

**Т.М. Бурушкіна, В.В. Ратушняк, В.І. Количев, В.М. Преподобний, Ю.О. Плотніков**

Державна установа «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», Київ

## ОТРИМАННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОДИСПЕРГОВАНИХ ПРОДУКТІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ



*Створено умови маловідхідного перетворення цілісної зернобобової сировини (насіння сої, люпину, амаранту, вівса, пшениці, гречки) у високодисперсні емульсійно-суспензійні рідкі і пастоподібні системи, яким притаманна здатність до агрегативної сталості протягом 5–15 діб без використання стабілізаторів і емульгаторів. Системи мають практично повний набір їстівних, біологічно активних речовин і мінеральних компонентів вихідних рослин.*

*Ключові слова: агрегативно сталі емульсійно-суспензійні системи, цілісна рослинна сировина, диспергатор-гомогенізатор.*

Починаючи від середини ХХ століття у провідних країнах світу спостерігається тенденція до розширення асортименту харчових продуктів з рослинного білка та поступової заміни білка тваринного походження рослинними білками (сої, сочевиці, люпину, гороху, амаранту, вівса) [1–3]. Найбагатшим за складом і найпоширенішим за посівами джерелом харчового білка є соєве насіння. У західних країнах використовують переважно протеїнові концентрати, шроти та борошно, в основу виготовлення яких (здебільшого за технологіями США і на відміну від технологій Сходу) покладена диференціація на складові через вологотеплову обробку, обробку органічними розчинниками, обробку подрібненого знежиреного насіння пероксидними, лужними, сольовими розчинами, ультрафільтрація та перевисадження білків. Це обумовлює багатостадійність і енергоємність технологій та видалення більшої частини біологічно активних речовин сої. Компенсуються наслідки додаванням вітамі-

нів, жирів, вуглеводів, емульгаторів, ароматизаторів та ін. до білкових ізолятів або концентратів [2, 4].

Раніше в СРСР і в Україні запровадження сої в харчовій промисловості базувалося на переробці насіння з повним вмістом олії [1, 5]. Однак технології були занадто багатостадійними, енергетично великовитратними, із значними відходами сировини (до 20 %), з великими об'ємами забрудненої води. У 80–90-х рр. минулого століття схеми переробки сої на харчові і кормові продукти зазнали позитивних змін і були задовільними на той час, хоча частина недоліків минулих технічних рішень залишилася (довготривалість ряду стадій, велика кількість твердого осаду, висока температура обробок та ін.) [6, 7], що обумовлює актуальність пошуків новітніх рішень.

Початкова стадія переробки в усіх випадках — це зменшення розмірів оброблюваного матеріалу через плющення та подрібнення. Процеси і засоби поліморфного перетворення твердої речовини (в т.ч. і рослинного походження) у порошки або гомогенні суспензійні системи — важливий об'єкт неослабної на су-

часному етапі уваги вчених — представників напрямку фізичної хімії твердих тіл. В залежності від призначення і виду рослинної сировини використовують два прийоми подрібнення твердої речовини: «сухе» подрібнення — для перероблення насіння зернових культур, шротів і «вологе» — для перероблення насіння з вмістом жирів більше 5 %. У зв'язку з втратами первісної цінності компонентів рослин переробка зернових культур не менш вразлива, ніж переробка високобілкових. Виготовлення порошків (борошна) із зернових культур включає видалення насінневих і плодкових оболонок, алейронового шару та зародків, а після цього сортовий помел залишку для отримання дисперсій з різними розмірами часточок (різних сортів) методом багаторазового поетапного процесу *подрібнення/розсів*. Тонкому помелу (до часток з розміром 400–600 мкм) піддається практично тільки ендосперм [8]. Те ж стосується виготовлення порошків із знежиреного насіння сої, люпину, амаранту [2, 4]. За критерієм маловідхідності (2,5–3,5 %) і ступенем дисперсності (розмір часток  $75 \div 105$  мкм) найбільш вдалим (але дорогим) способом виготовлення тонких порошків є технологія фірми BÜHLER (Швейцарія) [2]: 1) з повножирного насіння сої, лущеного при температурі 120–135 °С і зневодненого до вологості 3–5 % подрібненням у 6-ролерному млині та 2) з насіння зернових без оболонок подрібненням у 8-вальцьовому верстаті.

При «вологих» способах подрібнення окрім механіки диспергування велике значення має інтенсивність перемішування двохфазної системи (*твердої подрібнюваної і рідкої дисперсійної*) та співвідношення фаз. Принципово способи отримання суспензій не відрізняються від ряду способів отримання емульсій (окрім конденсаційного) — різниця лише в об'єктах диспергування і енергетичних витратах. Вважається, що при поєднанні безперервного зсуву і вібрації фактором руйнування колоїднодисперсних структур (якими є біологічні об'єкти) стає примусова осциляція, а за раху-

нок безперервного зсуву повинно відбуватися перенесення фрагментів зруйнованої речовини і формування нової, більш одноріднодисперсної структури. Поки що такі умови формування висококонцентрованих суспензій втілені лише для систем із високодисперсних часточок SiO<sub>2</sub> (аеросил-300-Degussa AG). Серед існуючих апаратів придатними можуть бути такі, в яких діючими факторами є зсувно-турбулентні процеси, коли подрібнення відбувається в кільцевому зазорі між статором і ротором під дією сил, що виникають на поверхні лопаті.

