

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**ТИЩЕНКО ОЛЬГА ПАВЛІВНА**

УДК 001:891:(664.3.033:641.55)

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**«НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НАПІВФАБРИКАТІВ**  
**ОЛІЄ-ЖИРОВИХ КАПСУЛЬОВАНИХ ДЛЯ КУЛІНАРНОЇ ТА**  
**КОНДИТЕРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ»**

Спеціальність 05.18.16 – технологія харчової продукції  
Технічні науки

Подається на здобуття наукового  
ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О.П. Тищенко

Науковий консультант:

Гринченко Ольга Олексіївна,  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2018

## АНОТАЦІЯ

Тищенко О.П. Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів олієжирових капсульованих для кулінарної та кондитерської продукції. – Кваліфікаційно-наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.16 – технологія харчової продукції. Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України, Харків, 2018.

Дисертацію присвячено науковому обґрунтуванню та практичній реалізації інноваційних технологій, обладнання та процесів капсулювання ліпідів харчової сировини (ЛХС), що дозволило створити новий науково-практичний напрям з їх використання в технологіях інноваційної харчової продукції та розвинути теоретичні положення про структуроутворення полікомпонентних систем із використанням іонотропних полісахаридів у капсули з внутрішнім гідрофобним умістом.

Уперше розроблено та перевірено на адекватність теоретичні моделі утворення капсул «ЛХС – оболонкоутворювач» за вертикальної коаксіальної екструзії в середовищі повітря за самочинного керованого розпаду та в середовищі олії дезодорованої за примусового керованого розпаду, що стало підґрунтям для обґрунтування параметрів технологічного процесу виробництва ліпідів харчової сировини капсульованих (ЛХСК). Розвинуто теоретичні положення про одержання структурованих харчових гідрофобних продуктів із використанням іонотропних полісахаридів як оболонкоутворювачів. Уперше науково та експериментально обґрунтовано взаємозв'язок фізичних та органолептичних характеристик ЛХС із технологічними принципами формування та характеристиками прийомного середовища, технологічні принципи формування ЛХСК у середовищі повітря та олії дезодорованої, параметри технологічних процесів, склад, концентрацію гелеутворювачів, які забезпечують одержання ЛХСК з прогнозованою харчовою цінністю та технологічними властивостями. Науково обґрунтовано та розроблено технології капсульованих олій соняшnikової, оливкової, а також олій, збагачених жиророзчинними харчовими компонентами з вираженою фізіологічною дією та

органолептичними показниками, визначено їх основні товарознавчо-технологічні властивості, показники якості та безпечності; параметри технологічних процесів і технологій харчової продукції з використанням ЛХСК – дресінгів, оливки структурованої, борошняних, кондитерський виробів, кулінарної продукції, тощо.

Доведено, що співвісна коаксіальна вертикальна екструзія за принципом «труба (внутрішній жировий уміст) в трубі (оболонкоутворювач)» забезпечує формоутворення капсул у квазістабільному стані, а заміна прийомного середовища «повітря» на «олія» дозволяє керовано змінювати розмірні характеристики та продуктивність пристроїв для одержання ЛХСК.

Теоретичне дослідження кінетики капсулоутворення системи «ЛХС – водний розчин AlgNa» дозволило визначити, що екструзія в середовищі повітря є висококінетичним процесом, оскільки формування капсул проходить у режимі самочинної гравітації з одержанням квазістабільного стану капсул, а формування термодинамічного стабільного стану ЛХСК досягається реалізацією хімічних потенціалів рецептурних компонентів під час потрапляння капсул у водний розчин  $Ca^{2+}$  прийомного середовища. При цьому, головними чинниками впливу на капсулоутворення є сили гравітації та властивості оболонкоутворювача. Експериментально встановлено, що формоутворення капсул ЛХС складається з трьох етапів – формування конусоподібного зародка, утворення сферичної краплі та перемички між зародком і краплею та самочинна течія рідини в області перемички та її розрив. Здійснено оцінку внеску кожного етапу в час формування капсули з радіусом ( $R$ ). Визначено, що зміна радіусу капсули залежить від дії сил поверхневого натягу ( $\sigma$ ), капілярного тиску, міжфазового натягу оболонка-ядро рідин ( $\sigma > \sigma_\delta$ ), товщини оболонки ( $\delta$ ) та прискорення вільного падіння ( $g$ ). З урахуванням того, що робота, яка здійснюється силою тяжіння ( $A_g$ ) із формування сферичної краплі, дорівнює роботі  $A_\sigma$  сил поверхневого натягу, розраховано час кожного етапу капсулоутворення ( $\Delta t$ ). Визначено, що відносний час формування зародка та краплі є функцією трьох змінних – числа Бонда, числа Фруда та відносного коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma/\sigma_\delta$ . Установлено, що

час формування зародка та краплі майже у 20 разів більший, ніж час розриву перемички, що враховано під час конструювання пристрою для одержання ЛХСК в середовищі повітря. Установлено, що за співвідношення «внутрішній жировий уміст – оболонкоутворювач» (г/г) 90-80÷10-20 забезпечуються розмірні характеристики ЛХСК  $d = (4,3...7,6) \times 10^{-3}$  м за частоти самочинного відриву краплі  $N = (180...198) \times 60 \text{ с}^{-1}$ , а зростання концентрації AlgNa в оболонкоутворювачі від 0,8% до 1,5% не призводить до росту розмірних характеристик ЛХСК. Визначено, що збільшення відносного коефіцієнта поверхневого натягу в 3 рази збільшує радіус капсули в 1,6 рази, а повний час формування та відриву капсули – у 2,5 рази.

Доведено, що заміна прийомного середовища «повітря» на незмішане з оболонкоутворювачем середовище «рідина» (олія), яке має порівняно більшу густину ( $\rho$ ) за рахунок використання компенсуючої сили тяжіння виштовхувальної сили Архімеда, дозволяє покращити керованість процесом капсулоутворення, замінити самочинний гравітаційний розпад на керований примусовий та розширити розмірний типоряд ЛХСК у категорії характеристик «зовнішній вигляд», «розмірні характеристики», «маса капсули». Результатом використання рідкого прийомного середовища з більшою густиною ( $\rho$ ) призвело до еволюції формоутворення капсул до повного зникнення перемички ( $\rho_0 = \rho_1$ ), зміни кінетики капсулоутворення та забезпечило набуття сферичної форми капсулою. Доведено, що за такого підходу гідростатичний тиск є єдиним параметром, який регулює величину максимального радіуса капсули з максимальними значеннями, що компенсують сили поверхневого натягу.

Підтверджено, що під час потрапляння квазістабільної капсули в рідке прийомне середовище, яке є джерелом  $\text{Ca}^{2+}$ , перебігають термодинамічно незворотні процеси утворення  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та утворення технологічного термодинамічного рівноважного стану капсулами. Доведено, що поєднання принципів вертикальної співвісної зверху вниз екструзії двох потоків у двошарове прийомне середовище та способу іонотропного гелеутворення дозволяють одержати ЛХС у формі капсул із діаметром  $(6,0...12,0) \times 10^{-3}$  м, співвідношенням оболонка : внутрішній жировий уміст – від мінімально можливого за жировим умістом до 10:90 ÷ 90:10 г/г,

тривалістю зберігання 6 місяців за температури 2...6°C, які витримують усі види механічної та термічної обробки в інтервалі температур 40,0...99,0°C.

Експериментально підтверджено, що утворення ЛХСК у олійному шарі двошарового прийомного середовища реалізується за таких умов: наявність керованого пульсаційного удару відділення капсул, відповідність густини водно-спиртового розчину  $\text{CaCl}_2$  густині олії прийомного середовища, тобто  $\rho_{\text{олії}} = \rho_{\text{водного розчину солі Ca}^{2+}} = 926,0 \text{ кг/м}^3$ , технологічного забезпечення перетину квазістабільною капсулою міжфазного шару розділу фаз середовища. Обґрунтовано параметри зниження густини водного розчину  $\text{Ca}^{2+}$  шляхом уведення в нижній водний шар прийомного середовища етанолу. Експериментально доведено, що за співвідношення етанол : вода як 35:65 об./об. та 40:60 об./об. густина розчину  $\text{Ca}^{2+}$  складає близько  $925,0 \text{ кг/м}^3$  та  $914,0 \text{ кг/м}^3$ , що відповідає умові проходження капсулою міжфазного шару за чинником густини під дією сил гравітації. Доведено вплив ПАР (E432, E322, E471) на значення міжфазного натягу та встановлено, що використання поліоксиетиленсорбітанмонолаурату (E432) у концентрації 0,3 % та збільшення густини оболонки капсули ( $\rho_{\text{оболонки}}$ ) шляхом додавання до розчину AlgNa 10,0-40,0 % цукру білого ( $\rho_{\text{цукру}} = 1580 \text{ кг/м}^3$ ) сприяє зменшенню значення міжфазного натягу.

Науково обґрунтовано та розроблено технології виробництва напівфабрикатів ЛХСК, комплексно досліджено показники якості та безпечності розроблених напівфабрикатів, досліджено їх зміну в технологічному потоці й під час зберігання. Основні вимоги до нової продукції «Олія соняшникова капсульована», «Олія оливкова капсульована», «Олії вітамінізовані капсульовані» відображено у ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирів капсульовані».

Доведено, що використання у складі оболонки капсульованої продукції гліцерину, агару або пектину низькоетерифікованого дозволяє модифікувати технологічні властивості ЛХСК та дає змогу адаптувати ЛХСК до різних технологічних впливів, у тому числі термічних. Розроблено та обґрунтовано технології ЛХСК з альгіно-гліцериною ( $C_{\text{гліцерину}} = 0,5...1,0\%$ ), альгіно-агаровою ( $C_{\text{агару}} = 0,2...0,8\%$ ) та альгіно-пектиною ( $C_{\text{пектину}} = 0,5...2,0\%$ ) оболонками. Аналітично

та експериментально підтверджено, що, незважаючи на зростання модуля пружності за умов використання агару та пектину низькоетерифікованого, частка високоеластичної деформації в загальній для змішаних гелів зменшується: з 0,82 до 0,68 – для агару ( $C = 0,8\%$ ) та з 0,81 до 0,60 – для пектину низькоетерифікованого ( $C = 2,0\%$ ). Це свідчить про наростання в оболонках ЛХСК пластичних властивостей, що суттєво змінює органолептичне сприйняття. Гліцерин ( $C = 1,0\%$ ) також є пластифікатором альгінат-кальцієвої оболонки капсули, оскільки його додавання призводить до зростання частки незворотньої деформації (з 0,19 до 0,21). Доведено, що для змішаних гелевих оболонок характерна капілярно-пориста структура, яка під час зберігання текстурного вмісту інкапсулянту забезпечує масообмін із зовнішнім середовищем у процесі гомеостазу.

Розроблено та впроваджено технології нової продукції «Олія оливкова капсульована в оцті бальзамічному» для салатів та холодних страв з подовженими термінами зберігання, соусу «Дресінги капсульовані» (патент РСТ № WO 2018/125022, патенти № 117747, № 117002) у широкому асортименті та обґрунтовано закономірності зміни основних показників якості та безпечності, які протягом 180 діб зберігання за  $t = 8...20^{\circ}\text{C}$  відзначаються як високі та сталі. Комплексні показники якості та безпечності відображено в «ТУ У 10.4-38128375-009:2018 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані в олійних та оцтових середовищах», ТУ У 10.4-38128375-010:2018 «Дресінги капсульовані» та технологічних інструкціях з їх виробництва.

Обґрунтовано та розроблено технологію «Оливка структурована фарширована олією оливковою капсульованою». Реалізований підхід характеризується ефективним ресурсозберігаючим ефектом: рослинна сировина подрібнюється в пюре, на основі якого готують рецептурну суміш, до складу якої входять ЛХСК із заданими органолептичними властивостями, після чого суміш структурується. Комплексно досліджено показники якості та безпечності оливки структурованої, що відображено в ТУ У 10.4-38128375-005:2018 «Напівфабрикати структуровані на основі оливкової сировини консервованої». Узагальнення результатів дослідження дозволяють переробляти за цією схемою інші види рослинної сировини.

Обґрунтовано розвиток технології виробництва борошняних кондитерських виробів із використанням ЛХСК. Інтактність жирів у складі капсул до структури тіста має ключові переваги: жири не впливають на структуру тіста під час тістоутворення; жири не впливають на технологічну активність рецептурних компонентів тіста, не здатні їх пригнічувати, активувати в технологічному потоці, у тому числі під час бродіння, що важливо для дріжджового та бісквітного тіста (патенти № 114736, № 117738, № 103249, № 03252, № 103253).

Унесення жирів до складу продукції в капсульованому стані дозволяє створити технологічні суміші капсул з індивідуальним складом жирів кожної капсули, тим самим забезпечити керований склад жирів з індивідуальними органолептичними характеристиками за кольором, розмірами, смаком, складом, консистенцією, що є дуже важливим під час планування та формування харчової цінності та органолептичних показників кондитерських виробів. Удосконалено технологію напівфабрикату бісквіта основного шляхом уведення ЛХСК після збивання яєчно-цукрової суміші з борошном пшеничним. Це не призвело до зміни значення піноутворюючої здатності ( $ПЗ = 180,0 \dots 200,0\%$ ) та стійкості піни ( $СП = 80,8\%$ ). Під час випікання бісквіта основного за температури  $t = 75 \dots 80^\circ\text{C}$  капсули з альгіно-агаровою оболонкою втрачають свою структурну цілісність з витіканням ліпідного умісту. Це дозволило за загального вмісту жирів близько 8,0 %, збагатити готові вироби цінними поліненасиченими жирними кислотами за умови збереження збитості та пористості, характерними для бісквіту основного. Встановлено, що введення жиру у бісквітне тісто в капсульованому вигляді не впливає на показники пористості випечених напівфабрикатів, як результат – бісквіти характеризуються заданою пишністю за об'ємом. Експериментально підтверджено наукову гіпотезу про інтактність ЛХСК у технології дріжджового тіста. Згідно з технологічними можливостями капсулювання здобу у вигляді суміші оліє-жирової сировини та цукру білого за їх співвідношення  $99,0-80,0 \div 1,0-20,0$  мас.% у капсульованому вигляді вносили під час другого обминання. За рахунок того, що здоба знаходиться в інтактній, по відношенню до середовища тіста, формі, жир і цукор не впливають на інтенсивність перебігу фізико-хімічних і біохімічних

процесів бродіння. Установлено, що під час випікання термотропно-іотропна оболонка капсули втрачає свою текстурну цілісність, внутрішній ліпідний уміст рівномірно розподіляється за об'ємом виробу. Такий прийом дозволяє одержувати дріжджові вироби з фізико-хімічними характеристиками виробів з опарного тіста. При цьому тривалість технологічного процесу суттєво зменшується (патент № 114737). Рецептури борошняних кондитерських виробів із використанням ЛХСК наведено в технологічній інструкції до ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані».

Розроблено, сконструйовано та апробовано спеціалізоване обладнання та промислові лінії для виробництва ЛХСК, які дозволили одержувати капсульовану продукцію з різних за в'язкістю гідрофобних речовин, з одержанням капсул діаметром  $(4,3...12,0) \times 10^{-3}$  м та різною за властивостями оболонкою. Апаратурне оформлення та промислова лінія з виробництва ЛХСК має статус «інноваційні» розробки, що підтверджується одержанням патенту на винахід Світової організації Інтелектуальної Власності згідно з угодою про патентну кооперацію (СРТ) № WO 2017/105378 A1 «Капсуляторная головка и устройство для получения капсул», патенту на корисну модель України № 106622 «Капсуляторна головка для одержання капсул».

Здійснено оцінку економічної ефективності функціонування розроблених та комерціалізованих технологій на якісному та кількісному рівні. Розроблені технології ЛХСК та харчової продукції з їх використанням упроваджено у закладах ресторанного господарства та харчової промисловості України, Іспанії, США, доведено соціально-економічну ефективність нових розробок на внутрішніх та зовнішніх ринках, визначено соціальний ефект у вигляді забезпечення нових робочих місць фірми-виробника.

*Ключові слова:* капсула, жировий уміст, альгінат натрію, вертикальна співвісна екструзія, двошарове прийомне середовище, капсулоутворення, структуроутворення, напівфабрикати оліє-жирові, ліпіди харчової сировини капсульовані



## SUMMARY

Tishchenko O.P. Scientific substantiation of the technology of oil and fat encapsulated semi-finished products for culinary and confectionery products. – Manuscript.

Thesis for the receiving a degree Doctor of Engineering Science on specialty 05.18.16 – Food Products Technology. – Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The thesis is devoted to the scientific substantiation and practical implementation of innovative technologies, equipment and processes of encapsulation of lipid of food raw materials (LFRM), which allows to create a new scientific and practical direction for their use in innovative food technologies and develop theoretical concepts about the structure of multicomponent systems using ionotropic polysaccharides in capsules with internal hydrophobic content.

For the first time, theoretical models of «LFRM – shell former» capsule formation for vertical coaxial extrusion in air with unauthorized controlled decay and oil deodorized for forced controlled decay are developed and tested for adequacy, become the basis for substantiating the parameters of the technological process for producing encapsulated lipid of food raw materials (ELFRM). Theoretical provisions are developed for the preparation of structured food hydrophobic products using ionotropic polysaccharides as shell former. For the first time, the relationship of physical and organoleptic characteristics of LFRM with the technological principles of formation and characteristics of the receiving environment, the technological principles of ELFRM formation in an air and deodorized oil environment, the parameters of technological processes, composition, concentration of gelling agents that provide ELFRM with predictable nutritional value and technological properties. The technology of encapsulated sunflower oil, olive oil, as well as oils enriched with fat-soluble food components with pronounced physiological action and organoleptic indicators is scientifically substantiated and developed, their main commodity research and technological properties, quality and safety indicators are determined; parameters of technological processes and

technologies of food products using ELFRM-dressing, structured olive, flour, confectionery, culinary products and other olives.

It is proved that coaxial component vertical extrusion according to the principle «pipe (internal fat content) in a pipe (shell former)» provides for the formation of capsules in a quasi-stable state, and replacing the receiving medium «air» with «oil» allows controllably changing the dimensional characteristics and performance of devices to obtain ELFRM.

A theoretical study of the capsulation kinetics of «LFRM – AlgNa aqueous solution» system makes it possible to determine that extrusion in air is a highly kinetic process, since the formation of capsules takes place in an unauthorized gravity mode with obtaining quasi-stable states of the capsules when ingested capsules in an aqueous solution of  $\text{Ca}^{2+}$  receiving medium. At the same time, the main factors influencing capsulation are the forces of gravity and the properties of shell former. It is established experimentally that the shaping of LFRM capsules consists of three stages – the formation of a cone-shaped embryo, the formation of a spherical droplet and a bridge between the embryo and the droplet and the self-flowing fluid flow in the area of the bridge and its rupture. The assessment of the contribution of each stage in the formation of a capsule with a radius ( $R$ ) is carried out. It is determined that the change in the capsule radius depends on the action of surface tension forces ( $\sigma$ ), capillary pressure, interfacial tension shell – core of liquids ( $\sigma > \sigma_\delta$ ), shell thickness ( $\delta$ ) and free fall acceleration ( $g$ ). Taking into account the fact that the work carried out by gravity ( $A_g$ ) on the formation of a spherical drop is equal to the work of  $A_\sigma$  of surface tension forces, the time of each stage of capsule formation ( $\Delta\tau$ ) is calculated. It is determined that the relative formation of the nucleus and the drop is a function of three variables – the Bond number, the Froude number, and the relative surface tension coefficient  $\sigma/\sigma_\delta$ . It is established that during the formation of a embryo and a drop, it is almost 20 times longer than the break time of the bridge, taken into account when designing the device for producing ELFRM in air. It is established that with the ratio «internal fat content – shell former» (g/g) 90-80÷10-20 provided ELFRM dimensional

characteristics  $d = (4,3...7,6) \times 10^{-3}$  m at a frequency of unauthorized separation of the drop  $N = (180...198) \times 60 \text{ s}^{-1}$ , and an increase in the AlgNa concentration in shell former from 0,8% to 1,5% does not lead to an increase in the ELFRM dimensional characteristics. It is determined that an increase in the relative surface tension coefficient by 3 times increases the radius of the capsule by 1,6 times, and the total time of formation and detachment of the capsule by 2,5 times.

It is proved that replacing the receiving medium «air» with «liquid» (oil) that does not mix with the shell, which has a relatively high density ( $\rho$ ) due to the use of the compensating force of attraction of the buoyancy force of Archimedes, improves the controllability of the capsule formation process, replacing the spontaneous gravitational decay by controlled forced and expanded size range of ELFRM in the category of characteristics «appearance», «dimensional characteristics», «capsule weight». The result of using a liquid receiving medium with a higher density ( $\rho$ ) led to the evolution of capsule shaping until the jumper completely disappeared ( $\rho_0 = \rho_1$ ), changing the kinetics of capsule formation and ensured the acquisition of a spherical shape by the capsule. It is proved that with this approach, the hydrostatic pressure is the only parameter that controls the maximum radius of the capsule with maximum values, compensating for the surface tension forces.

It is confirmed that when quasi-stable capsules are injected into a liquid receiving medium, which is a source of  $\text{Ca}^{2+}$ , thermodynamically irreversible processes of  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  formation and formation of a technological thermodynamic equilibrium state of the capsules occur. It is proved that the combination of the principles of vertical coaxial top-down extrusion of two streams into a two-layer receiving medium and an ionotropic gelation method allows to obtain LFRM in the form of capsules with a diameter of  $(6,0...12,0) \times 10^{-3}$  m, the ratio of shell: internal fat from the lowest possible fat content to 10:90 ÷ 90:10 g/g, storage time 6 months at a temperature of 2 ... 6°C, which can withstand all types of mechanical and heat treatment in the temperature range 40,0...99,0°C.

It is experimentally confirmed that the formation of ELFRM in the oil layer of a two-layer receiving medium is realized under the following conditions: the presence of a

controlled pulsating impact of the capsule separation, the density of the aqueous-alcoholic  $\text{CaCl}_2$  solution corresponding to the density of the receiving medium, that is,  $\rho$  of oil =  $\rho$  of an aqueous solution of salt  $\rho_{olive} = \rho_{salt\ aqueous\ solution\ Ca^{2+}} = 926,0\text{ kg/m}^3$ , technological support for the intersection of a quasi-stable capsule interfacial phase separation layer of the medium. The parameters of reducing the density of an aqueous solution of  $\text{Ca}^{2+}$  are substantiated by introducing ethanol into the lower aqueous layer of the receiving medium. It is experimentally proved that the adequacy of ethanol: water as 35:65 vol/vol and 40:60 vol/vol. The density of the  $\text{Ca}^{2+}$  solution is about  $925.0\text{ kg/m}^3$  and  $914.0\text{ kg/m}^3$ , which corresponds to the condition that the capsule passes the interfacial layer with a density factor under the influence of gravitational forces. It is proved that the use of polyoxyethylenesorbitan monolaurate (E432) at a concentration of 0,3% and an increase in the density of the capsule shell ( $\rho_{shell}$ ) by adding to the AlgNa solution 10,0...40,0% white sugar ( $\rho_{sugar} = 1580\text{ kg/m}^3$ ) helps reduce the interfacial tension.

The production technology of ELFRM semi-finished products is scientifically substantiated and developed, the quality and safety indicators of the developed semi-finished products are comprehensively investigated, their changes in the process flow and during storage is investigated. The main requirements for the new products «Encapsulated sunflower oil», «Encapsulated olive oil», «Encapsulated fortified oils» are reflected in TU U 10.4-38128375-003:2014 «Encapsulated oils, fats and mixtures».

It is proved that the use of low-esterified glycerin, agar or pectin in the shells of the encapsulated products allows modifying the technological properties of ELFRM and allows adapting ELFRM to various technological influences, including thermal ones. The technologies of ELFRM with Algin-glycerol ( $S_{glycerol} - 0,5...1,0\%$ ), Algin-agar ( $C_{agar} = 0,2...0,8\%$ ) and Algin-pectin ( $C_{pectin} - 0,5...2,0\%$ ) by shells. It is analytically and experimentally confirmed that, despite the increase in the elastic modulus when using agar and low-esterified pectin, the proportion of highly elastic deformation in the total for mixed gels decreases: from 0,82 to 0,68 for agar ( $C = 0,8\%$ ) and 0,81 to 0,60 for low-esterified pectin ( $C = 2,0\%$ ). This indicates the growth of plastic properties in the ELFRM envelopes, significantly changes the organoleptic perception. Glycerol ( $C = 1,0\%$ ) is also a plasticizer for the alginate-calcium shell of the capsule, since its ad-

dition leads to an increase in the proportion of irreversible deformation (from 0,19 to 0,21). It is proved that for mixed gel shells is characterized by a capillary-porous structure, which during storage of the textural content of the encapsulant provides mass exchange with the external environment in the process of homeostasis.

Technologies of the new product «Olive oil encapsulated in balsamic vinegar» are developed and implemented for salads and cold dishes with extended storage periods, «Encapsulated dressings» sauce (PCT patent No. WO 2018/125022, patents No. 117747, No. 117002) in a wide range and reasonably the regularities of changes in the main indicators of quality and safety, which are marked as high and steel within 180 days of storage at  $t = 8 \dots 20^{\circ}\text{C}$ . Comprehensive indicators of quality and safety are reflected in TU U 10.4-38128375-009: 2018 «Oils, fats and mixtures of fat encapsulated in oilseeds and acetic environments», TU U 10.4-38128375-010:2018 «Encapsulated dressings» and technological instructions for their production.

The technology «Structured Olive Stuffed with Encapsulated Olive Oil» is substantiated and developed. The implemented approach is characterized by an effective resource-saving effect: vegetable raw materials are crushed into puree, on the basis of which a prescription mixture is prepared, which consists of ELFRMs with desired organoleptic properties, after which the mixture is structured. The indicators of quality and safety of structured olives, which are reflected in TU U 10.4-38128375-005:2018 «Semi-finished products structured on the basis of canned olive raw materials», are comprehensively studied. The generalization of the research results allows processing other types of plant raw materials according to this scheme.

The development of the production technology of flour confectionery products using ELFRM is substantiated. The intactness of the fats in the composition of the capsules in the structure of the dough has key advantages: fats do not affect the structure of the dough during this time; fats do not affect the technological activity of the prescription components of the test, they are not able to inhibit them, activate them in the process stream, including during fermentation, which is important for yeast and sponge dough (patents No. 114736, No. 117738, No. 103249, No. 03252, No. 103253).

Adding fat to the composition of products in the encapsulated state allows to create technological mixtures of capsules with an individual composition of fats of each capsule, thereby ensuring a controlled composition of fats with individual organoleptic characteristics in color, size, taste, composition, texture, which is very important when planning and forming nutritional value and organoleptic characteristics of confectionery. The technology of the semi-finished biscuit of the main one has been improved by introducing ELFRM after beating the egg-sugar mixture with wheat flour. This did not lead to a change in the value of foaming ability (FA = 180,0...200,0%) and foam stability (FS = 80,8%). During the baking of the main biscuit at a temperature  $t = 75...80^{\circ}\text{C}$ , the capsules with algin-agar shell lose their structural integrity with the outflow of lipid content. This allowed for the total fat content of about 8,0%, to enrich the finished products with valuable polyunsaturated fatty acids, while maintaining the build-up and porosity characteristic of the main biscuit. It is established that the introduction of fat into biscuit dough in the encapsulated form does not affect the porosity of the baked semi-finished products, as a result – the biscuits are characterized by a given magnificence in volume. The scientific hypothesis of ELFRM inactivity in the yeast dough technology is experimentally confirmed. According to the technological capabilities of the encapsulation of baking in the form of a mixture of oil and fat raw materials and white sugar with their ratio of 99,0-80,0÷1,0-20,0 wt.% in the encapsulated form made during the second punch. Due to the fact that baking is intact in relation to the environment of the dough, the form, fat and sugar do not affect the intensity of the flow of physico-chemical and biochemical fermentation processes. It is established that during baking thermotropic-ionotropic capsule shell loses its textural integrity, the internal lipid content is evenly distributed throughout the volume of the product. This technique allows to get yeast products with the physico-chemical characteristics of products from sponge dough. At the same time, the duration of the technological process is significantly reduced (patent № 114737). Recipes of flour confectionery using ELFRM given in the technological instructions with TU U 10.4-38128375-003:2014 «Oils, fats and mixtures of encapsulated fats».

Specialized equipment and industrial lines for the ELFRM production are developed, designed and tested, which made it possible to obtain encapsulated products from various viscosity hydrophobic substances, to obtain capsules with a diameter of  $(4,3...12,0) \times 10^{-3}$  m and different in properties shell. The hardware design and industrial production line for ELFRM has the status of «innovative» developments, confirmed by obtaining a patent for the invention of the World Intellectual Property under the Patent Cooperation Treaty (CPT) No. WO 2017/105378 A1 «Capsule Head and Device for Capsules», a patent for useful Model of Ukraine No. 106622 «Capsule head for receiving capsules».

An assessment of the economic efficiency of the developed and commercialized technologies at a qualitative and quantitative level is done. The developed technologies of ELFRM and food products with their use are introduced in the institutions of the restaurant industry and the food industry in Ukraine, Spain, the USA, the social and economic efficiency of new developments in the domestic and foreign markets is proved, the social effect in the form of providing new workplaces of the manufacturing company is determined.

