

Движение продукта вниз сопровождается резким понижением давления его на стенки мерной ёмкости, что благоприятствует ориентации пельменей.

Проведенные исследования подтвердили ранее виденную гипотезу.

#### Литература

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред.совет.: В41 В.Н. Челомей (пред.). –М.: Машиностроение, 1981,-Т.6. Защита от вибрации и ударов/Под ред. К.В.Фролова, 1981- 456 с.
2. Данене В.А. Исследование влияния состояния рабочей поверхности мерных емкостей на плотность укладки частиц. - В кн.: Упаковочные автоматы /Каунасский политехнический ин-т им. А. Снечкуса. - Каунас, 1974,с.44 - 48.
3. Из жизни сыпучих [Электронный ресурс]. – Электрон. Текстовые данные (22980 байта). PakkoGraff.ru -М.: ГПНТБ РФ, 2007. - Режим доступа: <http://www.pakkograff.ru/reader/articles/equipment/pack/115.php/> HTML Monday, 02 May 2007 14:35:40.
4. Некоторые аспекты фасования сыпучих продуктов/ С.В. Яхимович, А.С. Яхимович//Упаковка.-2004.- № 2.- С.27-29. – Объемные дозаторы.

УДК 532.695:541.182.644

## ОТРИМАННЯ ГЕЛЕВИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Грабова Т.Л., канд.техн.наук., ст.н.співр. ІТТФ НАН України  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

*Експериментально досліджено вплив ефектів дискретно-імпульсного введення енергії в гетерогенні системи, реалізуємих в дисково-циліндричних апаратах, на процеси структуроутворення в системах спиртсодержаща суміш – карбомер. Предложена ДІВЕ-технологія дозволяє інтенсифікувати тепломасообмінні процеси отримання спиртових гелів в 2 рази.*

*The influence of the DPIE effects in the disc-cylinder apparatus on the process of structuring in systems alcohol-containing mixture - Carbomer is investigated. The proposed DPIE-technology has allowed to intensify heat-mass exchange processes of obtaining alcohol gels twice.*

**Ключові слова:** структуроутворення, ДІВЕ, дисково-циліндричний, РПА, тепломасообмінні, процеси, гідродинаміка.

На сьогодні швидко розширюється спектр структурованих матеріалів з різноманітними функціональними можливостями. Тому дослідження закономірностей протікання тепломасообмінних процесів структуроутворення у дисперсних системах має теоретичне і прикладне значення [1-3].

Ряд технологій отримання хіміко-фармацевтичної та косметичної продукції, таких як м'які лікарські форми, гелі, креми, пасти та таке інше, включає у себе процеси структуроутворення, тобто отримання з вільно-дисперсної системи, частіше це багатоконпонентні гетерогенні системи, зв'язано-дисперсну структуру.

У представленій роботі проведено експериментальне дослідження процесів структуроутворення у спиртвмістних сумішах (етанол, ефірні кислоти, ароматичні масла, вода) з метою інтенсифікації тепломасообмінних процесів та відпрацювання технології отримання спиртових гелів антибактеріального призначення.

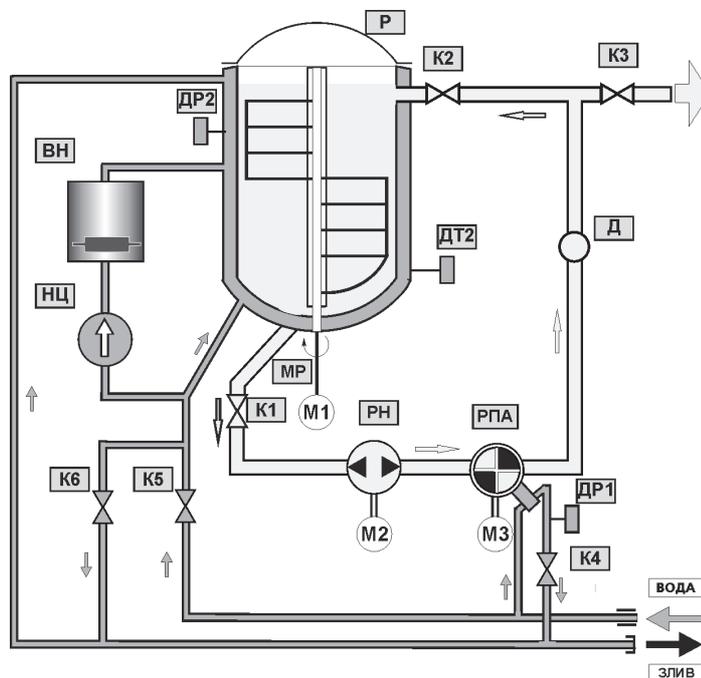
В якості структуроутворювача застосовується карбомер, який є високодисперсним порошком (розмір часток 1...25 мкм) з гідрофільними властивостями. Кожна частка являє собою тривимірну рідко-зшиту структуру [2, 4].

