Рисунок 5. Мікрофотографії морфології поверхонь наноструктур

Розподіл сорбційного об’єму пор за радіусами після нетривалого впливу гідродинамічних ефектів на систему свідчить, що граничний сорбційний об’єм пор V_{smax} збільшився у 1,8 рази у порівнянні з вихідною

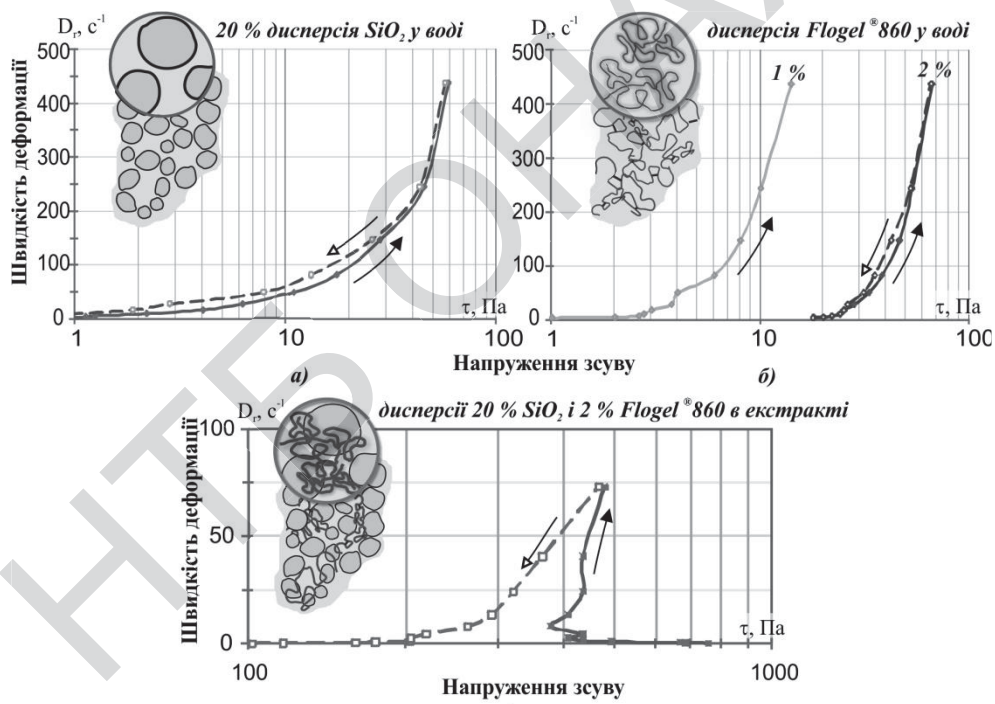
системою 1 (рис. 4), при цьому розмір і діапазон пор лишився майже незмінним r_{ef} . Для зразка, який пройшов 10 циклів обробки, помітне зменшення V_{smax} в 1,5 рази у порівнянні зі зразком 2, при цьому діапазон розміру пор і розмір максимального r_{ef} збільшився у 1,5 рази.

Гідродинамічна обробка призводить до зменшення питомої міжфазної поверхні дослідних систем. Так для зразків 1 і 2 зменшення складає у 1,1 рази, для 2 і 3 – 3,5 рази, а 1 і 3 – 3,8 рази.

Мікрорельєф досліджуваних систем підтверджує і деякою мірою пояснює отримані результати текстурних і реологічних досліджень (рис. 5). Так, у процесі гідродинамічної обробки відбувається подрібнення пружних гранул ГГМКК без порушення шорсткості (рис. 5, б). При збільшенні тривалості обробки росте дисперсність, але при цьому збільшується вязкість системи через зміцнення гранул за рахунок утворення гідратних оболонок і коагуляційного структуроутворення. Все це призводить до великих зсувних напружень в оброблюваній системі і, як результат, відбувається згладжування шорсткості поверхні, ущільнення гранул і перерозподіл порового простору з впливаючими звідси змінами структурно-сорбційних властивостей (рис. 5, в). Адсорбційна здатність тим більше, чим більше розвинена поверхня. Питома поверхня обумовлена розмірами глобул і дисперсністю гранул, а V_s і r_{ef} – щільністю упаковки глобул і гранул.

Іншій системі, яка розглянута авторами, “діоксид кремнію SiO_2 -карбомер-суміш екстрактів” притаманний коагуляційний тип структури. Але характер взаємодії між структурними одиницями системи неоднаковий через те, що SiO_2 має сферичні структурні одиниці, а карбомер у дисперсійному середовищі – анізотропні. Тому така система має особливості з точки зору структурно-механічних властивостей.