Цей принцип реалізується у колоїдних млинах з конічними зазорами малого розміру, він потребує тонкої юстировки для співпадання осі статора і ротора та конічної зовнішньої поверхні статора з конічною внутрішньою поверхнею ротора [9]. Ступінь подрібнення становить кілька мікрон. В апаратах, де подрібнення відбувається за рахунок пульсацій тиску, механічної дії роторів, гідродинамічних умов у зазорах між ротором і статором, суттєвими для руйнування стають гідродинамічні умови (помпаж), коли окружна швидкість рідини в зазорах може змінюватися від нуля до швидкості обертання ротора. Тверді частки транспортуються рідиною у зазор, де і руйнуються. Варіанти таких апаратів називаються *роторно-пульсаційними* (РПА) та *роторно-імпульсними* (РІА). До числа апаратів такого типу належать розробки Інституту технічної теплофізики НАН України, деякі з них призначені для харчової переробної промисловості як диспергатори і гомогенізатори плодкових і овочевих культур.

В індустріально розвинених країнах широко проводяться розробки апаратів для перемішування і диспергування рідинних гетерогенних систем із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). Відомі роботи *Ободовича О.М.* [10] стосуються диспергування насіння повножирної сої в апараті з дискретно-імпульсним введенням енергії після термовологої обробки насіння при температурі 95–98 °С для виготовлення соєвої

пасти, в якій основну частину переробленого насіння складають частинки з розміром 30÷90 мкм. Заслужують уваги також досліді з подрібнення рослинної сировини в гідродинамічному кавітаційному диспергаторі з ДІВЕ, в яких показано, що гранулометричний склад подрібненої сировини суттєво залежить від діаметра ротора і частоти обертання, а часточки з розміром 5÷50 мкм отримували тільки при діаметрі ротора 80–120 мм і частоті обертання 70 с<sup>-1</sup> [11]. З наведеного вище огляду літературних даних щодо можливостей подрібнення зернобобової сировини видно, що отримання високодисперсних емульсійно-суспензійних систем рослинного походження з використанням існуючого обладнання майже неможливе.

Наша робота — результат дослідів і розробок маловідхідних способів переробки сільськогосподарської цілісної повножирної рослинної сировини (насіння сої, люпину, амаранту, вівса, пшениці, гречки) для виготовлення харчових продуктів або добавок до них у вигляді високодисперсних систем: борошна та емульсійно-суспензійних агрегативно сталих рідких і пастоподібних утворень без використання високотемпературних обробок та без додавання емульгаторів, стабілізаторів, одорантів, барвників. За визначених умов вирішення поставленої задачі ми взяли за основу варіації фізико-хімічних параметрів усіх стадій переробки: від вологотеплової обробки на-

сіння до інактивації ліпоксидази, інгібіторів трипсину, уреаз, видалення надлишків тяжких металів і зниження рівня мікробного забруднення при виготовленні харчових і лікувально-профілактичних продуктів, які в своєму складі мають усі корисні компоненти сировини, в тому числі білки, вітаміни, мінерали, вуглеводи, жири, клітковину разом з асоційованими білками і жирами. Вид і хімічний склад об'єктів дослідження наведено в табл. 1.

Оскільки робота включала дослідження умов подрібнення зернових, зернобобових і інулінвмісних культур, ми вважали за необхідне визначити можливий і достатній набір відомих подрібнюючих і змішуючих апаратів та знайти нові технічні рішення, спроможні забезпечити бажані характеристики дисперсності. Для оцінки результатів дослідів користувалися умовною класифікацією дисперсних систем за розміром часточок (табл. 2 [12]) та широкоживаними методами ситового аналізу, мікроскопії (прибор БІО-ЛАМ-70), методом аналізу наноматеріалів та характеристизації дисперсних систем (Zetasizer-R Nano S, Mauvern Ltd., Mauvern — Великобританія).

Пропонований нами спосіб виготовлення борошна із суцільного зерна пшениці та ряду інших культур (жита, гречки, сої) включає очищення насіння від сміття, лущення, грубе і тонке подрібнення насіння і відрізняється від відомих способів тим, що лущенню (видален-

Таблиця 1

Хімічний склад зразків рослинної сировини, % сухої речовини (СР)

Зразок	Білки, %	Жири, %	Вуглеводи, %	Зола, %
Соя нативна	42,2	20,9	16,3	6,1
Соя лущена	41,4	20,8	16,7	6,0
Соя мікронізована	43,5	21,3	16,4	6,6
Люпин нативний	38,3	6,8	25,7	4,4
Сочевиця нативна	24,9	1,5	46,4	2,9
Амарант нативний	14,4	6,4	60,2	3,8
Топінамбур, бульби	2,2	0,2	16,6	1,0
Сорго цукр. (стеблини)	6,8	0,05	76,4	5,2

ню) підлягає тільки зовнішня насіннева оболонка, а подрібненню піддається ціле зерно з висівками, з алейроновим шаром, з зародками при вологості насіння 5–12 % [13]. Тонке подрібнення досягається за рахунок циркуляції