*Keywords:* capsule, fat content, sodium alginate, vertical coaxial extrusion, two-layer receiving medium, capsule formation, structure formation, oil-fat semi-finished products, encapsulated lipids of food raw materials

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Неклеса (Тищенко) О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П., Пивоваров Є. П. Науково-практичні принципи капсулювання технологічних систем гідрофобного походження // Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технології, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія / за ред. проф. Євлаш В. В., проф. Потапова В. О., проф. Савицької Н. Л. Х.: ХДУХТ, 2015. Ч. 2. С. 343–360. *Внесок здобувача: обґрунтовано науково-технологічні параметри капсулювання систем гідрофобного походження.*
2. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Нагорний О. Ю., Гринченко Н. Г. Технологія олії соняшникової капсульованої та її використання у складі салатів: монографія. Х.: ХДУХТ, 2015. 161 с. *Внесок здобувача: розроблено та обґрунтовано технологію виробництва олії соняшникової капсульованої з використанням способу екструзії в середовищі олії дезодорованої.*
3. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Нагорний О. Ю. Технологія соусів томатних капсульованих: монографія. Х.: ХДУХТ, 2015. 120 с. *Внесок здобувача: досліджено спосіб капсулювання складних систем на основі альгінату натрію та інших іонотропних полісахаридів.*
4. Neklesa O., Korotayeva Y., Stepankova G. Technology of manufacture of innovative fat-and-oil products of increased nutritional value: монографія. Kh.: HDUHT, 2016. 91 p. *Внесок здобувача: обґрунтовано перспективи розвитку напрямку капсулювання гідрофобних речовин у харчовій та медичній індустріях.*
5. Неклеса О. П., Коваленко А. А., Михайлов В. М., Пивоваров П. П. Технологічні аспекти створення продукції з емульсійною структурою на основі стабілізаційних систем з використанням іонотропних полісахаридів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Харків: ХДУХТ, 2010. Вип. 2 (12). С. 107–114. *Внесок здобувача: досліджено точку інверсії емульсій від концентрації гідроколоїдів.*



6. Неклеса О. П., Нечепуренко К. Б., Пивоваров П. П. Дослідження стійкості термостабільних твердих емульсій // Сучасні напрямки технології та механізації переробних і харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Х.: ХНТУСГ, 2012. Вип. 131. С. 261–265. *Внесок здобувача: розроблено та реалізовано методологію дослідження, доведено наукову концепцію дослідження.*

7. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Характеристика структурно-механічних властивостей розчинів альгінатів і рослинних сумішей для стабілізації сумісних потоків // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Харків: ХДУХТ, 2013. Вип. 1 (17). С. 84–89. *Внесок здобувача: досліджено в'язкість компонентів двокомпонентної системи «водний розчин альгінату натрію – олія соняшникова», розроблено модель утворення капсули з внутрішнім жировим умістом.*

8. Неклеса О. П., Мороз О. В., Пивоваров П. П., Плотнікова Р. В., Пивоваров Є. П. Дослідження взаємодії іонотропних полісахаридів у складі драглеподібних продуктів // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2013. № 6/11 (66). С. 24–27. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: досліджено інфрачервоні спектри поглинання термотропно-іонотропними гелевими системами.*

9. Неклеса О. П., Нагорний О. Ю., Пивоваров Є. П. Вплив ультразвукової модифікації на реологічні характеристики розчинів полісахаридів в технології капсульованої продукції // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2013. № 5/10 (65). С. 26–29. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: досліджено в'язкість розчинів полімерів за умов їх фізичної модифікації.*

10. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Перспективи використання капсульованої жирової продукції в технологічних процесах // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. Донецьк: ДонНУЕТ ім. М. Туган-

Барановського, 2014. Вип. 32. С. 59–65. *Внесок здобувача: сформульовано основні напрями та перспективи використання капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом.*

11. Неклеса О. П., Нагорний О. Ю., Пивоваров Є. П. Закономірності одержання соусів томатних капсульованих залежно від технологічних властивостей системи // Продовольча індустрія АПК України. Київ, 2014. № 1. С. 33–37. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: досліджено вплив УЗ-хвиль на властивості сумішей для структуроутворення на основі альгінату натрію.*

12. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Кондратюк Н. В., Гринченко О. О. Технологія одержання капсульних форм пробіотичних мікроорганізмів / Мікробіологічний журнал // Інститут вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Київ, 2014. № 69. С. 35–40. *Внесок здобувача: досліджено вплив технологічних чинників на показники якості та безпечності капсул з внутрішнім умістом пробіотичних мікроорганізмів.*

13. Neklesa O., Korotayeva E., Pyvovarov P., Troshchyi T. Technological levers control the properties of two-layer environment, the formation of thermostable capsules with the fat content // Ukrainian Food Journal. 2014. Vol. 3, Iss. 4. Pp. 566–576. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: досліджено технологічні чинники та параметри впливу на властивості двошарового прийомного середовища для формування термостабільних капсул з внутрішнім жировим умістом.*

14. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Гринченко О. О., Пивоваров П. П. Дослідження функціонально-технологічних властивостей капсульованих рослинних олій // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. № 6/10 (78). С. 45–49. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: досліджено функціонально-технологічні та структурно-механічні властивості оболонки капсул із внутрішнім жировим умістом.*

15. Neklesa O., Korotayeva E., Nagorniy A. Foundation of technology for obtaining encapsulated oils and prescription development of shells on their basis // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2016. № 6/11 (84). С. 9–16. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus та ін.).** *Внесок здобувача: здійснено аналітичне дослідження та математичні розрахунки тривалості утворення термостабільної капсули з внутрішнім жировим умістом у середовищі олії дезодорованої.*

16. Neklesa O., Korotayeva E., Nagorniy A. The study of influence of technological factors of encapsulated oils and their shell production using sodium alginate // Eureka: Life sciences. 2016. No. 6(6). Pp. 11–16. **Стаття у виданні Естонської Республіки, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: досліджено вплив технологічних чинників та концентрацій рецептурних компонентів на процес утворення капсул із внутрішнім жировим умістом.*

17. Неклеса О. П., Яранцева Є. О., Пивоваров П. П., Вовк В. С., Костигов К.В. Прогнозування вологоутримуючої здатності харчових систем на основі альгінат натрію та полісахаридів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць ХДУХТ. Х.: ХДУХТ, 2017. Вип. 2(26). С. 64–76. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: досліджено вплив пектину, агару та гліцерину на структурно-механічні показники гелів альгілату кальцію.*

18. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Степанькова Г. В. та ін. Наукові основи технологій харчової продукції лікувально-профілактичного призначення, одержаної шляхом акумуляції функціональних інгредієнтів // Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2017. Т. 23. № 5(2). С. 131–141. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: розроблено та обґрунтовано технології виробництва ліпідів харчової сировини капсульованих із використанням жиророзчинних функціональних інгредієнтів.*

19. Neklesa O., Potapov V., Pyvovarov P. Analysis of kinetic pattern in the formation and separation of a drop in fluid in the form of capsule // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2017. № 2/10 (86). С. 32–40. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus та ін.).** *Внесок здобувача: досліджено кінетику процесу капсулоутворення, розраховано час утворення капсули за умов використання різнополярних речовин.*

20. Neklesa O., Potapov V., Pyvovarov P. Investigation of the kinetic model for the process of the liquid drops formation in the form of capsule // Eureka: Life sciences. 2017. No. 2(8). Pp. 3–14. **Стаття у виданні Естонської Республіки, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: змодельовано етапи утворення термостабільної капсули, встановлено збурюючі фактори впливу на процес капсулоутворення.*

21. Neklesa O., Yarantseva Y., Pyvovarov E., Grinchenko O. Analytical study of the model of capsule formation of the system «food lipids – calcium alginate» // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2017. № 6/11 (90). С. 35–41. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus та ін.).** *Внесок здобувача: аналітично досліджено процес утворення термостабільної системи «ліпіди харчової сировини – гель альгінату кальцію», визначено перспективи розвитку капсулювання у сфері харчової індустрії.*

22. Neklesa O., Yarantseva Y., Pyvovarov E., Grinchenko O. Study of constructive provision of the capsule formation process of the «oil and fat raw materials – ionotropic shell-maker» system // Eureka: Life sciences. 2017. No. 6(13). Pp. 42–47. **Стаття у виданні Естонської Республіки, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: описано принцип дії голівки екструдера для капсулювання складних рідин у середовищі повітря.*

23. Неклеса О. П., Пивоваров Е. П., Городничая А. В. Теоретические аспекты изучения полимеризационных процессов при формировании полисахаридных гидрогелей с аминокислотами // Нові рішення в сучасних технологіях /

Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ», 2017. № 53 (1274). С. 60–64. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.** *Внесок здобувача: вивчено фізико-хімічні характеристики гелевих плівкоутворюючих систем на основі альгінату натрію за умов використання пектинів.*

24. Neklesa O., Yarantseva Y., Kotlyar O., Pyvovarov P., Grinchenko O. A study of the effect of thermotropic polysaccharides of the properties of the alginate-calcium shell of an encapsulated fatty semifinished food product // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2018. № 2/11 (92). С. 29–38. **Стаття у фаховому виданні України, що включене до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus та ін.).** *Внесок здобувача: досліджено структурно-механічні властивості термотропних полісахаридів, визначено параметри технологічного процесу під час формування капсули з модифікованою оболонкою.*

25. Neklesa O. Study of the permeability degree of the alginate-calcium tunic of capsule under condition of the use mixed ionotropic thermotropic gelation // Eureka: Life sciences. 2018. No. 2(14). Pp. 34–40. **Стаття у виданні Естонської Республіки, що включене до міжнародних наукометричних баз даних.**

26. Спосіб одержання харчового гранульованого продукту: пат. на винахід 103277 Україна, МПК А 23 L 1/05 (2006.01), А 23 Р 1/02 (2006.01) / Неклеса О. П., Мороз О. В., Нагорний О. Ю., Пивоваров Є. П.; № а201209081; заявл. 23.07.2012; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, систематизовано результати, підготовлено заявку та основний зміст винаходу.*

27. Спосіб одержання пластичної кондитерської кремово-збивної маси: пат. на винахід 106859 Україна, МПК А 23 G 3/52 (2006.01), А 21 D 13/08 (2006/01) / Неклеса О. П., Горальчук А. Б., Омельченко С. Б., Гринченко О. О.; № а201314677; заявл. 16.12.2013; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, здійснено аналіз результатів, складено основний зміст винаходу.*

28. Способ получения твердой эмульсии и твердая эмульсия: пат. на винахід Російської Федерації 2545043 Росія, МПК А 23 D 9/00 (2006.01) // Неклеса О. П., Нечепуренко К. Б., Пивоваров П. П.; № 20123156167/13; заявл. 16.12.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 13. *Внесок здобувача: здійснено аналіз і систематизацію результатів, підготовлено заявку та основний зміст винаходу.*

29. Спосіб одержання капсул з внутрішнім умістом на основі жирів та отримана на його основі капсула: пат. на винахід 108807 Україна, МПК А 61 К 9/48, А 23 Р 1/04 / Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П.; № а201400713; заявл. 25.01.2014; опубл. 10.06.2015. Бюл. № 11. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, аналіз результатів, підготовлено заявку та основний зміст корисної моделі.*

30. Здоба до тіста, спосіб одержання тіста та отриманий з нього виріб: пат. на винахід 114736 Україна, МПК А 21 D 8/02, А 21 D 2/08, А 23 Р 10/30 / Неклеса О. П.; № а201505340; заявл. 02.06.2015; опубл. 25.07.2017, Бюл. № 14.

31. Тісто, здоба та виріб з нього: пат. на винахід 114737 Україна, МПК А 21 D 8/02, А 21 D 2/08, А 23 Р 10/30 / Неклеса О. П.; № а201505351; заявл. 02.06.2015; опубл. 25.07.2017, Бюл. № 23.

32. Капсуляторная головка и устройство для получения капсул: пат. на изобретение в рамках Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности в соответствии с договором о Патентной кооперации (РСТ) № WO 2017/105378 A1 от 22.06.2017, № 10 A23P 1/04 (2006.01) А 61J 3/07 (2006.01) / Неклеса О. П., Нагорный А. Ю., Пивоваров П. П.; заявл. та опубл. РСТ/UA2016/000146 от 15.12.2016 г. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, здійснено аналіз результатів, підготовлено заявку та основний зміст винаходу.*

33. Дрессинг, способ его получения и липидная составляющая к нему: пат. на изобретение в рамках Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности в соответствии с договором о Патентной кооперации (РСТ) № WO 2018/125022 A1 от 05.07.2018, № A23L 27/60 (2016.01) / Неклеса О. П., Пивоваров П. П.; заявл. та опубл. РСТ/UA2017/000129 от 27.12.2017 г. *Внесок здобувача:*

*ча: проведено патентний пошук, систематизовано результати досліджень, підготовлено заявку та основний зміст винаходу.*

34. Спосіб одержання капсул з внутрішнім умістом на основі жирів: пат. на корисну модель 90875 Україна, МПК А 23 Р 1/00 / Неклеса О. П., Коротасва Є. О., Пивоваров П. П.; заявл. 25.01.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, здійснено аналіз результатів, підготовлено основний зміст корисної моделі.*

35. Здоба із дріжджового тіста: пат. на корисну модель 103249 Україна, МПК (2015.01) А 21 D 8/00, А 23 Р 1/10 (2006.01) / Неклеса О.П.; № u201505339; заявл. 02.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

36. Дріжджове тісто: пат. на корисну модель 103252 Україна, МПК (2015.01) А 21 D 8/00, А 23 Р 1/00 / Неклеса О. П.; № u201505350; заявл. 02.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

37. Спосіб одержання дріжджового тіста: пат. на корисну модель 103253 Україна, МПК (2015.01) А 21 D 8/00, С 12 N 1/18, А 23 Р 1/00, А 23 L 1/0532 (2006.01) / Неклеса О. П.; № u201505355; заявл. 02.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

38. Капсуляторна головка для одержання капсул: пат. на корисну модель 106622 Україна, МПК (2016.01) В01J 13/00, В01J 13/02 (2006.01) / Неклеса О. П., Пивоваров П. П.; № u201512371; заявл. 14.12.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8. *Внесок здобувача: здійснено керівництво експериментальними дослідженнями та їх узагальнення, підготовку матеріалів до друку.*

39. Ліпідна складова дресингу: пат. на корисну модель 117002 Україна, МПК (2017.01) А23L 27/00, А23L 29/00 / Пивоваров П. П., Неклеса О. П.; № u201613637; заявл. 30.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. №11. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, підготовлено заявку на винахід.*

40. Спосіб одержання начинок для борошняних кондитерських та кулінарних виробів: пат. на корисну модель 117737 Україна, МПК А 23 L 21/10 (2016.01), А 23 G 3/34 (2016.01) / Неклеса О. П., Вовк В. С., Пивоваров Є. П.; № u201613507; заявл. 28.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. *Внесок здобувача: здійснено керів-*

*ництво експериментальними дослідженнями та їх узагальнення, підготовку матеріалів до друку.*

41. Дріжджове тісто: пат. на корисну модель 117738 Україна, МПК (2017.01) А 21 D 8/00, А 21 D 13/00 / Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Нагорний О. Ю.; № u201613511; заявл. 28.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, підготовлено основний зміст корисної моделі.*

42. Дріжджовий виріб: пат. на корисну модель 118969 Україна, МПК (2017.01) А 21 D 8/00, А 21 D 2/00 / Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Коротяєва Є. О.; № u201613509; заявл. 28.12.2016; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, підготовлено основний зміст корисної моделі.*

43. Дресинг: пат. на корисну модель 117747 Україна, МПК А23L 27/60 (2016.01) / Пивоваров П. П., Неклеса О. П.; № u201613509; заявл. 30.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. №13. *Внесок здобувача: проведено патентний пошук, систематизовано результати дослідження, підготовлено основний зміст корисної моделі.*

44. Неклеса О. П., Коротяєва Е. А., Пивоваров П. П. Новые полуфабрикаты капсулированных растительных жиров на основе ионотропных полисахаридов // Наука о питании: технологии, оборудование и безопасность пищевых продуктов: сб. матеріалів міжнарод. науч.-практ. конф. / Саратовский гос. аграрн. ун-т им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2013. С. 92–93. *Внесок здобувача: аналітично визначено технологічні та маркетингові переваги нових напівфабрикатів капсульованих із внутрішнім жировим умістом.*

45. Неклеса О. П., Мороз О. В., Пивоваров П. П. Исследование взаимодействия полисахаридов ионотропной и термотропной природы в составе продуктов с гелеобразной структурой // Наука о питании: технологии, оборудование и безопасность пищевых продуктов: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. / Саратовский гос. аграрн. ун-т им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2013.



С. 122–125. *Внесок здобувача: здійснено керівництво експериментальними дослідженнями та їх узагальнення, підготовку матеріалів до друку.*

46. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Янчева М. О., Гринченко Н. Г. та ін. Актуальні проблеми використання мікроінгредієнтів в технології харчової продукції // Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности: сб. материалов 1-й междунар. науч.-практ. конф. 10-13 июня 2013 г. Щелкино, 2013. С. 256–261. *Внесок здобувача: сформульовано основні тенденції розвитку сегмента структуроутворюючих харчових інгредієнтів в Україні.*

47. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О. Дослідження фізичних процесів стабілізації двошарового формуючого середовища // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. 19 листопада 2013 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2013. Ч. 1. С. 89–90. *Внесок здобувача: визначено густину, щільність водно-спиртового розчину двошарового прийомного середовища з метою його стабілізації.*

48. Неклеса О. П., Пивоваров П. П., Шевцов А. В. Теоретичні аспекти використання жирових сумішей у технології капсулювання // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: сб. матеріалів всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 26 березня 2014 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2014. С. 51. *Внесок здобувача: визначено перспективи використання інтактних жирів у технологіях кулінарної продукції.*

49. Неклеса О. П., Мороз О. В., Міронов О. Ю. Сучасні тенденції у виробництві капсульованої продукції // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 22 травня 2014 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2014. Ч. 1. 343 с. *Внесок здобувача: сформульовано основні вектори розвитку науково-практичного напрямку капсулювання.*

50. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Технологічні аспекти процесу коаксіального капсулювання у двошарове приймальне середовище // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 22 травня 2014 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2014. Ч. 1. С. 368. *Внесок здобувача: розроблено рецептурний склад двошарового приймального середовища.*

51. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Жири нового покоління для кулінарної продукції // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: сб. матеріалів VII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. з міжнар. участю, 4–5 листопада 2014 р. Одеса: ОНАХТ, 2014. С. 146–147. *Внесок здобувача: здійснено керівництво експериментальними дослідженнями та їх узагальнення, підготовку матеріалів до друку.*

52. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Розширення асортименту кулінарних страв шляхом використання капсульованих рослинних олій // Інноваційна технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 12-14 листопада 2014 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2014. С. 69–70. *Внесок здобувача: сформульовано основні шляхи використання капсульованих напівфабрикатів у складі харчової та кулінарної продукції.*

53. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Городнича А. В., Коротаєва Є. О. Обґрунтування технології виробництва капсульованих рослинних жирів для борошняних кондитерських виробів // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: сб. матеріалів всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 02 квітня 2015 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2015. С. 11. *Внесок здобувача: визначено перспективи використання інтактних жирів у технологіях борошняних виробів.*

54. Неклеса О. П., Пивоваров П. П., Коротаєва Є. О. Функціонально-технологічні властивості капсульованих рослинних олій // Розвиток харчових

виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 14 травня 2015 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2015. Ч. 1. С. 341. *Внесок здобувача: визначено функціонально-технологічні властивості капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом, обґрунтовано її роль у технологіях кулінарної продукції та борошняних виробів.*

55. Neklesa O., Nagorny A., Ryvovarov P., Korotayeva E., J. M. Olmo Peinado, M. A. Willarrubia. Technology capsulated vegetable oils and its usage in technological processes // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 8–11 вересня 2015 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2015. С. 23–24. *Внесок здобувача: визначено шляхи застосування напівфабрикатів жирових капсульованих у технологіях кулінарної та харчової продукції.*

56. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П., Гринченко О. О. Технологія напівфабрикатів капсульованих рослинних олій для виробництва борошняних кондитерських виробів // Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 9 вересня 2015 р. / Нац. ун-т харч. технол. К.: НУХТ, 2015. С. 38–43. *Внесок здобувача: визначено фізіологічні та технологічні властивості напівфабрикату з внутрішнім жировим умістом для виробництва борошняних кондитерських виробів.*

57. Неклеса О. П., Нагорний О. Ю., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Дослідження технологічного процесу виробництва капсульованих рослинних олій // Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности: сб. матеріалів III Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 октября 2015 г. Щелкино, 2015. С. 167–169. *Внесок здобувача: визначено параметри стабілізації властивостей двошарового прийомного середовища технології капсульованих рослинних олій.*

58. Неклеса О.П., Коротаєва Є. О., Городнича А. В. Вдосконалено технології кондитерських виробів шляхом введення напівфабрикату капсульованого рослинного твердого жиру // Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в

пищевой и косметической промышленности: сб. материалов 3-й междунар. науч.-практ. конф., 15–16 октября 2015 г. Щелкино, 2015. С. 256–260. *Внесок здобувача: досліджено впливу твердого жиру капсульованого на процес формування тіста.*

59. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Виробництво капсульованих рослинних олій як продукту лікувально-профілактичної дії // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: сб. матеріалів VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. з міжнар. участю, 10–11 листопада 2015 р. Одеса: ОНАХТ, 2015. С. 174–175. *Внесок здобувача: установлено перспективи збагачення капсульованої продукції з внутрішнім жировим вмістом функціональними речовинами для забезпечення гомеостазу.*

60. Неклеса О. П., Парфілова М. М., Степанькова Г. В. Прискорена технологія хлібобулочних виробів із підвищеним вмістом харчових волокон // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: сб. матеріалів всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 07 квітня 2016 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2016. С. 70. *Внесок здобувача: розроблено та обґрунтовано технологію капсульованої здобви з використанням харчових волокон у складі оболонки капсул.*

61. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Пивоваров П. П., Коротаєва Є. О. Технологічні передумови виробництва олій, жирів та їх сумішей капсульованих // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: сб. матеріалів VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. з міжнар. участю, 09 листопада 2016 р. Одеса: ОНАХТ, 2016. С. *Внесок здобувача: сформульовано основні концепції розвитку капсулювання олій, жирів та їх сумішей.*

62. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Тютюкова Д. О., Коротаєва Є. О. Наукові основи технологій харчової продукції лікувально-профілактичного призначення, одержаної шляхом акумуляції функціональних інгредієнтів // Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 7–8 листопада 2017 р. / НУХТ. К.: НУХТ, 2017. С. 136–137. *Внесок здобувача: обґрунтовано тех-*

*нологію виробництва олії соняшникової капсульованої з використанням харчових волокон у оболонці капсули.*

63. Неклеса О. П., Вовк В. С., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Перспективи використання капсульованих наповнювачів у складі начинок для кондитерських виробів // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: сб. матеріалів всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 6 квітня 2017 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2017. С. 8. *Внесок здобувача: розроблено технологію начинок капсульованих для борошняних кондитерських виробів.*

64. Неклеса О. П., Костигов К. В., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Перспективи використання наповнювачів у капсульованій формі в технологіях кулінарної продукції закладів ресторанного господарства // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 6 квітня 2017 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2017. С. 24–25. *Внесок здобувача: розроблено технології кулінарної продукції з використанням капсульованих систем.*

65. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Пивоваров П. П. Обґрунтування технології капсулювання оліє-жирової сировини для харчової продукції // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2017 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2017. Ч. 1. С. 16–20. *Внесок здобувача: обґрунтовано параметри виробництва оліє-жирової продукції капсульованої.*

66. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П., Вовк В. С. Перспективи використання альгінату натрію в технологіях напівфабрикатів для борошняних кондитерських виробів // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: сб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2017 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2017. Ч. 1. С. 33–34. *Внесок здобувача: обґрунтовано реце-*

*птурний склад та параметри одержання термостійких гелів для режимів підвищених температур обробки.*

67. Неклеса О. П., Коротаева Е.А., Костигов К. В. Технологические принципы получения масложировой продукции в капсулированном виде // Ecology and environmental in the optimizing system of relations between nature and society: materials of IV Intern. scient.-pract. confer., 27–28 April 2017. Ternopil: Krok, 2017. Рр. 309. *Внесок здобувача: обґрунтовано фактори впливу на технологічний процес виробництва капсул.*

68. Неклеса О. П., Пивоваров П. П., Гринченко О. О. та ін. Организм человека и питание. Нутриенты пищевых продуктов: энциклопедия питания / Под ред. Черевко О. И. Х.: Мир книг, 2013. Т. 1–2. 351 с. *Внесок здобувача: розроблено та складено розділ із визначення фізіологічного значення ліпідів у харчуванні людини.*

69. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Горальчук А. Б. и др. Пищевые добавки: энциклопедия питания / под ред. Черевко О. И. Х.: Мир книг, 2016. Т. 4. 643 с. *Внесок здобувача: розроблено та складено розділ про харчові добавки, які формують смак та аромат харчової продукції.*

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ</b>	35
<b>ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ</b>	36
<b>ВСТУП</b>	37
<b>РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНО-ПРИКЛАДНІ ПЕРЕДУМОВИ КАПСУЛОУТВОРЕННЯ ЛІПІДІВ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРУЗІЙНОГО ФОРМУВАННЯ</b>	47
1.1 Роль капсулювання у розвитку науково-технічного прогресу харчової індустрії	47
1.2 Сучасний стан застосування процесів структурування харчової продукції. Науково-технічні принципи формування різнополярних речовин з одержанням кулястих форм у гелеподібній оболонці	49
1.2.1. Сучасні тенденції у виробництві структурованої харчової продукції на основі альгінату натрію	51
1.2.2. Дослідження принципів екструзійного формування капсульованих систем з внутрішнім гідрофобним умістом	58
1.3 Сучасні тенденції у процесах структурування ліпідів харчової сировини із заданими функціонально-технологічними та функціонально-фізіологічними властивостями	66
1.4 Обґрунтування теоретичних передумов використання іонотропного та термотропного гелеутворення в технологіях капсулювання ЛХС	78
Висновки за розділом 1	87
<b>РОЗДІЛ 2 ОРГАНІЗАЦІЯ, ПРЕДМЕТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	88
2.1 Методологія дослідження, план теоретичних та аналітичних досліджень	88

2.2 Предмети та матеріали дослідження	90
2.3 Методи дослідження	92
2.3.1 Методи відбору проб, визначення хімічного, фракційного складу сировини, напівфабрикатів та готової продукції	92
2.3.2 Методи визначення фізико-хімічних, функціонально-технологічних показників модельних систем, напівфабрикатів та готової продукції	95
2.3.3 Методи визначення структурно-механічних властивостей модельних систем, напівфабрикатів та готової продукції	100
2.3.4 Методи визначення показників безпечності напівфабрикатів та готової продукції	102
2.3.5 Методи визначення органолептичних та технологічних показників напівфабрикатів та готової продукції. Методи визначення економічної та комерційної ефективності наукового дослідження	103
2.4 Процесове-технологічне забезпечення капсулоутворення в технології одержання ЛХСК	104
2.5 Програмні засоби і комп'ютерні технології, статистична обробка експериментальних даних, методи моделювання технологічних процесів та математичної обробки експериментальних даних	112
Висновки за розділом 2	113
<b>РОЗДІЛ 3 АНАЛІТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКЦІЇ КАПСУЛЬОВАНОЇ З ВНУТРІШНІМ ЖИРОВИМ УМІСТОМ</b>	114
3.1 Інноваційний задум технологій продукції капсульованої з внутрішнім жировим умістом	114
3.2 Теоретичне обґрунтування формоутворення харчових капсул з внутрішнім жировим умістом	118



3.2.1 Теоретичне обґрунтування кінетики капсулоутворення системи «ЛХС – водний розчин AlgNa» екструзією у середовищі повітря	119
3.2.2 Теоретичне обґрунтування кінетики капсулоутворення системи «ЛХС – водний розчин AlgNa» екструзією у середовищі олія дезодорована	137
3.3 Розробка та аналітичне дослідження моделі одержання термодинамічно стабільних ЛХСК	154
3.3.1 Визначення закономірностей одержання ЛХСК сформованих у середовищі повітря. Розробка моделі технологічного процесу виробництва	155
3.3.2 Визначення закономірностей одержання ЛХСК сформованих у середовищі олія дезодорована. Розробка моделі технологічного процесу виробництва	169
3.4 Обґрунтування технологічних властивостей двошарового прийомного середовища	181
3.5. Обґрунтування технологічних властивостей та складу оболонок капсул в технології ЛХСК, одержаних у двошаровому прийомному середовищі	190
3.6 Вивчення впливу технологічного прийомного середовища на структурно-механічні властивості оболонок	195
Висновки за розділом 3	198
<b>РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ НАПІВФАБРИКАТІВ ЛІПІДІВ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ КАПСУЛЬОВАНИХ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ МОДИФІКАЦІЇ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ</b>	200
4.1 Обґрунтування та розробка технологій, дослідження основних показників якості та безпечності ЛХСК	200

4.1.1 Обґрунтування та розробка технологій напівфабрикатів «Олія оливкова капсульована» та «Олія соняшникова капсульована»	201
4.1.2 Обґрунтування та розробка технологій напівфабрикатів «Олії вітамінізовані та ароматизовані капсульовані»	210
4.2 Дослідження показників якості та безпечності напівфабрикатів харчових жиркових капсульованих та їх зміна під впливом технологічних чинників	215
4.3 Закономірності формування технологічних властивостей оболонок капсул з внутрішнім умістом ЛХС	228
4.3.1 Моделювання проникнення ферментів ШКТ оболонкою капсул з внутрішнім жировим умістом у процесі гомеостазу	260
Висновки за розділом 4	264
<b>РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НАПІВФАБРИКАТУ ЛІПІДІВ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ КАПСУЛЬОВАНИХ</b>	267
5.1 Технологія ліпідів харчової сировини капсульованих в олійному середовищі	269
5.2 Обґрунтування та розробка технологій «Олії капсульовані в оцтах» та дресінгів із використанням капсульованих олій	272
5.3 Обґрунтування та розробка технології оливки структурованої з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	285
5.3.1 Інноваційна стратегія розробки технології оливки структурованої з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	287
5.3.2. Розробка моделі технологічного процесу формування оливки структурованої з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	290
5.4 Обґрунтування та розробка технологій бісквітних виробів із	

використанням жирових сумішей капсульованих	311
5.5 Конструювання, розробка та промислова апробація спеціалізованого обладнання для виробництва ЛХСК	325
Висновки за розділом 5	331
<b>РОЗДІЛ 6 ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	332
Висновки за розділом 6	348
<b>ВИСНОВКИ</b>	350
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	354
<b>ДОДАТКИ</b>	Т. 2

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ВМС	–	високомолекулярна сполука
ДК	–	дресінг капсульований
ЗР	–	зусилля руйнування
ЗРГ	–	заклади ресторанного господарства
ЛХС	–	ліпіди харчової сировини
ЛХСК	–	ліпіди харчової сировини капсульовані
МКО	–	механічна кулінарна обробка
НЖХК	–	напівфабрикат жировий харчовий капсульований
ОСК	–	олія соняшникова капсульована
ОСКВ	–	олія соняшникова капсульована вітамінізована
ООК	–	олія оливкова капсульована
ООКВ	–	олія оливкова капсульована вітамінізована
ОЖСК	–	олієжирові суміші капсульовані
ОС	–	оливка структурована
ПАР	–	поверхнево-активна речовина
ПХП	–	підприємства харчової промисловості
ТПВ	–	технологічний процес виробництва
AlgNa	–	альгінат натрію
Alg <sub>2</sub> Ca	–	альгінат кальцію
CaCl <sub>2</sub>	–	хлорид кальцію
Ca <sup>2+</sup>	–	іони кальцію

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Покращення харчового статусу українців є головним пріоритетом державної політики України у сфері харчування. У той же час глобалізація як об'єктивне політико-економічне явище призвела до певної модифікації структури національних харчових раціонів унаслідок інтенсивної інтервенції локальних харчових ринків країнами з більш ефективними економіками та експортними можливостями.

Сформульовані в Україні стратегічні заходи харчової безпеки, зростання обсягів виробництва харчової продукції та вдосконалення структури харчування не можуть повною мірою протистояти впливу світової економіки на тренди розвитку національних харчових ринків. Цьому спонукає виражена залежність України від імпорту харчової продукції та інгредієнтів, у тому числі із широким спектром функціонально-технологічних властивостей. З одного боку, за наявності технологій та сучасних методів виробництва використання таких харчових систем дозволяє швидко ввести на український споживчий ринок нову харчову продукцію, а з іншого – призводить до суттєвої залежності розвитку продуктової сфери і, як результат, необхідності вимушеного «копіювання» технологій, які побудовано на принципах використання введених інгредієнтів.

На погляд автора, єдиною можливістю протистояти імпорту технологій та харчових інгредієнтів в Україну є розробка наукоємних національних технологій виробництва харчової продукції з використанням систем, що імпортуються, але за умови надання їй високої доданої технологічної вартості, що забезпечує високий експортний потенціал. Це дозволить нові продукти, а отже і куплені напівпродукти, у режимі реверсу повернути на світові ринки. Головною умовою реалізації такого підходу є висока наукоємність технологічних розробок, створення та реалізація конкурентоспроможного технологічного потоку сучасного рівня. До таких технологій, як свідчать проведені дослідження, належать технології капсулювання харчової продукції в їстівні оболонки на основі полісахаридів, які одержали назву ліпідів харчової сировини капсульовані (ЛХСК).

Розробка та реалізація принципів капсулювання ліпідів харчової сировини (ЛХС), що є стратегією дисертаційного дослідження, співпадає зі світовими трендами, згідно з якими за рахунок забезпечення інтактності ліпідів із зовнішнім середовищем структурування ЛХС визначає фізико-хімічну та технологічну стабільність ліпідів у технологічному потоці та під час зберігання. Це дозволить задовольнити зростаючий попит на харчову продукцію з їх використанням, а технологічна форма безшовної капсули – розробити як принципово новий асортимент кулінарної продукції, так і нові технологічні принципи її одержання.

Науково-технічною передумовою реалізації напряду капсулювання харчової продукції є системні дослідження наукової школи ХДУХТ під керівництвом проф. Пивоварова П.П., за участю проф. Гринченко О.О., проф. Пивоварова Є.П., к.т.н. Рябець О.Ю., к.т.н. Нагорного О.Ю., к.т.н. Кондратюк Н.В., завдяки яким створено наукові основи капсулювання водних розчинів. Системних досліджень, метою яких є наукове обґрунтування технологій капсулювання ЛХС та продукції з їх використанням, автором не виявлено. Очевидним є факт, що накопичений досвід наукової школи проф. Пивоварова П.П. для капсулювання ЛХС може бути використано лише частково, оскільки в технології, що розробляється, інкапсулянт є неполярною речовиною та не є розчинником мінеральних солей – обов'язкових компонентів технологічного процесу.

На сьогодні не існує теорії та практики екструзії двох рідин у технологічні середовища «повітря» та/чи «олія дезодорована», одна з яких є текучим гідрофобним умістом, а інша – розчином іонотропного полісахариду. Відсутні науково-технічні принципи формування фізичної форми капсули, а також промислові пристрої для їх одержання. Не виявлено технологій харчової продукції з використанням ЛХС, а також із наукової точки зору не узагальнено інформацію про вплив нової харчової форми ліпідів на формування показників якості продукції в технологічному потоці та під час зберігання.

У зв'язку з вищевикладеним актуальним є наукове обґрунтування технологій ЛХС, розробка технічного забезпечення та систематизація експериментальних даних із використання ЛХС у технології кулінарної продукції, що дозво-

лить створити новий науково-практичний напрям переробки харчової сировини на основі сучасних принципів переробки, підвищити технологічну та фізико-хімічну стабільність ліпідної складової, створити продукцію з новими споживними властивостями. Актуальність такого дослідження зростає у зв'язку з можливістю використання нових даних у теорії та практиці одержання структурованої продукції та спеціальних видів харчування, а також у суміжних галузях діяльності, пов'язаних зі здоров'ям людини – медицині, нутриціології, мікробіології та ін.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до плану науково-дослідної роботи ХДУХТ (2010–2018 рр.), зокрема держбюджетних науково-дослідних тем № 3-13 БО (0113U000158) «Розробка наукових принципів регулювання властивостей сировини тваринного походження в технологіях харчової продукції масового споживання», № 2-16 БО (0116U006899) «Наукові основи технологій харчової продукції лікувально-профілактичного призначення, одержаної шляхом акумуляції функціональних інгредієнтів», бюджетних науково-дослідних тем № 24-08-10 Б (0107U010129) «Наукові основи технології реструктурованої продукції, одержаної шляхом іонотропного гелеутворення», № 15-11-13 Б (0110U007975) «Фізичні принципи модифікації та їх реалізація в технології стабілізаційних систем», № 14-11-13 Б (0110U007974) «Наукові основи капсулювання харчових систем з використанням іонотропних гелеутворювачів», а також госпдоговірних тем за замовленням підприємств галузі України та Іспанії, а саме: № 11-10-11 Д (0110U003366) «Розробка технології капсульованої та гранульованої продукції з використанням кальцій-альгінат вміщуючої сировини», № 24-10-11 Д (0110U004464) «Дослідження показників якості та безпечності харчових продуктів з капсульною структурою», № 7-12 Д (0112U005798) «Наукове обґрунтування технології структурованої продукції на основі рослинної сировини», № 37-12 Д (0112U005798) «Optimization of technological process of analogs of caviar of salmon and sturgeon breeds», № 16-14-15 Д (0114U004790) «Адаптація технологічного процесу виробництва капсульованого олієжирового продукту у відповідності з

технологічними та технічними вимогами підприємства «ACER CAMPESTRES, S.L.», № 13-15-16 Д (0115U001891) «Розробка та наукове обґрунтування технології капсулювання харчових систем гідрофобного походження», № 6-17-18 Д (0117U003697) «Наукове обґрунтування технологічних параметрів отримання капсульованої продукції на основі молочної сировини та жирів».