Відомо, що вихідні властивості, у тому числі й функціональні, дисперсних систем залежать не тільки від фізико-хімічної природи субстанцій, розміру та форми частинок структуроутворювача, та його питомої поверхні, а й від теплотехнологічних параметрів процесу, а саме: температури, від способу введення структуроутворювача у дисперсійне середовище, методів обробки та отримання зв'язано-дисперсної системи [1, 3].

За аналізом науково-технічних даних [1,4] процеси гелеутворення з використанням карбомерів здійснюються переважно у невеликих ємностях, обладнаних перемішувачами пристроями, які утворюють так звану "воронку" у дисперсійному середовищі. В яку повільно з залученням допоміжного просіювача

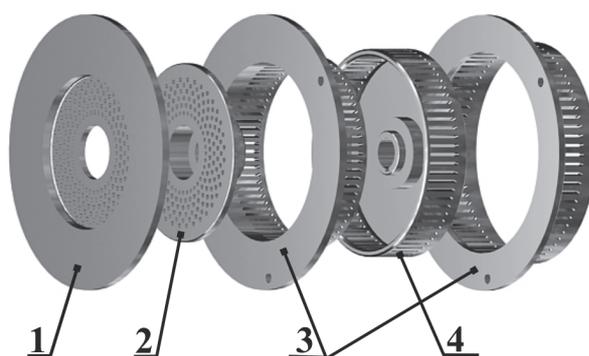
додають структуроутворювач. Недоліками такого методу отримання гелів є значна тривалість процесів, трудомісткість і неоднорідність готового продукту, що особливо відчувається у промислових масштабах.

Інтенсифікація процесів структуроутворення за допомогою перемішуючого пристрою відбувається за рахунок турбулізації потоків та зсувних напруг. Але при такому методі обробки відбувається дисипація енергії у досить великих об'ємах, при цьому динамічний стан середовища не є рівнозначним у всьому об'ємі середовища, що обробляється.



*Р – реактор; МР – мотор-редуктор перемішуючого пристрою; К1...К3 – запорно-регулююча арматура контура дослідної системи; К4...К5 – запорно-регулююча арматура контура циркуляції теплоносія; РПА – роторно-пульсаційний апарат; ДВ1, ДВ2 – датчик наявності теплоносія; НЦ – насос циркуляційний; ВН – водонагрівач; ДТ – датчик температури, Д – оглядовий пристрій.*