шару насіння в молотковому подрібнювачі закритого типу з шарнірно закріпленими молотками пластинчастої форми, в якому регулюється зазор між нерухомою рифленою частиною апарату і рухомими пластинами 2÷5 мм, обладнаному відбірковими решетами з розмірами отворів 0,5÷1,0 мм. Робочий зазор у подрібнювачі регулюється коловою швидкістю пластинчатих молотків 65÷80 м/с і шириною пластинчатих молотків 1÷5 мм у залежності від розміру часточок сировини після грубого подрібнення. Апарат призначено для виготовлення борошна з цілісного насіння пшениці з довільною вологістю. При спробі в такий же спосіб виготовити борошно з повножирної сої чи вівса виявилися ускладнення у самому процесі і опісля його проведення, а саме: налипан-

Таблиця 2

**Умовна класифікація ступеню подрібнення за розміром часточок дисперсних систем**

Ступінь подрібнення	Розмір часточок, мкм
Велике	10000÷1000
Середнє	1000÷100
Дрібне	100÷10
Тонке	10÷0,1
Колоїдний стан	0,1÷0,001

Таблиця 3

**Фракційний склад порошку з насіння сої при перетині отвору деки млина 0,75 мм**

Сировина, спосіб обробки	Вміст фракції порошку на ситі, мас %						
	1,02 мм	0,75 мм	0,5 мм	0,385 мм	0,25 мм	0,075 мм	Зал.
Соя цілісна необрушена	0,3	0,3	6,3	21,3	43,0	28,5	0,6
Соя лущена	2,7	1,6	11,1	23,7	23,0	37,5	0,4
Соя лущена мікронізована	0,1	1,2	10,5	13,2	34,7	40,1	0,2

Таблиця 4

**Фракційний склад порошку з насіння амаранту в залежності від перетину отворів деки млина**

Перетин отворів деки млина, мм	Вміст фракції порошку на ситі, мас. %					
	1,02 мм	0,75 мм	0,5 мм	0,25 мм	0,075 мм	Зал.
1,00	—	0,67	6,22	14,16	63,49	0,75
0,75	—	0,31	1,47	23,74	72,74	1,74
0,5	—	0,25	25,94	44,22	27,67	1,81

Таблиця 5

**Фракційний склад порошку з насіння люпину в залежності від перетину отворів деки млина**

Перетин отворів деки млина, мм	Вміст фракції порошку на ситі, мас. %					
	1,02 мм	0,75 мм	0,5 мм	0,25 мм	0,075 мм	Зал.
1,00	2,9	0,97	8,22	15,15	72,14	0,62
0,75	2,0	0,52	2,47	20,53	73,25	1,27
0,5	1,6	0,30	23,94	34,25	38,23	1,68

ня шару подрібненого матеріалу (сої) або великий розбіг за розміром часточок подрібненого насіння (овес). У результаті дослідження впливу умов підготовки до подрібнення і виготовлення порошків із насіння сої цілісної (необрушеної), сої лущеної, сої мікронізованої, сої частково знежиреної, повножирного насіння люпину і амаранту були визначені прийнятні параметри зволоження (2; 5; 11 %), короткочасної обробки ГЧ-випромінюванням при температурі не вище 120 °С. Позитивний вплив обраних умов підготовки насіння до подрібнення відображено в табл. 3, дані якої стосуються фракційного складу часточок подрібненого лущеного і мікронізованого насіння сої і показують суттєве зростання ступеню дисперсності порошків.

Те ж саме спостерігали і при подрібненні насіння культур, що характеризуються меншою в'язкістю насіння через менший, ніж у насінні сої, вміст жирів, – амаранту і люпину (табл. 4, 5).

Таким чином, показано, що при використанні розробленого нами подрібнювача і за певних визначених умов попередньої обробки насіння культур з більшим вмістом жирів, ніж у насінні пшениці, можна отримати порошки, які відповідають за розмірами частинок другому сорту борошна пшениці. Порошки мають задовільні органолептичні властивості. На їх основі розроблено спосіб виготовлення молокоподібних напоїв [14], за комплексом показників вони не поступаються «соєвому молоку»

з порошків за патентами BУHLER [2]. Однак навіть при оптимальних умовах підготовки насіння і параметрах роботи подрібнювача утворення з високодисперсних порошків емульсійно-суспензійних рослинних композицій, стійких до розшарування хоча б 1–2 год, маловірогідне без додавання емульгаторів або без послідуєчого подрібнення і гомогенізації у присутності дисперсійного середовища.

Отримання високодисперсних гетерогенних за фазовим і хімічним складом рослинних продуктів вважали можливим за таких умов:

1) використання пристроїв, здатних забезпечити процеси подрібнення (диспергування) до певних заданих характеристик;

2) використання неагресивних фізико-хімічних і механічних факторів дії на вихідну сировину, які можуть обумовити утворення стійких до агрегації систем із цілісного насіння, в складі яких будуть присутні всі основні компоненти їстівної частини рослини.