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є теоретичне обґрунтування та розробка науково-технічних принципів технологій капсулювання систем на основі олій, жирів, ЛХС рослинного, тваринного походження, їх сумішей з одержанням напівфабрикатів та харчової продукції з використанням ЛХСК.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- з урахуванням сучасного рівня розвитку харчової науки та суспільного значення задовільнення потреб населення їжею з високими органолептичними показниками обґрунтувати новий науково-практичний напрям створення ЛХСК у оболонках на основі іонотропних полісахаридів і харчової продукції з використанням структурованих у формі капсул ЛХС;
- на основі теоретичних положень про розрив ламінарного потоку рідин та незмішування різнополярних рідин розробити теоретичні моделі формування капсульованих систем «ЛХС – оболонка капсули» у середовищі повітря та олії дезодорованої;
- визначити закономірності керованого впливу на формування основних показників якості ЛХСК та науково обґрунтувати технологію ЛХСК;
- визначити основні органолептичні, фізико-хімічні, структурно-механічні показники та показники безпечності нової капсульованої продукції та розробити рекомендації з використання ЛХСК у технологіях харчової продукції;
- визначити закономірності впливу корегуючих властивості оболонки термотропних полісахаридів на формування споживних і технологічних властивостей ЛХСК;



- науково обґрунтувати принципи регулювання розмірних характеристик капсул для визначення параметрів конструювання обладнання, розробити експериментальні стенди, фізичні моделі та виробниче обладнання для одержання ЛХСК;
- науково обґрунтувати та розробити технології напівфабрикатів високого ступеня готовності та харчової продукції готової до споживання з використанням ЛХСК;
- здійснити товарознавчо-технологічну експертизу продукції з використанням ЛХСК, визначити критерії оцінювання її якості в технологічному потоці та під час зберігання;
- узагальнити наукові дані капсулювання ЛХС як нового напрямку структуроутворення харчових систем у харчовій та інших практичних сферах, здійснити оцінку соціально-економічної ефективності від практичних результатів роботи, упровадження нових проектів в Україні та за кордоном.

*Об'єкт дослідження* – технології ЛХСК, одержані способом керованої екструзії та розриву рідин оболонкоутворювача на основі AlgNa і ЛХС на дозикаплі з наступним переведенням оболонкоутворювача в гелеподібний стан шляхом іотропного гелеутворення; кулінарної, харчової продукції з використанням ЛХСК.

*Предмети дослідження:* ЛХС, олії та жири рідкі (соняшникова, оливкова, риб'ячий жир, вітамінізована соняшникова й оливкова та ін.) та жири тугоплавкі, суміші олій та жирів; оцет (бальзамічний, винний, яблуневий); водні розчини AlgNa, полісахаридів (пектини, агар); гелі та модельні системи на основі Alg<sub>2</sub>Ca, Alg<sub>2</sub>Ca та агару, та/чи пектину, та/чи гліцерину; двошарове прийомне середовище, яке складається з верхнього олійного шару та нижнього шару – водно-спиртового розчину Ca<sup>2+</sup>; напівфабрикати ЛХСК; пюре оливки та структуровані системи на його основі; ЛХСК в олійних, оцтових середовищах; салатні заправки, дресінги з використанням ЛХСК; хлібобулочні та кондитерські

вироби, кулінарна продукція з використанням ЛХСК; оливка структурована фарширована олією оливковою капсульованою.

*Методи дослідження:* теоретичне моделювання процесів та технологій капсулоутворення двох різнополярних рідин, які є термодинамічно незмішуваними, одна з яких є ЛХС, з утворенням капсульованих систем; планування та дослідження фізико-хімічних, функціонально-технологічних, структурно-механічних, мікробіологічних, органолептичних показників вхідної сировини та готової продукції із використанням методів системного аналізу, математичної обробки експериментальних даних; побудова та аналіз технологій одержання ЛХСК і харчової продукції з їх використанням.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Сформульовано та доведено наукову концепцію дослідження: наукове обґрунтування та практична реалізація інноваційних технологій, обладнання та процесів капсулювання ЛХС дозволить створити новий науково-практичний напрям з їх використання в технологіях інноваційної харчової продукції та розвинути теоретичні положення про структуроутворення полікомпонентних систем із використанням іонотропних полісахаридів у капсули з внутрішнім гідрофобним умістом.

У рамках сформульованої наукової концепції з урахуванням основних положень про течію та розпад рідин уперше розроблено та перевірено на адекватність теоретичні моделі утворення капсул «ЛХС – оболонкоутворювач» за вертикальної коаксіальної екструзії в середовищі повітря за самочинного керованого розпаду та в середовищі олії дезодорованої за примусового керованого розпаду. Спрогнозовано параметри технологічного процесу виробництва ЛХСК, одержаних у середовищі повітря та двошаровому формуючому середовищі «олія дезодорована – водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ ».

Розвинуто теоретичні положення про одержання структурованих харчових гідрофобних продуктів із використанням іонотропних полісахаридів як оболонкоутворювачів.

Уперше:

- теоретично та експериментально обґрунтовано взаємозв'язок фізичних та органолептичних характеристик ЛХС із технологічними принципами формування та характеристиками прийомного середовища;
- науково обґрунтовано технологічні принципи формування ЛХС у середовищі повітря та олії дезодорованої, параметри технологічних процесів, склад, концентрацію гелеутворювачів, які забезпечують одержання ЛХСК з прогнозованою харчовою цінністю та технологічними властивостями;
- науково спрогнозовано та доведено, що склад оболонкоутворювача суттєво впливає на технологічну стійкість ЛХСК за різних умов технологічного впливу, визначає та обґрунтовує технологічні параметри, умови використання нової продукції в харчових технологіях;
- науково обґрунтовано та розроблено технології капсульованих олій соняшникової, оливкової, а також олій, збагачених жиророзчинними харчовими компонентами з вираженою фізіологічною дією та органолептичними показниками, визначено їх основні товарознавчо-технологічні властивості, показники якості та безпечності;
- науково обґрунтовано параметри технологічних процесів і технологій харчової продукції з використанням ЛХСК – дресінгів, оливки структурованої, борошняних, кондитерських виробів, кулінарної продукції тощо. Установлено закономірності впливу ЛХСК на якісні показники харчової продукції з їх використанням, узагальнення яких є підґрунтям для розширення асортименту харчової продукції як за видом харчової сировини, так і складом ЛХСК.

Набули подальшого розвитку:

- теоретичні та науково-технологічні принципи одержання структурованих продуктів у формі безшовних капсул, які розширили та збагатили наукові уявлення про структуроутворення харчових систем;
- науково-технологічні принципи одержання харчової продукції з використанням структурованих ЛХСК;

– наукові уявлення про вплив ЛХСК на формування органолептичних показників і харчової цінності нової продукції з їх використанням.

**Практичне значення одержаних результатів.** На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, реалізації наукової концепції апробовано та впроваджено технології ЛХСК і харчової продукції з їх використанням.

Розроблено та затверджено технічні умови та технологічні інструкції: ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані»; ТУ У 10.4-38128375-005:2018 «Напівфабрикати структуровані на основі оливкової сировини консервованої»; «ТУ У 10.4-38128375-009:2018 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані в олійних та оцтових середовищах»; ТУ У 10.4-38128375-010:2018 «Дресінги капсульовані»; ТІ з виготовлення холодних і гарячих закусок, салатів, других страв, солодких страв із використанням олій, жирів та їх сумішей жирових капсульованих до ТУ У 10.4-38128375-003:2014; ТІ до ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані»; ТІ з виробництва борошняної та кондитерської продукції з використанням олій та жирів харчових капсульованих до ТУ У 10.4-38128375-003:2014.

З урахуванням установлених закономірностей капсулоутворення системи «ЛХС – оболонкоутворювач» розроблено конструктивну документацію на промисловий пристрій «ПЖК-20», який на комерційних умовах установлено на підприємствах харчової промисловості України, Іспанії та США. Організовано, оснащено та забезпечено функціонування спеціалізованого цеху з випуску ЛХСК та продукції на їх основі, серійна продукція якого експортується в країни Європи та США.

*Реалізація роботи.* Науково-технологічні та технічні розробки впроваджено в закладах ресторанного господарства та харчової промисловості України, Іспанії, Сполучених Штатів Америки: ТОВ «КАПСУЛАР», м. Дергачі, Україна (акти від 07.11.2014 р., 18.08.2014 р., 19.08.2014 р., 28.01.2016 р.); «ELAYO GRUP S.L.», м. Малага, Іспанія (акт від 10.09.2014 р.); «ACER CAMPESTERS, S.L.», м. Хаен, Іспанія (акти від 20.01.2015 р., 21.04.15 р.); TRANSUCRAINA S.A., м. Гранада, Іспанія (акт від 10.09.2014 р.); ФО-П Софроні А.В., м. Харків, Україна (акт від 08.10.2015 р.); ФО-П «Дика Орхідея», м. Харків, Україна (акт від 09.12.17 р.).

Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес ХДУХТ під час викладання дисциплін «Загальні технології», «Теоретичні основи харчових технологій», «Технологія продукції закладів ресторанного господарства», «Технологія галузі», «Науково-дослідна робота студентів», виконання курсових і магістерських робіт (акти від 29.04.2014 р., 23.02.2015 р., 26.11.15 р., 24.12.15 р., 25.12.15 р.).

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналітичному обґрунтуванні науково-практичного напрямку, розробці програми дослідження, організації, проведенні та узагальненні аналітичних та експериментальних робіт, аналізі та обробці одержаних результатів, формулюванні висновків, публікації матеріалів досліджень у виданнях, складанні заявок та одержанні охоронних документів на винаходи та корисні моделі, розробці нормативної та технологічної документації, проведенні заходів з упровадження результатів дослідження у виробництво та освітній процес.

За результатами науково-дослідної роботи на тему «Інноваційні технології харчової продукції, одержаної шляхом сферифікації» у 2017 році одержано премію та свідоцтво Лауреата премії Президента України для молодих вчених №1037 (Наказ №458/2017); у 2018 році одержано стипендію ім. Г.Ф. Проскури для обдарованих молодих науковців Харківської обласної державної адміністрації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дослідження доповідалися, обговорювалися та одержали позитивну оцінку науковців і фахівців галузі на наукових конференціях професорсько-викладацького складу ХДУХТ (2010–2017 рр.), конференціях, семінарах, форумах, основними з яких є: «Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности» (м. Щелкино, 2013–2015 р.), «Наука о питании: технологии, оборудование и безопасность пищевых продуктов» (м. Саратов, СДАУ ім. М.І. Вавілова, 2013 р.), «Проблеми формування здорового способу життя у молоді» (м. Одеса, 2014–2016 рр.), «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» (Харків – Мелітополь – Кирилівка, 2015–2017 рр.), «Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі» (м. Київ, 2015 р.), «Інноваційні технології і інтенсифікація розвитку національного виробництва» (м. Тернопіль, 2016, 2017 рр.).

Нова продукція демонструвалася та одержала позитивну оцінку фахівців галузі на виставках-дегустаціях наукових розробок ХДУХТ (ХДУХТ, м. Харків, 2014–2018 рр.), виставках наукових розробок ХДУХТ, які проводилися в рамках Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді» та «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» (ХДУХТ, м. Харків, 2013–2018 рр.), конкурсах-виставках «Наукові пікніки», «Ніч науки в Харкові» в м. Харкові, «Кращий вітчизняний товар 2013 року», де одержано диплом переможця I ступеня (м. Київ, 2013 р.), «100 кращих товарів України – 2015», де одержано диплом переможця на регіональному та диплом лауреата II ступеня на державному рівнях.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано: 69 наукових праць, у тому числі: 4 монографії; 21 стаття, із яких 16 – у наукових фахових виданнях України (з них 12 включено до міжнародних наукометричних баз даних), 4 – у періодичних виданнях інших держав з напрямку, із якого підготовлено дисертацію; 8 патентів на винахід; 10 патентів на корисну модель; 24 тези доповідей та матеріалів конференцій; 2 енциклопедії.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційну роботу викладено у двох томах: перший том складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 348 найменувань, у тому числі 99 закордонних. Основний зміст дисертації викладено на 323 сторінках друкованого тексту, містить 68 таблиць і 115 рисунків. Другий том представлено 80 додатками на 311 сторінках.

Автор висловлює подяку д.т.н., проф. П. П. Пивоварову, д.т.н., проф. В. О. Потапову за наукові консультації та методичну допомогу, що були надані під час виконання дисертаційної роботи, к.т.н., доц. О. Ю. Нагорному, к.т.н., доц. Є. О. Яранцевій за співпрацю та взаємодію під час упровадження результатів дослідження

## РОЗДІЛ 1

# ТЕОРЕТИЧНО-ПРИКЛАДНІ ПЕРЕДУМОВИ КАПСУЛОУТВОРЕННЯ ЛПІДІВ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОЦЕСІВ ЕКСТРУЗІЙНОГО ФОРМУВАННЯ

### 1.1 Роль капсулювання у розвитку науково-технічного прогресу харчової індустрії

Світовий ринок структурованої харчової продукції стрімко зростає, що підтверджується чисельністю нових ідей та технологічних рішень по створенню інноваційної продукції із врахуванням останніх тенденцій й накопиченого досвіду з цього питання [1–3]. Науково-практичний інтерес до проблеми структуроутворення харчових систем достатньо високий [3–7]. Це пов'язано не тільки із забезпеченням високої якості та цільової поживної цінності готовим структурованим продуктам, але й запровадженням високоефективних, безвідходних технологій переробки різної за походженням сировини з ємким економічним потенціалом та показником рентабельності.

Структурування харчової сировини – це процес формування структури виробу з ознаками твердого тіла під впливом зовнішніх чинників таких як концентрація рецептурних компонентів, температура, рН середовища, іонна сила розчину та ін. [7, 8–9] В основі формування текстури структурованої продукції лежить широкий спектр фізико-хімічних процесів, зумовлених способом технологічного впливу на вихідну сировину та рецептурний склад продукту. Такі технології базуються на реалізації функціонально-технологічних властивостей вхідних інгредієнтів, здатних, за певних умов, до структуроутворення [10–12]. У більшості випадків це передбачає необхідність залучення в технологічний цикл виробництва структуроутворювачів, природа походження яких визначає способи, механізми та методи формування текстури виробу із заданими фізико-хімічними та структурно-механічними показниками [13]. Питання розробки но-

вих харчових та фармацевтичних форм з використанням різних методів структуроутворення є дуже актуальним, тому що виникнення нової фізичної форми технологічного продукту є рушійною силою розвитку технологій, процесів та обладнання [14].

Капсулювання – напрямок хімічної технології, який являє собою процес заключення гомогенних технологічних систем в тонку оболонку плівкоутворювача з одержанням сферичної (кулеподібної) форми та новими функціонально-технологічними властивостями [15–18]. При цьому, речовину чи систему, що підлягає капсулюванню та утворює ядро капсули, називають внутрішнім умістом капсули, а зовнішню фазу – оболонкою капсули, функція якої полягає у забезпеченні інтактності внутрішнього умісту від зовнішнього середовища.

Сучасні методи капсулювання забезпечують можливість капсулювання як гідрофільних, так і гідрофобних матеріалів та дозволяють одержувати капсульовані продукти з різними розмірними характеристиками (нанокапсули – менше 1 мкм, мікрокапсули – 1...500 мкм, капсули – до 6,5 мм); різним співвідношенням оболонки до внутрішнього вмісту (від 5:95 до 50:50); різними характеристиками оболонки (товщиною, структурою, проникністю, міцністю, еластичністю, стабільністю до дії води, температури, тиску тощо); різним агрегатним станом основної речовини (рідким, твердим чи газоподібним) [19–21].

Капсулоутворення за своєю суттю є переходом гомогенних та/або мікрогетерогенних полімерних систем із вільнодисперсного у зв'язанодисперсний стан гелю – нетекучої двокомпонентної системи, яка утворюється під час молекулярного диспергування низькомолекулярної рідини у полімері, між ланцюгами якого існують поперечні зв'язки. Рушійними силами таких процесів є наявність фізичного, хімічного або одночасно присутніх фізико-хімічних потенціалів та енергетичних взаємодій [21–23].

Капсули, як кінцева товарна форма капсулювання, в останні роки стали дуже популярними в різних сферах діяльності. Більш інтенсивно капсулювання пов'язують з галуззю виробництва та конструювання систем доставки ліків (СДЛ) цілеспрямованої дії (drug delivery system – DDS) [24, 25], біологічно-



активних речовин [26, 27–28] та структурованої харчової продукції [7, 29-30]. Сфери використання капсульованої продукції постійно розширюються, а ефективність та досвід її використання системно узагальнюється науковцями та фахівцями галузей [7, 31–34]. Більш детально процеси, способи капсулоутворення ЛХС та їх використання в технологіях харчової продукції викладено у подальших підрозділах, що дозволить розширити уявлення про використання капсульованих продуктів з внутрішнім жиром у харчовій індустрії.

## **1.2 Сучасний стан застосування процесів структурування харчової продукції. Науково-технічні принципи формування різнополярних речовин з одержанням кулястих форм у гелеподібній оболонці**

Одним із важливіших науково-технічних напрямків розвитку технології харчової продукції є створення структурованої (крабові, рибні палички, крабове м'ясо), реструктурованої (продукція, що одержана на основі фаршевих систем) та імітованої продукції (аналоги ікри, ікорних продуктів, ягід, фруктів тощо) [7, 21, 35–38]. Це складна категорія харчової продукції, де запроваджено науково-технологічні принципи, які надають можливість формувати структуру виробу, аналогічну природній. Об'єднуючим фактором цієї класифікаційної групи є поняття «структурування», яке в більшості фахівці пов'язують з контрольованим одержанням гелевих систем, а по відношенню до розчинника – гідрогелевих.

У теперішній час створення гідрогелевих систем для харчової продукції у світі, у тому числі і в Україні, перетворилось в галузь, яка інтенсивно розвивається, динаміка якої тісно пов'язана з розвитком харчової технології, хімії та хімії харчових речовин, обладнання та багатьох галузей наукового та економічного спрямування.

За своєю сутністю структурують в цих технологіях, незважаючи на їх природу, є біополімерними носіями структури, форми та консистенції харчового продукту, а в загальному плані – матриксом, який ідентифікує створений продукт за товарознавчо-технологічними ознаками [39, 40] .

Найбільше важливими для технологічного процесу займають гідрогелі, які утворюються з гідрофільних харчових полімерів та мономерів.

Специфіка утворення харчових гідрогелів зумовлюється у тому, що їх одержання повинно реалізовуватися з максимальним контактом на фоні інших харчових інгредієнтів, які здатні впливати на технологічний процес структуроутворення. Одночасно у технологічному процесі можуть бути присутні інкорпоровані компоненти, наприклад ліпіди. За таких обставин структурований біополімер повинен мати певний запас технологічної стабільності, які дають можливість витримувати конфірмаційні переходи під час очікуваних та незапланованих змін зовнішніх умов, наприклад температури, значень рН, іонної сили, різнофазних середовищ, тобто мати властивості низьких швидкостей відгуку на зовнішні впливи [41].

У теперішній час існує багато визначень поняття «гідрогель» з позицій колоїдної хімії, фізики, реології [7, 41, 42].

У російськомовних виданнях вони мають назву «студень», в україномовних – «драглі», у англійськомовних – «м'яких гелів», тобто «soft materials» відповідно, і за своєю сутністю вони займають проміжне положення між рідинами та твердими тілами. Вони мають відмінні унікальні властивості з перейменованими матеріалами, а одержані із природних полімерів характеризуються біосумісністю та відсутністю токсичних властивостей. Багато з них вже використовуються у харчовій промисловості, фармакології, біопротезуванні, біоінженерії. Їх успішне впровадження спонукало до розширення масштабів досліджень у цьому напрямку у світі, що підкреслює важливість та актуальність цього напрямку.

У загальному плані, безвідносно до галузі використання, у тому числі і харчовій індустрії, гідрогелі – це зшиті (структуровані) полімерні сітки (для харчової промисловості – з природних полімерів, переважно білкової або полісахаридної природи), які здатні утримувати води та обмежені до набухання. При цьому субполімерні одиниці гелю зшиті хімічною ковалентною зшивкою (білкові речовини), координованими зв'язками, сольовими містками (іонотропні полісахариди), гідрофобними зв'язками (білкові гелі), що асоціюють між собою

у водному розчині [43]. Ковалентно зшиті гелі на основі іонотропних полісахаридів відносяться до гелів першого роду, характеризуються хімічною та термічною стабільністю, високими показниками пружності і відносно низькою еластичністю. Вони є незворотними. Гелі, одержані з нейтральних полісахаридів, білків (колагену) за рахунок механічного переплітання ланцюгів молекул, водневих зв'язків, Ван-дер-Ваальсових сил, іонних зв'язків є термооборотними, дуже чутливі до іонної сили, рН, температури називаються фізично утвореними та відносяться до гелів першого роду. Якщо гелі першого роду виникають як результат реалізації хімічних потенціалів, то гелі другого роду – внаслідок дії температури відповідно [44, 45].

Більшість гелів на основі іонотропних полісахаридів одержують методом співполімеризації, або як результат зшивки водорозчинних полімерів. Вони є рівноважно набряклими системами, оскільки утворюються у середовищі розчинника за рахунок механізмів, які приводять до фазового розшарування асоціативного типу [46]. Під час утворення зшитого полімеру із розчину полімеру система розшаровується на дві фази, одна з яких містить зшитий полімер, а інша – розчинник з невеликою кількістю полімерів (зшиваючої солі) [47].

Проблемами гідрогелів ПЕК асоціативного типу під час використання у практичній діяльності є недостатньо висока локалічна міцність, низька осмотична стійкість, як результат – зміна маси, об'єму, форми під дією збурюючих факторів з вираженим хімічним потенціалом – значень рН та іонної сили; частковий синерезис з втратою розчинника; певна пористість системи на основі поліелектролітів, що визначає їх проникність для зовнішнього середовища та витоку інкапсулянту [48, 49].

### **1.2.1. Сучасні тенденції у виробництві структурованої харчової продукції на основі альгінату натрію**

За останні роки інтенсивного розвитку набувають технології харчової продукції на основі гідрогелевих матриць AlgNa [7, 50–54] у тому числі техно-

логічній, які передбачають інкорпорацію харчових речовин, у тому числі з гідрофобною природою [55].

Альгинати натрію добре розчинні у воді; у водному середовищі їх іоногенні групи дисоціюють з утворенням заряджених ланцюгів та протиіонів. Одночасно за рахунок сил відштовхування ланцюги набувають лінійної структури і сильно витягуються, що дає можливість утримувати значну кількість розчинника. Іонотропні гідрогелі альгінатів одержують за умов додавання заряджених катіонів (Ca, Ba, Al, Cu), які через взаємодію з дисоційованими карбоксильними групами гулуронатних блоків утворюють структуру гелю (рис. 1.1) [54, 56].

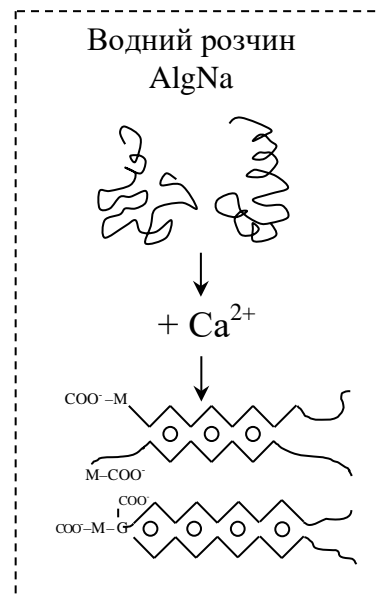


Рис. 1.1. Перехід водного розчину AlgNa (неньютонівська рідина) в гель  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – тверде тіло (структурована система)

Але з технологічної точки зору гелеутворення – це лише утворення селективного матриксу, що не забезпечує одержання харчового продукту із заданими функціонально-технологічними та органолептичними показниками.

Аналіз літературних джерел свідчить про поширення застосування під час капсулювання різних харчових систем та лікарських засобів AlgNa як гелеподібної матриці для включення цих складових або як модифікуючої добавки сумісно з іншими полімерами [7, 40, 57, 58]. З технологічної точки зору, це зумов-

лено здатністю солей альгінової кислоти за певних умов до структуроутворення з одержанням кулястих форм, а з біологічної точки зору – здатністю до біодеградації, відсутністю токсичності, стабільністю у фізіологічних умовах ротової порожнини та формуванню їстівної оболонки. Альгинати, що складаються з залишків  $\beta$ -D-мануронової (M-блоки) та  $\alpha$ -гулууронової (G-блоки) кислоти, здатні формувати гель, у тому числі плівки, у присутності двовалентних катіонів [14, 38], зокрема кальцію.

Загальноприйнятим методом одержання альгінових гранул є екструзія розчину AlgNa з різноманітними наповнювачами у вигляді краплин розміром 0,1...3,0 мм до формуючого середовища – розчину хлориду кальцію ( $\text{CaCl}_2$ ) [7, 9, 21, 59]. Цей метод отримав назву дифузійного зовнішнього гелеутворення.

В той же час одержання альгінових капсул досягається екструзією інкапсулянту, який містить  $\text{Ca}^{2+}$ , у середовище розчину AlgNa. Відомі технічні рішення не підходять для капсулювання гідрофобних речовин [7, 21, 36, 60], у тому числі ЛХС, оскільки за умов використання принципу капсулювання, інкапсулянт повинна бути гідрофобна сировина, у якій розчинення кальцію неможливо за об'єктивних причин.

Структурування харчових сумішей застосовується в технологіях виробництва продуктів багатьох галузей, таких як кондитерська, молочна, м'ясна, рибна та ін. Виробники все більше коригують структуру відомих продуктів або ж взагалі надають нову текстуру сировини, яке ще недавно мало зовсім інші характеристики та призначення. Одним з яскравих прикладів структурування є виробництво крабових паличок з м'яса сурімі та нагетсів з м'яса риби та молюсків. З впровадженням технології структурування та реструктурування значно розширився не лише асортимент нових напівфабрикатів та готових продуктів, а й область їх застосування. Структурування охоплює великий ряд методів, заснованих на використанні потенціалу сировини або введення додаткових компонентів, таких як гелеутворювачі та загусники. Процес здійснюється за участю білків, вуглеводів, в основному пектинів, агару, каррагинанів, альгінатів, камедей та їх комбінацій [61–64].

Завдяки використанню структуроутворювачів можливо створення продуктів з заданими органолептичними та реологічними властивостями. У якості структуроутворювачів використовують гелеутворювачі білкової природи (желатин) та вуглеводної (агар-агар, пектин, ксантанова та гуарова камеді, альгінат натрію, карагінани та інш.). Залежно від складу одержані напівфабрикати характеризуються певними властивостями, притаманними обраному гелеутворювачу [7, 65, 66].

Виробництво реструктурованих харчових продуктів з м'яса, риби, морепродуктів, зернових, а також овочів, плодів і ягід є поширеною практикою у харчовій промисловості США і країн Західної Європи. Відомі різні способи виробництва таких продуктів. Всі вони передбачають формування подрібненої сировини з додаванням різних гелеутворюючих речовин, у тому числі, шляхом екструзії або іншим механічним методом, а також можуть включати термічну обробку, таку як нагрівання або охолодження. Багато з цих способів засновані на використанні гелеутворюючих систем, що включають  $\text{AlgNa}$  та  $\text{Ca}^{2+}$ . Основні переваги реструктурованих продуктів із використанням альгінатів полягають в тому, що їм можна надавати необхідну форму і текстуру, вони стійкі при нагріванні і охолодженні, мають високі смакові характеристики та володіють лікувально-профілактичними властивостями. При цьому склад та концентрації рецептурних компонентів обирають відповідно до особливостей конкретної харчової системи та поставленою технологічною метою. Особливий інтерес для цього дослідження представляє досвід переробки продуктів на основі рослинної сировини, зокрема овочів, плодів та ягід [67, 68].

Науковцями [69] розроблена технологія структурування гранульованого напівфабрикату для солодких страв за принципом змішаного термотропно-іотропного гелеутворення. Процес утворення гранул реалізований на принципі змішаного гелеутворення, де сітки змішаного гелю утворюються паралельно: термотропних – за рахунок виникнення надмолекулярних водневих сшивок термотропних полісахаридів – агару або карагінану та іотропних – за рахунок утворення хелатних комплексів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ . Ці два процеси відбуваються од-

ночасно у часі, але з різними швидкостями. Взаємодія AlgNa з  $\text{Ca}^{2+}$  – миттєва реакція, що супроводжується утворенням  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ . На поверхні краплі утворюється оболонка, яка утримує сферичну форму та внутрішній рідкий вміст. Іонотропне гелеутворення відбувається з урахуванням законів дифузії та масопереносу із зовнішнього середовища, завдяки чому,  $\text{Ca}^{2+}$  поступово дифундують із зовнішнього середовища в центр сферичної форми, яка з плином часу перетворюється на суцільний гель. Швидкість процесу дифузії  $\text{Ca}^{2+}$  в гранулу залежить від багатьох факторів: властивостей розчину AlgNa та його складу, концентрації кальцію у формуючому розчині, співвідношення концентрацій AlgNa та  $\text{Ca}^{2+}$  у рецептурної суміші.

Структуру гранули можна коригувати шляхом внесення термотропних полісахаридів, які утворюють гелі зі зниженням температури нижче точки гелеутворення. За широкого асортименту термотропних гелеутворювачів можливо використовувати в технології гранульованих напівфабрикатів сульфатовані полісахариди – агар та  $\lambda$ -карагінан, останній здатний утворювати слабкі гелі з кальцієм. З огляду на те, що з підвищенням концентрації сухих речовин у суміші для гранулювання уповільнюється процес гелеутворення, що внесення термотропних полісахаридів перешкоджає процесу гелеутворення. Так як сітки гелю термотропних і іонотропного гелеутворювача розвиваються окремо, без взаємодії між собою, щільність гелю буде рости і, проникаюча здатність кальцію всередину гранули знизиться [9, 63, 69].

Науковцями [7, 61, 70] розроблена технологія реструктурованого напівфабрикату з дині та досліджено вплив на текстуру нового продукту від вмісту AlgNa, карбонату кальцію, цукру та лимонної кислоти. За результатами досліджень під час збільшення концентрації AlgNa відбувається зміцнення сітки сформованого гелю, що призводить до зменшення ступеня penetрації. Під час збільшення концентрації  $\text{CaCO}_3$  від 0,2 % до 0,6 % відбувається зміцнення сітки гелю за рахунок того, що зростає кількість  $\text{Ca}^{2+}$ , яка бере участь у реакції гелеутворення. При подальшому збільшенні концентрації  $\text{CaCO}_3$  від 0,6 % до 1,0 % відбувається збільшення пористості системи. Збільшення концентрації цукру

білого у системі від 5,0 до 20,0 % спостерігається зменшення ступеня пенетрації, одночасно збільшується твердість, зчеплення та еластичність зразків гелю. Введення лимонної кислоти у концентраціях до 0,1 % збільшує ступінь пенетрації, при цьому спостерігається невелике збільшення твердості та еластичності. Подальше збільшення концентрації лимонної кислоти до 0,3 % призводить до зменшення ступеня пенетрації, що викликано в першу чергу зменшенням однорідності структури зразків. Введення в систему лимонної кислоти в концентраціях більше 0,3 % не представляється доцільним, тому що викликає посилення кислого смаку, що погіршує смакові показники напівфабрикату.

