

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ**

**Л.М. Грабов**, кандидат технічних наук, ст. науковий співробітник,  
**Т.Л. Грабова**, кандидат технічних наук, ст. науковий співробітник,  
**О.І. Шматок**, науковий співробітник.

Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ)

*Експериментально досліджено вплив ефектів дискретно-імпульсного введення енергії в багатокомпонентні системи, реалізованих у дисково-циліндричних апаратах, на тепломасообмінні процеси одержання апі-препаратів.. Запропонована ДІВЕ-технологія дозволяє одержувати кінетично стабільні системи з високим вмістом біологічно-активних речовин.*

*The influence of the DPIE effects in the disc-cylinder apparatus on intensify heat-mass exchange processes of obtaining «вее»-drug is investigated. The proposed DPIE-technology has allowed to obtain kinetically stable system with a high content of biologically active substances.*

Ключові слова: Тепломасообмін, ДІВЕ, дисково-циліндричний, гідродинаміка, структурований, біологічно-активний

Цінним джерелом біологічно-активних речовин та комплексів природного походження є продукти бджільництва (апі-продукти), зокрема, бджолиний підмор (тільця бджіл) та забрус.

Бджолиний підмор – найбагатша природна комора унікальних цілющих речовин з високим біоенергетичним потенціалом. Він є комбінованою (рослинного та тваринного походження) сировиною, який включає практично усі компоненти меду, пилка, маточного молочка, прополісу. Лікарські властивості обумовлені вмістом у його складі таких біологічно-активних речовин та комплексів, як хітин, меланін, амінокислоти, мінерали, вітаміни, ферменти, гормоноподібні речовини та т.і. (табл. 1) [1-6].

Таблиця 1 – **Склад вихідного бджолиного підмору, % [3]**

Сухий бджолиний підмор	Волога	Мінеральні речовини	Хітин	Білок	Меланіни
	8-10	2-3	10-12	50-80	20-30

Волокна, які є складовою бджолиного підмору, прекрасні сорбенти й звільняють організм від токсинів: ендогенних (продукти порушення метаболізму та запалення, надлишок холестерину і т.і.) та екзогенних (солі важких металів, радіонукліди, пестициди, гербіциди, алкоголь, медикаменти).

Хітиновий покрив бджіл містить цінні речовини: гепарини і гепариноїди, які придушують запальні процеси стабілізують кров'яний тиск, грають винятково важливу роль у підтримці рівноважного стану що згортає й протизгортання крові. При дослідженні бджолиного підмору з'ясували, що в ньому міститься досить велика кількість флавоноїдів та каротиноїдів (це речовини, що мають потужні антиоксидантні й антирадикальні властивості).

Забрус – верхні кришечки бджолиних стільників, основна складова якого – віск. Крім того, забрус містить прополіс, квітковий пилок, мед.

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

У воску виявлено великий вміст вітаміну А. Він досить повільно всмоктується в шкіру, утворюючи на ній як би захисну віскоподібну плівку, але при цьому не забиває пори. Крім своїх живильних і зм'якшуючих властивостей, бджолиний віск також виступає в якості гарної в'язкої, консервуючої й стійкої основи.

Мета і задачі лабораторних та експериментальних досліджень полягала в дослідженні можливості одержання нової багатокомпонентної структурованої м'якої лікарської форми (МЛФ) у формі гелю на основі продуктів бджільництва (табл. 2) з метою розробки теплотехнології та обладнання для продукування апі-препаратів.

Таблиця 2 – Композиційний склад модельного продукту

	<i>Субстанції</i>	<i>Серія випробувань №1</i>	<i>Серія випробувань №2</i>	
	<i>Найменування</i>	<i>Опис та фізичні властивості</i>		
1	2	3	<i>Масова доля, %</i>	
			4	5
1	Настоянка з біологічно-активними компонентами на основі бджолиного підмору	багатокомпонентна рідинна система з діючими речовинами є термолабільною	Настоянка з вмістом бджолиного підмору 6,6	Відфільтрована настоянка 5,3
2	Забрус	багатокомпонентна пластична система з діючими речовинами, з високою температурою плавлення 65...75 °С	3,3	2,5
3	Консервант	сольовий розчин	0,1	0,1
4	Масло м'яти перцевої	рідинна отдушка	0,1	0,1
5	Структуроутворювач	дрібнодисперсний порошок	1,5	1,3
6	Гліцерин	в'язка рідина (посилувач транспорту діючих речовин)	1,3	10
7	ПЕГ-400	рідина (компонент дисперсійного середовища)	0,7	5
8	Етанол 96%	рідина (екстрагент та компонент дисперсійного середовища)	2,6	3
9	Діметилсульфоксид	в'язка рідина (для підсилення впливу діючих речовин)	6,6	5
10	Нейтралізатор	рідина (регулятор водного показника для процесів структурування)	0,2	0,3
11	Вода дистильована	рідина (компонент дисперсійного середовища)	77	67,4