Оскільки склад, структура насіння і умови поглинання води можуть у різній мірі впливати на зменшення стійкості до механічної дії, на ступінь диспергування цілісної рослинної сировини, то досліджували процеси поглинання води насінням сої, люпину, амаранту у водних середовищах при  $pH = 1,2 \div 12,5$  та температурі  $15 \div 90$  °С у слабких розчинах кислоти, лугу, хлориду натрію, моно- та дисахаридів. Дані табл. 6 і 7 ілюструють вплив хімічного складу середовища і тривалості набрякання на при-

Таблиця 6

**Зміна маси зразка насіння сої цілісної (%) при контакті з дистильованою водою в залежності від часу і температури контакту**

Тривалість, год	Температура, °С					
	16	26	35	55	75	90
0,5	123	123,2	125,3	138,9	147,0	161,6
1,0	140	137,7	149,2	161,2	167,7	203,4
1,5	149	150,2	162,4	182,8	194,1	214,9
2,0	160	163,3	175,2	196,4	217,9	218
3,0	168	189,9	196,5	221,0	228,5	219,8
22,0	225	231,3	233,0	233,3	220,8	230,1

ріст маси насіння сої і дозволяють оптимізувати умови набрякання.

Отже, було визначено максимальний приріст маси і об'єму насіння усіх об'єктів дослідження, оцінено якісний і кількісний склад перерозподілу маси між рідкою і твердою фазами в процесі набрякання і встановлено, що перенесення маси білків у рідку фазу не перевищує 0,01 %, сахаридів – 2 %. Найбільші зміни спостерігалися в мінеральному складі насіння: вміст неорганічної складової насіння зменшується на 10–50 % у ряду від легких (S, P, K) до важких (Cr, Mn, Co, Cu, Sr, Cd) елементів. Виявлена можливість і визначені умови (підкислений розчин, дія НВЧ-випроміню-

вання) необоротної інактивації ліпоксидази, уреаз, інгібіторів трипсину та поліфенілоксидази (стосується топінамбуру), що упереджує погіршення складу і органолептичних властивостей суспензій з бобових рослин і розчинів цукристих речовин із топінамбуру.

З використанням вітчизняних подрібнювачів-гомогенізаторів (ультразвукового диспергатора, роторно-пульсаційних апаратів трьох модифікацій, в тому числі роторно-імпульсного апарату (PIA) Інституту харчової хімії і технології (ІХБГ) НАН України, який було розроблено для середньомасштабного за продуктивністю технологічного процесу диспергування, гомогенізації та одержання водних суспензій сої [14]) досліджено вплив умов попередньої обробки (механічної, термічної, обводнення, рН середовища і тривалості) зразків насіння сої, люпину, амаранту та гречки на фракційний склад частинок в отриманих суспензіях. Встановлено, що утворення агрегативно стійких протягом не менш 20 хв систем потребує п'яти–шестикратної циркуляції водно-насінневої суміші для подрібнення в таких апаратах набряклого в оптимальних умовах насіння при модулях 1/4÷1/10. Оскільки фракційний склад за розміром частинок в суспензіях, отри-

Таблиця 7

**Приріст маси насіння сої (%) у водних середовищах з різним рН в залежності від тривалості обробки**

Тривалість, год	рН			
	2,5	8,0	11,4	12,5
0,25	26	16	37	23
0,5	40	32	52,3	42
1,0	53	50	69	61
2,0	72	72	96	90

Таблиця 8

**Розподіл сухої речовини (СР) в рідкій і твердій фазі, фракційний склад за розміром часточок твердої фази після подрібнення зразків набряклого насіння сої, люпину, амаранту і гречки в роторно-імпульсаційному апараті (n = 4)**

Показник, од. виміру	Соя лущена	Люпин лущений	Амарант	Гречка без оболонки
СР в суспензії, %	10,58 ± 0,20	9,62 ± 0,32	18,33 ± 0,25	10,40 ± 0,18
СР в осаді, %	8,43 ± 0,34	7,49 ± 0,41	16,00 ± 0,31	9,19 ± 0,30
СР в рідкій фазі, %	2,15 ± 0,19	2,12 ± 0,23	2,28 ± 0,34	1,21 ± 0,21
Кількість суспензії, мл	880 ± 2	890 ± 2	878 ± 2	882 ± 2
Розподіл СР за фракційним складом твердої фази, %				
2500–500 мкм	15,03 ± 1,26	12,82 ± 1,09	14,64 ± 0,97	4,66 ± 0,41
500–250 мкм	30,96 ± 2,60	21,95 ± 1,27	21,95 ± 3,16	17,43 ± 1,51
250–150 мкм	26,43 ± 2,21	33,56 ± 2,74	32,78 ± 2,60	39,67 ± 3,83
150–50 мкм	21,21 ± 1,79	24,78 ± 3,42	23,18 ± 2,41	27,09 ± 2,49
Менше 50 мкм	5,93 ± 0,50	6,71 ± 0,79	6,16 ± 0,39	9,79 ± 0,54



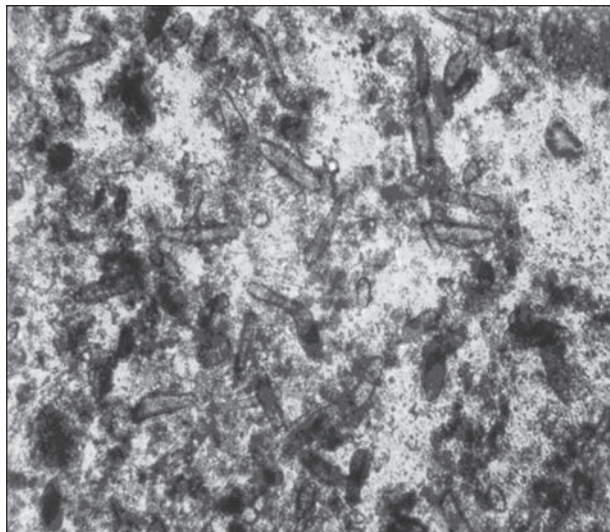
маних в різних апаратах, відрізнявся на 5–10 %, то в табл. 8 наведені характеристики суспензій з насіння за п'ять циклів обробки в РІА, з яких випливає, що у суспензіях переважають частинки з розміром 150–500 мкм, а термін до розшарування складає від 10–20 хв (суспензії з насіння гречки) до 1,5–2 год (соя, люпин).