Слід зазначити, що вітчизняними та закордонними вченими на основі багаторічних досліджень доведена актуальність застосування у технології харчової продукції добавок та наповнювачів, які модифікують й стабілізують їх структурно-механічні властивості. Це достатньо велика група речовин різноманітної хімічної природи, як рослинного, так і тваринного походження, що мають полімерну природу. Класифікуються натуральні гідроколоїдні стабілізатори залежно від морфологічної належності: білкової природи (желатин, казеїнати, альбуміни); витяжки з рослин (гуміарабік, гхати, карайя, трагакантова камедь); камеді з насіння рослин (рожкове дерево, гуарова, псиліум); крохмаль і його модифіковані види; мікробні камеді (ксантан); екстракти водоростей (агар, альгінати, карагінан); пектини (низькомолекулярний і високомолекулярний метоксил); целюлози (карбок-симетилцелюлоза натрію, мікрокристалічна целюлоза, гідроксипропілцелюлоза, гідроксипропілметилцелюлоза, тощо) [4, 71, 72].

До основних властивостей гідроколоїдних стабілізаторів відносять: здатність до гелеутворення; збільшення в'язкості продуктів і зниження ризику виникнення синерезису; направленої структури продуктів, поліпшення їх сенсорних і технологічних характеристик; регулювання харчової цінності продуктів з одночасним зниженням енергетичної цінності; зниженням витрат сировини, а тим самим зниження собівартості готової продукції [42].



В сучасній науковій літературі відмічається, що більш широке використання серед вищезазначених гідроколоїдів отримали полісахариди. Завдяки своїм іонообмінним властивостям і комплексоутворювальній здатності [23].

Розроблено спосіб одержання імітаційного шпику на основі приготування жирової емульсії з використанням солей альгінової кислоти та солей кальцію. Затвердіння емульсій відбувається на холоді, за рахунок іонотропного гелеутворення [49].

Альгінат натрію використовують в технології аналогів зернистої ікри. Технологія виготовлення передбачає приготування вихідної суміші для формування гранул, що містить білковий компонент, AlgNa, смако-ароматичні та фарбувальні речовини у певному співвідношенні. Потім проводять формування гранул у розчині  $\text{CaCl}_2$  та витримування гранул в розчині хітозану. Одержані гранули відокремлюють, промивають та фасують. Аналог харчової зернистої ікри має структуру та консистенцію, характерну для натуральної зернистої ікри [7, 21, 73, 74].

Під час виготовлення паст, паштетів, кремів з м'яса та риби альгінати застосовують як добавки, що зв'язують воду, що перешкоджають синерезису білкових з'єднань та сприяють одержанню фаршу певної консистенції. У технологіях структурованих м'ясних продуктів використовується здатність альгінатів до гелеутворення в присутності  $\text{Ca}^{2+}$ , зазвичай у вигляді ацетату, сульфату, лактату, карбонату. При цьому в якості кислотних агентів застосовують лимонну, молочну, фосфорну кислоти, глюконо- $\delta$ -лактон. Альгінати використовують як додатковий компонент у виробництві мармеладу, пастили для зниження витрати основного гелеутворювача – агару, желатину, фурцелану. Міцність гелю залежить від концентрації  $\text{Ca}^{2+}$ , взаємопов'язаної з рН середовища. Відомо, що процес гелеутворення відбувається в кілька етапів: за невеликого вмісту  $\text{Ca}^{2+}$  - зближення та орієнтація молекул альгінату; за умов збільшення  $\text{Ca}^{2+}$  утворюється гель, а передозування  $\text{Ca}^{2+}$ , зі збереженням інших умов приготування гелю незмінними, - випадання  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  в осад (коагуляція гелю)[29, 61, 75, 76].

### 1.2.2. Дослідження принципів екструзійного формування капсульованих систем з внутрішнім гідрофобним умістом

Більшість технологій капсулювання побудовані на реалізації принципу термодинамічної несумісності компонентів оболонкоутворювача та інкапсулянту. Для капсулювання гідрофобних речовин, у тому числі оліє-жирової сировини, використовують полярні розчини полімерів, здатних, за певних умов, до контрольованого плівкоутворення, тобто формування оболонки капсули. Позначений принцип є основою здійснення процесів капсулювання та базується на поверхневих явищах, які виникають на кордоні поділу фаз рідин, що не перемішуються) [77, 78].

Одним з перших та детально вивчених методів капсулювання гідрофобних текучих систем були методи з використанням в якості плівкоутворюючого термотропного матеріалу желатину, який здатен формувати твердоподібну поверхню капсул шляхом екструзії в середовищі неполярних речовин (олій). Це є обов'язковою умовою, оскільки при обмеженому змочуванні речовин, що капсулюються, розплавом желатину під час капсулювання відбувається формування крапель, які в результаті дії поверхневих сил набувають термодинамічно вигідну кулеподібної форми з утворенням безшовних капсул. З колоїдної точки зору, саме обмежена здатність до змішування системи «олієжирова сировина - вода» забезпечує утворення чіткої межі розділу фаз, що перешкоджає розтіканню плівкоутворювального матеріалу на поверхні крапель [78, 79].

Вивільнення внутрішнього вмісту капсул відбувається в результаті руйнування оболонки внаслідок роздавлювання, розчинення, плавлення, нагрівання, спалювання або за рахунок поступового виділення речовин у середовище шляхом дифузії через проникну оболонку капсули зі швидкістю, що залежить від її товщини та пористості [80].

У більшості випадків плівкоутворюючий матеріал являє собою рідиноподібну фазу (розплав або розчин), у такому стані він може з легкістю розподілитися по поверхні речовини, що підлягає капсулюванню, та вкрити її суцільною

плівкою, яку потім різними способами переводять у твердий стан. Як матеріали для оболонок, що забезпечують герметичність капсул, використовують велику кількість натуральних і синтетичних полімерів. Але спектр плівкоутворювачів, придатних до використання у складі харчових продуктів та медичних препаратів, обмежується вимогами щодо їх токсичності для організму людини [80].

Практично всі методи капсулювання об'єднує загальна ознака - застосування розчинів плівкоутворювачів, які термодинамічно несумісні з речовинами, що підлягають капсулюванню. Звичайно, для капсулювання неполярних гідрофобних рідин та нерозчинних у воді речовин використовують водні розчини полімерів, а для капсулювання полярних гідрофільних речовин середовищем для проведення процесу є неполярні органічні рідини [81, 82].

Оскільки капсулюванню підлягають речовини з різними фізико-хімічними властивостями, на практиці застосовується значна кількість методів здійснення процесу та їх комбінацій, які умовно поділяють на фізичні (напилювання в псевдозрідженому шарі, розпилювання, екструзія, конденсація парів), хімічні (утворення нової фази шляхом зшивання полімерів, поліконденсації та полімеризації) та фізико-хімічні (коацервація, осадження введенням нерозчинника, утворення нової фази під час зміни температури, випаровування леткого розчинника, затвердіння диспергованих розплавів, екстракційне заміщення) [82, 83].

Фізичні методи капсулювання засновані на механічному нанесенні оболонок на частинки речовини. Під час мікрокапсулювання у центрифугах або пристроях типу «труба в трубі» частинки речовин, що капсулюються, (твердих або рідких) проходять через плівку розчину плівкоутворювача (екструзія), покриваються нею, утворюючи капсули. Подальше охолодження капсул або обробка зшивними агентами приводить до затвердіння оболонок [84, 85].

Хімічні методи капсулювання забезпечують утворення оболонок капсул за рахунок зшивання високомолекулярних сполук дифункціональними агентами, а також унаслідок полімеризації та поліконденсації на поверхні речовин, що капсулюються. Під час здійснення процесу в системі відбуваються хімічні перетворення, що приводять до переходу розчинних полімерів у нерозчинний

стан з утворенням нової фази (оболонки капсул), при цьому молекулярна маса полімерів збільшується, а їх спорідненість з розчинником зменшується [86].

Фізико-хімічні методи отримання капсульованих продуктів базуються на виділенні з розчинів, які містять речовину, що капсулюється, нової фази, збагаченої плівкоутворюючим матеріалом, що досягається за забезпечення умов розшарування полімеру та розчинника. Розшарування на дві фази здійснюють шляхом зміни температури, рН та складу систем, зокрема видаленням розчинника (наприклад, випаровуванням) або введенням речовин, що погіршують умови розчинення полімерів [87].

Одними з найперших розроблених та детально вивчених методів капсулювання були методи з використанням як плівкоутворюючого матеріалу желатину, який під час охолодження утворює гелі зі зв'язуванням значної кількості води та здатен формувати на поверхні капсул твердоподібні оболонки. Умовою ефективного відкладання полімеру (желатину) на поверхні краплин іншої рідини є обмежене змочування речовини, що капсулюється, плівкоутворюючим матеріалом. За забезпечення цієї умови (під час використання рідин, що не змішуються, наприклад, водного розчину желатину та олії) під час капсулювання відбувається формування краплин, які внаслідок дії поверхневих сил набувають кулеподібної форми (термодинамічно найбільш вигідної), поверхня яких обволікається плівкоутворюючим матеріалом, що несумісний з умістом капсули. Затвердіння оболонок желатинових капсул на практиці найчастіше здійснюють шляхом їх охолодження у розчинах неполярних речовин (олії) також з метою запобігання розчинення оболонки капсул. Механізм фазових перетворень розчину желатину полягає в зміні конформації макромолекул полімеру під час охолодження та утворення просторової сітки гелю, що стабілізується водневими зв'язками, гідрофобними та іншими силами міжмолекулярної взаємодії. Унаслідок переходу системи з рідиноподібного у твердоподібний стан відбувається утворення гелеподібної оболонки капсул та фіксується їх кулеподібна форма [88, 89].

Сьогодні желатинові капсули знайшли дуже широке застосування у виробництві фармацевтичних препаратів та у технології функціональної харчової продукції. Розробка технологічних прийомів введення спеціальних інгредієнтів до складу желатинових мас, в тому числі полісахариду морських водоростей - AlgNa, з метою модифікації їх властивостей дозволила вдосконалити процес виготовлення капсул, підвищити їх стабільність та забезпечити контрольоване вивільнення вмісту (біологічно-активної або лікарської речовини) у потрібній ділянці шлунково-кишкового тракту. У желатинові оболонки для харчових та профілактичних цілей традиційно капсулюють олії, жир риб'ячий, ефірні масла та жиророзчинні вітаміни. Отже, спектр речовин, що можуть бути інкапсульовані у желатинові оболонки, обмежується їх полярністю, а самі капсули мають високу лабільність до дії температури. Треба відзначити, що до недоліків здійснення процесу, відноситься й необхідність відмивання капсул від олії, що часто використовується як формуюче середовище. Екстракція речовин до олії вимагає проведення операцій її очищення та регенерації з застосуванням органічних розчинників, що в свою чергу потребує спеціального устаткування для безпечного проведення процесу. Тому, незважаючи на всі переваги використання желатину для формування оболонок капсул, інтенсивно розвивається напрямок використання й інших полімерів рослинного та тваринного походження в технологіях отримання капсульованих продуктів [89–91].

Відзначено, що як плівкоутворюючі матеріали під час капсулювання, доцільно використовувати такі речовини, як білки, декстрини, пектини, альгінати, камеді, крохмалі, віск та ліпіди, похідні целюлози тощо.

Більшість розробок в цій галузі стосується капсулювання лабільних до впливу кисню повітря, зволоження або температури систем: олій, ароматизаторів, біологічно-активних речовин, вітамінів, ферментів, пігментів, барвників, емульгаторів, ефірних масел та ін. [83, 92].

У роботах [83, 93] показано, що застосування капсулювання для іммобілізації ароматичних речовин має значні перспективи та дозволяє захистити леткі сполуки, що входять до їх складу, від випаровування, забезпечити стабільність

ароматизаторів під час зберігання та точно встановити умови, за яких відбувається вивільнення ароматичних речовин. Зокрема, значний інтерес являє собою створення капсульованих ароматизаторів для використання у складі екструдованих харчових продуктів, які в процесі виробництва підлягають термічному та механічному впливу, сухих сумішах для супів та напоїв, швидкорозчинних каві та чаю, кондитерських виробів тощо.

Дослідженнями вчених підтверджено ефективність використання капсулювання для захисту жирів риб, в тому числі й акул, та олій, що характеризуються високим ступенем ненасиченості, від окислення. У роботах [32, 38, 94] було досліджено вплив різних чинників: концентрації речовин, виду матеріалу оболонки (модифікована целюлоза, декстрини, ізоляти білка сої, AlgNa), зволоження на здатність ліпідів до окислення та підтверджено високу стабільність інкапсульованих жирів та олій, що дозволяє збільшувати термін їх зберігання.

Все більшої актуальності в останні роки набуває напрям створення функціональної продукції харчування з інкапсульованими мікронутрієнтами, такими, як пробіотики, ферменти, мінеральні речовини та вітаміни.

Вченими [7, 17] показано, що застосування капсулювання для пробіотиків та молочнокислих культур сприяє захисту клітин від бактеріофагів, збільшує їх виживання під час сушіння, заморожування, зберігання харчових продуктів та забезпечує стабільність бактерій в умовах шлунку людини.

Авторами [62] запропоновано використовувати капсульовані ферменти алкалазу та протеазу, що призначені для перетравлювання яєчного альбуміну, для зниження алергенної активності окремої харчової продукції.

Для запобігання впливу зовнішнього середовища на нестійкі речовини розроблено способи одержання капсульованих продуктів, що містять мінеральні речовини (зокрема, Ca, I, Fe), вітаміни A, E, D, C,  $\beta$ -каротин, жирні кислоти, лютеїн, зеаксантин, лікопін, олігосахариди, дріжджі з метою їх введення до складу йогуртів, безалкогольних напоїв, пастоподібних продуктів, виробів з круп, десертів та відзначено, що вивільнення активних речовин відбувається під час перетравлювання їжі поступово, забезпечуючи таким чином їх макси-

мальне засвоєння та позитивну дію на організм людини дію. В роботах [62, 95] як біологічно-активні інгредієнти для капсулювання запропоновано використовувати спиртові та масляні екстракти лікарських трав та рослин, зокрема з обліпихи, женьшеню, звіробою, радіоли, ромашки, чабрецю, календули, валеріани.

Таким чином, сьогодні капсульовані продукти пропонуються як перспективні засоби цілеспрямованої доставки нутрієнтів у визначені ділянки кишково-шлункового тракту, забезпечуючи їх максимальну біодоступність, підвищуючи аутентичність та біологічну цінність харчової продукції.

Загальноприйнятим фізико-хімічним методом одержання альгінових капсул є екструзія розчину  $\text{AlgNa}$  з різноманітними наповнювачами у вигляді краплин розміром 0,1...3,0 мм до формуючого середовища - розчину  $\text{CaCl}_2$ . Цей метод одержав назву дифузійного зовнішнього гелеутворення. При цьому на початковому етапі, у результаті іонотропного гелеутворення, формуються міцні еластичні оболонки на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  на поверхні краплин, але внаслідок вирівнювання концентрацій  $\text{Ca}^{2+}$  через певний час капсули перетворюються на суцільні гелеподібні гранули. Розмір гранул залежить від діаметру каплеутворюючих фільтрів екструзійного пристрою та в'язкості розчину  $\text{AlgNa}$  [7, 96].

Враховуючи те, що гелі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  мають високу пористість, виникла проблема створення оболонок для альгінових гранул. За звичайних умов альгінові гранули з оболонками (які називають капсулами) більш стійкі, ніж альгінові гранули без них. Найчастіше як матеріал для виготовлення оболонок використовують поліпептиди та хітозан. Відомо два способи отримання гранул з альгінат-полікатионною оболонкою. У першому способі оболонка формується у просторі між альгіновим розчином та розчином полікатиону під час їх змішування. Надалі фіксують форму капсул шляхом їх обробки в розчинах  $\text{CaCl}_2$ , при цьому відбувається гелеутворення ядра капсул – розчину  $\text{AlgNa}$ . У другому способі спочатку отримують альгінові гранули традиційним способом, а потім здійснюють їх обробку розчином полікатиону. При цьому одержують капсули з оболонкою, товщина якої може дорівнювати 1 мм навколо альгінових гранул [7, 97].

Одержання альгінат-кальцієвих оболонок можливе шляхом багатоступеневого формування: на першому етапі формуються гранули з будь-якого матеріалу, на другому – гранули покривають розчином  $\text{AlgNa}$ , на третьому – оболонку фіксують витримуванням гранул у розчинах полівалентних металів.

Широке використання знайшли й емульсійні методи одержання альгінових гранул, згідно з якими шляхом диспергування розчину  $\text{AlgNa}$  з органічними гідрофобними розчинниками (наприклад, ізоаміловим спиртом) одержують емульсії зворотного типу «вода в олії», до яких вводиться розчин  $\text{CaCl}_2$ . Гелеподібні гранули, що утворюються при цьому, відділяють центрифугуванням та промивають кілька разів у розчині  $\text{CaCl}_2$  [80, 98].

Одним з шляхів забезпечення контрольованого жирнокислотного складу, стабільної у часі функціонально-фізіологічної оліє-жирової сировини та її композиційних сумішей жирових, зручної у використанні може бути спосіб її попереднього капсулювання. На сьогоднішній день під керівництвом проф. Пивоварова П.П. в межах роботи кластеру ННІ ХТБ Харківського державного університету харчування та торгівлі (ХДУХТ) проведено дослідження з розробки композицій жирових сумішей на базі купажування олій рослинних, жиророзчинних вітамінів та природних антиоксидантів із вибором способу капсулювання, умов та параметрів відповідно до властивостей інкапсулянту та систем ЛХС, складу та властивостей оболонкоутворювача [99]. Переробка оліє-жирової сировини таким чином розширюється як сегмент харчової, парфумерно-косметологічної та фармацевтичної галузі [100, 101].

Відомі технології капсулювання ЛХС у желатинових капсулах, які утворюють нетермостійкі гелі та, за температури, яка сягає вище точки плавлення, переходять у розчин високомолекулярної сполуки (ВМС), тому використання таких капсул у складі харчової продукції, що піддається термічній обробці або реалізуються за температури вищої ніж  $35^\circ\text{C}$  є неможливою.

Здебільшого ЛХС можуть перероблятися у капсульовані продукти заданого діаметру, товщини оболонки та її функціонально-технологічних властивостей із використанням гелеутворювачів [102].



Зокрема, відомий спосіб одержання капсул із внутрішнім вмістом на основі жирів шляхом вертикального зверху-вниз коаксіального екструзійного капсулювання оболонкоутворювача та внутрішнього умісту на основі жирів, що знаходяться у рідкому для екструзії стані, в приймальне середовище. У зазначеному способі в якості оболонкоутворювача використовують водний розчин іонотропного полісахариду AlgNa з концентрацією 0,6...4,0 %, а як приймальне середовище використовують двошарове прийомне середовище, яке складається з верхньої жирової фази з температурою 0...60°C та нижнього 10...50 об.% за спиртом водно-спиртового розчину, який містить 0,2...2,0 % розчинних солей кальцію, барію або їх сумішей [101, 102].

Автором апробовано використання капсули з жировим вмістом у складі борошняних виробів, зокрема у складі бісквітів, дріжджових виробів [103–106] тощо. У способах одержання запатентовано, що здоба виконана у формі капсул з полісахаридною термостабільною оболонкою з внутрішнім вмістом у вигляді суміші жирової складової, цукру та/чи цукроподібних речовин, при цьому співвідношення жирова складова: цукор та/чи цукроподібні речовини у вказаній суміші складає як (99,0:80,0)÷(1,0:20,0) (мас. %), де внутрішній вміст капсул додатково може містити 4,0...12,0 % подрібнених харчових волокон [106–112].

Основними цілями процесів капсулювання є збільшення термінів зберігання нестійких продуктів; регулювання швидкості вивільнення умісту капсул; маскування смаку і запаху речовин; запобігання нестійких речовин від дії зовнішнього середовища; пролонгування дії, що зумовлено уповільненням швидкості вивільнення лікарської речовини з мікрокапсул завдяки наявності напівпроникної оболонки; зменшення летючості речовин, що випаровуються, внаслідок їх захисту непроникною для парів і газів оболонкою тощо.

Реструктурування методом капсулювання з одержанням напівфабрикатів із високим вмістом сухих речовин дасть змогу забезпечити високі органолептичні показники, термостабільність у технологічному процесі, мікробіологічну стабільність під час зберігання готової продукції [104, 105].

Одержання альгінат-кальцієвих оболонок для інкапсулювання ЛХС (у загальному плані харчової продукції) у безперервному потоці є актуальним у науковому та практичному плані. Одержання капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом відноситься до складних комплексних задач, які одночасно витікають із об'єктивних фізичних (врахування яких покладено у формування фізичного тіла та форми капсули), хімічних законів (формування гідрогелевої оболонки реалізовано на принципах виникнення «хімічного гелю» за рахунок виникнення поліелектролітного комплексу іонотропного полісахариду) з врахуванням вимог до товарознавчо-технологічних, функціонально-технологічних, мікробіологічних, органолептичних показників тощо [106].

Під час використання в якості оболонкоутворювача іонотропних полісахаридів виникає потреба коаксіально екструдувати за принципом «труба в трубі» розчин оболонкоутворювача (зовнішня труба) і гідрофобної речовини (внутрішня труба) у формуюче середовище повітря в стані сформованих квазістабільних капсул. Під час потрапляння у приймальне середовище реалізуються хімічні потенціали та капсула за текстурою набуває товарний стан [107].

### **1.3 Сучасні тенденції у процесах структурування ліпідів харчової сировини із заданими функціонально-технологічними та функціонально-фізіологічними властивостями**

Сучасний розвиток харчової промисловості в Україні, у тому числі оліє-жирової галузі, обумовлює необхідність формування інноваційної системи, яка полягає у розробці та просуванні нових вітчизняних продуктів та розробок нового покоління, розширенні асортименту з урахуванням реального попиту та потреб споживчого ринку.

На протязі останніх років увага фахівців в галузі оліє-жирової промисловості спрямована на розробку функціональної жирової продукції. Так, замість традиційного асортименту жирової продукції на основі триацилгліцеринів (ТАГ) прийшло нове покоління продукції на основі діацилгліцеринів (ДАГ), які

одержано на основі хімічного гліцеролізу [98], що здатні до регулювання процесів метаболізму вуглеводів та накопичення ліпідів в організмі людини. В якості енергетичного субстрату найбільш ефективним є жирові емульсії, що пов'язано з їх нерозчинністю у воді, осмотичною неактивністю, високою регульованою енергетичною цінністю та можливістю забезпечення організму незамінними жирними кислотами, які відіграють важливу роль у відновленні метаболічних та газообмінних функцій організму, забезпечують транспорт жиророзчинних вітамінів, є модуляторами імунних процесів. На даний час в Україні доступні жирові емульсії кількох типів (рис. 1.1) [108].

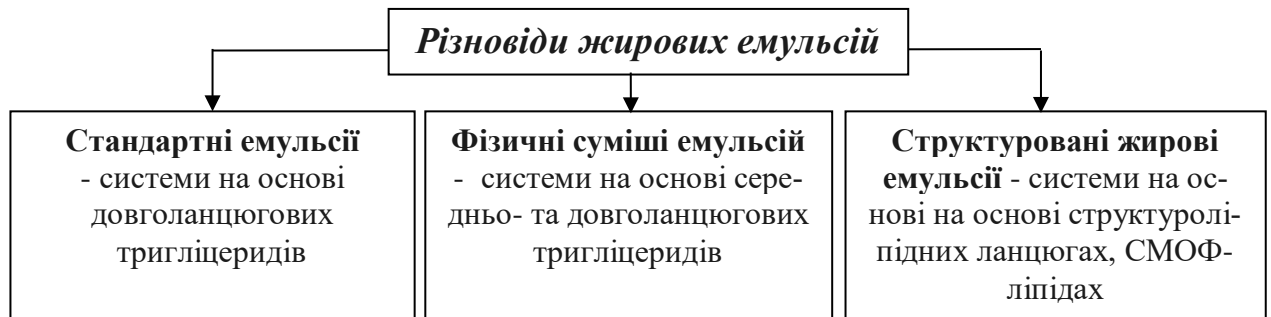


Рис. 1.1. Класифікація харчових жирових емульсій

Структурування ліпідів – принципово новий напрямок харчової індустрії, що дозволило розробити жирову продукцію з поліпшеним хімічним складом та фізіологічною цінністю. В даному випадку природна триацилгліцеридна структура та жирнокислотний склад жиру цілеспрямовано піддається змінам з метою набуття їм заданих фізичних, технологічних, біохімічних та фізіологічних властивостей [109].

До найважливіших представників структурованих ліпідів харчової сировини відносять структуровані триацилгліцерини та поліефіри сахарози, які також називають заміниками жиру. Існують заміники жиру на білковій або вуглеводній основі, молекули яких можуть зв'язувати велику кількість води, знижувати калорійність харчової продукції (у 2...9 разів), але їх фізичні властивості значно відрізняються від ЛХС. З цією метою використовують вуглеводні заміники – низькомолекулярні крохмалі, декстрини, мальтодекстрини та камеді та білкові – білки молочної сировини та яєць [110].

Відповідно до класифікації триацилгліцерини поділяються наступним чином: структуровані, середньоланцюгові (Medium Chain Triglycerides, MCT) та коротколанцюгові Salatrim (Short And Long Acyltriglyceride Molecule) [109].

Структуровані триацилгліцерини – нейтральні жири, головна складова тваринних жирів та рослинних олій, властивості яких визначаються природою залишків жирних кислот в їх молекулі, а їх фізичні, хімічні та біохімічні властивості залежать від розподілення залишків жирних кислот по окремих позиціях гліцеридної основи. Вони містять значну кількість насичених жирних кислот (пальмітинової, стеаринової, лауринової, капронової, каприлової, бегонової та ін.), мають більш високу температуру плавлення та тверду консистенцію. Жири, до складу яких входить багато моно- та поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) (арахідонової, олеїнової), називаються оліями та за звичайної температури знаходяться в рідкому стані [111].

Під MCT розуміють триацилгліцерини, які містять залишки середньоланцюгових (що містять менше 12 атомів вуглецю) жирних кислот. Дослідження показали, що такі триацилгліцерини за фізіологічним ефектом перевершують традиційні жири, а також їх суміші. Середньоланцюгові триацилгліцерини менш калорійні, ніж звичайні жири та олії. Більш цього, вживання MCT у порівнянні з LCT має наступні переваги: покращене ниркове очищення з меншою можливістю відкладення в організмі жиру, зменшення білкових втрат [112, 113].

Salatrim – узагальнена назва родини структурованих триацилгліцеринів, що включають суміш жирних кислот, які містять хоча б одну коротко жирну кислоту та довголанцюгову, що випадковим чином включені в гліцеридну основу. Оскільки коротколанцюгові жирні кислоти мають меншу калорійність у порівнянні з довголанцюговими, тому, наприклад, стеаринова кислота поглинається організмом не повністю, калорійність Salatrim становить 55,0 % або 5/9 від калорійності звичайних жирів. Суміші Salatrim з різним вмістом коротко- та довголанцюгових жирних кислот мають різні функціональні та фізичні властивості, такі як температура плавлення, твердість та зовнішній вигляд.

Структуровані ліпіди Salatrim можуть застосовуватися у виробництві шоколадної глазури, чіпсів, карамелі, начинки для кондитерських виробів та молочних продуктах, таких як сметана, морозиво та сир кисломолочний [98].

Триацилгліцерини неможливо структурувати шляхом хімічної або «ненаправленої» переетерифікації. На теперішній час технологічні передумови направленої структуризації триацилгліцеринів полягають у застосуванні ферментів, зокрема ферменту – ліпази. Широкому використанню ферментів сприяє їх функціонально-технологічна ефективність – вони сприяють зниженню витрат сировини, розширенню асортименту, але вони є унікальними та специфічними через вузько спрямовану каталітичну дію, що дозволяє одержувати продукти конкретного призначення. Так, наприклад, у виробництві замітника какао-масла використовується специфічна ліпаза з грибової культури *Rhizomucor miehei* [114].

Сьогодні на світовому споживчому ринку серед заміників жирів харчового призначення існують синтетичні їх замітники, які мають різну хімічну природу, ступінь перетравлювання та засвоюваності, а також різний вплив на шлунково-кишковий тракт. Із синтетичних заміників жиру найбільш відомі ефіри жирних кислот із цукрами, такі як поліефір сахарози. Переетерифікація сахарози метиловими ефірами жирних кислот, одержаних із натуральних жирів, дає в результаті поліефір сахарози (ПЕС). Подібний продукт, Olestra® (Handelsname Oleanä), був дозволений до використання у США для виробництва олій для фритюру (оліє-жирових сумішей та масел), картопляних чіпсів та снєків. На ПЕС не діють ензими травного тракту (ліпази), отже, у кишківнику ПЕС практично не всмоктуються. Слід підкреслити, що синтетичні замітники жиру у більшості країн поки що не використовуються у харчуванні людини, у зв'язку з інтенсивним вивченням їх нешкідливості та ефективності як заміників жиру [115].

На теперішній час на ринку існує широкий асортимент ЛХС, які мають природний жирнокислотний склад та моделюються за рекомендаціями медицини, фізіології харчування, дієтології із урахуванням потреб населення. Промислові зразки цієї категорії представлені оліями рідкими та твердими, жирами рі-

дкими та твердими, гідрогенізованими кулінарними та кондитерськими жирами, маргаринами тощо [108, 116].

Промислова переробка олій рослинних, в основному, представлена виробництвом сумішей рослинних, збагачених вітамінами, каротином, антиоксидантами тощо, які використовуються як самостійний продукт, так і у вигляді наповнювачів харчових систем. Така переробка направлена на підтримку здоров'я нації та укріплення систем організму людини, а також забезпечення та формування характерних органолептичних та структурно-механічних властивостей готової продукції [117].

До функціональних жирових продуктів відносяться:

- купажовані рослинні масла, жири та їх суміші зі збалансованим жирнокислотним складом;
- емульсійні жирові продукти, що містять у жировій фазі купажовані рослинні масла, жири та їх суміші, збагачені функціональними інгредієнтами;
- спеціальні харчові жирові продукти, призначені для промислової переробки (напівфабрикати для інших продуктів), жирова основа яких містить купажовані рослинні масла, жири та їх суміші [112, 118].

Поряд із збагаченням жирових продуктів ПНЖК, вітамінами, фосфоліпідами, стеринами тощо одним із перспективних напрямів є збагачення пребіотиками, зокрема інуліном (високомолекулярний вуглевод, розчинний у воді), який під час гідролізу за допомогою кислот утворює фруктофуранози та невелику кількість глюкопіранози. Встановлено, що інулін здійснює позитивний вплив на імунітет, сприяє зниженню рівня тригліцеридів та холестерину в крові, що має велике значення для зменшення ризику серцево-судинних захворювань. Науковцями [114] розроблено рослинно-жирові та рослинно-вершкові спреди зниженої жирності (з масовою часткою жиру 40,0 %), що мають високі смакові якості та текстуру, близькі до характеристик продукту звичайної жирності.

Суміші рослинних олій мають широкий спектр застосування – безпосереднє використання у їжу, в технологіях салатних заправок, інших жирових продуктів (маргаринів, спредів, майонезів, соусів).

Олія рослинна – є класичною сировиною у виробництві маргарину, під час виготовлення якого дотримуються технологічних заходів, що забезпечують максимальне збереження природних властивостей жирових компонентів, збалансованість їх за жирнокислотним складом, збагачення комплексом добавок в першу чергу, вітамінів А, Д, Е, К, фосфоліпідів, стеринів, каротину тощо. Разом з тим традиційний асортимент вітчизняних маргаринів не повністю відповідає вимогам щодо якісного жирнокислотного складу, вмісту ПНЖК, споживних властивостей (консистенція, смак, запах). У цьому відношенні найбільш перспективними є м'які маргарини поліпшеної якості, у тому числі дієтичні, які набувають все більшого поширення за кордоном та виробляються в Україні, але в незначних обсягах [115–117].

З огляду на технологію виробництва маргаринів зазначено, що технологічний процес складається з трьох основних процесів: емульгування, охолодження та механічна обробка емульгованого жиру з іншими рецептурними компонентами. Для його виробництва використовують наступні олії: соняшникову, бавовняну, соєву, ріпакову, саломаси, переетерифіковані жири, вершкове масло, універсальні жирові суміші, кокосову, пальмоядрову, пальмову олії, пальмовий стеарин, пальмітин бавовняної олії та ін. Жири, крім вершкового масла, повинні бути рафіновані, дезодоровані, через що вони забезпечують високу якість та харчову безпеку продукту та харчової продукції з його використанням.

Не зважаючи на доволі широкий рецептурний асортимент виробництва кулінарних, кондитерських, хлібопекарських жирів основною сировиною служать харчові рослинні та тваринні саломаси з температурою топлення  $t = 31,0...34,0^{\circ} \text{C}$  (60,0%), рідкі олії рослинні (25,0 %), тваринні топлєні жири – свинячий, яловичий, баранячий (15,0...35,0%), переетерифіковані жири з метою поліпшення консистенції. В якості функціонально-технологічної добавки вводять: фосфатидний концентрат, вітаміни, антиоксиданти, ароматизатори, барв-

ники. Технологічна схема одержання жирів цієї групи включає такі операції: підготовка рецептурних компонентів, їх дозування, змішування, охолодження та кристалізація, фасування, пакування.

На сьогоднішній день в літературних джерелах наведено дані щодо використання олії рослинної у виробництві рибних консервів, майонезів, кулінарної та кондитерської продукції у вигляді наповнювачів [118].