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Оскільки попереднє очищення (промивання) підмору та його екстракту призводить до втрати біологічно-активних речовин (наприклад, зменшення вмісту суми флавоноїдів в апі-екстракті сягає більш ніж у 14 разів, а каротиноїдів – 1,8 рази) [6], тому для проведення досліджень було взято бджолиний підмор в інтактному (недоторканому) вигляді.

В основі одержання таких лікарських засобів лежить комплекс тепломасообмінних процесів: теплопередача при нагріванні/охолодженні або плавленні; диспергування (збільшення поверхні розділу фаз); гомогенізація; перемішування й розчинення; структурування; конвективна й молекулярна дифузія, а також перенесення речовини, що витягається із твердої фази в рідку, які лежать в основі процесу екстрагування.

Проведено 2 серії експериментальних досліджень, послідовність етапів яких наведено у табл. 3-6.

Таблиця 3 – Етапи проведення досліджень. Серія випробувань №1.

Компоненти та їх співвідношення	Тепломасообмінні та фізико-хімічні процеси	Тривалість процесу, доба	Температура сіміші, °С	Водневий показник, рН
<b>I. Отримання екстракту на основі бджолиного підмору</b>				
Бджолиний підмор : Спирт 45% 1 : 1	Настоювання (мацерація)	10-12	20	
Настоянка темно-коричневого кольору зі змоченими частинками тільць бджіл				6
<b>II. Підготовка структуроутворювача</b>				
Карбомер Дистильована вода 1 : 6	Нетривале перемішування Набряк частинок карбомеру та часткове розгорнення молекул (гідратація)	7	16-18	2
Концентрована настоподібна маса білого кольору : Дистильована вода 1 : 2	Гомогенізація та диспергування Інтенсивне перемішування		18-19	
В'язка дисперсія гідратованого карбомеру у воді				2,08
<b>III. Плавлення верхніх кришечок бджолиних стільників</b>				
Забрус	Нагрів суміші при перемішування	5 хв.	38-40	
Плинна багатокомпонентна адгезійна рідка суміш				
<b>IV. Заклучний етап</b>				
Послідовність вводу субстанцій у суміш наведено у табл. 4	Перемішування, гомогенізація, диспергування, структурування		18,5-19	табл. 4

Процеси перемішування, гомогенізації та диспергування, структурування здійснювались в об'ємі суміші лабораторним пристроєм занурюючого типу з одним роторно-статорним ступенем. Швидкість зсуву в такому пристрої становить 70?103 с-1. При обробці в середовищі виникають

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

зсувні напруги, які досягають 140 кПа, а частота пульсацій гідродинамічних параметрів потоку – до 1,7 кГц.

Процеси плавлення здійснювали автономно на лабораторній електроплитці ЕПЧ1-1,5/220.

Відрізняються серії досліджень організацією гідродинамічних та температурних умов процесів диспергування, гомогенізації, послідовністю введення компонентів у суміш та введення додаткового процесу грубої фільтрації для серії №2.

Таблиця 4 – Етапи проведення лабораторних досліджень. Серія випробувань №2.