**Рис. 1 – Принципова схема експериментального стенда**



*1,3 – статори, 2,4 – ротори; 1-2 – дисковий вузол;  
3-4 – циліндричний вузол.*

**Рис. 2 – Робочі елементи дисково-циліндричного РПА**

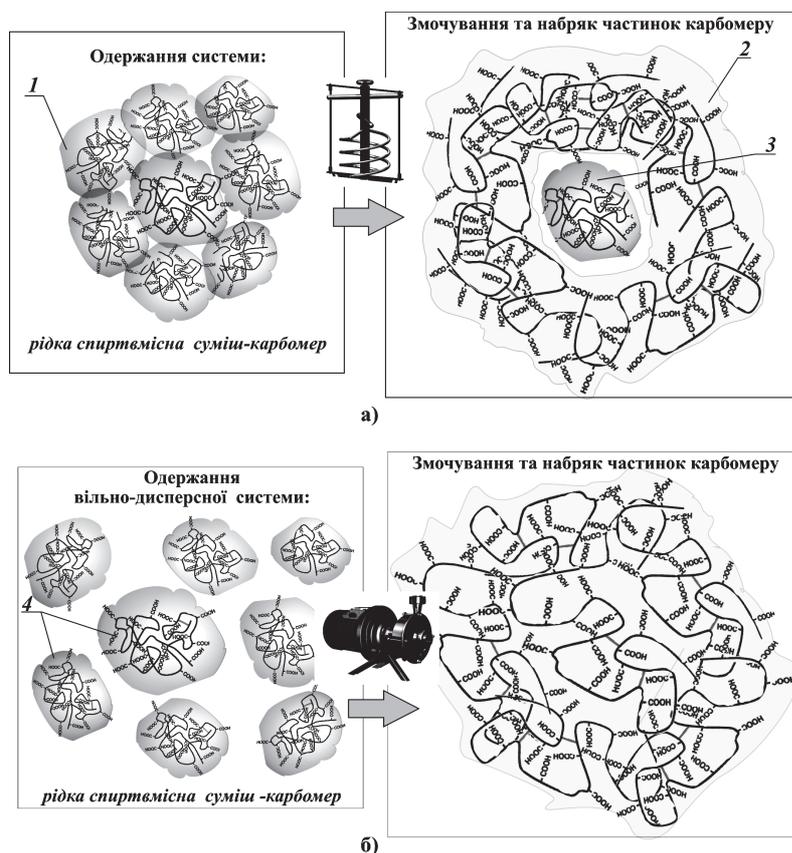
Всупереч існуючій думці, що при збільшенні швидкості зсуву відбувається зростання ступеня руйнування структур [5], автори [1] показали, що в дійсності у структурованій дисперсній системі утворюються щільні та міцні агрегати та шари, які чергуються з шарами малов'язкого неструктурованого дисперсійного середовища. Авторами запропоновано розв'язання цієї проблеми за допомогою вібраційного перемішування, але і цей метод має ряд недоліків.

В представленій роботі дослідження процесів структуроутворення (гелеутворення) проведено на експериментальному стенді, принципова схема якого представлена на рис. 1. До складу стенду входить реактор з перемішувачем (частота обертання мішалки 36 об/хв.), роторний насос для транспортування дослідної системи за циркуляційним контуром, система циркуляції теплоносія, запорно-регулююча арматура, контрольно-вимірювальні прилади та роторно-пульсаційний апарат (РПА), який розроблений та виготовлений в ІТТФ НАНУ [6]. Робочі елементи апарата (рис. 2) представлені перфорованими дисками (статором і ротором) з діаметром отворів 2...3 мм та циліндричними двома статорами і між ними ротором зі щілинами з еквівалентним діаметром 7,5 мм. Міждисковий та міжциліндровий зазор становить 0,1...0,2 мм.

Як показали дослідження застосування ефектів дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) у гетерогенні системи [7], реалізовані в таких апаратах, за рахунок багатофакторного динамічного й енергетичного впливу на оброблювану систему [8-10], дозволяє вирішити ряд проблем у процесах гелеутворення.

Процес гелеутворення в спиртвмісних системах з залученням карбомеру проходить у 3 стадії.

Перша стадія полягає в одержанні однорідної дисперсії структуро-утворювача (карбомера) у рідкому середовищі. Сила взаємодії в контактах між частками карбомера зростає при його зануренні в дисперсійне середовище (спиртову суміш), що приводить до утворення великих агрегованих структур нерівномірно розподілених по об'єму суміші і утрудняє процеси гелеутворення в повному обсязі (рис. 3, а).



1 – коагуляційна структура з частинок карбомеру, 2 – оболонка з частинок, які набухли; 3 – частинка, яка не змочена; 4 – вільно-дисперсні частинки карбомеру;

а) при дисипативному підведенні енергії до системи; б) при дискретно-імпульсному підведенні енергії

**Рис. 3 – Схема першого та другого етапів механізму структуроутворення**

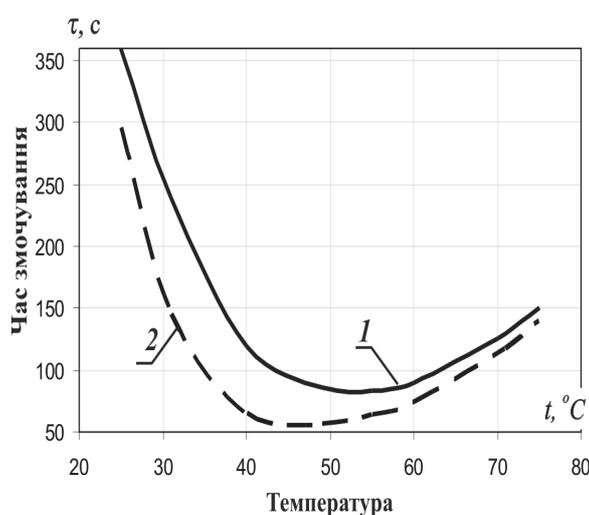
На другій стадії молекула карбомера гідратується, починає набухати і частково розвертається. Інтенсивність такого масообмінного процесу істотно залежить від температури системи (рис. 4). Однак підвищення температури приводить до виникнення коагуляційних структур, тобто злипанню часток, що набухають. А нагрівання суміші понад 70...75 °С приводить до деструкції (пластифікації) карбомера й, відповідно, до припинення процесу гелеутворення.