Споживання жирів тваринних твердих на тлі скороченого споживання або відсутності у раціоні олій та жирів морської риби, а також повне виключення жирів з раціону призводить до хронічного дисбалансу та нестачі ПНЖК в раціоні харчування. До аліментарно-залежних захворювань, викликаних дефіцитом ПНЖК, відносяться: ожиріння, гіпертонія, аритмія, атеросклероз, тромбози, цукровий діабет, псоріаз, запальні процеси, доброякісні пухлини, рак. ПНЖК, жиророзчинні вітаміни та фосфоліпіди прийнято відносити до такої групи біологічно активних речовин, як нутрицевтики, тобто представляють собою есенційні нутрієнти та є природними інгредієнтами їжі.

На сьогоднішній день практично жоден з видів натуральних жирів та олій, які переробляються промисловістю, не можна вважати оптимальним за фізіологічними параметрами, в першу чергу, за жирнокислотним складом. Олії рослинні є джерелом жиророзчинних вітамінів і фосфоліпідів тощо. Розробка жиророзчинних композицій з певним співвідношенням ПНЖК може розглядатися як актуальне та практично значимий напрям у виробництві жирових продуктів для здорового харчування [94].

Слід зазначити, що харчова цінність жирової продукції є жирнокислотний склад, точніше співвідношення поліненасичених та насичених жирних кислот. У роботах [119, 120] висвітлено, що вміст триацилгліцеролів у харчовій продукції повинен складати 10,0...20,0 % ПНЖК, 50,0...60,0 % моно-ненасичених (МЖК) та 30,0 % насичених (НЖК) жирних кислот.

У роботах проф. Нечаєва А.П. [18] досліджено, що на частку есенціальних жирних кислот повинно припадати А – 6,0 % енергетичної цінності харчового раціону, а співвідношення ПНЖК родин омега-6 та омега-3 складало не



більше 10 : 1. Так, вченими [120] розроблено та впроваджено технології структурованих ліпідів із збалансованим жирнокислотним складом – спредів на основі вершкового масла, саломасу соняшникового та кокосової олії із додаванням ріпакової олії рафінованої. Проведені дослідження показали, що розроблені спреди підвищеної біологічної цінності наближаються до формули збалансованого харчового раціону та можуть бути рекомендовані до використання в оздоровчо-профілактичному й дієтичному харчуванні.

Збалансоване співвідношення омега-3/омега-6 кислот відрізняє спреди від традиційних аналогів на основі олії соняшnikової. При цьому співвідношення між ліноленовою та лінолевою кислотами в розроблених спредах становить 1:4, а співвідношення між насиченими, мононенасиченими й поліненасиченими жирними кислотами 2:3:1 відповідно [121].

Особливості технології виробництва спредів дозволяють застосовувати поряд з молочними компонентами велику кількість компонентів рослинного походження, головним чином олій рослинних. Завдяки їх присутності спреди порівняно з вершковим маслом набувають ряд споживчих переваг: мають регульовану температуру замерзання, пластичну консистенцію, містять більшу кількість вітамінів та біологічно активних речовин, меншу кількість холестеролу. Збалансоване співвідношення омега3/омега-6 кислот відрізняє спреди від традиційних аналогів на основі модифікованих жирів та олії соняшnikової. При цьому співвідношення між ліноленовою та лінолевою кислотами у розроблених спредах становить 1:4, а співвідношення між насиченими, мононенасиченими та поліненасиченими жирними кислотами – 2:3:1 [122].

Найбільш ефективним напрямом створення жирових продуктів зі збалансованим за складом і співвідношенню ПНЖК  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3 є одержання купажованих олій рослинних. За даними дієтологів, збалансованими можуть вважатися жири, які містять в своєму складі 30,0 % насичених, 50,0...60,0 % мононенасичених та 10,0...20,0 % ПНЖК [123]. Для створення купажів з рослинних олій рекомендується використовувати технологічно зручні та поширені у виробництві олії рослинні такі як соняшnikова, кукурудзяна, рапсова та соєва. Однак, в

композиції олій рослинних, що мають у складі лляну олію, потрібно вживати тільки в холодному вигляді, не піддаючи тепловій обробці. При цьому масова частка олії лляної в композиціях не повинна перевищувати 5,0 %, так як вона має специфічний запах, що може негативно позначитися на органолептичних характеристиках купажованих рослинних олій [112].

Начасі, широкого розповсюдження набули структуровані ЛХС із використанням  $\beta$ -каротину, як ефективного збагачувача, барвника та антиоксиданта [124].

В останні роки нові сировинні та технологічні процеси були вивчені в якості потенційних альтернатив для структурування матеріалів на основі ЛХС, спрямованих на зниження вмісту насичених та транс жирних кислот у харчовій продукції. У науковій літературі описується потенційна альтернатива: використання декількох компонентів для структурування ЛХС природного або синтетичного походження, які можуть проявляти свої функціонально-технологічні властивості на молекулярному рівні. Ці молекулярні агенти діють на процес структурування ліпідних систем на хімічному рівні, змінюючи їх властивості, такі як термостійкість, поліморфна стабільність та мікроструктура. Нетрадиційні структуровані ліпідні системи, що складаються з НЖК, таких як рідкі або напівтверді рослинні олії, можуть бути структуровані у вигляді гелів, створюючи безперервні мережі молекул, які зв'язуються в рідких кристалах, міцелах, утворюючи зворотні двошарові структури у формі паличок. Цей особливий тип структурування називається оліогелями («oleogels»), які представляють собою в'язко-пружні матеріали, що складаються зі структуруючих агентів та неполярної фази (органічної сполуки) [79, 94, 125].

Оліогелі можуть бути утворені з різних типів структуроутворювачів, які мають різні механізми гелеутворення. Найбільш відомими механізмами гелеутворення є наступні:

- кристалізація жирних кислот у довгі вуглеводневі ланцюги, які після досягнення заданої концентрації здатні утворювати конформації кристалів, досить сильні, щоб утримувати олію та сприяти утворенню твердої структури під час охолодження [94];

- організація самочинно фібрилярних ділянок, які утворюються шляхом односпрямованого зростання кристалів;
- утворення полімерних ділянок;
- утворення зворотних сферичних міцел;

В якості органічних сполук у рецептурному складі оліогелей використовують етилцелюлозу (ЕС), природні воски та оріназол.

Перспективним напрямком одержання оліогелів є використання ЕС, як речовини для структурування харчових оліє-жирових систем шляхом заміни частки жиру. ЕС є похідною целюлози, що одержана шляхом заміни гідроксильних кінцевих груп целюлози на етильні. Висока температура гелеутворення ЕС відкриває можливість виробництва оліогелей з регульованою точкою плавлення. Процес структуроутворення полягає у фракціонуванні хімічних компонентів з середини та зниженні швидкості охолодження оліогелю під час утворення гелевої структури за заданої концентрації ЕС. При цьому утворюються дві області гелю – м'яка та тверда, співвідношення яких залежить від градієнту температури, кінетичних та термодинамічних впливів на процес [125].

Воски залишаються одним з найбільш вивчених структуроутворювачей для жирової фази в усьому світі. Серед них найбільш поширені канделійській, карнаубський, рисовий, бджолиний та соняшниковий віск. Структуроутворюючі властивості восків проявляють себе вже за концентрації  $C \approx 3,0\%$  [80].

У харчовій промисловості оліогелі на основі восків використовуються для повної або часткової заміни жиру – кулінарних жирів, маргарині, вершків [119].

Віск соняшниковий складається з ефірів воску (C38-C54, насичений, 66,0...69,0 %), жирних кислот (12,0...16,0 %), жирних спиртів (11,0...13,0 %) та вуглецю (6-7). Соняшниковий віск здатний утворювати оліогелі в концентраціях 0,5...10,0 %, а температура його плавлення становить  $t_{пл} = 47...67^{\circ}\text{C}$  [126, 127].

Карнаубський віск виробляється з листя бразильської пальми, для одержання гелю потрібна мінімальна його концентрація  $C = 4,0\%$ , а час гелеутворення складає  $\tau = 13,5 \times 60$  с за температури  $t = 18...20^{\circ}\text{C}$ . Карнаубський віск

характеризується найменшою твердістю серед інших рослинних та тваринних восків [128].

Відомі технології виробництва кондитерських виробів з високим вмістом НЖК із використанням оліогелів на основі олії каноли з канделільним воском. Включення канделілового воску у концентрації 3,0 % (6,0 мас.%) в олію каноли дозволило виробити оліогелі з твердими властивостями. Рівень ненасичених жирних кислот в готовому печиві збільшився до 92,0 % [127, 131, 132].

ЛХС широко використовуються у харчових композиціях з метою поліпшення харчової та біологічної цінності харчової продукції. Тверді жири, одержані з рослинних олій шляхом гідрогенізації, переестерифікації та процеси фракціонування широко використовуються в різних технологічних процесах [129].

Вченим [130] розроблено винахід – харчову композицію, що включає один або більше компонентів з числа вуглеводів, білків, харчових волокон або їх сумішей. При цьому композиція додатково містить харчовий оліогель, що включає олію, етилцелюлозу та поверхнево-активну речовину. Спосіб одержання композиції передбачає одержання суміші харчової етилцелюлози у харчовій олії, додавання поверхнево-активної речовини в вищевказану суміш, нагрівання, охолодження суміші з одержанням оліогеля та змішування зазначеного оліогеля з одним або більше компонентами з числа вуглеводів, білків, харчових волокон або їх сумішей. Винахід дозволяє знизити вміст транс- і насичених жирів, а також стабілізувати олії за високих температур.

У конкретних прикладах використання даної композиції є м'ясні продукти, наприклад, продукти з подрібненого м'яса, такі як м'ясо для гамбургера, або продукти з м'ясної емульсії, такі як Болонська копчена ковбаса, мортаделла, франкфуртські сосиски або інші ковбасні вироби. М'ясні продукти даного виду включають 10,0 ...25,0 % білку, 5,0...35,0 % жиру (включаючи олії та структуровані олії) та 40,0...60,0 % води. Як правило, продукти з м'ясної емульсії одержують змішуванням, подрібненням та емульгуванням суміші сировинних матеріалів м'яса (яловичина, свинина, субпродукти) з льодом та не м'ясними інгредієнтами (сіль кухонна, спеції, рослинні та сироваткові білки, харчові добавки для стабілі-

зації кольору) з одержанням таким чином емульсії, що містить дрібні частинки жиру, вкриті білком. Потім емульсію формують та піддають тепловій обробці. Теплова обробка м'ясної емульсії викликає коагуляцію білків з одержанням еластичної напівтвердої текстури. Таким чином частинки жиру закріплюються у білкову матрицю. Одержаний в результаті продукт з м'ясної емульсії являє собою однорідну гомогенну масу, яка також може містити дискретні шматочки м'яса або інших включень та зберігає форму, надану йому оболонкою. Заміна фракції частки тваринного жиру, яка присутня в таких продуктах, ліпідами, переважно рослинного походження, призводить до одержання м'ясних продуктів з твердою, гумкоподібною текстурою. Однак заміна фракції тваринного жиру оліогелем дозволяє одержати м'ясні продукти з високими органолептичними показниками. Автори винаходу виявили, що міцність гелю, утвореного диспергуванням етилцелюлози та поверхнево-активної речовини в олії, залежить від вибору етилцелюлози, олії, поверхнево-активної речовини та температури дисперсії. Можуть бути використані різні типи олій: соєва, каноли, кукурудзяна, соняшникова, льняна, мигдалева, арахісова, пальмова, пальмоядрова, оливкова, риб'ячий жир, пальмовий стеарин, пальмовий олеїн тощо [129, 133, 134].

Таким чином одержання харчової продукції, у складі якої є ЛХС спрямованої дії, у тому числі збагачених, вітамінізованих, напрямленого використання, профілактичного та лікувально-профілактичного спрямування, структурованої набуває все більшого попиту. Виробники все більше коригують структуру відомої продукції або ж взагалі надають нову текстуру сировині або продукції, яке ще недавно мало зовсім інші характеристики та призначення шляхом впровадження технологічних операцій, хімічних перетворень за рахунок використання хімічних та ферментативних препаратів, впровадження у технологічний процес фізичних, хімічних та біохімічних знань та вмінь сучасної науки з залученням інноваційних підходів до процесу розробки технологій.

#### 1.4 Обґрунтування теоретичних передумов використання іонотропного та термотропного гелеутворення в технологіях капсулювання ЛХС

Структуроутворюючі властивості альгінатів під час додавання зшиваючих солей можуть бути скореговані в бік підсилення або послаблення пружних властивостей гелю, що є дуже важливим з органолептичної та текстурної точок зору. Це відбувається за рахунок додавання речовин, які здатні створювати у розчиннику за певних умов просторову сітку або утворювати комплекси з  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  [7, 135]. Але, при цьому, важливо враховувати фізико-хімічну поведінку багатокомпонентних технологічних систем. Тобто попередньо потрібно утворити розчинну систему, у якій містяться як мінімум два полімери у спільному розчиннику.

За колоїдними властивостями вимоги до утворених розчинів у загальному вигляді формуються за можливої фазової поведінки суміші полімерів у розчині. Результатом цього може бути фазове розшарування системи або виникати термодинамічна сумісність полісахаридів у розчині з колоїдними ознаками гомогенності. Згідно теорії сумішей полімерів Флорі-Хаггінса для трикомпонентних систем «полімер – полімер – розчинник», що створюються у технологічному потоці, можуть виникати два типи фазового розшарування – сегрегативний та асоціативний [135].

За сегрегативного типу системи виникають розчини, які характеризуються наявністю як мінімум двох полімерів, як правило нейтрально заряджених. За причини наявності сил відштовхування або різного відношення полімеру до розчинника розчини можуть бути несумісними. За суттю за наявності одного розчинника у системі виникає два розчини, кожен з якого збагачений на один із харчових полімерів. В той же час існує деяка кількість гомогенного розчину, у якого розчинені обидва полімери, але один з них знаходиться у надлишку по відношенню до іншого. За такого складу фактично утворюється два розчини, що не змішуються. Такий тип виникає як результат колоїдної поведінки розчинених речовин за реалізації керуючих або збурюючих факторів. Відповідно, під

час забезпечення фазового «золь-гель» переходу гелеподібна система буде представлена двома незалежними сітками, взаємодія та вплив яких на властивості гелю можливо визначити лише експериментально [136].

За наявності у розчиннику двох іотропних полісахаридів, але які мають протилежні заряди, може виникати взаємне тяжіння полімеру з розшаруванням системи асоціативного типу. Також, можуть виникати нерозчинні комплекси, а під час гелеутворення – змішані гелі з «хімічною» структурою сіток.

Розрізняють чотири види систем, які можуть бути використані для модифікації оболонок капсул, до складу яких входить спільний розчинник та два харчові полімери:

а) Розчин незаряджених (нейтральних) полімерів. В технології ЛХСК він не може бути використаний, оскільки гелеутворювач AlgNa відноситься до іотропних полісахаридів. Але в його структурі існують полімерні ділянки, які не несуть заряду. Розчин нейтрального полімеру та електроліту є термодинамічно сумісними за умови змішування без фазового розшарування та висадження. Розчин здатен підвищувати в'язкість порівняно з монокомпозиційними системами за рахунок асоціації полімерів як результат виникнення водневих зв'язків. Стабільність бінарного розчину забезпечується розгортанням у розчиннику поліелектроліту, що забезпечує утворення гомогенної суміші розчину з нейтральним полісахаридом. У випадку гелеутворення за рахунок нейтралізації електроліту (в нашому випадку – утворення гелю  $Alg_2Ca$ ) технологічна система може розшаруватися на дві фази, що не змішуються. Ось чому гелеутворення повинно відбуватися одночасно з формоутворенням кінцевого продукту (в нашому випадку – утворення кулястої форми капсули) [2]. Поліелектролітами є полімери зі вмістом іоногенної групи, які набувають зарядженої форми у водних розчинах внаслідок дисоціації функціональних груп. Тоді макромолекула знаходиться у стані поліаніону, навкруг якого є еквівалентна кількість протиіонів. До такого стану переходять полікислоти, утворюються поліаніони, полілуги – полікатиони, поліамфоліти, поліцвіттеріони та ін. [133, 134]. За ступенем дисоціації такі розчини розрізняють як сильні – іонізація не залежить від рН середо-

вища та слабкі, які здатні до часткової іонізації. Альгінати відносяться до слабких полікислот [137].

б) Технологічні системи, які містять однойменно заряджені поліелектроліти та характеризуються термодинамічною несумісністю. Сегрегативний тип поведінки таких систем призводить до фазового розшарування. Використання таких гідроколоїдів, розчинених у спільному розчиннику, у технологічному потоці є ускладненим. Але, за наявності у системі гелеутворення блокуючої заряд неорганічної солі або поліелектроліту, можливе гелеутворення з виникненням складної сітки гелю.

в) Системи з протилежно зарядженими електролітами через спільний розчинник. Такі системи є проблематичними для модифікації оболонки капсул, оскільки електростатичне притягання через середовище спільного розчинника призведе до утворення комплексів асоціативного типу з міцними зв'язками. Вони утворюються як результат кооперативних реакцій. Ці комплекси у літературних джерелах називають ПЕК (поліелектролітні комплекси) [136]. Виникнення міжланцюгового сольового зв'язку полегшує утворення наступних зв'язків між ланцюгами ПЕК, що може виникати за рахунок додавання третьої речовини – блокуючого поліелектроліту. Така комбінація електролітів у спільному розчиннику надає цим комплексам високої стабільності у технологічному потоці та під час зберігання структурованої продукції.

г) Розчин незаряджених полімерів. Але, в даному випадку, утворення такого розчину неможливо, оскільки ключовим та обов'язковим гелеутворювачем є іонотропні розчини AlgNa.

На сьогоднішній день перспективним є використання змішаного типу гелеутворення, який включає термотропну та іонотропну частину. Іонообмінна реакція між AlgNa та  $Ca^{2+}$  зумовлює миттєве утворення нової речовини –  $Alg_2Ca$  на поверхні кулястої форми під час екструдкування суміші. Проте якщо кількість  $Ca^{2+}$  недостатня для утворення міцної плівки, можливе руйнування кулястої форми за рахунок занадто слабкого гелю. Цю ситуацію можна скоригувати за рахунок термотропного гелеутворювача, який знаходиться у розчині-



ному стані та зі зниженням температури переходить у гель. Таким чином змішаний тип гелеутворення дозволяє сформувати оболонку кулястої форми за рахунок іотропної частини та перетворити її у міцний гель за рахунок дії сумісно термотропної та іотропної частин гелеутворення.

У попередніх дослідженнях [34, 99, 138] в технології ЛХСК для формування оболонки капсули було використано тільки іотропне гелеутворення. За цих умов, процес формування структури капсульованої продукції реалізовано за принципом компенсації хімічних потенціалів рецептурних складових технологічної системи, тобто  $\text{AlgNa}$  та  $\text{Ca}^{2+}$ . Але, це може стати вираженим недоліком нової продукції, наприклад – під час введення капсул у технологічне середовище, яке має виражений вплив на стійкість кооперативних зв'язків альгінат-кальцієвого оболонкоутворювача. Такими властивостями володіють сольові, водні розчини, технологічні системи з екстремальними значеннями рН або технологічні комбінації. Вираженим недоліком сполук є їх «жорстка» конструкція, яка у технологічному плані ідентифікується низькою пластичністю системи. У стані плівок, що характерно для оболонок капсульованої продукції, прикладені до них зовнішні деформації призводять до руйнування капсули. Такі випадки можуть виникати, наприклад, під час перемішування у в'язких середовищах типу м'ясних, рибних фаршів, деяких видів тіста, під час змішування з подрібненими текстурними, пореподібними інгредієнтами та ін. Результатом низької еластичності альгінат-кальцієвої оболонки є неможливість реагувати на зовнішнє навантаження внутрішньою високоеластичною деформацією або обмеженою течією в межах навантажень Гука [139]. З товарознавчо-технологічної точки зору такі недоліки капсули слід оцінювати як зниження якісних характеристик готового продукту. З іншого боку, висока термостійкість ЛХСК, як очевидна технологічна перевага перед капсулами з термотропними оболонками, в деяких технологічних та фізіологічних моментах потребує керованого коригування. Наприклад, під час організації проникнення у середину капсули травних ферментів, або під час забезпечення дифузійних потоків у або із інтактних технологічних середовищ [17].

З нейтральними полісахаридами (наприклад агаром) розчин AlgNa змішується у необмежених кількостях, а наявність значної кількості протионів ( $\text{Na}^+$ ) призводить до підвищення ентропії розчинення. Взаємне відштовхування аніонів у розчині сприяє утворенню гомогенної системи двох полісахаридів у розчиннику. Такі системи, залежно від ступеня нейтралізації, можуть розширюватися за схемою сегрегативного або асоціативного типу. Саме цьому є очевидним, що регулювання характеристиками оболонок капсул ЛХСК можливе шляхом використання різних за властивостями модифікаторів-полісахаридів, а також регулюванням властивостей розчинника.

Вибір структуроутворювача для модифікації альгінат-кальцієвих оболонок капсульованої продукції може базуватися на двох принципах. По-перше, структуроутворювач не повинен за різних умов змінювати свої функціональні властивості за результатами зміни основної та допоміжної сировини. Цей принцип використовується лише за умови, коли структуроутворювач є хімічно індиферентним, колоїдно стабільним та не реагує на основну сировину. З іншої точки зору, структуроутворювач залучає властивості інших рецептурних компонентів у процес структуроутворення до синергетичної взаємодії. Тим самим, він забезпечує необхідні структурно-механічні, органолептичні показники та стабільність під час зберігання. Другий шлях для створення капсульованої продукції на основі сумішей полісахаридів є більш перспективним, але потребує детального вибору структуроутворювачів із відповідними властивостями. Створення комплексного модифікованого гелю можливе за рахунок комбінування двох або більше гідроколоїдів, які здатні проявляти ефект синергізму. Практичне використання мають синергетичні комбінації нейтральних та кислих полісахаридів чи комбінація кислих полісахаридів та білків.

Висунуто робочу гіпотезу, що одночасне використання у спільному розчиннику декількох термотропних та/чи іоннотропних гелеутворювачів з водним розчином  $\text{CaCl}_2$  під час крапельного екструдуювання у водний розчин AlgNa дозволить реалізувати хімічні потенціали цих речовин. За умов виконання задекларованих технологічних параметрів можливе одержання капсульованої продукції.

кції, якій притаманні властивості гелеутворювачів, що використовуються. В даному випадку, міра термотропних та іонотропних властивостей ЛХС буде визначатися співвідношенням учасників процесу [140].

В рамках дисертаційної роботи, з метою вивчення можливості взаємодії гелеутворювачів у складі змішаного гелю, досліджено системи «AlgNa – агар –  $\text{Ca}^{2+}$  – вода» та «AlgNa – пектин низькоестерифікований –  $\text{Ca}^{2+}$  – вода». Зроблено припущення, що сітки гелю іонотропного  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , агару та пектину низькоестерифікованого утворюють каркасні структури продуктів та існують в ньому без хімічної взаємодії. В цілому властивості таких гелів проявляється як сума властивостей гелів, що утворені двома гелеутворювачами з перевагою показників домінуючого компонента. Враховуючи здатність AlgNa та пектину низькоестерифікованого взаємодіяти з іонами двовалентних металів, під час введення в систему  $\text{Ca}^{2+}$ , ймовірно, відбуватиметься конкуренція за можливість вступити у взаємодію з  $\text{Ca}^{2+}$  й утворити комплекс « $\text{Alg}_2\text{Ca}$ » та « $\text{Ca}^{2+}$  – низькоестерифікований пектин». Однак, виходячи з хімічного потенціалу речовин, AlgNa характеризується значно більш вираженою взаємодією з  $\text{Ca}^{2+}$ , ніж пектин. Внаслідок цього домінуюча кількість  $\text{Ca}^{2+}$  утворює хелатні сполуки саме з AlgNa. З цього виходить, що змішаний гель проявлятиме більшою мірою властивості гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , особливо щодо термостійкості. У системі «AlgNa – агар –  $\text{Ca}^{2+}$  – вода» взаємодіє з  $\text{Ca}^{2+}$  тільки AlgNa, так як сульфатований полісахарид не має вираженої властивості до комплексоутворення за присутності  $\text{Ca}^{2+}$  [141].

За рахунок різного механізму гелеутворення, проникність модифікованих оболонок капсул буде різною, що має суттєве фізіологічне значення, що визначає швидкість їх травлення та засвоєння.

Тому, дослідження шляхів модифікації властивостей альгінат-кальцієвої оболонки капсульованої продукції є актуальним завданням, оскільки дозволить суттєво розширити асортимент речовин, що можуть бути інкапсульовані, спростити технологічний процес виготовлення капсульованої продукції та одержати харчові продукти у вигляді нових готових до вживання форм.

Так, перспективним є розробка технології начинок та наповнювачів для кулінарних виробів, які споживають у гарячому стані. Відомо, що під час остигання страви та вироби змінюють свої властивості, зокрема набирають щільності та пружності, в той час як в гарячому стані мають ніжну м'яку консистенцію. Проведення експериментальних досліджень підтверджує, що використання AlgNa дозволяє розробити наповнювачі стійкі до термообробки. Структура капсульованого наповнювача характеризується вираженими пружними властивостями, але текстура залежить від температури [76].

Для утворення напівфабрикату кулястої форми у вигляді капсули можливе використання змішаного типу гелеутворення, який включає в собі зовнішній та внутрішній дифузійний тип. Дифузійне гелеутворення виникає під час потрапляння краплі у розчин, який містить  $\text{Ca}^{2+}$  з виникненням поверхневого шару псевдокапсули за рахунок сорбції  $\text{Ca}^{2+}$  поверхнею AlgNa. Внутрішнє гелеутворення можливе за рахунок поступового зшивання AlgNa  $\text{Ca}^{2+}$ , які вивільняються із малорозчинної солі, суспендованої у розчині AlgNa. Вагомим фактором у формуванні напівфабрикату правильної кулястої форми являється в'язкість суміші для капсулювання. На процес екструзії та формування структури вирішальну роль відіграє в'язкість суміші, яка продиктована в'язкістю AlgNa. Тому доцільно обирати альгінати з найменшою в'язкістю та корегувати процес екструзії необхідно за допомогою збільшення температури суміші. Змішаний тип гелеутворення дозволяє одержати капсульовані напівфабрикати з контрольованим вмістом кальцію та необхідними реологічними властивостями від міцних та крихких до м'яких та пластичних. Запропоновані технологічні підходи, що дозволяють одержати цілий ряд імітованих продуктів, у тому числі плодово-ягідних напівфабрикатів для солодких страв та ін. Перспективним напрямком є створення капсул на основі плодово-ягідних пюре, соків, що дозволить збагатити продукцію вітамінами, використовувати фрукти та ягоди у свіжому вигляді без застосування процесу заморожування. Використовувати такі напівфабрикати можна як наповнювачі або топінгі для морозива, глазурованих сирків, кремів, мусів, фруктових соусів та інших солодких страв [30].

Вченими ХДУХТ [7, 63] запропоновано використання змішаного іонотропно-термотропного гелеутворення на основі розчинів AlgNa, j-карагінану та агару в технології гранульованої харчової продукції, що дозволяє регулювати вологоутримуючу здатність (ВУЗ) утворених гелів за різних відсотків вологи навколишнього середовища. Результати дослідження свідчать, що додавання модифікуючої речовини вологоутримуючого агента до системи  $Alg_2Ca$  приводить до зменшення втрати вологи, відповідно до більш стійких фізико-хімічних, пружно-еластичних, органолептичних характеристик під час зберігання за різних температур. Група карагінанів (к-, j-, λ-карагігани) мають властивості термотропного та іонотропного гелеутворювача. Одночасне використання цих полісахаридів у загальному розчиннику AlgNa, у присутності  $Ca^{2+}$  дозволяє одержувати змішаний гель, у якому, ймовірно, існування двох просторових сіток гелів за рахунок водневих та хелатних зв'язків. Структура складного гелю організована шляхом змішаного гелеутворення (пружно-пластичні та технологічні властивості) будуть залежати від ступеню перетворення AlgNa в  $Alg_2Ca$ , концентраційним співвідношенням компонентів та температурою зовнішнього середовища, яка буде визначати рухомість водневих зв'язків. Вченими зроблено припущення, що сітки іонотропного та термотропного гелю утворюють каркасні структури продуктів та існують в ньому без хімічної взаємодії. В цілому, властивості таких гелів проявляються як сума властивостей двох гелеутворювачів, з перевагою показників домінуючого компонента. Враховуючи властивість AlgNa та j-карагінану вступати у реакцію комплексоутворення з іонами двовалентних металів, де, найімовірніше, буде відбуватися конкуренція за можливість вступати у взаємодію з  $Ca^{2+}$  й утворити комплекс  $Alg_2Ca$  та Ca-j-карагінан. Однак, виходячи з хімічного потенціалу речовин, поліелектроліт AlgNa характеризується значно більш вираженою взаємодією з  $Ca^{2+}$ , ніж j-карагінан, внаслідок чого домінуюча кількість кальцію утворює хелатні сполуки саме з альгінатом. З цього виходить, що змішаний гель проявлятиме більше властивості  $Alg_2Ca$ , особливо в області термостійкості [134].

В умовах економічної дестабілізації в Україні сьогодні відсутній визначений системний підхід щодо розробки єдиного вектору розвитку харчової промисловості. Плодоовочева консервна промисловість не є винятком. Споживчий інтерес до використання оливок консервованих в останні роки значно збільшився. Вони активно використовуються у вигляді самостійного продукту, так і у складі харчової та кулінарної продукції. Асортимент представлено переважно оливками консервованими з кісточкою, без неї, в'ялені, танепада з різними смаковими характеристиками та начинками [140–148].

Маркетингові дослідження показали, що оливкова сировина на 100,0 % є імпортованою в Україну, що робить даний продукт вартісним та знижує об'єми його споживання. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок розробки та впровадження технології структурування цієї сировини. Упровадження технології екструзійного формування за принципом [36] у середовищі іонотропного полісахариду AlgNa та зовнішнього дифузійного гелеутворення [47] системи дозволяє створити оливку структуровану, яка відтворює органолептичні та реологічні властивості оливки консервованої.

Актуальність такої розробки полягає у запровадженні високоефективних безвідходних технологій переробки оливкової сировини, створенні високотехнологічної оливкової продукції та задовільненні постійно зростаючого попиту на даний вид продукції за показниками «якість» та «вартість». В основу інноваційного задуму покладено розробку способу переробки оливкової сировини за її комплексної переробки у термостабільні альгінові капсули, одні з яких утримують внутрішній уміст на основі її олій, а інші – на основі вичавок, пульпи, або мезги після видалення олії. Передумовою є те, що у науково-технічній літературі та патентних оглядах не виявлено інформації про комплексну переробку оливкової сировини, яка б дозволила ефективно комплексно переробляти м'якоть плодів (пульпу) та вичавки (мезгу) після видалення олії та олію у харчову продукцію з прогнозованим вмістом цих компонентів, та яка б дозволила знизити експлуатаційні та транспортні витрати за рахунок видалення з транспортного потоку малоцінних у харчовому плані компонентів плодів - кісточок

та малоцінних частин. Крім того, не виявлено ефективних способів комплексної переробки нестандартної та сировини зі зниженою товарною цінністю – недозрілої, перезрілої, битої, м'якої у продукти з високою харчовою цінністю. Використання даного способу дозволить суттєво підвищити ефективність переробки та створити нові за властивостями та стандартизовані за вмістом компонентів харчову продукцію.

### **Висновки за розділом 1**

1. Теоретично встановлено, що капсулювання є актуальним напрямом харчової індустрії на світовому рівні, тому що виникнення нових фізичних форм технологічного продукту є передумовою розвитку технологій, процесів та обладнання в харчовій, медичній, фармацевтичній, біохімічній, біотехнологічних галузях.

2. Визначено сучасні тенденції в області структурування харчових систем методом іонотропного гелеутворення, у тому числі для різнополярних систем та встановлено, що технологій одержання ЛХС у капсульованому вигляді у термостійких оболонках у світі не має.

3. Досліджено існуючі принципи, способи та методи екструзійного формування харчових систем, у тому числі гідрофобного походження.

4. Аналітично досліджено способи переробки ЛХС у структуровані харчові форми, встановлено шляхи розвитку даного напрямку в сучасному тренді харчової індустрії.

## **РОЗДІЛ 2**

### **ОРГАНІЗАЦІЯ, ПРЕДМЕТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

У даному розділі наведено програму аналітичних, теоретичних та експериментальних робіт з обґрунтування та розробки технологій ЛХСК, визначено предмети та матеріали дослідження, методи дослідження органолептичних, фізико-хімічних, структурно-механічних, функціонально-технологічних, мікробіологічних та ін. показників предметів дослідження, а також планування експерименту та його математичну обробку, описано процесово-технологічне забезпечення капсулоутворення

## **2.1 Методологія дослідження, план теоретичних та аналітичних досліджень**

Відповідно до мети та завдань наукового дослідження розроблено програму теоретичних та експериментальних робіт, яку спрямовано на наукове обґрунтування та розробку технологій ЛХСК, одержаних зовнішнім гелеутворенням шляхом екструзійного формування (рис. 2.1).