Компоненти та їх співвідношення	Тепломасообмінні та фізико-хімічні процеси	Тривалість процесу, доба	Температура суміші, °С	Водневий показник, рН
<b>I. Отримання екстракту на основі бджолиного підмору</b>				
Бджолиний підмор 1 : Спирт 45% 1	Настоювання (маперація)	17-18	18-20	
Настоянка темно-коричневого кольору зі змоченими частинками тільця бджіл	Гомогенізація та диспергування Інтенсифікація екстрагування біологічно-активних речовин з бджолиного підмору	15-20 хв.	19	
Настоянка коричневого кольору	Фільтрація			4-5
<b>II. Підготовка структуроутворювача</b>				
Карбомер Дистильована вода 1 : 6	Нетривале перемішування Набряк частинок карбомеру та часткове розгорнення молекул (гідратація)	13	16-18	2
Концентрована настоподібна маса білого кольору Дистильована вода 1 : 4	Гомогенізація та диспергування Інтенсивне перемішування	5 хв.	21	
В'язка дисперсія гідратованого карбомеру у воді				3...4
<b>III. Плавлення верхніх кришечок бджолиних стільників</b>				
Забрус 1 : ПЕГ-400 2	Нагрів суміші при постійному перемішування		64-67	
Плинна багатоконпонентна адгезійна рідка суміш				
<b>IV. Заключний етап</b>				
Послідовність вводу субстанцій у суміш наведено у табл. 5	Перемішування, гомогенізація, диспергування, структуроутворення			табл. 5

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Таблиця 5 – Заключний етап для серії випробувань №1

№ з/п	Компонент, який вводиться у суміш	pH, суміші	Т-ра, °С	Примітка
1.	Настоянка з підмором	6	18	Введення лікарських речовин
2.	Розплав забруса		35	
3.	Етанол 96 %	5,45		
4.	Консервант		18,9	
5.	Дисперсія карбомера у воді		18,9	Введення структуроутворювача
6.	Гліцерин	2,2	18,9	
7.	ПЕГ-400			
8.	Вода дистильована	2,36		
9.	Нейтралізатор	2,86		Нейтралізація структуроутворювача
10.	Вода дистильована			
11.	Масло м`яти		18-19	
12.	Діметилсульфоксид			
13.	Вода дистильована	5,07	19	

Таблиця 6 – Заклучний етап для серії випробувань №2

№ з/п	Компонент, який вводиться у суміш	pH, суміші	Т-ра, °С	Примітка
1.	Розплав суміші забруса з ПЕГ-400		64	Введення лікарських речовин
2.	Гліцерин	2,2	49	
3.	Консервант			
4.	Відфільтрована настоянка		40	Введення лікарських речовин
5.	Діметилсульфоксид		30-31	
6.	Етанол 96 %	5-6	30	
7.	Масло м`яти	5,7-6	18-19	
8.	Дисперсія карбомера у воді			Введення структуроутворювача
9.	Вода дистильована			
10.	Нейтралізатор	4		Нейтралізація структуроутворювача

В результаті випробувань отримано дисперсні структуровані багатокомпонентні суміші в формі гелів.

Обидва зразка являє собою кінетично стійкі системи: протягом 24 місяців в статичних умовах при температурі оточуючого середовища 17-30 оС не спостерігається розшарування та змін у структурі систем.

Ліпші за структурною однорідність зразки за серією досліджень №2.

Морфологічні дослідження зразків показали наступне:

? за дисперсним складом зразки №1 відносяться до грубодисперсних систем. Розмір дисперсних частинок в деяких полях зору досягає більш ніж 2 мм. Крім того, спостерігається неоднорідність розподілу дисперсних частинок по об`єму суміші.

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

? основна маса дисперсних частинок у зразках № 2 складає 0,5...100 мкм. «Проскакування» частинок розміром більше 150 мкм трапляються в 1 з 6 полів зору.

Але за вмістом біологічно-активних речовин кращі показники має зразок №1.

За результатами лабораторних досліджень було запропоновано відмовитись від процесу фільтрації, щоб максимально зберегти у гелі увесь спектр біологічно-активних речовин.

Процес мацерації поєднати з процесами диспергування, які здійснювати в дисково-циліндричному апараті типу AP-3000. Такий підхід дозволяє здійснювати та інтенсифікувати масообмінні процеси екстрагування біоактивних речовин за рахунок гідродинамічного режиму обробки системи та поступового розвинення поверхні контакту тверде тіло (бджолиний підмор) – екстрагент (розчин спирту).

За результати лабораторних та експериментальних досліджень проведено моделювання та масштабування процесів отримання апі-гелів на експериментальному стенді.

Для здійснення та інтенсифікації масообмінних та теплофізичних процесів залучити метод дискретно-імпульсного введення енергії у гетерогенні системи, який реалізується у дисково-циліндричних роторних апаратах типу AP-3000 [7,8].