Крім того, ефективність процесів на цій стадії залежить від діючої активної поверхні між структуроутворювачем та середовищем, на що впливає спосіб гідродинамічної обробки (рис. 3). Повне дезагрегування, тобто роз'єднання вторинних структур (поз. 1) та їх рівномірний розподіл по всьому об'єму досягнуто при обробці в дисково-циліндричному РПА (рис. 3, б).

Третя стадія полягає в нейтралізації набрякших частинок карбомеру. На цьому етапі стрибкоподібно змінюються основні структурно-механічні властивості – система втрачає плинність через утворення структурної сітки. Збільшення в'язкості системи від вмісту карбомера у водній дисперсії змінюється повільно (поз. 1, рис. 5) в порівнянні зі зростанням в'язкості нейтралізованої дисперсії зі значенням водневого показника (рН) системи більшим в 2,5 рази (поз. 2). Крім того, зниження рН системи дає можливість здійснювати процеси гелеутворення в системах з концентрацією карбомера меншим за 1% [2, 4].

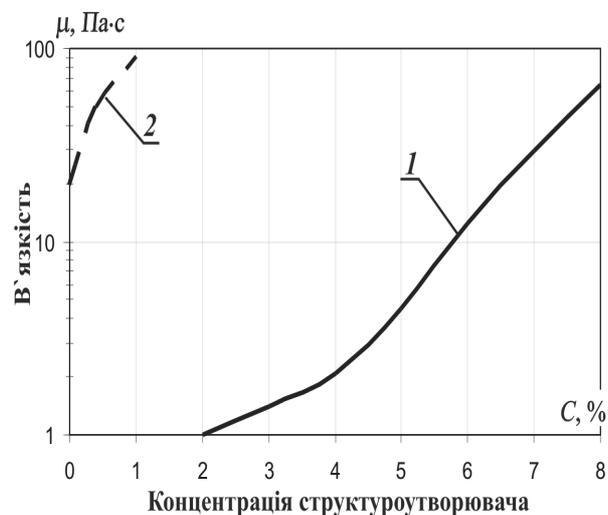
ІТТФ НАНУ спільно з фахівцями ГЗМП ІБОНХ НАНУ (м. Київ) проводять роботи з відпрацювання теплотехнології одержання спиртових гелів. Технологічний ланцюг розрахован на 165 кг готового продукту, де масова частка структуроутворювача становить менш за 0,006 %.

З огляду на досвід теоретичних і прикладних робіт в області ДІВЕ в гетерогенні системи, а також проведені інститутом експериментальні дослідження, запропонована технологія, у якій ефекти ДІВЕ доцільно використовувати на кожній стадії процесу гелеутворення. Такий підхід обґрунтований наступним. При проходженні системи через апарат розвиваються великі швидкості зсуву, що приводять до дисипації енергії у малих об'ємах обробляемого середовища, що супроводжується виділенням теплоти. Таким чином при обробці системи підвищується її температурний потенціал, що приводить до інтенсифікації тепломаасообмінних процесів (перемішування, змочування, набрякання, гідратації, нейтралізації). При цьому короточасне нагрівання в локальних зонах не приводить до деструкції гелю.



1 – статичні умови; 2 – при перемішуванні.

**Рис. 4** – Залежність зміни часу змочування карбомера від температури системи



1 – система з рН = 2,8...3,3; 2 – з рН = 7,5.

**Рис. 5** – В'язкість водної дисперсії при швидкості зсуву  $0,33 \text{ с}^{-1}$  залежно від концентрації карбомера

За рахунок динамічного й пульсуючого режимів течії (частота пульсацій – до 3,6 кГц), турбулентних і вихрових потоків, особливо їхній вплив істотний на перших стадіях процесу – поки система є вільно-дисперсною, відбувається рівномірний розподіл порошку структуроутворювача в суміші, а відповідно, дозволяє одержати рівномірну за щільністю в повному обсязі тривимірну структуру.