Згідно програми дослідження визначення наукових та практичних передумов капсулювання різнополярних речовин, з одержанням ЛХС в оболонці на основі іонотропних та термотропних полісахаридів.

Заплановані експериментальні дослідження спрямовані на наукове обґрунтування технологічних параметрів одержання ЛХСК, розробки та обґрунтування технологій, визначення основних показників якості та безпечності нової продукції, її зміни під впливом технологічних факторів та під час зберігання, а також розробку конструкторських та апаратурних рішень щодо практичної реалізації наукового напрямку. Одержані результати є підставою для комплексного впровадження розроблених технологій у закладах ресторанного господарства та підприємствах харчової промисловості.





Рис. 2.1. Програма теоретичних та експериментальних робіт

## 2.2 Предмети та матеріали дослідження

Предметом дослідження дисертаційної роботи є: ЛХС, олії та жири рідкі (соняшникова, оливкова, риб'ячий жир, соняшникова й оливкова вітамінізовані та ін.), жири тугоплавкі, суміші олій та жирів; оцет (бальзамічний, винний, яблуневий); водні розчини AlgNa, полісахаридів (пектини, агар, модифіковані крохмалі); гелі та модельні системи на основі Alg<sub>2</sub>Ca, Alg<sub>2</sub>Ca та агару, чи пектину, чи гліцерину; двошарове прийомне середовище, яке складається з верхнього олійного шару та нижнього шару – водно-спиртового розчину Ca<sup>2+</sup>; напівфабрикати ЛХСК; пюре оливки та структуровані системи на його основі; ЛХСК в олійних, оцтових середовищах; салатні заправки, дресінги з використанням ЛХСК; хлібобулочні та кондитерські вироби, кулінарна продукція із використанням ЛХСК; оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої. Характеристику предметів дослідження наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

### Характеристика предметів дослідження

Назва предмету дослідження	Найменування підприємства-виробника, його місцезнаходження	Нормативна документація, що регламентує показники якості та безпеки
1	2	3
Олія соняшникова рафінована, дезодорована	ПрАТ «Дніпропетровський олійно-екстракційний завод», Україна	Посвідчення про якість, сертифікат відповідності, ДСТУ 4492 [149]
Олія оливкова «Extra Virgin»	ТМ «Nuestro Padre Jesus», Іспанія	Сертифікат якості, регламент ЕС 834/07 [150]
Олія кокосова рафінована дезодорована	ТОВ «Дельта Відмар СНД», Україна	Посвідчення про якість ДСТУ 4562 [151]
Риб'ячий жир	«Lysih.f.», Ісландія	Сертифікат якості
Оливка зелена столова	«Maestro de Oliva», Іспанія	Сертифікат якості регламент ЕС 834/07 [150]
Оцет бальзамічний винний Gran Reserva	ТМ «Gran Reserva», Іспанія	Сертифікат якості, регламент ЕС 661/2012 [152]
Альгінат натрію (AlgNa марки Algogel, FD-157, FD-127)	Фірма «Danisco», Данія; фірма «Cargill», США	Сертифікат якості

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Кальцій хлористий (CaCl <sub>2</sub> )	АТ «Макрохім», Нідерланди	Сертифікат якості
Вода питна	–	ДСТУ 7525 [153]
Вода дистильована	–	ГОСТ 6709 [154]
Сіль кухонна	ТОВ «Руссоль», Україна	ДСТУ 3583 [155]
Цукор білий	ПрАТ «ПК Поділля», Україна	ДСТУ 4623 [156]
Спирт етиловий ректифікований 96,0%	ГП «Артемівський спиртовий завод», Україна	ДСТУ 4221 [157]
Агар	«Danisco», Данія	Сертифікат якості
Пектин низькоетерифікований	«Danisco», Данія	Сертифікат якості
Перець чілі сухий подрібнений	«Zhecheng County Chunhai Chilli Foodstuff Co., Ltd», КНР	ДСТУ ISO 972 [158]
Барвники натуральні	«Naturex Ltd.», Великобританія	Сертифікат аналізу

Розчини AlgNa одержували шляхом диспергування наважки AlgNa у воді питній підготовленій за температури  $t = 18...20^{\circ}\text{C}$  з подальшою експозицією протягом  $\tau = (3...4) \times 60^2\text{c}$  за  $t = 2...6^{\circ}\text{C}$ . Як джерело Ca<sup>2+</sup> використовували сіль CaCl<sub>2</sub>, розрахункову кількість якої розчиняли у воді питній підготовленій протягом  $\tau = (8...10) \times 60\text{c}$  за  $t = 18...20^{\circ}\text{C}$ . Одержаний розчин фільтрували.

Гелі Alg<sub>2</sub>Ca одержували шляхом введення до розчинів AlgNa розрахункової кількості розчину CaCl<sub>2</sub> з відомою кількістю Ca<sup>2+</sup> за постійного перемішування. Внаслідок іонотропного гелеутворення та дифузійних процесів відповідно одержували гелі Alg<sub>2</sub>Ca з різними структурно-механічними, фізико-хімічними та текстурними показниками. Одержання змішаних гелів на основі Alg<sub>2</sub>Ca та інших полісахаридів здійснювали шляхом перемішування розчину AlgNa з розчином полісахариду та наступним відповідним структуроутворенням одержаної системи.

Олію соняшникову, оливкову, які підлягали капсулюванню, проціджували. Одержання вітамінізованих олійних сумішей здійснювали шляхом екстракції подрібненого перцю чілі протягом  $\tau = (24...32) \times 60^2\text{c}$  за  $t = 18...20^{\circ}\text{C}$ . Оде-

ржану суміш проціджували. Тугоплавкі олії та жири, які підлягали капсулюванню, попередньо піддавали темперуванню за температури плавлення відповідної оліє-жирової сировини з наступною подачею рідкої суміші до екструзійної установки.

ЛХСК у лабораторних умовах одержували на експериментальній екструзійній установці, у промислових умовах – на капсуляторному пристрої УЖК – 20 Ж та інших видах машин для капсулювання за умов повільного переміщення рецептурної суміші під тиском з формуванням продукту кулястої форми (рис. 2.6...2.8). Зразки борошняних, кондитерських виробів одержували відповідно до розроблених рецептур.

Експериментальні дослідження проводилися протягом 2010...2018 рр. на базі науково-дослідних лабораторій кафедр технології харчування, технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів, енергетики і фізики, загальної та харчової хімії ХДУХТ, ТОВ «КАПСУЛАР», м. Дергачі, Україна, ТОВ «Тайфун-2000», м Харків, Україна.

## **2.3 Методи дослідження**

### **2.3.1 Методи відбору проб, визначення хімічного, фракційного складу сировини, напівфабрикатів та готової продукції**

Відбір проб та підготовку зразків для дослідження здійснювали за ГОСТ 5904 [159], ГОСТ 8756.21 [160], ГОСТ 26668 [161], ГОСТ 26669 [162], ГОСТ 26929 [163], ГОСТ 32190 [164], ДСТУ 4306 [165], ДСТУ 4492 [166], ДСТУ 7125 [167], ДСТУ ISO 948 [168], ДСТУ ISO 5667-2 [169], ДСТУ ISO 212 [170], ДСТУ ISO 5555 [171], ДСТУ ISO 19.458 [172]. Інша сировина та матеріали, які використовували під час проведення дослідження, за показниками якості та безпеки відповідали вимогам нормативної документації та сертифікатам відповідності фірм-виробників, що дозволені до використання МОЗ та Держпродспоживслужбою України у харчовій продукції.

Дослідження загального хімічного складу ЛХСК, харчової та кулінарної продукції з їх використанням здійснювали за традиційними методиками: масову частку вологи – за ГОСТ 11812 [173], кислотність – за ГОСТ 5898 [174], масову частку загальних вуглеводів – поляриметричним методом [175], масову частку мінеральних речовин – спаленням наважки з подальшою мінералізацією [176] за температури 800°C, масову частку сухих речовин – за ГОСТ 5900 [177], ГОСТ 5903 [178], ГОСТ 28561 [179] шляхом висушування дослідного зразка у сушільній шафі за температури 105±3°C до постійної маси.

Масову частку жиру визначали за методом Сокслета, який передбачає виділення жиру із продукту за рахунок екстракції жиру органічним розчинником з наступним випаровуванням розчинника й визначенні маси екстрагованого жиру або знежиреного залишку. Потім проводили обчислювання масової частки жиру у відсотках. Для оцінки якісного складу та кількісного співвідношення окремих класів ліпідів у дослідних зразках використовували метод тонкошарової хроматографії, який дозволяє зробити об'єктивну оцінку змін, що відбуваються в системі під час зберігання та у складі харчової, кулінарної продукції під впливом збурюючих чинників. Спосіб ґрунтується на розподіленні фракцій ліпідів оліє-жирового зразку у тонкому шарі силікагелю. Розподіл окремих фракцій ліпідів зразків проводили з використанням готових пластин з силікагелем «Silufol» UW-254 «Kavalier» та системи розчинників (петролейний ефір : диетиловий ефір : крижана оцтова кислота, за співвідношення їх об'ємів як 80:17:3 – для неполярних ліпідів). Проби ліпідів у вигляді 3,0 % розчину в хлороформі наносили на стартову лінію пластинок мікрошприцем. Розділення проводили висхідним способом в камері, що насичена розчинниками. Після підйому фронту розчинника до верхнього краю пластини її виймали та залишали під тягою до повного зникнення запаху розчинника. Після чого пластини проявляли, занурюючи в камеру, що насичена парами йоду, внаслідок чого утворювалися сині плями розділених ліпідів на жовтому фоні.

Для ідентифікації окремих фракцій використовувались значення  $R_f$  стандартів для стеролів, моногліцеридів та вільних жирних кислот. Кількісне

співвідношення фракцій ( $X$ ) проводили ваговим методом [180, 181] за формулою:

$$X = \frac{S_i}{\sum S_i} \times 100 \%, \quad (2.1)$$

де  $S_i$  – маса окремої фракції, г;  $\sum S_i$  – сума всіх фракцій, г.

Визначення масової частки хлориду натрію здійснювали аргенометричним методом, мінеральний склад зольного залишку ЛХСК та харчової продукції на їх основі визначали на полум'яному спектрофотометрі ПАЖ-3 з відповідними світлофільтрами [182], масову частку золи – за ГОСТ 25555.4 [183] шляхом спалювання дослідного зразка у муфельній печі за температури  $t = 400 \dots 450^\circ\text{C}$ .

Вміст вітамінів А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, D, Е, РР, фолієвої та пантотенової кислот визначали за загальноприйнятими методиками [184-189]. Визначення концентрації β-каротину проводили спектрофотометричним методом шляхом екстракції вітаміну ацетон-гексаном з дослідного зразка та наступним визначенням оптичної густини за довжини хвилі 490 нм та проведенням відповідних розрахунків [190-192]. Калібровочну криву для визначення ефективності екстракції будували шляхом розведення β-каротину фірми-виробника «Naturex Ltd.» у вазелиновій олії.

Дослідження фракційного складу ЛХСК та оливки структурованої проводили за методом King F.G. [193].

Значення рН харчових систем вимірювали за стандартною методикою – ДСТУ 6045 [194], шляхом занурення електродів рН-метра іономера у суміш, підготовлену за температури  $t = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Результат одержували шляхом середньоарифметичного обчислювання двох паралельних вимірювань за  $P = 0,05$ . Активну кислотність розчинів Al<sub>3</sub>Na визначали за допомогою іонометра [195].

### **2.3.2 Методи визначення фізико-хімічних та функціонально-технологічних показників модельних систем, напівфабрикатів та готової продукції**

Кислотне число (КЧ) дослідних зразків визначали за допомогою реакції нейтралізації вільних жирних кислот розчином лугу в спиртово-ефірному розчині жиру за ДСТУ 4350 [196] та виражали кількістю міліграм гідроксиду калію (КОН), що пішло на нейтралізацію вільних жирних кислот, які містяться в 1,0 г жиру. Сутність методу полягає у розчиненні необхідної маси олії в суміші розчинників із подальшим титруванням існуючих вільних жирних кислот водним або спиртовим розчином КОН чи NaOH. Показник КЧ олії ( $X_1$ ), мг КОН/г, визначали за формулою 2.2:

$$X_1 = \frac{5,611 \times K \times V}{m}, \quad (2.2)$$

де 5,611 – коефіцієнт, який дорівнює значенню розрахункової маси КОН в 1 мл 0,1 н. розчину КОН;  $K$  – поправка до титру 0,1н. розчину КОН;  $V$  – об'єм 0,1 н. КОН, витраченого на титрування, мл;  $m$  – маса олії соняшникової, г.

Капсули заливали хлороформом, після чого проводили екстракцію. КЧ визначали титруванням розчину наважки жиру 0,1N розчином КОН у 96% етанолі, перекисне число (ПЧ) – титруванням розчину наважки жиру 0,01N розчином гіпосульфиту натрію.

Визначення числа омилення (ЧО) зразків проводили згідно [197, 198]. Тригліцеридний склад (ТС) досліджували за ДСТУ 5508 [199], який полягає у проведенні прямого газохроматографічного аналізу тригліцеридів ЛХСК.

Вміст гідропероксидів в зразках характеризували ПЧ, визначення якого проводили згідно ДСТУ ISO 3960-2001 шляхом розчинення зразків в суміші розчинників з подальшим титруванням існуючих гідропероксидів розчином тіосульфату натрію. На підставі одержаних результатів та визначення ПЧ, ммоль/кг, визначали за формулою 2.3:

$$X = \frac{(V - V_0) \times 1000 \times C}{m}, \quad (2.3)$$

де  $V$  – об’єм розчину тіосульфату натрію в основному досліді,  $\text{см}^3$ ;  $V_0$  – об’єм розчину тіосульфату натрію в контрольному досліді,  $\text{см}^3$ ;  $C$  – концентрація розчину тіосульфату натрію,  $\text{моль/дм}^3$ ;  $m$  – маса дослідної проби,  $\text{г}$  [200]

Для ідентифікації внутрішніх змін під впливом зовнішніх чинників та визначення якості ЛХСК та готової продукції з їх використанням проводили ІЧ-спектроскопію [201]. Модельні системи одержували шляхом руйнування капсули з подальшим висушуванням до сталої маси. Реєстрацію ІЧ-спектрів зразків проводили на спектрометрі «Specord – 75 UR» в області хвиль 2500...20000 нм, методом роздавленої краплі, для чого зразки поміщали між вікнами з броміду калію.

Крайовий кут змочування краплин оліє-жирової сировини платформи гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  в межах достехіометричного, стехіометричного та надстехіометричного стану досліджували шляхом визначення форми краплин під час їх проектування на екран та фотографування (рис. 2.2). Фотографування форми краплин (5...10 шт.) проводили за двома сторонами проекції.

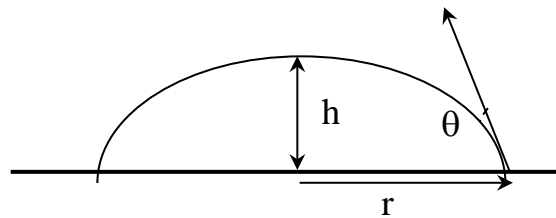


Рис. 2.2. Контур краплин олії та води дистильованої

Оскільки крайові кути змочування краплин олії гострі ( $< 90^\circ$ ), то для їх визначення застосовували наступну формулу:

$$\cos \theta = \frac{r^2 - h^2}{r^2 + h^2}, \quad (2.4)$$

де  $\theta$  – крайовий кут змочування,  $^\circ$ ;  $h$  – висота краплини,  $\text{м}$ ;  $r$  – радіус кола основи краплини.



Для визначення кулеподібності капсул визначали коефіцієнт їх форми за відношенням їх максимального діаметра ( $d_{max}$ ) до мінімального ( $d_{min}$ ). Наближеними до сфери вважали капсули, коефіцієнт форми діаметрів яких складав 1,0.

Масову частку оболонки у складі ЛХСК визначали ваговим способом.

Дослідження міжфазового натягу ( $\sigma$ , мН/м) здійснювали сталагмометричним методом за об'ємом краплі залежно від концентрації кожного компоненту рецептурного складу за діапазону температури  $t = 18 \dots 40^\circ\text{C}$ , що впливає на фізико-хімічні властивості двошарового прийомного середовища. Перед вимірюванням проведено калібрування приладу, яке включає в себе визначення константи приладу по рідинам з відомим міжфазовим натягом.

$$K = \frac{\sigma_{ц/в}}{V \times (\rho_{в} - \rho_{ц})} \quad (2.5)$$

де  $\sigma_{ц/в}$  – міжфазовий натяг (циклогексан/вода) 50,9 мН/м;  $V$  – об'єм однієї краплі;  $\rho_{в}$  – густина води дистильованої за температури  $20^\circ\text{C}$ ;  $\rho_{ц}$  – густина циклогексану за температури  $20^\circ\text{C}$  [202].

Для проведення вимірювання готували розчини за різної концентрації дослідної системи. Мікробюретку, з'єднувальний шланг і капіляр заповнювали дослідною рідиною меншою за густиною (олія). Склянку заповнювали речовиною більшою за густиною (водні розчини) на  $3/4$  об'єму, стежачи за тим, щоб вода не потрапляла в капіляр. Відкривали кран мікробюретки і вимірювали об'єм 10 крапель дослідної рідини. Фізичний механізм утворення краплі та її відривання від капіляра пояснюється мимовільним накопиченням на границі розділу фаз молекул поверхнево-активної речовини, що призводить до зниження міжфазового натягу. Це пояснюється тим, що на межі розділу фаз молекули поверхнево-активної речовини, яка має дифільну будову, завжди орієнтуються так, щоб їх взаємодія з двома середовищами призводила до максимального виділення енергії – полярні групи залишаються в полярній рідині, а неполярний радикал звертається до неполярної фази. Міжфазовий натяг двох рідин визначали за формулою:

$$\sigma = K \times V \times (\rho_1 - \rho_2) \quad (2.6)$$

де  $\sigma$  – міжфазовий натяг системи, що досліджувався, мН/м;  $V$  – об'єм однієї краплі;  $\rho_1$  – густина водних розчинів за певної температури;  $\rho_2$  – густина олії соняшникової за певної температури вимірювання.

Для вивчення впливу олійної фази на властивості водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$  розроблено експериментальну установку (рис. 2.3).

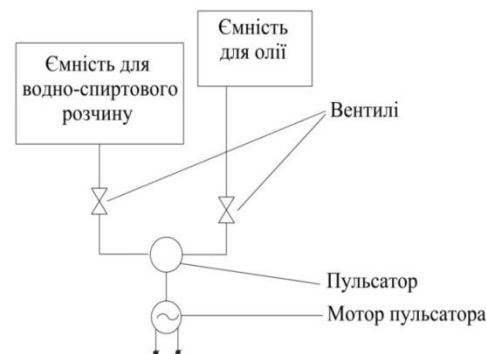


Рис. 2.3. Експериментальна установка для вивчення впливу олійної фази на властивості водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$

Принцип дії експериментальної установки полягає у наступному: за відкритих вентилів оліє-жирова сировина у крапельному режимі знизу-вверх подається у ємність із водно-спиртовим розчином  $\text{Ca}^{2+}$ , при цьому піднімання оліє-жирової сировини імітує її відрив від поверхні капсул під час занурення.

Коефіцієнт мутності водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$  визначали на колориметрі фотоелектричному концентраційному КФК-2 [203] шляхом вимірювання відношення повного світлового потоку ( $F_0^\lambda$ ) та світлового потоку, що пройшов через середовище ( $F^\lambda$ ). Коефіцієнт мутності ( $T$ ) розраховували за формулою:

$$T = \frac{F^\lambda}{F_0^\lambda} \cdot 100\%. \quad (2.7)$$

Кількість дегідратованої вологи з оболонок капсул визначали ваговим методом, а саме зважували суміш для капсулювання та сформовані капсули; за ві-

дношенням різниці визначених мас до маси капсул визначали приріст маси капсул у відсотках. Кількість відділеної вологи з капсул визначали після їх витримання протягом заданого часу [204].

Вміст сорбційної вологи у харчових структурованих системах на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та змішаних гелях визначали за ізотермами сорбції та відносної вологості повітря в інтервалі 0...100 % методом зволоження дослідних зразків в ексикаторах. Для забезпечення необхідної вологості повітря в ексикатори наливали розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  заданої концентрації. Кожну добу бюкси зважували, фіксуючи зміну маси, доки маса дослідних зразків не ставала постійною. Сталість маси зразка свідчила про досягнення рівноважного значення вологості [169].

Накопичення сухих речовин у водно-спиртовому розчині  $\text{Ca}^{2+}$  проводили за умов гідромодулю 1 : 4, що є найбільш зручним з погляду проведення експерименту та використання рефрактометричного методу дослідження сухих речовин [205].

Обґрунтування кінетичних процесів формування капсульованої продукції проводили шляхом проведення теоретичних та аналітичних досліджень. Для цього використовували методи математичного та статистичного моделювання, закони фізики (закони збереження енергії, Архімеда, гравітації, числа Бонда та Фруда, критерії Фішера) та хімії (дифузія речовин, іонообмін) з наступним екстраполюванням одержаних даних на широкий діапазон дослідних параметрів.

Фотографічне зображення утворення квазістабільної капсули одержано за рахунок мікрофотографування процесу краплеутворення трасологічним методом. Час між кадрами складав 0,12 с.

Дослідження показників намокаємості, вмісту повітря борошняних кондитерських виробів з пінною структурою із використанням ЛХСК проводились за методиками [206, 207].

### 2.3.3 Методи визначення структурно-механічних властивостей модельних систем, напівфабрикатів та готової продукції

Структурно-механічні властивості гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  (модуль миттєвої пружності ( $E_{np} \times 10^{-3}$ , Па), модуль еластичності ( $E_{el} \times 10^{-3}$ , Па), модуль піддатливості ( $\varepsilon \times 10^{-3}$ , Па) визначали за допомогою модифікованих вагів Каргіна-Соголової шляхом вивчення деформації стиснення структурованих систем під дією пуансона за сталого напруження [208]. Математико-статистичну обробку результатів реологічних досліджень здійснювали автоматично за допомогою програмного пакета [209, 210].

В'язкість розчинів  $\text{AlgNa}$  та систем, що підлягали капсулюванню, вивчали на віскозиметрі сталих напруг ВПН-0,2М [211].

Механічну міцність гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та змішаних гелів визначали на лабораторному пенетрометрі Labor за величиною penetрації шляхом визначення опіру дослідних зразків проникненню в них інденторів з відомою масою та розміром. При цьому визначали глибину занурення за постійним зусиллям penetрації, значення якої приймали за міцність зразків, що досліджувалися [212, 213].

Міцність оболонок ЛХСК досліджували в умовах одноосного стиснення на модифікованих вагах Каргіна-Соголової шляхом вивчення зусилля руйнування ( $3P$ ).  $3P$  визначали як значення дії граничного напруження на зразок, яке спричиняє роздавлювання зразка. Для цього дослідний зразок поміщали на платформу, положення якої регулювали до приведення зразка та пуансону у дотичний стан, розважували ваги та фіксували граничне значення маси вантажу, що призводить до роздавлювання зразка.  $3P$  визначали за формулою:

$$3P = \frac{4 \cdot m \cdot g}{\pi \cdot d^2}, \quad (2.8)$$

де  $3P$  – зусилля руйнування, Па;  $m$  – маса вантажу, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{m/s}^2$ ;  $d$  – діаметр зразка, м.

Дослідження масової частки вологи в модельних структурованих системах та ЛХСК визначали на приладі «Kett Electric Laboratory», заснований на залежності параметрів, які характеризують поведінку вологих матеріалів в електричних полях, від вологості [214]. Вологоутримуючу здатність (ВУЗ) харчових структурованих систем визначали за методикою [215], яка полягає у висушуванні заданої кількості дослідного зразка до постійної маси та наступним проведенням відповідних розрахунків.

Дослідження частки зворотної деформації до загальної, що характеризує пластичність зразків пюре на основі оливки, проводили у режимі плоскопаралельного зсуву (рис. 2.4).

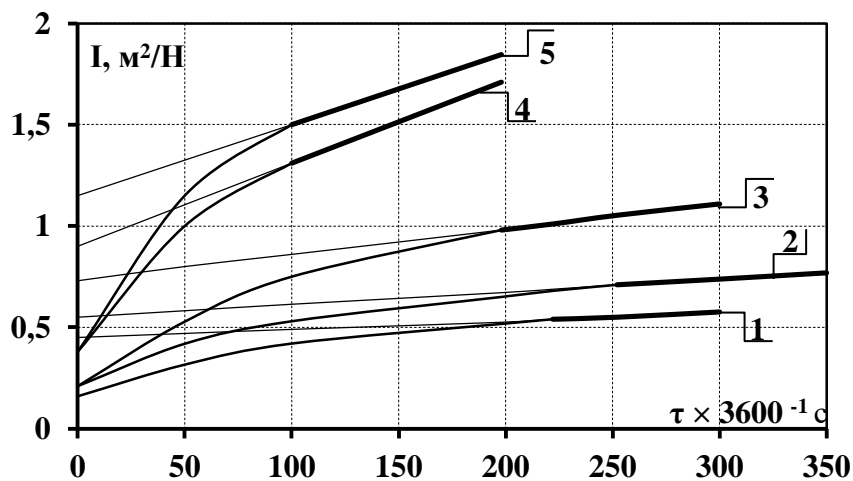


Рис. 2.4. Динаміка піддатливості пюре на основі оливки у режимі пласто-паралельного зсуву ( $\tau = 30,0 \text{ Н/м}^2$ ;  $t = 18 \pm 2^\circ\text{C}$ ) за вмісту сухих речовин, %: 1, 2, 3, 4, 5 – 25,1; 23,0; 18,7; 16,9; 16,3 відповідно

Реологічні дослідження гелів проводилися шляхом розрізання зразків на текстурометрі ТА.ХТ2 із використанням у якості робочої насадки гільйотини з лезами у формі обраного у пластині прямого кута, які одночасно розрізають зразок з двох боків назустріч одне одному, що імітує розкушування (розжовування) за заданої напруги. Визначення механічної міцності оболонок капсул на основі термотропно-іотропних гелів проводили згідно методики [216]. Для цього, задану кількість капсул поміщали на металевий столик приладу та термостатували протягом 10...15 хв. за закритої кришки камери приладу. Після цього,

відкривши кришку камери та кран, який з'єднує прилад з вакуумний насосом, капсули подавали у приймальну воронку діафрагми приладу. Внаслідок перекриття отвору діафрагми, капсули у ресивері зі заданою швидкістю, яка зумовлюється довжиною та діаметром калібрувального капіляру, створювали розряд. Під час досягнення визначеного перепаду тиску, який пропорційний механічній міцності оболонок капсул, гелева система продавлювалася через отвір діафрагми. Різниця між атмосферним тиском та тиском у ресивері візуально спостерігалася на манометрі та реєструвалася самописцем у вигляді піків. Дослідження показників кришкуватості, стискуваності, пористості борошняних кондитерських виробів із використанням ЛХСК проводились за методиками [217, 218].

#### **2.3.4 Методи визначення показників безпечності напівфабрикатів та готової продукції**

Відбір проб для проведення мікробіологічних аналізів здійснювали згідно ГОСТ 26668 [161], підготовку зразків для мікробіологічного дослідження здійснювали згідно ГОСТ 26669 [162]. Мікробіологічні показники ЛХСК визначали: МАФAM – за ГОСТ 10444.15 [219], бактерії групи кишкової палички – за ГОСТ 30518 [220], *Staphylococcus aureus* – за ГОСТ 10444.2 [221], патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду *Salmonella* – за ДСТУ ISO 6579:2006 [222], дріжджі та плісняві гриби – за ГОСТ 10444.12 [223, 224].

Підготовку проб для визначення токсичних елементів здійснювали за ГОСТ 26629 [225]. Визначення токсичних елементів та солей важких металів у складі нової продукції здійснювали за ГОСТ 26927, ГОСТ 26928, ГОСТ 26930, ГОСТ 26931, ГОСТ 26932, ГОСТ 26933, ГОСТ 26934, ГОСТ 30178 [226-236].

Підготовку проб для визначення вмісту радіологічних речовин ( $^{137}\text{Cs}$  й  $^{90}\text{Sr}$ ) та безпосереднє дослідження їх вмісту у складі нової продукції здійснювали за методикою [237]. Визначення масової частки сорбінової та бензойної кислоти здійснювали за ГОСТ 26181 [238].

### **2.3.5 Методи визначення органолептичних та технологічних показників напівфабрикатів та готової продукції. Методи визначення економічної та комерційної ефективності наукового дослідження**

Органолептичну оцінку якості ЛХСК, харчової та кулінарної продукції з їх використанням здійснювали аналітичними методами [239-241], методами профільного аналізу [242, 243]. Метод профільного аналізу полягає у використанні набору описових термінів для оцінювання окремих органолептичних показників продукту (запаху, консистенції, смаку тощо) за схемою: визначення характерних ознак показників, ступеня їх інтенсивності, порядку виявлення.

Розробку рецептури, технологій ЛХСК, харчової та кулінарної продукції, борошняних виробів з їх використанням здійснювали відповідно до методичних рекомендацій [244, 245], а також керуючись ДСТУ 3946 «Продукція харчова. Основні положення» [246].

Для об'єктивного судження про ступінь достовірності одержаних результатів проводили математичну обробку результатів дослідження [247]. Оцінку похибки експериментальних даних здійснювали згідно методів [248, 249]. При зіставленні результатів експериментальних даних враховували стандартні помилки дослідів (коефіцієнти варіації), що дозволило приблизити ступінь вірогідності одержаних даних до максимуму. При цьому проводили не менше трьох паралельних дослідів, з яких знаходили середнє арифметичне і середнє квадратичне відхилення.

Надійність отриманих результатів визначали шляхом розрахунку коефіцієнтів Стьюдента ( $t_{ST}$ ) для прийнятого рівня залежності  $P = 0,05$  і відповідного  $(n-1)$  числа ступенів свободи [249].

Економічну та комерційну ефективність впровадження результатів дослідження здійснювали за діючими методиками розрахунків [250-263].

## 2.4 Процесове-технологічне забезпечення капсулювання в технології одержання ЛХСК

Згідно з технічним задумом, доза-крапля формується у середовищі повітря, яка через повітря подається у формуюче середовище, у якому завершується процес формування капсули. Переріз екструзійної головки пристрою для забезпечення формування дози-краплі наведено на рис. 2.5, принципи дії якої, покладено в конструкцію екструзійної головки для капсулювання та можливості регулювання фізичної симетрії оболонкоутворювача та інкапсулянту [264–266].

Опусканням або підйманням жикльора регулюється товщина горизонтальних частин оболонки квазістабільної капсули. У нижній частині головки розташовано конфузур **2** з випускним отвором **3**, при чому конфузур **2** виконано з можливістю знімання з нижньої частини корпусу **1**. Патрубок подання внутрішнього умісту – це **4**, який з однієї своєї сторони з'єднано з корпусом **1**, а з іншої – з проміжною розгерметизованною ємністю для внутрішнього умісту **5**, з якої внутрішній уміст надходить у патрубок подання внутрішнього умісту **4**.