Запропонована технологія отримання апі-гелів, яка складається з 3-х етапів (рис. 1 та табл. 7), має ряд переваг.

По-перше, в тепломасообмінних (зокрема, екстрагування, нагрів та т.і.) та фізико-хімічних (зокрема, нейтралізація та т.і.) процесах задіяно одну одиницю ємкісного обладнання.

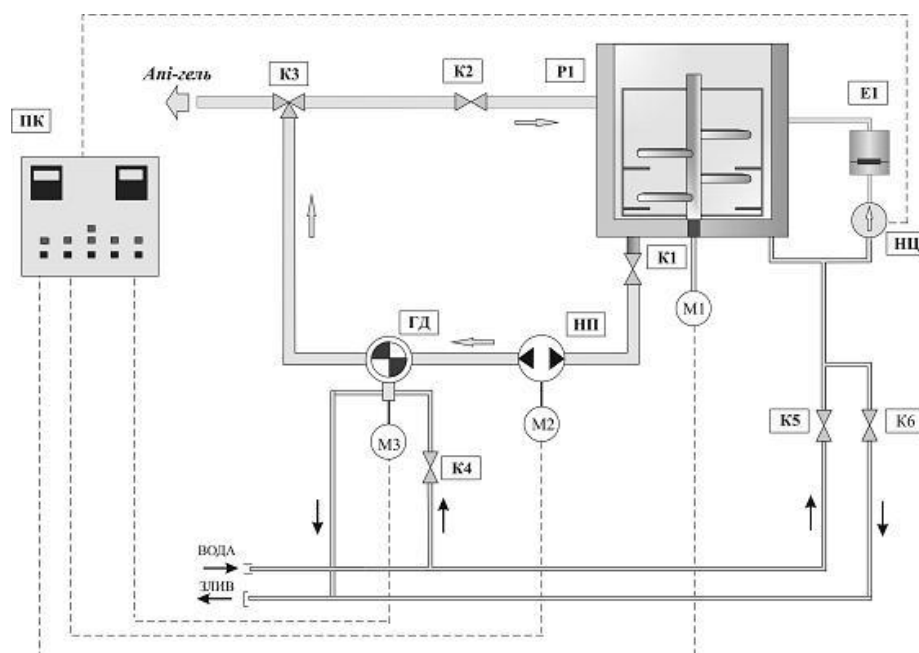


Рис. 1 – Технологічна схема отримання апі-гелів

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

ГД – гомогенізатор-диспергатор; Р1 – реактор; НП – насос продуктової; НЦ – насос циркуляційний; ПК – пульт керування; К1...К3 – запірно-регулююча арматура продуктового контуру; К4...К6 – запірно-регулююча арматура контуру циркуляції теплоносія; Е1 – електричний водонагрівач

Таблиця 7 – Технологічна карта отримання апі-гелів

Теплофізичні та масообмінні процеси на технологічних стадіях	Субстанції	Технологічне устаткування (рис. 1,2)					Примітки
		Реактор з перемішувачем	Роторний насос	Гомогенізатор-диспергатор	Нагрівач	Циркуляційний насос	
		Р1	НП	ГД	Е1	НЦ	
<b>I. Активування біологічно-активних речовин та комплексів бджолиного підмору</b>							
Дифузійні процеси (набряк частинок підмору, мацерація, екстракція), розчинення міжфазної поверхні	суміш №1: бджолиний підмор + розчин спирту						Контроль за дисперсністю
<b>II. Отримання гомогенної дрібнодисперсної суміші</b>							
Диспергування, гомогенізація, перемішування, нагрівання	суміш №2: введення у суміш №1 інших активних компонентів (забрус, м'ятна олія та т.і.) та компонентів основи (ПЕГ, гліцерин та т.і.)						
<b>III. Структурування мікродисперсій системи</b>							
Набряк частинок, гідратація, розгорнення молекул, нейтралізація структуроутворювача	введення у суміш №2 структуроутворювача						Контроль водневого показника
	нейтралізатор						



- періодичний режим роботи устаткування.

По-друге, використання на всіх стадіях технологічного процесу апарата типу AP-3000 дозволяє: скоротити тривалість тепло- та масообмінних процесів, зокрема нагріву, екстракції, структурування; отримати стійкий структурно однорідний продукт з високим показником біодоступності діючих речовин. За рахунок короткочасного локального нагріву, який забезпечує обробка в апараті, зберегти термолабільні біологічно-активні речовини та скоротити енергозатрати на нагрівання та плавлення основ.