Широкий діапазон фракційного складу і габаритів твердих часточок та неоднорідність суспензій ілюструються мікрофотографією краплі суспензії з насіння сої (рис. 1). Проби для мікрофотографій виготовлено нанесенням краплі суспензії на предметне скло, зйомка на просвіт проводилася через кожні 5 хв до видимого висихання рідини, збільшення об'єктів спостереження складало 32–400 разів.

Для отримання високодисперсних композицій з рослинної сировини розроблено і виготовлено диспергатор-гомогенізатор (ДГ) [15, 16]. Диспергатор-гомогенізатор за принципом дії подібний до дискового колоїдного млина мокрого подрібнення (взаємодія рухомого і нерухомого дисків) з суттєвою різницею від уже відомих за такими ознаками:

- ✦ формування шару суспензії, що обробляється;
- ✦ переміщення шару суспензії в робочій камері;
- ✦ регулювання величини зазору між рухомим і нерухомим дисками, яке здійснюється послідовно за допомогою пристрою грубого і тонкого регулювання.

Суть розробки полягає в тому, що ширина і стан потоку регулюється не тільки за рахунок відстані між рухомою і нерухомою поверхнями, а й за рахунок спеціально розробленої форми поверхні робочих органів, що забезпечує обробку емульсій або суспензій і отримання дисперсій з розміром часточок не більш 0,5 мкм у перетині. Звісь твердих часток у воді рухається між двома поверхнями з малим зазором, одна з яких рухається з великою швидкістю відносно другої. Крім ефекту подрібнення важливим є те, що в малому зазорі (0,05–0,1 мм) при лінійній швидкості потоку в межах 30÷125 м/хв формуються значні завихрення, що сприяє розподіленню частин за поверхне-



**Рис. 1.** Мікрофотографія проби з об'єму суспензії, отриманої в апараті РІА з набряклого при 50 °С в дистильованій воді необрушеного насіння сої (збільшення ×148)

вими гідрофільними та гідрофобними властивостями, — вони самі стають стабілізаторами утвореної дисперсії.

#### **Характеристики диспергатора-гомогенізатора:**

- ✦ апарат працює без насоса, суспензія переміщується за рахунок обертання рухомої поверхні робочої камери;
- ✦ обертання ротора забезпечується двигуном потужністю 0,7 кВт з числом обертів 3000 за хвилину;
- ✦ зазор між поверхнями ротора і статора — 500÷3 мкм;
- ✦ продуктивність переробки суспензії в ДГ при модулі в межах 1:6÷1:10 в залежності від зазору між дисками в межах 15÷3 мкм — 138,5÷3,5 л/год;
- ✦ швидкість обертання рухомої поверхні робочої камери — 50/с<sup>-1</sup>;
- ✦ об'єм робочої камери — 0,3 дм<sup>3</sup>;
- ✦ габарити — 175 × 205 × 325 мм.

Апарат диспергатор-гомогенізатор призначений для тонкого подрібнення і гомогенізації рослинної сировини після первинного грубого подрібнення набряклого насіння (напр., в роторно-пульсаційному апараті). В табл. 9 зі-

ставлені характеристики суспензій, отриманих в розробленому диспергаторі-гомогенізаторі і в роторно-пульсаційному апараті.

Результати однозначно вказують на перевагу подрібнювальної здатності розробленого апарату: більша частина маси відцентрифугованого з високодисперсної суспензії осаду представлена частинками з розміром 150÷50 мкм і менше. Незалежним методом з використанням модуля аналізу наноматеріалів та характеристики дисперсних систем показано, що

понад 90 % твердої речовини рослин після обробки в диспергаторі-гомогенізаторі складають частинки з розмірами 1000–1500, 3500–4500 нм в залежності від умов набрякання (відповідно лужний розчин чи дистильована вода) і умов обробки (величина зазору між робочими поверхнями диспергатора в діапазоні 3–15 мкм). Позитивні зміни ступеню дисперсності за фракційним складом твердої фази у високодисперсній (ДГ) і первинній (РПА) суспензіях очевидні, наслідки їх підтверджу-

Таблиця 9

**Розподіл сухої речовини (СР) в твердій фазі за розміром часточок в суспензіях із насіння сої (%) в залежності від умов обробки і подрібнення**

Розмір часточок, мкм	Масова доля часточок відповідного розміру, %			
	Лужна обробка		Дистильована вода	
	Диспергатор	РПА	Диспергатор	РПА
більше 500	Сліди	1,3 ± 0,2	Сліди	1,9 ± 0,2
500–250	9,45 ± 0,05	15,0 ± 1	11,65 ± 0,04	17,5 ± 1,4
250–150	14,71 ± 0,03	42,5 ± 1,6	17,03 ± 0,07	46,0 ± 2,1
150–50	17,50 ± 0,08	39,8 ± 2,6	23,10 ± 1,02	33,6 ± 2,4
менше 50	58,65 ± 1,07	2,4 ± 0,3	48,3 ± 0,08	1,6 ± 0,3