Динаміка процесу гелеутворення і якість готового продукту визначають за значеннями в'язкості й оптичної густини [1,2,11].

Спиртовмісний гель, який отримано, є система з вираженими псевдопластичними реологічними властивостями, що свідчить про одержання структурованої системи. При низьких напругах зрушення гель не має плинності, при високих зсувних напругах (до 2...2,5 МПа), які розвиваються в апараті в процесі гідродинамічної обробки, він стає плинним. Короткочасний вплив таких напруг не приводить до необоротних руйнувань його просторової структури – оброблена система має властивості тиксотропії.

В'язкість отриманого спиртового гелю досягає  $6,5 \pm 1,5$  Па·с, а оптична густина –  $1,366 \pm 0,003$ , що відповідає аналітично-нормативній документації на готовий продукт за ТУУ 24-2-32665379-010:2007.

За запропонованою технологією випущена промислова партія №021109 гелю АХД-2000, що має антибактеріальні властивості (за 30 сек. знижує кількість транзитної мікрофлори шкіри в 100 тис. разів).

#### Висновки

Випробування показали, що одержання спиртвмісного гелю неможливо без застосування ефектів ДІВЕ, реалізованих у дисково-циліндричних апаратах роторно-пульсаційного типу. Застосування ДІВЕ-технології дозволить інтенсифікувати тепломасообмінні та фізико-хімічні процеси структуроутворення спиртвмісних систем, що призводить до скорочення тривалості виробничого циклу в 2 рази й сприяє вирішенню ряду технологічних проблем: нерівномірного розподілу субстанцій по об'єму оброблюваної системи, виключення трудомістких технологічних операцій з залученням додаткового устаткування, крім того, дозволяє поліпшити якість готового продукту.

Отримані в роботі дані можуть бути використані для розробки нових технологій одержання гелеподібних спиртвмісних палив та паливних композицій.

#### Література

1. Урьев Н. Б. Динамика структурированных дисперсных систем / Н. Б. Урьев // Коллоидный журнал. – 1998. – Т. 60, №5. – С. 662–663.
2. Ляпунов Н. А. Создание мягких лекарственных форм на различных основах. Сообщение 2. Исследование реологических свойств гелей, образованных карбомерами / Н. А. Ляпунов, Н. В. Валовик // Фармаком. – 2001. – №2. – С. 1–10.
3. Грабова Т. Л. Дискретно-імпульсне введення енергії в наноструктуровані гетерогенні системи : тези Всеукраїнської конференції «Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології» (Київ, 12-14.11.08) / Т. Л. Грабова, А. В. Бучма / Національна академія наук України. – К.: НАНУ, 2008. – С. 161.
4. Carbolol Ultrez 10 Polymer for Personal Care Applications : TECHNICAL DATA SHEET [Электронный ресурс] / Copyright 2007 : The Lubrizol Corporation. – 2007. – 4 р. – Режим доступа: <http://www.lubrizol.com/Pharmaceutical/DispersionTechniques.html>.
5. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах / П. А. Ребиндер // Избранные труды. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
6. Грабов Л. Н. Инновационные технологии и тепломассообменное оборудование для фармацевтических производств / Л. Н. Грабов, В. И. Мерщій, Т. Л. Грабова // Промышленная теплотехника. – 2003. – т. 25, прил. к № 4. – С. 113–115.
7. Долинский А. А. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях / А. А. Долинский, Б. И. Басок, С. И. Гулый, А. И. Накорчевский, Ю. А. Шурчкова. – К.: Наукова думка, 2001. – 348 с.
8. Накорчевский А. И. Гидродинамика и теломассоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках / А. И. Накорчевский, Б. И. Басок. – К.: Наукова думка, 2001. – 346 с.
9. Грабов Л. Н. Диспергирование многокомпонентных гетерогенных систем / Л. Н. Грабов, В. И. Мерщій, Д. В. Посулько // Промышленная теплотехника. – 2008. – т. 30, № 2. – С. 27–32.
10. Грабова Т. Л. Диспергування гетерогенних систем у роторно-пульсаційних апаратах дисково-циліндричного типу: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.14.06 / Т. Л. Грабова. – К., 2007. – 23, [1] с.
11. Нужный А. Ю. Определение скорости гелеобразования в системе SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>–H<sub>2</sub>O методом турбидиметрии / А. Ю. Нужный, О. Н. Калугин // Вісник Харківського національного університету. – 2007. – № 770, вип. 15 (38). – С. 251–262.