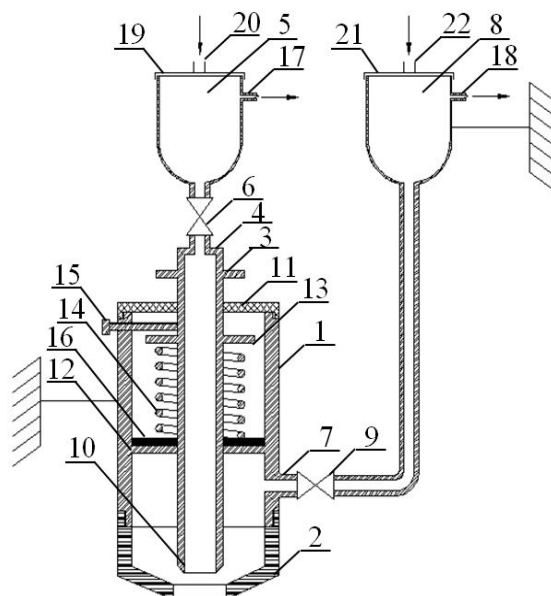


Рис. 2.5. Переріз екструзійної головки для капсулювання ЛХС за принципом «труба в трубі»



де: 1 – нижній корпус; 2 – конфузор; 3 – випускний отвір; 4 – патрубок подання внутрішнього умісту; 5 – ємність для внутрішнього умісту; 6 – регулятор подання внутрішнього жирового умісту; 7 – патрубок подання оболонкоутворювача; 8 – ємність для оболонкоутворювача; 9 – регулятор подання оболонкоутворювача; 10 – жиклер; 11 – капскас; 12 – нижній упор; 13 – верхній упор; 14 – пружина; 15 – засіб фіксації; 16 – ущільнювальна прокладка; 17 – боковий відвід внутрішнього умісту; 18 – боковий відвід оболонкоутворювача; 19 – кришка ємності внутрішнього умісту; 20 – патрубок; 21 – кришка ємності оболонкоутворювача; 22 – патрубок; 23 – боковий відступ патрубку

Патрубок підведення оболонкоутворювача **7** з'єднано з проміжною розгерметизованою ємністю для оболонкоутворювача **8**. Патрубок підведення оболонкоутворювача **7** містить регулятор подання оболонкоутворювача **9**. Жиклер **10** розташовано співвісно випускному отвору **3** та встановлено над ним, з можливістю регулювання відстані між жиклером **10** та випускним отвором **3**. Таке конструктивне рішення є особливістю екструзійної головки і виходить із фізичних законів, оскільки різницю густини ( $\rho$ ) інкапсулянту та гелеутворювача, що призводить до утворення «однобокої» капсули, можливо компенсувати позицією жиклера **10** до отвору **3**. Також жиклер **10** встановлено з можливістю знімання з патрубку подання внутрішнього умісту **4**. У верхній частині корпусу **1** розташована знімна кришка **11**. У порожнині корпусу **1** вище патрубку підведення оболонкоутворювача **7** розташовано: перший нижній упор **12**, який примикає до внутрішньої поверхні корпусу **1**; другий верхній упор **13**, який примикає до зовнішньої поверхні патрубку подання внутрішнього умісту **4** та пружину **14**, що одягнена на патрубок подання внутрішнього умісту **4** та розташована поміж першим нижнім **12** та другим верхнім **13** упорами. Засіб фіксації **15** патрубку подання внутрішнього умісту **4** у корпусі **1** виконано у вигляді стопорного гвинта, який розташовано у верхній частині корпусу **1**. Ущільнювальна прокладка – це **16**, яку прижимає пружина **14** до першого нижнього упору **12**. У верхній частині проміжної розгерметизованої ємності для внутрішнього уміс-

ту **5** розташовано боковий відвід **17**, а у верхній частині проміжної розгерметизованої ємності для оболонкоутворювача **8** розташовано боковий відвід **18**. Також розгерметизована ємність для внутрішнього умісту **5** містить кришку **19** з патрубком **20**, а розгерметизована ємність для внутрішнього умісту **5** містить кришку **21** з патрубком **22**. Патрубок подання внутрішнього умісту **4** містить боковий виступ **23**.

Конструкція та гідравлічна схема живлення екструзійної головки забезпечують самочинний контрольований монодисперсний розпад рідин у формі сфери. Капсули через повітря потрапляють у прийомне формуюче середовище розчину  $\text{Ca}^{2+}$ .

На рис. 2.6 представлено принципово-технологічне рішення багатоканального пристрою для одержання ЛХСК екструзією у середовищі повітря.

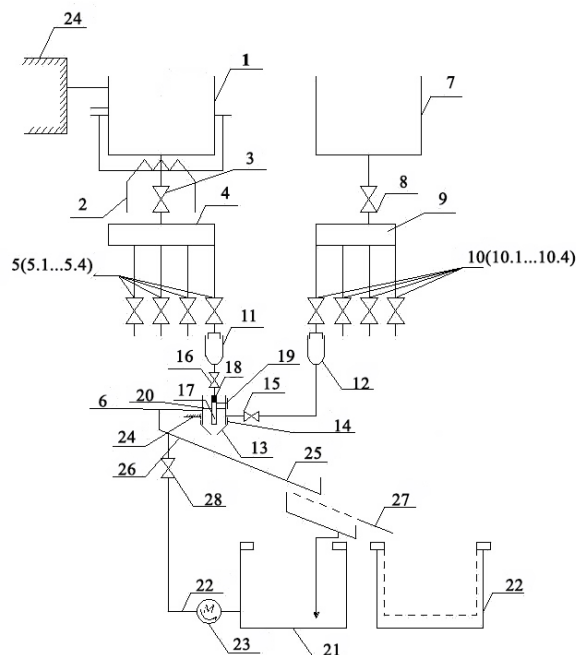


Рис. 2.6. Принципове процесово-технологічне рішення пристрою для одержання ЛХСК екструзією у середовищі повітря

де 1 – ємність для внутрішнього умісту; 2 – теплообмінник; 3 – кран; 4 – колектор; 5 – кран; 6 – кран; 7 – ємність для розчину оболонкоутворювача; 8 – кран; 9 – колектор; 10 – крани; 11 – проміжна ємність 1; 12 – проміжна ємність 2; 13 – жиклер; 14 – кран; 15 – кран; 16 – кран; 17 – канал-інжектор; 18 – пружина; 19 – опорний гвинт; 20 – сальник; 21 – накопичувальна ємність;

22 – байпасна лінія; 23 – насос; 24 – корпус пристрою, 25 – прийомний лоток; 26 – отвір для рідини; 27 – сітчастий лоток; 28 – відсікаючий кран

Пристрій для одержання ЛХСК екструзією у середовищі повітря розташовано на корпусі **24**, складається з ємності **1** для внутрішнього жирового умісту, що може підігріватися та/або охолоджуватися за допомогою теплообмінника **2** подачею теплоносія та ємності **7** для розчину оболонкоутворювача, у якості якого використовують іонотропний полісахарид або суміш полісахаридів. Під час використання тугоплавких жирів, які застигають за температури зовнішнього середовища, ємність **1** нагрівається подачею теплоносія з температурою вище температури плавлення жирового умісту капсул. За умови, що речовина-наповнювач капсул характеризується низькою в'язкістю за температури навколишнього середовища, в теплообмінник **2** подається охолоджувач. Система комунікацій ємності **1** (позиції 3, 4, 5 – система кранів, 11, 16, 18) та ємності **7** (позиції 8, 9, 10 – система кранів, 12, 15) утворюють незалежні контури та можуть працювати в межах своїх параметрів. Система комунікації після колекторів **4** та **9**, завдяки індивідуальній позиції кранів (5-1)-(5-4) та (10-1)-(10-4), також працюють незалежно один від одного, що дозволяє подавати в проміжні ємності **11** та **12** індивідуальні дози речовин й бути незалежними одна від одної в межах впливу колекторів **4** та **9** на систему. Це дозволяє індивідуально регулювати кожен ліній, виводити її на технічні зупинки, не зупиняючи пристрій, а також задавати індивідуальні характеристики капсул з кожної екструзійної головки та екструдувати різні за розміром капсули (за потреби) за різного співвідношення «оболонка капсули – внутрішній жировий уміст». Наявність проміжних ємностей **11**, **12**, які сполучені з атмосферою, є стабілізуючим фактором у неперервному потоці. Кількість ємностей у системі подвійна по відношенню до кількості екструзійних головок. Ємності виконані з прозорого матеріалу, тому за допомогою кранів (5-1) та (10-1) досягається крапельний режим подачі рідин, який контролюється або візуально, або за допомогою інших технічних можливостей. Функції цих ємностей полягають у наступному:

- збалансувати потоки за кількістю та частотою рідин з вихідним потоком із жиклера **13**, що забезпечує сталий рівень рідин у них та робить тиск рідин на екструзійну головку гідростатичним;
- ліквідувати від'ємний тиск у екструзійних головках, який виникає там під час зриву краплі з жиклера головки та, за відсутності цих ємностей накопичується, порушуючи ритм процесу та зупиняючи його;
- ліквідувати та розірвати несталий гідравлічний тиск рідин ємностей **1** та **7** й перетворити його з гідродинамічного у гідростатичний, а також суттєво його зменшити за величиною.

Екструзійні головки **6** сконструйовані за принципом вертикальних коаксіальних труб «труба в трубі», що забезпечує коаксіальну екструзію рідин вертикально зверху вниз. Рідина оболонкоутворювача подається по зовнішній трубі та її подача переривається закручуванням жиклера **13**, який має спільну різьбу з корпусом головки та краном **14**. Витискання рідини вверх по каналам головки блокується сальником **20**. Наявність двох можливостей регулювання подачі рідини за допомогою позицій жиклера та крана дозволяє одночасно управляти кількістю рідини, що подається, та товщиною стінки капсули. подача ЛХС виконується за допомогою внутрішньої трубки – каналу-інжектора **17** коаксіальної пари «корпус головки – канал-інжектор». Позиція трубки по відношенню до корпусу може примусово змінюватися натисканням на пружину **18**, яка знаходиться між корпусом головки та каналом-інжектором й фіксуватися опорним гвинтом **19**. Такий хід «вверх-вниз» труби дозволяє регулювати позицію умісту в середині краплі по вертикалі. Екструзійна головка у зібраному вигляді може примусово зміщуватися «вверх-вниз» у корпусі **24**, займаючи необхідну позицію по відношенню до прийомного лотка **25**, тим сам забезпечуючи гравітаційний розпад рідин та попереджаючи зіткнення з дном прийомного лотка. До контуру прийомної капсули рідини входять похилий лоток з вхідним отвором для рідини **26** у його верхній частині, накопичувальні ємність **21**, насос **23**, байпасна лінія **22** та відсікаючий кран **28**. Сформовані краплі-капсули з головок за лініями (5-1)-(5-4) та

(10-1)-(10-4) гравітаційно подають у рідину лотка. Полозиції головок по відношенню до лотка забезпечують відсутність перехрещування траєкторій крапель у лотку на протязі усього руху, а його кут нахилу та швидкість прийомної рідини – зіткнення наступної краплі з головки з попередньою. Зафіксовані у розчині капсули за допомогою сітчастого лотка **27** відділяє капсули та накопичує їх у ємності **22**. Сітчастий лоток може мати одночасно різні за діаметром отвори, які дозволяють калібрувати капсули за розмірними характеристиками. Наявність байпасної лінії **22** забезпечує непереривність потоку.

Капсулювання ЛХС екструзією у середовищі олія рафінована дезодорована (верхній шар прийомного середовища – олійний, нижній шар – водний розчин  $\text{Ca}^{2+}$ ) також відноситься до складних колоїдних, гідродинамічних та технологічних задач. На рис. 2.7 представлено модель процесово-технологічного рішення пристрою УЖК-20 Ж для одержання ЛХСК екструзією у середовищі олія дезодорована.

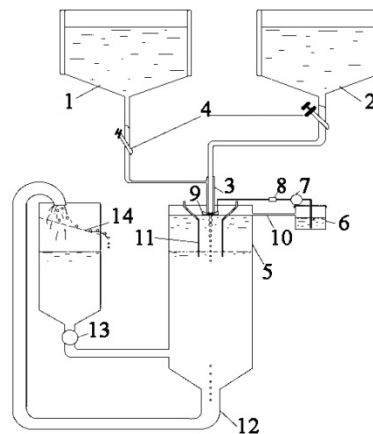


Рис. 2.7. Принципове процесово-технологічне рішення пристрою УЖК –20 Ж для одержання ЛХСК екструзією у середовищі олія рафінована дезодорована

Пристрій складається з двох незалежних ємностей **1** – для ЛХС та **2** – для водного розчину AlgNa. Рідини через вентилі **4** для регулювання потоків потрапляють до відповідних відділів екструзійної головки: ЛХС до трубопроводу в центрі, водний розчин AlgNa – до зони, яка відсікається зовнішньою частиною

трубопроводу головки екструдера олії та внутрішнього по верхньому корпусу головки екструдера, утворюючи коаксіальні незалежні продуктопроводи. Прийомна ємність виконана у формі циліндричної колони **5**, яка через рухомий патрубков з'єднана з гусаком, через який видаляється кінцевий продукт. Позиція гусака по відношенню до колони визначає рівень рідини в колоні. До колони монтується системи живлення олії та відсікаючого капсули вузла. Для забезпечення постійного рівня олії у колоні передбачено переливну байпасну лінію трубопроводів. До колони також монтується незалежна система живлення водним розчином «зшиваючої» солі  $\text{CaCl}_2$ . Рецептурна суміш водного розчину  $\text{AlgNa}$  з живильної ємності **1** та ЛХС з ємності **2** через транспортну систему за допомогою самочинного тиску потрапляють в блок капсуляторної головки **3**. Крани **4** служать для аварійного перекидання потоків рецептурних сумішей або скидання рецептурної суміші. Рецептурні суміші – сумісні потоки через капсуляторну головку співвісно зверху-вниз потрапляють у формуючу олійну фазу двошарового прийомного середовища **5**. З ємності **6** за допомогою насосу **7** по транспортній системі подаються ЛХС на пульсатор **8**. Пульсуючої дією пульсатору ЛХС подаються на регульовачну щілину з кільцевим зазором **9**, де відбувається перебивання сумісних потоків рецептурних сумішей. Перелив **10** забезпечує рівень олійного шару не більше ніж рівень сопла капсуляторної головки, який з'єднано з накопичувальним баком або ємністю **6**. В колоні **11** відбувається формування квазістабільної капсули, її проходження через міжфазу двох шарів двошарового прийомного середовища, перехід до водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$ , де капсула набуває термодинамічний стабільний стан. За допомогою газліфтової системи **12** капсули потрапляють на перфоровану решітку **14** діаметром меншим у 2 рази ніж діаметр капсул для видалення фрагментів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ . За допомогою насосу **13** відбувається циркуляція водного розчину  $\text{Ca}^{2+}$ .

На рис 2.8 представлено фотографічне зображення промислових зразків головок для екструзії гідрофобних речовин у середовищі повітря (1) та олії дезодорованої (2). На рис. 2.9 представлено експериментальні екструзійні пілотні установки для одержання ЛХСК у середовищі олії дезодорованої (1) та повітря (2).



(1)

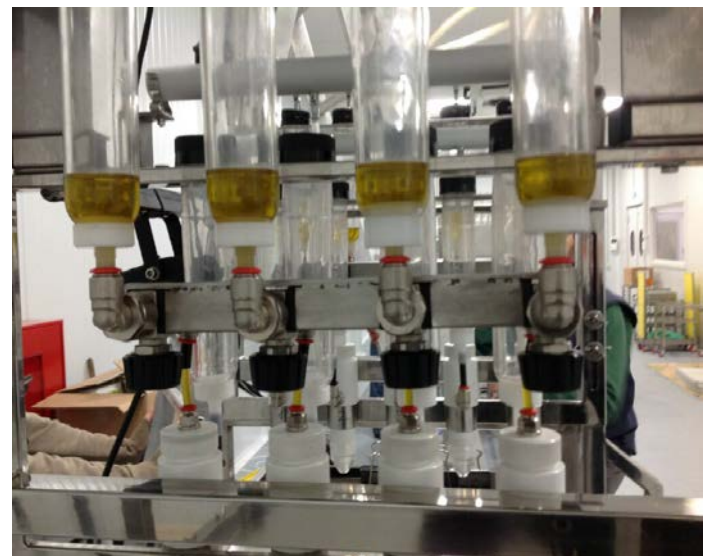


(2)

Рис. 2.8. Фотографічне зображення промислових зразків головок для капсулювання: 1 – у середовищі повітря; 2 – у середовищі олії дезодорованої



(1)



(2)

Рис. 2.9. Експериментальні екструзійні пілотні установки для капсулювання ЛХС: 1 – у середовищі олія дезодорована; 2 – у середовищі повітря

Капсуляторні головки дозволяють одержувати капсули шляхом здійснення зверху-вниз коаксіального екструзійного капсулювання оболонкоутворювача та внутрішнього умісту у різних середовищах – олій, жирів, масел, суспензій

у жирах, дисперсій у маслі, речовин у колоїдному стані зворотних емульсій, зворотних емульсій з одержанням безшовних капсул з різним діаметром [267].

## **2.5 Програмні засоби і комп'ютерні технології, статистична обробка експериментальних даних, методи моделювання технологічних процесів та математичної обробки експериментальних даних**

У дисертаційній роботі використовувалися сучасні комп'ютерні технології, пошукові системи Google, системи оптичного розпізнавання, проблемно-орієнтований пакет математичних обчислень MathCAD; обробку експериментальних даних, одержаних в межах двофакторного експерименту, здійснювали у Excel XP, проблемно-орієнтованому пакеті математичних обчислень Statistika.

Дослідження проводилися із застосуванням методів системного підходу, що дозволило представити результати дослідження як єдину ієрархію, в межах якої функціонують системи, підсистеми, окремі елементи, що взаємопов'язані [247].

Оптимізацію параметрів технологічного процесу здійснювали на основі кореляційно-регресійного аналізу із використанням методів математичне моделювання. Для об'єктивного судження про ступінь вірогідності одержаних даних проводили математичну обробку результатів дослідження [209]. Оцінку похибки експериментальних даних і вимірюваних величин здійснювали за методиками [268, 269]. Під час зіставлення результатів враховували стандартні похибки дослідів (коефіцієнти варіації). При цьому проводили не менш трьох паралельних дослідів, з яких знаходили середнє арифметичне і середнє квадратичне відхилення. Під час обробки результатів експериментів використовували такі статистичні критерії: значимість коефіцієнтів регресії – критерій Стюдента, адекватність рівнянь – критерій Фішера. Обробку результатів дослідження здійснювали за допомогою програмного засобу Microsoft Excel 2013.

Оцінку потенціалу наукових розробок як об'єкту комерціалізації здійснювали за допомогою технологічного аудиту, GAP-, SWOT-аналізу, методики LIFT та системи TAME™ (Technology And Market Evaluation).



## Висновки за розділом 2

1. Визначено ієрархічні зв'язки, які покладено в основу програми теоретичних та експериментальних досліджень з розробки технологій ЛХСК, які одержано співвісною зверху-вниз екструзією за різних умов.

2. Визначено предмети та матеріали досліджень – ЛХС, олії та жири рідкі (соняшникова, оливкова, риба'ячий жир, соняшникова й оливкова вітамінізовані та ін.), жири тугоплавкі, суміші олій та жирів; оцет (бальзамічний, винний, яблуневий); водні розчини  $\text{AlgNa}$ , полісахаридів (пектини, агар, модифіковані крохмалі); гелі та модельні системи на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ ,  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та агару, чи пектину, чи гліцерину; двошарове прийомне середовище, яке складається з верхнього олійного шару та нижнього шару – водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$ ; напівфабрикати ЛХСК; пюре оливки та структуровані системи на його основі; ЛХСК в олійних, оцтових середовищах; салатні заправки, дресінги з використанням ЛХСК; хлібобулочні та кондитерські вироби, кулінарна продукція із використанням ЛХСК; оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої.

3. Визначено методи дослідження органолептичних, фізико-хімічних, структурно-механічних, мікробіологічних показників, харчової цінності, описано методики планування експерименту та його математичної обробки.

4. Наведено процесово-технологічне забезпечення процесу капсулювання системи «оболонкоутворювач – ЛХС» для одержання ЛХСК кулястої форми за різних умов екструзії.

### **3 АНАЛІТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКЦІЇ КАПСУЛЬОВАНОЇ З ВНУТРІШНІМ ЖИРОВИМ УМІСТОМ**

У даному розділі наукового обґрунтовано технології ЛХСК, встановлено закономірності процесу капсулоутворення складних речовин, здійснено теоретичне обґрунтування та розроблено фізичні моделі утворення термостабільних капсул з внутрішнім жировим умістом у середовищі повітря та двошаровому прийомному середовищі, які перевірено на адекватність шляхом співставлення встановлених закономірностей у реальних технологічних умовах.

#### **3.1. Інноваційний задум технологій продукції капсульованої з внутрішнім жировим умістом**

На сьогоднішній день інноваційна діяльність являється фундаментальним підґрунтям теоретичних та аналітичних досліджень, які включають сукупність матеріальних, організаційних, економічних, соціальних умов, кадрову та інформаційну складову, наслідком чого є науково-технічний та економічний прогрес на мікро- та макрорівнях підприємства і держави.

Згідно з інноваційним задумом розробки технологій продукції капсульованої з внутрішнім жировим умістом передбачається впровадження інновацій з різним вектором розвитку та форм реалізації.

1. Технологічні інновації – обґрунтування, дослідження та розробка наукових принципів капсулювання гідрофобних речовин або ЛХС у безшовну оболонку на основі іонотропних полісахаридів, що дозволить обґрунтувати та впровадити у виробництво принципово нові технологічні процеси, а саме:

- технологію капсулювання олій рослинних з одержанням кінцевих продуктів за сировинною ознакою – олія соняшникова, соєва, оливкова капсульовані та інш., а також їх сумішей;
- технологію капсулювання жирів тугоплавких з одержанням кінцевих

продуктів за сировинною ознакою – жир свинячий, яловичий, риб'ячий капсульовані та інш., а також їх сумішей з прогнозованою точкою плавлення;

- технологію капсулювання ліпідних екстрактів – жиророзчинних вітамінів, ліпідних ефірів та відповідно кінцевих продуктів за видом речовини й основи, що підлягає екструзії, – екстракт каротиноїдів в олії оливковій, екстракт токоферолів у олії горіховій капсульовані та інш., а також їх сумішей;

- технологію капсулювання гетерогенних систем з дисперсійним середовищем у формі олій, жирів або їх сумішей та кінцевих продуктів за характеристиками гетерогенної системи – суспензії в оліях, жирах, зворотні емульсії тощо;

- удосконалення традиційних та розробка принципово нових технологічних процесів шляхом використання ЛХСК;

- капсулювання продуктів на основі жирів технічного та спеціального призначення.

2. Технічні інновації – обґрунтування, проектування, конструювання та впровадження нового обладнання та вузлів обладнання для реалізації технологічних інновацій.

3. Маркетингові інновації – запровадження технологій капсулювання у промислові виробничі цикли та виведення кінцевої продукції на споживчий ринок, а також виведення нових розробок на ринок інновацій;

4. Соціальні інновації – створення нових робочих місць безпосередньо на виробничих потужностях та в мережі просування, продажу нової продукції.

Капсулювання, як інноваційний спосіб переробки ЛХС, дозволить ліквідувати звужену можливість використання у технологічних процесах комбінації олії, жирів, а також їх сумішей за принципом фізіологічних властивостей, що несе безліч переваг для споживачів. Такі продукти можуть бути використані як «незмішуваний» компонент або декор страв. Одночасно планується, що оболонка капсул, яку більше як на 90,0 % за складом представлено водою, може бути ідеальним бар'єром для забезпечення стабільності внутрішнього жирового умісту капсул до окислювальних процесів.

Розробка та реалізація технологій ЛХСК має маркетингову привабливість через неповторність товарної форми, інноваційну привабливість для оліє-жирового комплексу та функціональність з точки зору технологічного використання у виробництві кулінарної продукції ЗРГ та харчовій промисловості.

Використання у складі ЛХСК іонотропних полісахаридів дозволить надати харчовим системам принципово нових властивостей, які забезпечать одержання традиційних олій, жирів та їх сумішей у дозованому вигляді та у самостійній їстівній упаковці, що передбачає сприйняття оліє-жирової сировини як продукту з принципово новими властивостями, здатного змінити структуру багатьох технологічних процесів. Капсулювання, вірогідно, здатне надати новий імпульс щодо використання олій, жирів та їх сумішей у технології приготування страв, що дозволить суттєво розширити асортимент продукції ЗРГ та впровадити у виробничий менеджмент нові технологічні принципи [270].

Інноваційний задум полягає в одержанні нової товарної форми ЛХС, впровадження якої дозволить спростити технологічний процес виробництва кулінарної продукції, регулювати вивільнення внутрішнього умісту капсул у зоні ШКТ, маскувати смаки та запахи внутрішньої складової тощо.

Сформульовано робочу гіпотезу, що розробка технології капсулювання ЛХС дозволить розробити принципово нові напівфабрикати харчової продукції з високим умістом інтактних до технологічного середовища ліпідів, використання яких у технологічному потоці дозволить розробити харчову продукцію з новими споживчими властивостями, а використання ЛХСК дозволить оптимізувати як самі технологічні процеси, так і забезпечити стабільність жирів під час приготування, зберігання й реалізації харчової продукції. Одночасно реалізація робочої гіпотези за своєю суттю є підґрунтям для наукового обґрунтування самого процесу капсулювання, а також розробки й впровадження у практичну діяльність принципово нового виробничого обладнання. Ці завдання є принципово новими та можуть бути вирішені лише за умови теоретичного обґрунтування капсулоутворення як фізико-хімічного та технологічного процесу. Вирішення цих завдань є багатофакторною науково-

практичною проблемою, кінцевою метою якої є наукове обґрунтування технології керованого одержання ЛХСК із заданими технологічними властивостями, а її реалізацію пов'язано з обґрунтуванням технологічних та фізичних принципів одержання капсульованих систем та конструкцією спеціалізованого обладнання. На першому етапі сформульовано наступні допущення, вимоги до технологічних, конструкторських та інших умов й обмежень науково-практичного дослідження:

- у технологічному потоці використовуються лише харчові компоненти без обмеження використання у повсякденному харчуванні;
- під час виконання конструкторських та дизайнерських робіт, виготовленні пристроїв та обладнання допускаються матеріали, які дозволено до використання з харчовими інгредієнтами;
- формування харчових систем капсульованих виконується із ламінарного співвісного синхронізованого потоку рідких оболонкоутворювача та ЛХС за принципом «труба в трубі» шляхом вертикальної співвісної екструзії: 1 – у середовищі повітря; 2 – у середовищі олії дезодорованої;
- як оболонкоутворювач використовують розчини іонотропного полісахариду AlgNa, як інкапсулянт – текучі самочинно плинні ЛХС, а саме олії, розплави жирів, їх суміші, екстракти та їстівні харчові системи на їх основі;
- як формуюче середовище використовують водні або водно-спиртові розчини харчових солей кальцію;
- формування квазістабільної капсули та капсули з заданими товарознавчо-технологічними властивостями розірвано протягом технологічного потоку у просторі та часі.

Розроблений інноваційний задум одержання продукції харчової капсульованої з внутрішнім жировим умістом дозволяє визначити інноваційні вектори розвитку нової технології, сформулювати теоретичні та прикладні задачі дослідження. Розглянемо та обґрунтуємо технологічні передумови виробництва термодинамічних стабільних капсул ЛХС, одержаних у середовищі повітря та олії дезодорованої (двошаровому прийомному середовищі).

### **3.2. Теоретичне обґрунтування формоутворення продукції капсульованої з внутрішнім жировим умістом**

Капсулювання гідрофобних речовин у вузькому розумінні ліпідів харчової сировини, на наш погляд та з огляду на потребу багатьох сфер діяльності харчової індустрії, медицини, фармакології, косметології, логістики, хімічної промисловості, є дуже важливим технологічним прийомом, здатним суттєво вплинути на виробничий менеджмент та визначити напрям розвитку певної підгалузі цих видів діяльності та вплинути на певні тренди їх розвитку.

У даному підрозділі розглянуто теоретичні передумови капсулювання ЛХС у середовищі повітря та олії дезодорованої, що є підґрунтям для реалізації технологічних принципів одержання ЛХСК із заданими розмірними характеристиками, обґрунтовує конструктивні особливості пристроїв для їх виробництва, дозволяє обрати керуючі чинники технологічним процесом одержання напівфабрикатів ЛХСК за обґрунтованих параметрів.

Сучасні методи капсулоутворення, як відзначалось у розділі 1, забезпечують можливість капсулювання як гідрофільних, так і гідрофобних матеріалів. За розмірними характеристиками одержують нанокapsули (<1 мкм), мікрокапсули (1...500 мкм), капсули (>500 мкм) зі співвідношенням оболонка : внутрішній уміст як 5:95...50:50 [21]. При цьому, забезпечуються різні характеристики оболонки за товщиною, структурою, проникністю, міцністю, еластичністю, стійкістю до зовнішнього середовища та технологічних параметрів [7, 36].

Сформульовані принципи технологій капсулювання побудовано на реалізації принципу термодинамічної несумісності компонентів оболонкоутворювача та інкапсулянту. Для капсулювання гідрофобних речовин, у тому числі ЛХС, використано полярний розчин полімеру – AlgNa, здатний, за певних умов, до контрольованого плівкоутворення, тобто формування оболонки капсули. Позначений принцип є основою здійснення процесів капсулювання і базується на поверхневих явищах, які виникають на межі поділу фаз рідин, що не перемішуються [271].

Під час капсулювання речовин з гідрофобними властивостями будова технологічного процесу має певні технологічні та процесові обмеження, що пов'язано з високою швидкістю реалізації хімічних потенціалів та неможливістю за таких умов контролювати розмірні характеристики капсул. Таке обмеження призводить до розгляду тільки двох можливих технологічних процесів одержання капсул з внутрішнім жировим умістом, які базуються на використанні проміжних технологічних середовищ для формування ЛХС у квазістабільному стані. Для капсулювання обрано технологічні середовища повітря та олії дезодорованої [272].

Під час використання як оболонкоутворювача іонотропних полісахаридів виникає потреба співвісної екструзії за принципом «труба в трубі» розчину оболонкоутворювача (зовнішня труба) та жирової речовини (внутрішня труба) у обране формуюче середовище, тобто у середовище повітря або хімічно інертне гідрофобне середовище олії дезодорованої. Після формування капсул у квазістабільному стані вони потрапляють у прийомне водне або водно-спиртове середовище харчових солей кальцію, де реалізуються хімічні потенціали та капсула за текстурою набуває товарного стану [107, 267].

Необхідність обґрунтування однакових за принципом формування, але принципово різних за характеристиками технологічного середовища технологій пов'язано з можливістю формування капсульованої продукції з різними фізичними характеристиками та розширення керуючих чинників під час реалізації технологічного процесу.

### **3.2.1 Теоретичне обґрунтування кінетики капсулоутворення системи «ЛХС – водний розчин AlgNa» екструзією у середовищі повітря**

Технологія одержання ЛХСК апріорі є висококінетичним процесом, оскільки формування капсул згідно з інноваційним задумом повинно йти у режимі самочиної гравітації та за рахунок реалізації хімічних потенціалів рецептурних учасників технологічного процесу. Є очевидним, що реалізація індустріального про-

цесу виробництва ЛХСК неможлива без обґрунтування кінетики капсулоутворення. Головними чинниками впливу на капсулоутворення системи «ЛХС – водний розчин AlgNa» екструзією у середовищі повітря будуть сили гравітації та властивості оболонкоутворювача. Спрогнозовано, що формування капсули у квазістабільному стані у середовищі повітря дозволить реалізувати принцип самочинного відриву капсули від синхронізованої за потоком складної струї рідин «ЛХС – розчин AlgNa», що значно спростить технологію та конструкцію пристрою.

Загальний характер процесу утворення та відриву крапель однофазної рідини під дією сили тяжіння добре вивчений експериментально і виглядає для всіх рідин практично однаково (рис. 3.1) [273].

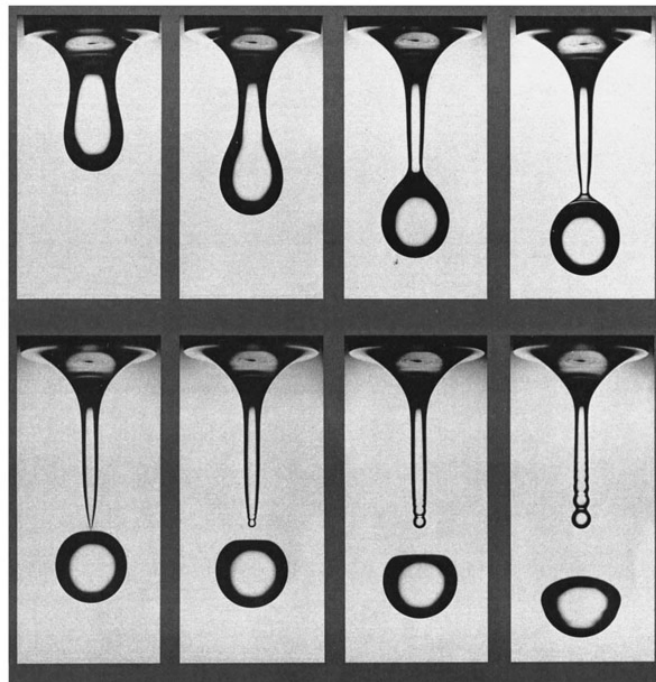


Рис. 3.1. Відрив реальної водної краплі: час між кадрами складає 0,1 с

Спочатку утворюється зародок краплі, який має форму конуса, потім, в результаті витікання рідини з зародку під дією капілярного тиску і сили тяжіння, починається формуватися власне крапля приблизно сферичної форми. Між нею і зародком виникає перемичка, яка зменшується з часом до самого моменту відриву краплі. Ця течія є самочинною, тобто форма перемички зберігає свою форму – вона залишається такою ж, як і в більш ранній момент часу, тільки в іншому просто-



ровому масштабі, що встановлено в багатьох експериментах [274-277]. Розуміння кінетики краплеутворення під час екструзії двох або більше різнополярних рідин, одна з яких – оболонкоутворювач, може бути складною за технологічною композицією, дозволить спрогнозувати продуктивність пристроїв для екструзії за вихідною речовиною (речовинами), спланувати заходи по визначенню критичних точок контролю технологічного процесу, спрогнозувати рецептурний склад компонентів, органолептичні та фізико-хімічні показники нової продукції.