Таблиця 10

**Розподіл СР між рідкою і твердою фазами, фракційний склад за розміром часточок твердої фази (%) у високодисперсних суспензіях із зразка насіння амаранту, що набрякало в середовищі з різними рН**

Показник, од. виміру	рН середовища, од. рН		
	7	7	10
	Продуктивність диспергатора, л/год.		
	79,2	6,8	84,3
Температура, °С	58	72	55
СР в твердій фазі, %	21,79 ± 0,16	11,34 ± 0,21	18,39 ± 0,37
СР в рідкій фазі, %	2,81 ± 0,22	7,29 ± 0,17	4,89 ± 0,28
Частки з розміром 500–250 мкм, %	3,60 ± 0,28	2,56 ± 0,19	4,87 ± 0,34
Частки з розміром 250–150 мкм, %	23,43 ± 0,32	14,23 ± 0,23	19,69 ± 0,47
Частки з розміром 150–50 мкм, %	70,92 ± 0,93	81,33 ± 1,47	73,64 ± 2,23
До розшарування	2 доби	15 діб	2 доби
Запах	Слабкий рослинний		
Колір	Сіруватий		
Смак	Без присмаку		



ються даними про однорідність (рис. 2) і агрегативну сталість високодисперсних суспензій, отриманих з використанням розробленого диспергатора-гомогенізатора (табл. 10).

Проявом механічних напруг при обробленні в робочій камері диспергатора-гомогенізатора шару грубо подрібненого насіння у водному середовищі є підвищення температури суспензії від початкової 16–23 °С до 50–80 °С на виході з апарату. З даних табл. 9 і 10 видно, що обробка у ДГ призводить до:

- ✦ зменшення розміру часточок суспензій;
- ✦ переходу більше 70 % сухої речовини у рідку фазу;
- ✦ нагрівання тонких дисперсій до температури 50–85 °С;
- ✦ забезпечення агрегативної стійкості високодисперсних суспензій протягом 6–15 діб при температурі 8–22 °С.

Дослідні роботи по одержанню сталих емульсійно-суспензійних композицій із рослинної сировини дозволили розробити технологічну схему і апаратурне обладнання для основних стадій процесу. Технологічний процес одержання сталих емульсійно-суспензійних композицій з рослинної сировини в блочно-модульному виконанні з повною специфікацією основного технологічного обладнання для одержання сталих емульсій та суспензій харчових продуктів на прикладі виготовлення соєвого «молока» складається з таких етапів:

- ✦ приймання та підготовка сировини;
- ✦ миття насіння сої;
- ✦ обрушування сої;
- ✦ замочування; гідротермічна обробка замоченого насіння;
- ✦ убої соєвої суспензії;
- ✦ подрібнення, диспергування та гомогенізація.

Характеристика хімічного складу і агрегативної сталості зразка виготовленого за такою технологічною схемою напіврідкого продукту з цілісного насіння сої та водного середовища при модулі 1:8 представлена в табл. 11.

Дані табл. 11 вказують на відтворюваність результатів лабораторних дослідів за основни-



**Рис. 2.** Мікрофотографія проби з об'єму суспензії, отриманої в диспергаторі-гомогенізаторі із зразка набряклого в дистильованій воді насіння сої (збільшення  $\times 148$ )

Таблиця 11

**Розподіл сухої речовини (СР) між фазами та за розміром частинок у суспензії, отриманій за технологічною схемою із суміші насіння сої і гречки (1 : 1), в залежності від тривалості обробки в диспергаторі-гомогенізаторі**

Показники, од. виміру	Тривалість обробки в ДГ	
	5 хв	20 хв
Модуль (насіння : вода)	1 : 8	1 : 8
Температура, °С вхід–вихід	15→35	22→65
СР, г/100 см <sup>3</sup> у водній дисперсії	10,58 ± 0,26	10,46 ± 0,20
СР у рідкій фазі після обробки, %	36,8 ± 3,10	56,5 ± 2,18
СР у твердій фазі після обробки, %	61,68 ± 2,64	42,47 ± 1,16
Розподіл частинок суспензії за розміром, мкм, %		
500–250	16,91 ± 1,13	3,16 ± 0,14
250–150	24,70 ± 1,65	6,04 ± 0,27
150–50	57,30 ± 3,90	89,73 ± 4,06

ми параметрами дисперсій і свідчать про те, що втрати сухої вихідної сировини при отриманні високодисперсної суспензії не перевищують 0,5 %.

### ВИСНОВКИ

1. Проаналізована доступна дослідна і технічна інформація щодо диспергування рослинної сировини і одержання з неї сталих до розшарування систем у складі білків, жирів, вуглеводів і води. Відзначено основні недоліки відомих засобів диспергування і тенденції розвитку в цьому напрямі. Розроблена конструкція і виготовлені зразки диспергатора-гомогенізатора за принципом дії дискового колоїдного млина, що забезпечує отримання емульсійно-суспензійних дисперсій з рослинної сировини з розміром часточок не більше 0,5 мкм у перетині. Розроблено і реалізовано технічне рішення щодо диспергування цілісної рослинної сировини у водному середовищі для виготовлення рідких і пастоподібних харчових продуктів з насіння сої, люпину, амаранту, вівса пшениці, гречки, коренеплодів топінамбуру.