Для визначення технологічних параметрів отримання готового продукту окремо вивчено характер течії дисперсій з структурними елементами: SiO_2 та карбомеру (рис. 6, а, б). Для двох дисперсій характерні незначні гістерезисні явища та притаманні властивості тиксотропії, але якщо дисперсія SiO_2 (рис. 6, а) стає плинною відразу після накладення деформації, то інша система (рис. 6, б) стає плинною після досягнення в структурі напруження понад 18 Па.



а) система “ SiO_2 -вода”; б) систем “карбомер-вода”; в) система “ SiO_2 -карбомер-суміш рослинних екстрактів”

Рисунок 6. Реограми та схеми будови структурованих систем

Зовсім інший характер течії для системи, яка складається з цих двох дисперсій (рис. 6, в). Початок руйнування структури починається при напруженні понад 700 Па. Реологічна поведінка такої системи складна, так як в різних діапазонах швидкостей деформації існують різні режими течії. В діапазоні низьких швидкостей спостерігається знаменні зміни напруження зсуву у вигляді S-подібних ділянок на кривій, зі збільшенням швидкості течія стабілізується і переходить до режиму зсувного загущення.

Для отримання структурованих гелів пролонгованої дії необхідно реалізувати низку технологічних процесів: гомогенізація і диспергування дисперсних фаз у дисперсійному середовищі, набування та розгортання полімерних структур, структуроутворення в багатокомпонентній системі. Від тривалості і послідовності реалізації цих процесів істотно залежить функціональні властивості готового продукту.

Висновки.

Знання реологічних характеристик необхідне для вирішення гідродинамічних задач, конструювання робочих елементів обладнання, визначення режимів отримання та для прогнозування стабільності системи.

Отримані в роботі дані можуть бути використані для розробки нових технологій одержання структурованих лікарських та косметичних засобів з покращеними властивостями.

Запропонована установка для отримання структурованих систем є ефективною з точки зору гнучкості технологічного процесу. Установка дозволяє розширити технологічні можливості і збільшити асортимент готових продуктів.

На запропоновану установку розроблена технічна документація. Виготовлена та пройшла апробацію пілотна установка. Випробування показали високу продуктивність та якість, отриманих структурованих продуктів, таких як ентеросорбційні пасти і аплікаційні гелі.

Література

1. Фармацевтическая отрасль: [Website]. 2016-2019. URL: <http://promoboz.com/archive> (viewed on: 23.05.2019).
2. Микро- и наноразмерные процессы в технологиях ДИВЭ: Тематический сборник статей / под. ред. академика НАНУ А.А. Долинского. К.: Академперіодика, 2015. 464 с.
3. Долінський А.А., Грабова Т.Л., Степанова О.Є. Створення та впровадження ефективних технологій та устаткування для виробництва лікарських засобів. Частина 1 // Промислова теплотехніка. 2015. Т. 37, вип. 4. С. 31-43.
4. Патент UA 20698, МПК В01F 7/00. Реакторний гомогенізатор / Л.М. Грабов, В.І. Мершій, В.Т. Жилєєв.; заявник і патентовласник ІТТФ НАНУ. – № 97020627; опубл. 15.04.02, Бюл. № 4.
5. Методи расчета характеристик роторного импульсного аппарата: монография / М. А. Промтов, А. Ю. Степанов, А. В. Алешин. Тамбов : Изд-во ФГБОУВПО “ТГТУ”, 2015. 148 с.
6. Кирсанов Е.А., Матвеев В.Н. Неньютоновское поведение структурированных систем. Москва: Техносфера, 2016. 384 с.
7. Dolinsky A.A., Avramenko A.A., Tyrinov A.I. Grabova T.L. Study of the Dynamics of Formation of Spatial Nanostructures // Nanoplasmonics, Nano-Optics, Nanocomposites, and Surface Studies, Springer Proceedings in Physics 167, 2015. P. 223-232.
8. Naum V. Uriev. Technology of Dispersed Systems and Materials: Physicochemical Dynamics of Structure Formation and Rheology / Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2017. 192 p.
9. Шевченко Ю.Н., Беляева О.А. Перспективы создания препаратов сорбционно-детоксикационного действия на основе пористых кремнийорганических матриц // Перша науково-практична конференція “Біосорбційні методи і препарати в профілактичній та лікувальній практиці”. Київ, 1997. С. 10-15.
10. Патент UA № 7472 А 29.09.95 МПК С08П 77/58. Гідрогелі метилкремніевої кислоти “Ентеросгель-супер”, як адсорбент середньо-молекулярних метаболітів та спосіб їх одержання / Шевченко Ю.М. та інші. 29.09.1995. Бюл. № 4.
11. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Избранные труды. М.: Наука, 1979. 368 с.
12. Гриценко О.М., Буцька В.Е. та інші. Перспективні композиційні препарати з використанням як формуютьвача гідрогелю метилкремніевої кислоти // Перша науково-практична конференція “Біосорбційні методи і препарати в профілактичній та лікувальній практиці”. Київ, 1997. С. 21-23.