Для реалізації запропонованої технологічної схеми отримання структурованих апі-препаратів з високим вмістом біологічно-активних компонентів розроблено дослідно-промислова тепломасообмінна установка (рис. 2).

**Установка має наступні технічні характеристики:**

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ СКЛАДНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ З БІОАКТИВНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Продуктивність *, кг/год., не менше	1000
Встановлена електрична потужність, кВт	10,5
Робочий об'єм реактора, м <sup>3</sup>	0,03
Частота обертання перемішуючого пристрою, об/хв.	35...200
Температура теплоносія, оС	5...120
Габаритні розміри	1600x900x1400
Апарат АР-3000.	
Кількість статорно-роторних ступенів, од.	4
Частота обертання роторів, об/хв.	2880
Частота пульсацій, кГц	до 3,5
Тиск на всмоктувальній лінії, МПа	0,15-0,25.
Швидкість зсуву, с-1, до	192
Зсувні напруги, МПа, до	1,5



1 – пульт керування; 2 – електронагрівач; 3 – насос циркуляційний; 4 – дисково-циліндричний апарат типу АР-3000; 5 – насос роторний; 6 – ємність з перемішуючим пристроєм; 7 – рама; 8 – електродвигун перемішуючого пристрою

**Рис. 2 – Дослідно-промислова установка для здійснення тепломасообмінних процесів отримання апі-гелів**



## Висновки

- Випробування показали, що ефективність процесів одержання структурованих МЛФ з великим вмістом біологічно-активних комплексів на основі апі-сировини залежить від гідродинамічних та теплотехнологічних параметрів обробки. Застосування ефектів ДІВЕ, реалізованих у дисково-циліндричних апаратах роторно-пульсаційного типу дає можливість не тільки отримати новий продукт, а і інтенсифікувати ряд тепломасообмінних та фізико-хімічних процесів.
- Отримані в роботі дані можуть бути використані для розробки нових технологій одержання структурованих лікарських та косметичних засобів з покращеними властивостями.

## Література

1. Лудянский Э.Е. Пчелы и здоровье / Э.Е. Лудянский – М.: Знание, 1989 – 48 с.
2. Плахтій П. Д. Лікування продуктами бджільництва : [наук.-попул. вид.] / П. Д. Плахтій, А. І. Генко, Д. П. Плахтій. – Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О. А., 2008. – 38 с.
3. Немцев С.В. Хитозан из подмора – новый продукт пчёл / С.В. Немцев, О.Ю. Зуева, Р.Г. Хисматуллин, М.Р. Хисматуллин, В.В. Лариков, В.П. Варламов // Пчеловодство. – 2011. – №5.
4. Патент 2280463 РФ, МКИ А 61 К 35/ 119. Способ получения препарата для повышения резистентности организма / Луцук С.П. , Дробина А.И.
5. Темнов В.А. Технология продуктов пчеловодства / В.А. Темнов. М.: Издательство «КОЛОС», 1967. – 192 с.
6. Ермакова Н.Ю. Технология получения экстракта из пчелиного подмора / Н.Ю. Ермакова, А.Д. Рошаль, О.П. Сынчикова, Б.П. Сандомирский // Біотехнологія. – 2010. – Т.3, №2. – С. 89–95.
7. Патент 20698 UA, МПК В01F 7/00. Реакторный гомогенизатор / Л.М. Грабов, В.І. Мерщій, В.Т. Жилеєв.; заявник и патентовладелец ІТТФ НАНУ. – №97020627; опубл. 15.04.02, Бюл. №4.
8. Долинский А.А. Метод ДИВЭ в инновационных технологиях и тепломассообменном оборудовании / А.А. Долинский, Л.М. Грабов, Т.Л. Грабова // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 3. – С. 18–30.

Автори:

Грабов Л.М. , к.т.н., ст.наук.сп. ІТТФ НАН України (044)424-13-96

Грабова Т.Л. , к.т.н., ст.наук.сп. ІТТФ НАН України (044)424-98-86

Шматок О.І., наук.сп. ІТТФ НАН України (044)424-98-86