2. Досліджено вплив умов попередньої обробки — механічної, термічної, обводнення (*pH* середовища, температура, тривалість) — зразків насіння сої, люпину, амаранту на фракційний склад суспензій, які утворюються у водному середовищі при гідромодулях 1 : 6÷1 : 9 при обробці з використанням відомих вітчизняних подрібнювачів-гомогенізаторів — роторно-пульсаційних апаратів трьох модифікацій. Показано, що отримання в таких апаратах суспензій з розмірами твердих часток не більше 20 мкм можливе тільки при багаторазовій обробці (5—6 циклів) насіння максимально набряклої лущеної сої при модулі більше 1 : 10.

3. Досліджено вплив умов диспергування на фракційний склад твердої фази і температуру утворюваних суспензій, їх органолептичні властивості, характеристики сталості суспензій після обробки у відомих та розробленому диспергаторі. Показано, що високодисперговані суспензії з сої, люпину, амаранту не мають оз-

нак розшарування при зберіганні в охолодженому стані (5÷8) °C протягом шести діб. Вважаюче високою сталістю характеризуються суспензії з насіння люпину — більше 2-х місяців.

4. Показано, що за рахунок розривних і зсувних сил, які діють на суспензію в тонкому зорі між робочими поверхнями диспергатора-гомогенізатора, подрібнення супроводжується розігрівом суспензії, розкладом і видаленням речовин, що зумовлюють природний бобовий запах і присмак, забезпечується відмінна гомогенізація, яка протидіє розшаруванню.

5. Запропоновані і відпрацьовані технологічні схеми виготовлення високодиспергованих водних харчових продуктів з цілісного насіння рослинної сировини. Продукти мають усі корисні сполуки вихідного матеріалу, стали до розшарування не менше 5-и діб, виготовлені без додавання стабілізаторів, консервантів, одорантів, барвників тощо.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Бордаков П.П.* Соя та її харчове значення / Харків: ДВОУ—Держвидав УСРР, 1931. — 60 с.
2. *Zeki Berk* Technology of production of edible flours and protein products from soybeans. Soy beans // Food and Agriculture Organization of United Nations Rome, 1992. — 253 p.
3. *Строганов Д.А.* Формирование рынка натуральных продуктов лечебно-профилактического назначения // Пищевая пром. — 2002. — № 2. — С. 83—86.
4. *Растительный белок* / Перев. с фр. В.Г. Долгополова; Под ред. Т.П. Микулович. — М.: Агропромиздат, 1991. — 684 с.
5. *Лещенко А.К.* Культура сої на Україні. — К.: Вид-во Української академії сільськогосподарських наук, 1962. — 289 с.
6. *Шаркова Н.О., Боровський В.Р.* Соевое молоко // Харчова і переробна промисловість, — 1993. — № 12. — С. 19—20.
7. *Пат.* України 83879 МПК 2006 A23L 1/20. Спосіб одержання соєвого молока / Боровський В.Р., Ратушняк В.В.; заявл. 16.06.2006, опубл. 26.08.2008. Бюл. № 16.
8. *Нетребский А.А.* Новая технология производства высокодисперсной обойной муки // Зернові продукти і комбикорми. — 2002. — № 4. — С. 30—32.
9. *Schmitt A.* Aufbau und Arbeitsweise einer Anlage zum Emulgieren und Feindispersieren // Maschinenmarkt. — 1983. — Bd. 89. — S. 2286—2288.