References

1. Pharmaceutical Industry Review: [Website]. 2016-2019. URL: <http://promoboz.com/archive> (viewed on: 23.05.2019).
2. Mikro- i nanouravnevye processy v tehnologiyah DIVE: Tematicheskij sbornik statej / pod. red. akademika NANU A.A. Dolinskogo. K.: Akademperiodika, 2015. 464.
3. Dolinskij A.A., Grabova T.L., Stepanova O.Ye. (2015) Stvorenniya ta vprovadzhennya effektivnih tehnologij ta ustatkuvannya dlya virobnictva likarskih zasobiv. Chastina 1 // Promislova teplotekhnika. 2015. 37 (4). 31-43.
4. Patent UA 20698, MPK V01F 7/00. Reaktronnij gomogenizator / L.M. Grabov, V.I. Mershij, V.T. Zhilejev.; zayavnik i patentovlasnik ITTF NANU. 97020627; 15.04.02, 4.
5. M. A. Promtov, A. Yu. Stepanov, A. V. Aleshin (2015). Metody rascheta harakteristik rotornogo impulsnogo apparata: monografiya. Tambov : Izd-vo FGBOUVPO “TGTU”, 148.
6. Kirsanov E.A., Matveenko V.N. (2016). Nenyutonovskoe povedenie strukturirovannyh sistem. Moskva: Tehnosfera, 384.
7. Dolinsky A.A., Avramenko A.A., Tyrinov A.I. Grabova T.L. Study of the Dynamics of Formation of Spatial Nanostructures // Nanoplasmonics, Nano-Optics, Nanocomposites, and Surface Studies, Springer Proceedings in Physics 167, 2015. P. 223-232.

8. Naum B. Uriev. Technology of Dispersed Systems and Materials: Physicochemical Dynamics of Structure Formation and Rheology / Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2017. 192 p.
9. Shevchenko Yu.N., Belyaeva O.A. (1997). Perspektivy sozdaniya preparatov sorbcionno-detoksikacionnogo dejstviya na osnove poristyh kremnijorganicheskikh matric // Persha nauko-vo-praktichna konferenciya "Biosorbciyni metodi i preparati v profilaktichnij ta likuvalnij praktici". Kiyiv, 10-15.
10. Patent UA №7472 A 29.09.95 MPK S08P 77/58. Gidrogeli metilkremniyevoj kisloti "Enteros-gel-super", yak adsorbent seredno-molekulyarnih metabolitiv ta sposib yih oderzhannya / Shevchen-ko Yu.M. ta inshi. 29.09.1995. Byul. 4.
11. Rebinder P. A. (1979). Poverhnostnye yavleniya v dispersnyh sistemah. Izbrannye trudy. M.: Nauka, 368.
12. Gricenko O.M., Bucka V.E. ta inshi (1997). Perspektivni kompozicijni preparati z vikoristanniam yak formoutvoryuvacha gidrogelyu metilkremniyevoji kisloti // Persha naukovo-praktichna konferenciya "Biosorbciyni metodi i preparati v profilaktichnij ta likuvalnij praktici". Kiyiv, 21-23.

УДК 532.517; 532.528

ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В НАСОСАХ РІЗНИХ ТИПІВ

Авдєєва Л.Ю. д-р техн. наук, с.н.с., Макаренко А.А. к.т.н., Жукотський Е.К.,
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

INVESTIGATION OF CAVITATION EFFECTS IN DIFFERENT TYPES OF PUMPS

Avdieieva L. Yu. Dr.Tech.Sc., Senior Research Officer, Makarenko A. A. Ph. D, Zhukotskyi E. K.
Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Анотація. Насоси широко використовуються в більшості технологічних процесів хімічної і харчової промисловості, в т.ч. для інтенсифікації процесу отримання мікро- і наноемульсій за рахунок ефектів гідродинамічної кавітації. Використання кавітаційних технологій дозволяє збільшити продуктивність технологічних процесів, забезпечити значну економію енерговитрат і високу якість обробки дисперсних систем. Від надійної роботи всього обладнання залежить ефективність проходження технологічних процесів і якість харчових продуктів. Однак, некерована кавітація може призвести до серйозних збоїв в роботі обладнання і навіть руйнування конструкції. В технологічних схемах кавітаційних апаратів використовуються насоси різних типів. При цьому існує велика ймовірність виникнення в насосах негативних кавітаційних ефектів і можливе руйнування поверхонь робочих органів. Найбільшого застосування знайшли динамічні лопатеві і об'ємні (гвинтові або шестеренні) насоси. В роботі представлені результати досліджень виникнення кавітаційних ефектів в динамічному відцентровому і об'ємному шестеренному насосах за зміною електрохімічних показників води в результаті обробки. Встановлено виникнення кавітації в динамічному відцентровому насосі. На прикладі досліджень температурних показників, а також величини рН і електропровідності показано зміну фізичних і хімічних властивостей середовища викликаних пульсаціями і спаданням кавітаційних бульбашок при роботі цього насоса.

Abstract. Pumps are widely used in most technological processes of the chemical and food industry, including for the intensification of the process of obtaining micro- and nanoemulsions due to the effects of the hybrid dynamics cavitation. Applied cavitation technologies can increase the productivity of technological processes, provide significant energy savings and high-quality processing of disperse systems. The efficiency of technological processes and the quality of food products depends on the reliable operation of all equipment. However, uncontrolled cavitation can lead to serious failures in the operation of equipment and even the destruction of the structure. In technological schemes of cavitation devices, pumps of different types are used. In this case, there is a high probability of creation the negative cavitation effects in the pumps and destruction of the working bodies surfaces. Types of the pumps which used the most are lamellar and bulk (screw or gear) pumps. The paper presents the results of research on the appearance of cavitation effects in dynamic centrifugal and bulk gear pumps by changing the electrochemical parameters of water as a result of treatment. The creation of cavitation in a dynamic centrifugal pump has been established. The change in the physical and chemical properties of the medium caused by ripples and the decrease of cavitation bubbles in the operation of this pump shows on the example of studies of temperature indices, as well as pH and electrical conductivity.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, інтенсифікація масообмінних процесів, кавітаційні технології, насоси, електрохімічні властивості

Keywords: hydrodynamic cavitation, intensification of mass-transfer processes, cavitation technologies, pumps, electrochemical properties.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ВИРІШЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА	
Хоренжий Н.В., Лапінська А.П.	5
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОСТИ В КАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЯХ. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Иваницкий Г.К., Целень Б.Я., Недбайло А.Е., Коник А.В.	11
ІННОВАЦІЙНІ СПОСОБИ ЕНЕРГОПІДВОДУ У ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ СИРОВИНИ	
Яровий І.І., Кашкано М.А., Маренченко О. І., Пилипенко Є.О.	17
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ТЕПЛОНОСІВ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ КОНТАКТНОГО АПАРАТУ	
Кузьменко І.М.	24
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ КОНВЕКТИВНОМУ СУШІННІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ	
Ощипок І. М.	29
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ М. КРИВИЙ РІГ	
Кухта О.О.	33
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ПРОЦЕСІ ЖАРІННЯ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ	
Сорокова Н.М., Дідур В.В.	37
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМЕННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД	
Холявченко Л.Т., Опарин С.А., Давыдов С.Л.	42
ПРОБЛЕМИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ	
Бундюк А.М., Подпалова Ю.В., Коваленко А.К.	46
ENERGY POLICY OPPORTUNITIES. HOW TO FACE CHALLENGES	
Bezhan V., Zhytarenko V., Ostapenko O., Yakovleva O.	48

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ І ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУППОЗИТОРИЕВ	
Шмагток А.И., Степанова О.Е., Сильнягина Н.Б.	54
ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ ЗМІННОЇ ГАЗОВОЇ АТМОСФЕРИ	
Корінчевська Т.В., Михайлик В.А., Корінчук Д.М.	59
АКТИВАТОРИ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ	
Дячок В.В., Мандрик С.Т., Гуглич С.І.	64
РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОГО ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
Грабова Т. Л., Шмагток О.І., Сильнягина Н.Б.	70
ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В НАСОСАХ РІЗНИХ ТИПІВ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	77
ВИНИКНЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НАСОСІВ РІЗНОГО ТИПУ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	80
ГІДРОДИНАМІКА ГАЗОРІДНИХ ПОТОКІВ НА КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ СТРУКТУРАХ	
Туз В.О., Лебедь Н.Л., Трокоз Я.Є.	85
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРАКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА	
Челтонов М.М., Опарин С.А., Матросов А.С., Кириченко А.Л.	91
МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	
Бунецкий В.А., Бурдо О.Г., Зыков А.В., Войтенко А.К., Безбах И.В., Кашкарев А.А.	94
ARTIFICIAL MICRO RNA (AMIRNA): A POTENT TOOL FOR GENE SILENCING IN PLANT	