10. Ободович О.М. Розроблення науково-технічних основ процесів перемішування і диспергування рідинних гетерогенних систем та апаратурне забезпечення: автореф. дис. на здобуття ступеня доктора технічних наук: спец. 05.18.12. — Київ, 2009. — 38 с.
11. Голубев В.Н., Каландадзе В.В. Измельчение растительного сырья в гидродинамическом кавитационном диспергаторе // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2007. — № 4. — С. 51—53.
12. Ур'єв Н.Б. Физико-химическая динамика дисперсных систем и материалов / В кн.: Современные проблемы физической химии. — М.: Изд. дом «Граница», 2005. — С. 166—192.
13. Пат. України 21498.МПК 2006 А23L 1/20 Спосіб одержання водних соєвих дисперсій / Боровський В.Р., Ратушняк В.В.; заявл. 09.10.2006, опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3.
14. Пат. України МПК 2012 В01F 7/10 А23N 1/00 Пристрій для диспергування та гомогенізації / Алєйніков В.Г., Бурушкіна Т.М., Количев В.І., Ратушняк В.В., Преподобний В.М.; заявл. 24.07.2012, опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.
15. Пат. України 102350 МПК В01F 7/10 А23N 1/02. Диспергатор-гомогенізатор / Алєйніков В.Г., Бурушкіна Т.М., Количев В.І., Ратушняк В.В., Преподобний В.М.; заявл. 24.07.2012, опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
9. Schmitt A. Aufbau und Arbeitsweise einer Anlage zum Emulgieren und Feindispersieren. *Maschinenmarkt*. 1983, Bd. 89: 2286—2288 [in German].
10. Obodovych O.M. *Rozroblennja naukovo-tehnicnyh osnov procesiv peremishuvannja i dysperguvannja ridynnyh geterogennyh sistem ta aparaturne zabezpechennja*: avtoref. dys. na zdobuttja stupenja doktora tehnicnyh nauk: spec. 05.18.12. Kyiv, 2009 [in Ukrainian].
11. Golubev V.N., Kalandadze V.V. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja*. 2007, N4: 51—53 [in Russian].
12. Ur'ev N.B. *Fiziko-himicheskaja dinamika dispersnyh sistem i materialov*. V kn.: *Sovremennye problemy fizicheskoj himii*. Moskva: Izd. Dom «Granica», 2005: 166—192 [in Russian].
13. Pat. *Ukrai'ny* 21498 МПК 2006 А23L 1/20 Sposib oderzhannja vodnyh sojevyh dyspersij. Borovskij V.R., Ratushnjak V.V. zavavl. 09.10.2006, opubl. 15.03.2007, Bjul. N 3 [in Ukrainian].
14. Pat. *Ukrai'ny* МПК 2012 В01F 7/10 А23N 1/00 Prystrij dlja dysperguvannja ta gomogenizacii. Aljejnikov V.G., Burushkina T.M., Kolychjev V.I., Ratushnjak V.V., Prepodobnyj V.M. zavavl. 24.07.2012, opubl. 12.11.2012, Bjul. N 21 [in Ukrainian].
15. Pat. *Ukrai'ny* 102350 МПК В01F 7/10 А23N 1/02. Dyspergator-gomogenizator. Aljejnikov V.G., Burushkina T.M., Kolychjev V.I., Ratushnjak V.V., Prepodobnyj V.M. zavavl. 24.07.2012, opubl. 25.06.2013, Bjul. N 12 [in Ukrainian].

#### REFERENCES

1. Bordakov P.P. *Soja ta ii harchove znachennja*. Harkiv: DVOU—Derzhvydav USRR, 1931 [in Ukrainian].
2. Zeki Berk. *Technology of production of edible flours and protein products from soybeans*. Soy beans. Food and Agriculture Organization of United Nations Rome, 1992.
3. Stroganov D.A. *Pishhevaia prom*. 2002, N2: 83—86 [in Russian].
4. *Rastitel'nyj belok*. Perev. s fr. V.G. Dolgopolova. Ed. T.P. Mikulovich. Moskva: Agropromizdat, 1991 [in Russian].
5. Leshhenko A.K. *Kul'tura soi' na Ukrai'ni*. Kyiv: Vyd-vo Ukrai'ns'koi' akademii' sil's'kogospodars'kyh nauk, 1962 [in Ukrainian].
6. Sharkova N.O., Borovs'kyj V.R. *Harchova i pererobna promyslovisť*. 1993, N12: 19—20 [in Ukrainian].
7. Pat. *Ukrai'ny* 83879 МПК 2006 А23L 1/20. Sposib oderzhannja sojevogo moloka. Borovs'kyj V.R., Ratushnjak V.V. zavavl. 16.06.2006, opubl. 26.08.2008. Bjul. N 16 [in Ukrainian].
8. Netrebskij A.A. *Zernovi produkti i kombikormi*. 2002, N4: 30—32 [in Russian].

Т.Н. Бурушкіна, В.В. Ратушняк,  
В.І. Количев, В.М. Преподобний, Ю.А. Плотников  
ГУ «Інститут харчової біотехнології  
і геноміки НАН України», Київ

#### ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ВЫСОКОДИСПЕРГИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Созданы условия малоотходного превращения целостного сырья из семян бобовых и зерновых растений (сои, люпина, амаранта, овса, пшеницы, гречихи) в высокодисперсные эмульсионно-суспензионные жидкие и пастоподобные системы, обладающие способностью к агрегативной устойчивости в течение 5—15 и более суток без использования стабилизаторов и эмульгаторов. Системы обладают практически полным набором питательных, биологически активных веществ и минеральных компонентов исходных растений.

*Ключевые слова:* агрегативно устойчивые эмульсионно-суспензионные системы, целостное растительное сырье, диспергатор-гомогенизатор.

*T.N. Burushkina, V.V. Ratushniak,  
V.I. Kolychev, V.M. Prepodobnyi, Yu.A. Plotnikov*

State Institution «Institute of Cell Biology  
and Genetic Engineering», NAS of Ukraine, Kyiv

PREPARATION AND PROPERTIES  
OF HIGHLY DISPERSED FOODSTUFFS  
FROM RAW VEGETABLE MATERIALS

The conditions of the low-waste conversion of whole leg-  
ume and cereal seeds (soy, lupine, amaranth, oats, wheat,

buckwheat) into liquid and paste-like highly dispersed emul-  
sion-suspension systems with almost complete set of nutri-  
ents, biologically active substances, and minerals of the ori-  
ginal plants are created. These systems are aggregatively  
stable for 5–15 days or more without the use of stabilizers  
and emulsifiers.

*Keywords:* Aggregatively stable emulsion-suspension sys-  
tems, holistic raw plant material, dispersing homogenizer.

Стаття надійшла до редакції 22.10.14