Прийнято рішення дослідити ці закономірності шляхом визначення кінетики капсулоутворення у середовищі повітря. Згідно відомого рівня теоретичних досліджень краплеутворення моноструї, що описано через розрив перемички [278] і базується на моделі, згідно з якою незалежно від в'язкості самочинної течії рідини в області перемички контролюється тільки силами інерції та поверхневого натягу. Радіус перемички змінюється у часі по ступеневому закону з однаковим показником для всіх рідин й описується наступним виразом:

$$r_{br} \sim \left(\frac{\sigma}{\rho}\right)^{1/3} \times (\tau)^{2/3}, \quad (3.1)$$

де  $r_{br}$  – радіус перемички;  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу;  $\rho$  – густина рідини;  $\tau$  – даний час.

Цей закон «двох-третин» підтверджено чисельними експериментами для різних рідин, у тому числі розчинів з поверхнево-активними речовинами (ПАР), рідких металів для крапель у широкому діапазоні радіусів, аж до нанорозмірних [279]. У той же час залишається відкритим питання про початковий розмір самої перемички, який виникає на першому етапі формоутворення і залежить як від властивостей рідини, так й геометричних параметрів капіляра. Без даних значень рівняння (3.1) втрачає свій сенс, а обґрунтування конструктивних особливостей пристрою не є можливим. Залишається без відповіді питання про тривалість формування сферичної краплі з зародка, що не описується рівнянням (3.1) та кінетику формоутворення (процес утворення зародка, перемички та її розрив) для капсульованих рідин, які

складаються з рідкої оболонки (у нашому випадку водного розчину  $\text{AlgNa}$ ) та рідкого ядра (жирової сировини) з різними фізичними характеристиками. У той же час теорію цього явища досі не описано в повній мірі, оскільки класичні рівняння гідродинаміки описують повністю детермінований процес, а кінетика перемички між зародком та краплею швидше відноситься до теорії катастроф та біфуркаційних явищ, тобто нелінійним процесам зі зворотним зв'язком [280]. Одержання елементарної кінетичної моделі процесу формоутворення капсульованих рідин дозволяє розробити допущення моделі їх формоутворення, змодельовати етап утворення зародку краплі, сферичної краплі та перемички, етап розриву перемички та утворення квазістабільної краплі відповідно.

Із врахуванням особливостей технологій одержання ЛХСК та прогнозу конструктивних особливостей обладнання сформульовано основні положення моделі, виходячи зі спостережуваних в експериментах фактів та припущень (рис. 3.3), що дозволяють використовувати елементарні рівняння механіки рідин:

- технологічні характеристики ЛХСК забезпечуються керованим процесом екструзійного формування, у якому окремою технологічною стадією є формоутворення, яка складається з трьох етапів: перший етап – формування конусоподібного зародка краплі, другий етап – утворення сферичної краплі і перемички між зародком та краплею, третій етап – самочинна течія рідини в області перемички та її розрив (момент відриву);

- ЛХСК складається з двох різних рідин та за структурою характеризується наявністю ядра й тонкої оболонки. Всі фізичні властивості рідин (густина, коефіцієнт поверхневого натягу) не змінюються під час формоутворення, втрати на в'язке тертя відсутні;

- задача осьсиметрична – зародок та крапля ЛХСК формуються на кінці поживної труби з радіусом  $r_0$  (рис. 3.2);

- форма краплі ЛХСК – сфера, радіусом  $R$ , який потрібно знайти. Форма конусоподібного зародка підлягає визначенню у вигляді функції  $r = f(x)$ . Перемичка з вихідним радіусом  $r_{br}$  відповідає місцю перетину сфери і конусоподібного зародка [281].

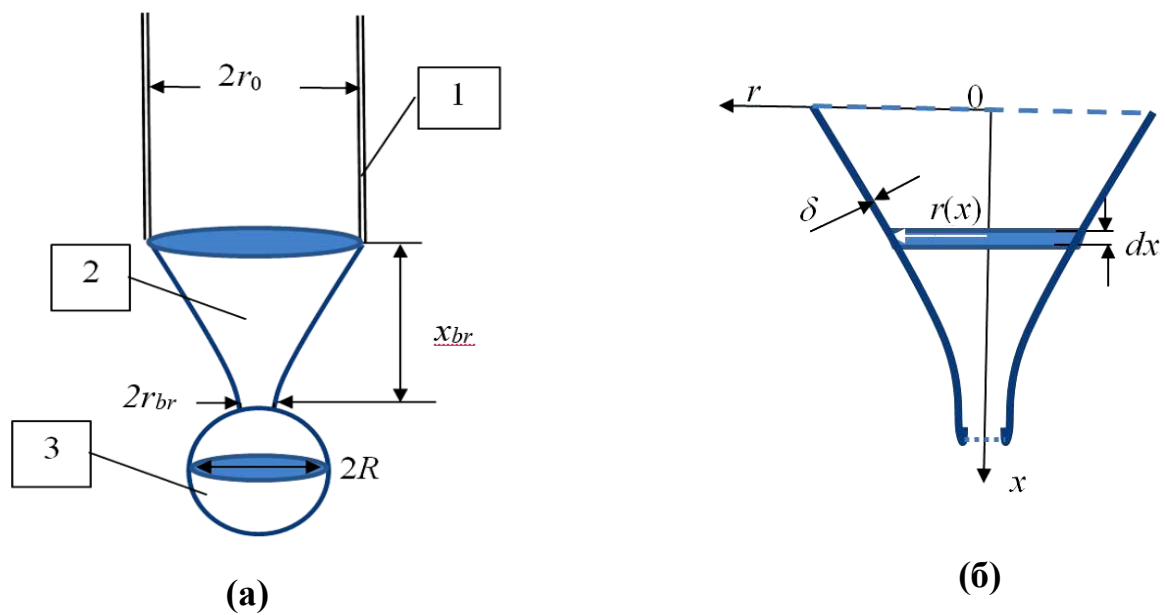


Рис. 3.2. Схема геометрії зародок-крапля ЛХСК: а – схема геометрії зародок-крапля; б – схема геометрії конусоподібного зародка; 1 – труба подачі рідини; 2 – зародок краплі, 3 – крапля

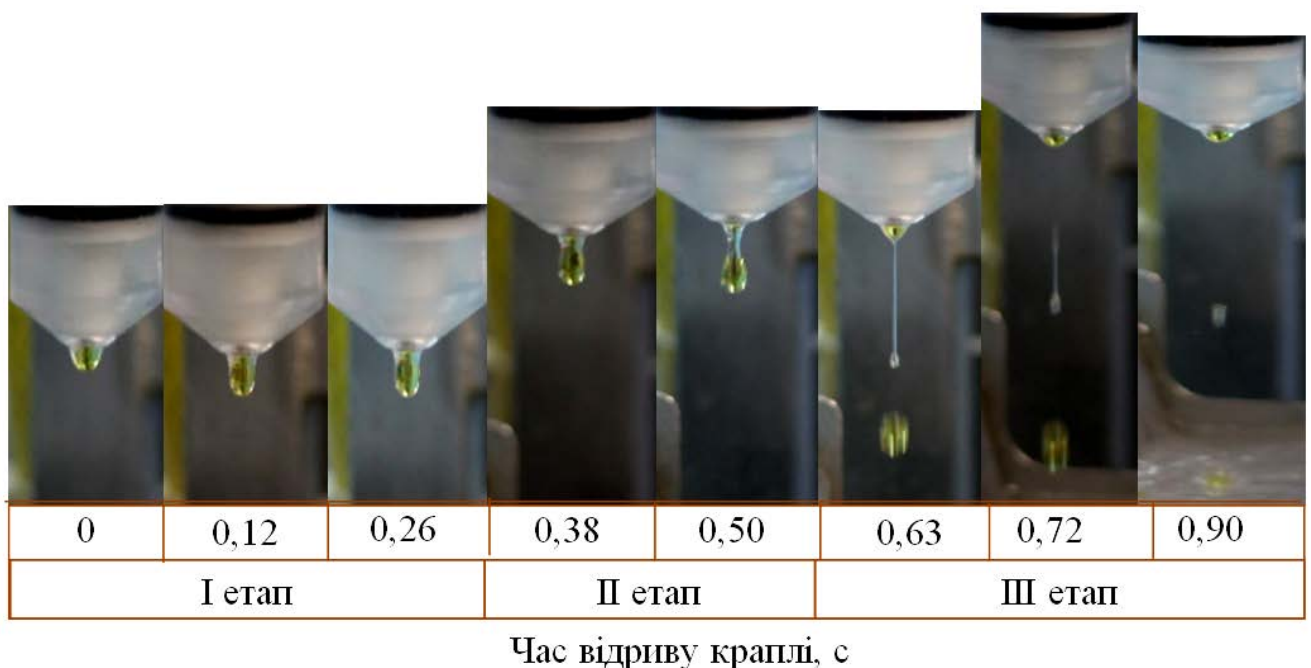


Рис. 3.3. Етапи формування квазістабільної ЛХСК за температури  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  у водному розчині AlgNa ( $C_{AlgNa} = 1,5 \pm 0,02 \%$ ): час витікання рідини з утворення зародку краплі до моменту відриву – 0,63 с: I – формування зародку краплі; II – утворення сферичної краплі та перемички; III – розрив перемички та утворення квазістабільної ЛХСК.

На рис. 3.3 представлено фотографічне зображення процесу капсулоутворення у середовищі олії дезодорованої та фотомоніторинг формування ЛХСК (капсула квазістабільна). Як інкапсулянт використано олію соняшникову, як плівкоутворювач – водний розчин AlgNa.

Наведений фотомоніторинг відображає реальний процес утворення капсули за співвідношення оболонкоутворювач : олія соняшникова як 5:95 до 50:50 об/об.

На етапі утворення зародку краплі є можливість розрахунку її форми, оскільки геометрія визначатиме капілярний потенціал, під дією якого починається перебіг рідини в сферичну краплю. Оскільки цей етап, згідно відомих експериментальних даних, відбувається досить швидко порівняно з утворенням краплі, то завдання зводиться до визначення статичних напружень, що виникають у зародку краплі [282]. Спільна дія сили тяжіння та поверхневого натягу визначають форму зародку – гідростатичний тиск  $p_g = \rho_{gx}$  у будь-якому поперечному перерізі зародка врівноважується капілярним тиском  $p_{cap} = 2\sigma/r$  (рис. 3.3).

$$dp_{cap} = \rho g dx \quad (3.2)$$

Враховуючи, що цей капілярний тиск складається з капілярного тиску оболонки та міжфазового тиску оболонка-ядро, одержуємо:

$$-2 \left[ \frac{\sigma_\delta}{(r+\delta)^2} + \frac{\sigma - \sigma_\delta}{r^2} \right] dr = \rho g dx, \quad (3.3)$$

де  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу рідини ядра;  $\sigma_\delta$  – коефіцієнт міжфазового натягу оболонка-ядро рідини ( $\sigma > \sigma_\delta$ );  $\delta$  – товщина оболонки;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\rho$  – наведена густина рідкої системи оболонка-ядро.

$$\rho = \rho_\delta + c_p \times (1 - c_p), \quad (3.4)$$

де  $\rho_\delta$  – густина оболонки;  $\rho_c$  – густина ядра;  $c_p$  – об'ємна частка оболонки в об'ємі капсульованої системи.

Рішення диференційного рівняння (3.3) з початковою умовою  $r(x)|_{x=0} = r_0$  має наступний вигляд:

$$\left(1 - \frac{r}{r_0}\right) \left[ \frac{\sigma - \sigma_\delta}{\sigma_\delta} \times \frac{r_0}{r} + \frac{1}{\left(\frac{r}{r_0} + \frac{\delta}{r_0}\right) \cdot \left(1 + \frac{\delta}{r_0}\right)} \right] dr = \frac{\rho g r_0}{2\sigma_\delta} x, \quad (3.5)$$

Спростимо цей вираз із врахуванням мінімальної товщини оболонки, враховуючи  $\delta < r_0$ , після отримуємо:

$$\frac{x}{r_0} = \frac{2}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \left(\frac{r_0}{r} - 1\right), \quad (3.6)$$

$$\frac{r}{r_0} = \frac{1}{2B_0 \frac{\sigma}{\sigma_\delta} \frac{x}{r_0} + 1}, \quad (3.7)$$

$$\frac{dx}{dr} = - \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \times \frac{2}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta}, \quad (3.8)$$

де  $B_0 = \frac{r_0^2}{l_{cap}^2}$  – число Бонда, яке показує відношення сили тяжіння до сили

поверхневого натягу;  $l_{cap}$  – капілярна довжина;  $l_{cap} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho \cdot g}}$  – характерний роз-

мір за якого сила поверхневого натягу стає рівною силі тяжіння

Рівняння (3.6)...(3.8) описують вихідну геометрію зародку краплі, тобто зміну радіуса зародку від його висоти й навпаки. Для того, щоб перевірити фізичну коректність одержаного виразу, знайдемо об'єм зародка  $V_{emb}$ . Для цього, згідно з визначенням об'єму ось-симетричної фігури, запишемо:

$$V_{emb} = \pi \int_0^x r(x)^2 dx = \pi \cdot \frac{x \cdot r_0^2}{1 + \frac{B_0 \cdot \sigma_\delta \cdot x}{2 \cdot \sigma \cdot r_0}}, \quad (3.9)$$

Підставляючи у цю формулу вираз для висоти зародку (3.6), одержуємо:

$$V_{emb} = 2\pi \cdot \frac{\sigma}{\rho_\delta} \cdot \frac{r_0 - r}{B_0} \cdot r_0^2, \quad (3.10)$$

Стає вочевидь, що за умови  $r \rightarrow 0$ , об'єм зародка краплі  $V_{emb}$  прагне до значення  $V_{max}$ :

$$V_{max} = 2\pi \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \frac{r_0^3}{B_0} = 2\pi \cdot \frac{\sigma^2}{\sigma_\delta} \cdot \frac{r_0}{\rho g}, \quad (3.11)$$

Якщо оболонка відсутня (рідина у зародку гомогенна  $\sigma_\delta = \sigma$ ), то величина  $V_{max}$  у рівнянні (3.11) в точності збігається зі значенням максимального об'єму, який знаходиться у рівновазі на кінці труби радіусу  $r_0$  під дією сили тяжіння та сили поверхневого натягу, який, як відомо, дорівнює:

$$\rho g V_{max} = 2\pi r_0 \sigma, \quad (3.12)$$

Таким чином, одержані рівняння (3.6)...(3.10) являються фізично коректними. Зміна форми зародка, з якого формується сферична крапля, відбувається під дією сили тяжіння, якій протидіє сила поверхневого натягу. Будемо вважати, що крапля починає формуватися в момент, коли поточний радіус зародка дорівнює початковому радіусу перемички. Виходячи із закону збереження енергії, робота  $A_g$ , яка здійснюється силою тяжіння при збільшенні висоти зародка, дорівнює роботі  $A_\sigma$  сил поверхневого натягу під час утворення краплі сферичної форми:

$$dA_g = p dV_{drop}, \quad (3.13)$$

$$dA_\sigma = \sigma dS_{drop}, \quad (3.14)$$

Знайдемо об'єм краплі:

$$V_{drop} = \frac{4}{3} \pi R^3, \quad (3.15)$$

Тиск, який створюється силою тяжіння за висотою краплі рідини, дорівнює:

$$p = p_{br} + 2R\rho g, \quad (3.16)$$

де  $R$  – радіус краплі;  $p_{br}$  – початковий гідравлічний тиск над перемичкою, який, з врахуванням (3.6), дорівнює:

$$p_{br} = \rho g x_{br} \times \frac{2}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \left( \frac{r_0}{r_{br}} - 1 \right), \quad (3.17)$$

Інтегруючи (3.13), з врахуванням цих виразів за радіусом краплі, одержуємо:

$$A_g = 4\pi \cdot \left( \frac{1}{2} \rho g R^4 + \frac{1}{3} p_0 R^3 \right) + const. \quad (3.18)$$

Константу інтегрування визначаємо з початкової умови  $A_g(R)|_{R=r_{br}} = 0$ .

Внаслідок одержуємо:

$$A_g = 4\pi \left[ \frac{1}{2} \rho g (R^4 - r_{br}^4) + \frac{1}{3} p_0 (R^3 - r_{br}^3) \right]. \quad (3.19)$$

Знайдемо вираз для розрахунку радіусу краплі  $R$ . Стає вочевидь, що сумарний об'єм краплі та об'єм зародку дорівнює максимальному об'єму, який може бути у рівновазі наприкінці труби радіусу  $r_0$ . Саме цьому, враховуючи (3.10) та (3.11), записуємо:

$$V_{max} = \frac{4}{3} \pi R^3 + V_{emb}. \quad (3.20)$$

Звідси знаходимо зв'язок радіусу краплі  $R$  з радіусом перемички  $r_{br}$ :

$$R = r_0 \left( \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \frac{1}{B_0} \cdot \frac{r_{br}}{r_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.21)$$

Підставляючи у (3.19) вираз для радіуса краплі (3.21) та початкового гідростатичного тиску (3.17), одержуємо кінцеве рівняння для розрахунку роботи сили тяжіння по формуванню сферичної краплі.

$$A_g = 2\pi\rho g r_0^4 \left[ \frac{4}{3B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \left(1 - \frac{r_{br}}{r_0}\right) \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \frac{3}{2B_0} - \frac{r_{br}^2}{r_0^2}\right) + \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \frac{3}{2B_0} \cdot \frac{r_{br}}{r_0}\right)^{\frac{4}{3}} - \left(\frac{r_{br}}{r_0}\right)^4 \right] \quad (3.22)$$

Подальше, розрахуємо роботу сили поверхневого натягу по формуванню сферичної краплі. На підставі (3.14) запишемо:

$$A_\sigma = \int_{S_0}^{S_{drop}} \sigma dS, \quad (3.23)$$

де  $S_{drop}$  – площа поверхні краплі;  $S_p$  – площа поверхні краплі, яка відповідає початковому радіусу перемички  $r_{br}$ , враховуючи, що початковий радіус наприкінці зародку дорівнює радіусу перемички, маємо

$$S_0 = 2\pi r_{br}^2, \quad S_{drop} = 4\pi R^2 - 2\pi r_{br}^2$$

Із врахуванням цього одержуємо:

$$A_\sigma = 4\pi\sigma(R^2 - r_{br}^2) \quad (3.24)$$

Підставляючи у це рівняння радіус краплі (3.21), одержуємо остаточну роботу сили поверхневого натягу:

$$A_\sigma = 4\pi\sigma r_0^2 \times \left[ \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \frac{3}{2B_0} \cdot \frac{r_{br}}{r_0}\right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{r_{br}}{r_0}\right)^2 \right]. \quad (3.25)$$



Прирівнюючи роботу, яка здійснюється силою тяжіння (3.22), і роботу сили поверхневого натягу (3.25), одержуємо рівняння для визначення початкового радіуса перемички  $r_{br0}$  з умови:

$$A_g(r_{br0}) = A_\sigma(r_{br0}). \quad (3.26)$$

Очевидно, що ця умова рівності робіт може виконуватися у визначеному перерізі зародка, яке залежить від фізичних параметрів, що входять в (3.22) та (3.25) й характеризують даний процес. Рівняння (3.26) є трансцендентним щодо вихідного початкового радіуса перемички  $r_{br0}$ , тому його чисельне значення наведено у вигляді безрозмірної залежності нижче.

Знаючи початковий радіус перемички, за рівнянням (3.21) можна розрахувати радіус краплі в момент відриву. Таким чином, отримані рівняння (3.21) та (3.26) характеризують геометрію зародка та краплі.

Визначимо час, необхідний для формування зародка та краплі. Будемо виходити із запропонованої моделі та обмежимося оцінками відповідних часів, ґрунтуючись на отриманих вище рівняннях для обчислення роботи сил тяжіння й поверхневого натягу. Виходячи із закону збереження енергії, робота сил в одиницю часу по формуванню зародка і краплі дорівнює потужності живильного джерела (параметрів подачі рідини в живильній трубі). Будемо вважати, що параметри подачі у процесі формування зародка і краплі не змінюються, тоді вихідний час формування можна розрахувати наступним чином:

$$\Delta\tau_1 = \frac{\Delta A}{p_0 Q_v}, \quad (3.27)$$

де  $\Delta\tau_1$  – тривалість формування зародка і краплі (тривалість першого та другого етапів);  $\Delta A$  – сумарна робота сил тяжіння й поверхневого натягу;  $p_0$  – тиск у живильній трубі;  $Q_v$  – об'ємні витрати рідини у живильній трубі.

Сумарна робота  $\Delta A$  складається з роботи по формуванню краплі, яку визначали раніше (3.23) та роботи по формуванню зародка краплі, яку можна розрахувати аналогічним чином.

$$dA_{emb} = p dV_{emb} = \rho g x dV_{emb}, \quad (3.28)$$

Підставляючи сюди вирази для висоти зародка (3.6) та його об'єму (3.10), одержуємо:

$$dA_{emb} = 4\pi\rho g r_0^3 \left(\frac{1}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)^2 \times \left(1 - \frac{r_0}{r}\right) \times dr, \quad (3.29)$$

Інтегруючи це рівняння по радіусу у межах від  $r_0$  до  $r_{br}$ , одержуємо:

$$A_{emb} = 4\pi \frac{\sigma r_0^2}{B_0} \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)^2 \times \left[ \ln\left(\frac{r_0}{r_{br}}\right) + \frac{r_{br}}{r_0} \right] - 1. \quad (3.30)$$

Таким чином, знаючи сумарну роботу сили поверхневого натягу (3.25) та сили тяжіння (3.30), можна розрахувати час формування зародка та краплі:

$$\Delta\tau_1 = \frac{4\pi\sigma r_0^2}{p_0 Q_v} \times \left[ \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta} \cdot \frac{3}{2B_0} \cdot \frac{r_{br}}{r_0}\right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{r_{br}}{r_0}\right)^2 + \frac{1}{B_0} \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)^2 \times \left[ \ln\left(\frac{r_0}{r_{br}}\right) + \frac{r_{br}}{r_0} - 1 \right] \right] \quad (3.31)$$

Знаючи параметри подачі рідини у формуючій трубці (тиск та витрати), а також початковий радіус перемички, за рівнянням (3.31) можна розрахувати сумарну тривалість першого і другого етапів формування краплі.

Кінетика стоншення перемички, як уже зазначалося, теоретично описана в роботі [283]. Дотримуючись їх моделі, ми також будемо вважати, що в області перемички течія досить швидка, а градієнти швидкості малі і в'язким тертям будемо нехтувати. Вирішальну роль в цьому випадку відіграють сила інерції та сила поверхневого натягу. Однак, на відміну від моделі, описаної в роботі [284],

врахуємо вираз для початкового радіусу перемички й умову самочинної течії. Також, як і раніше, будемо вважати, що товщина оболонки капсульованої краплі набагато менше за радіус живильної труби  $\delta < r_0$ .

На підставі цих міркувань запишемо рівняння для учасників процесу поряд з перемичкою:

$$\frac{\rho v^2}{2} = \frac{2\sigma}{r}, \quad (3.32)$$

де  $v$  – швидкість течії рідини в області перемички.

Ця швидкість складається з поздовжніх  $v_x$  та поперечних  $v_r$  компонентів:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_r^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{d\tau}\right)^2 + \left(\frac{dr}{d\tau}\right)^2}. \quad (3.33)$$

Змінюючи порядок диференціювання, записуємо:

$$v = \sqrt{\left(\frac{dr}{d\tau}\right)^2 \times \left(\frac{dx}{dr}\right)^2 + \left(\frac{dr}{d\tau}\right)^2}. \quad (3.34)$$

Далі врахуємо, що течія самочинна, тобто форма перемички з часом не змінюється. Математично це означає сталість похідної від форми зародка. З огляду на вираз (3.8) маємо:

$$\frac{dx}{dr} = const = - \left(\frac{r_0}{r_{bro}}\right)^2 \times \frac{2}{B_0} \times \frac{\sigma}{\sigma_\delta}. \quad (3.35)$$

Підставляючи останній вираз в (3.34), одержуємо зв'язок швидкості течії з радіусом перемички:

$$v = \frac{dr}{d\tau} \sqrt{\left(\frac{r_0}{r_{bro}}\right)^4 \times \left(\left(\frac{2}{B_0}\right) \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)\right)^2 + 1} \quad (3.36)$$

Далі, підставляючи цю швидкість в (3.21), одержуємо наступне диференціальне рівняння кінетики радіуса перемички:

$$\frac{dr}{d\tau} \sqrt{\left(\frac{r_0}{r_{br0}}\right)^4 \times \left(\frac{2}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)^2 + 1} = \frac{2}{\sqrt{r}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \quad (3.37)$$

Рішення цього рівняння з початковою умовою  $r(\tau)|_{\tau=0} = 0$  має вигляд:

$$\tau = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{\sigma \cdot r^3}{\rho}} \times \sqrt{\left(\frac{r_0}{r_{br0}}\right)^4 \cdot \left(\frac{2}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)^2 + 1}. \quad (3.38)$$

Відзначимо, що одержане рівняння відрізняється від рівняння (3.1), запропоноване [285], постійним коефіцієнтом, враховуючи початковий радіус перемички, і, на відміну від рівняння (3.1), дозволяє обчислити тривалість стоншення перемички від початкового значення  $r_{br0}$ , до 0. Таким чином, тривалість третього етапу (час розриву перемички) дорівнює:

$$\Delta\tau_2 = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{\sigma r_{br0}^3}{\rho}} \times \sqrt{\left(\frac{r_0}{r_{br0}}\right)^4 \cdot \left(\frac{2}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\rho_\delta}\right)^2 + 1} \quad (3.39)$$

На підставі проведених теоретичних досліджень розроблено кінетичну модель формування капсульованих рідин. Для перевірки запропонованої моделі необхідним є підтвердження коректності розрахунків з метою адаптації їх у реальному технологічному процесі. Для підтвердження коректності одержаних теоретичних розрахунків кінетики утворення квазістабільної капсули, здійснимо аналіз одержаних результатів.

На рис. 3.4 наведено безрозмірний початковий радіус перемички, розрахований в результаті чисельного рішення рівняння (3.26) та безрозмірний початковий радіус краплі (3.21) залежно від безрозмірного радіусу живильної труби (в частках від капілярної довжини  $l_{cap}$ ).

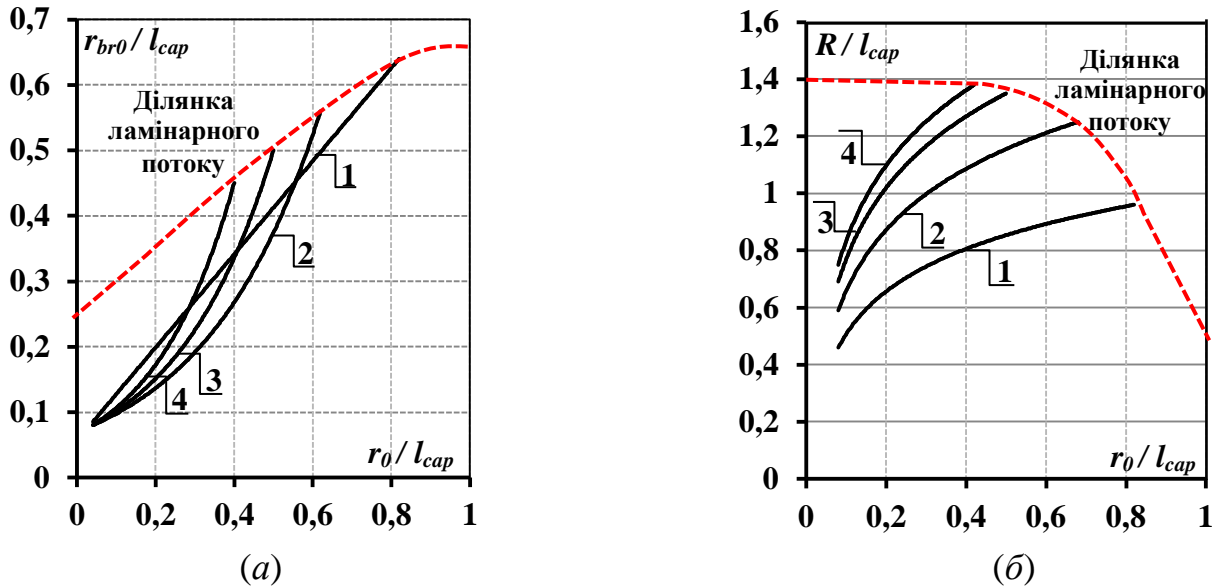


Рис. 3.4. Початковий радіус перемички (а) та краплі (б) залежно від радіуса живильної труби та відносного коефіцієнта поверхневого натягу: 1 –  $\sigma/\sigma_\delta = 1$ ; 2 –  $\sigma/\sigma_\delta = 2$ ; 3 –  $\sigma/\sigma_\delta = 3$ ; 4 –  $\sigma/\sigma_\delta = 4$

На підставі представлених на рис. 3.4 (а, б) залежностей, початковий радіус перемички та радіус краплі зменшуються зі зменшенням радіусу живильної труби, в той час як збільшення відносного коефіцієнта поверхневого натягу ядро-оболонка ( $\sigma/\sigma_\delta$ ) призводить до збільшення відповідних радіусів. Так, для відносного радіуса живильної труби  $r_0 = 0,4l_{cap}$  під час збільшення відносного коефіцієнта поверхневого натягу в 3 рази радіус краплі збільшується в 1,7 разів (рис. 3.5 (б)). Цей результат є наслідком того, що наявність оболонки збільшує результуючу силу поверхневого натягу, що діє на ядро краплі (міжфазна сила молекулярного взаємодії спрямована всередину краплі –  $\sigma > \sigma_\delta$ ). Відбувається, як би, «армування» поверхні краплі, яка в цьому випадку може витримати більший тиск сили тяжіння.

Однак, щоб одержати більший радіус краплі, доводиться зменшувати радіус живильної труби. Так, для отримання краплі з радіусом  $R = 1,3l_{cap}$  радіус живильної труби повинен бути не більше  $0,4l_{cap}$ , (рис. 3.4 (б)). Це обмеження викликано тим, що за великих радіусів живильної труби сила тяжіння переви-

щує силу поверхневого натягу, і крапля не утворюється, настає режим ламінарної течії. В рамках запропонованої моделі це означає, що умова рівності сили тяжіння та сили поверхневого натягу (3.26) не виконується.

Проаналізуємо одержані залежності для тривалості формування зародка краплі (3.31) та часу розриву перемички (3.29). Оскільки в ці рівняння входять дві невідомих величини (параметри подачі рідини в живильної трубі), представимо рівняння (3.31) та (3.39) у безрозмірному вигляді.

Характерним часом для процесів, які контролюються силою тяжіння та силою поверхневого натягу, є величина  $\sqrt{l_{cap}/g}$ . Із врахуванням цього, введемо відносний час  $\tau\sqrt{g/l_{cap}}$  і тоді, рівняння (3.39) приймає безрозмірний вигляд:

$$\Delta\tau_2 * = \frac{1}{3} B_0^{\frac{3}{4}} \times \sqrt{\frac{r_{bro}^3}{r_0^3}} \times \sqrt{\left(\frac{r_0}{r_{bro}}\right)^4 \cdot \left(\frac{2}{B_0} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)^2 + 1}, \quad (3.40)$$

де  $\Delta\tau_2 * = \Delta\tau_2 \sqrt{g/l_{cap}}$  – відносний час.

З рівняння (3.40) видно, що час розриву перемички є функцією тільки двох змінних: числа Бонда (оскільки початковий радіус перемички теж залежить від числа  $B_0$ ) та відносного коефіцієнта поверхневого натягу ( $\sigma/\sigma_\delta$ ).

Перетворимо рівняння (3.31), яке описує тривалість формування зародка та краплі, до безрозмірного вигляду. В цьому рівнянні фігурують дві невідомі величини – параметри напору у живильній трубі ( $p_0$ ,  $Q_V$ ). Будемо враховувати, що тиск  $p_0$  порядку капілярного тиску, тобто  $p_0 = 2\sigma/r_0$ , а об'ємні витрати рідини пов'язані зі швидкістю течії у живильній трубі як  $Q_V = \pi r_0^2 \cdot v_0$ . Тоді, із врахуванням відносного часу, рівняння (3.31) приймає наступний вигляд:

$$\Delta\tau_1 * = \frac{2\sqrt{B_0}}{\sqrt{Fr}} \times \left[ \frac{1}{B_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_\delta}\right)^2 \left[ \ln\left(\frac{r_0}{r_{bro}}\right) + \frac{r_{bro}}{r_0} - 1 \right] + \left(\frac{3}{2B_0} \frac{\sigma}{\sigma_\delta} \frac{r_{bro}}{r_0}\right)^{\frac{2}{3}} - \frac{r_{bro}^2}{r_0^2} \right], \quad (3.41)$$

де  $\Delta\tau_1 * = \Delta\tau_1 \sqrt{g/l_{cap}}$ ;  $Fr = V_0^2/(gl_{cap})$  – число Фруда;  $V_0$  – швидкість подачі рідини у живильній трубі

Як виходить з рівняння (3.39), відносний час формування зародка та краплі є функцією трьох змінних: числа Бонда, числа Фруда та відносного коефіцієнта поверхневого натягу –  $\sigma/\sigma_\delta$ . На рис. 3.5 (а) наведено відносний час розриву перемички залежно від числа Бонда, а на рис. 3.5 (б) – час формування зародка та краплі залежно від число Бонда.

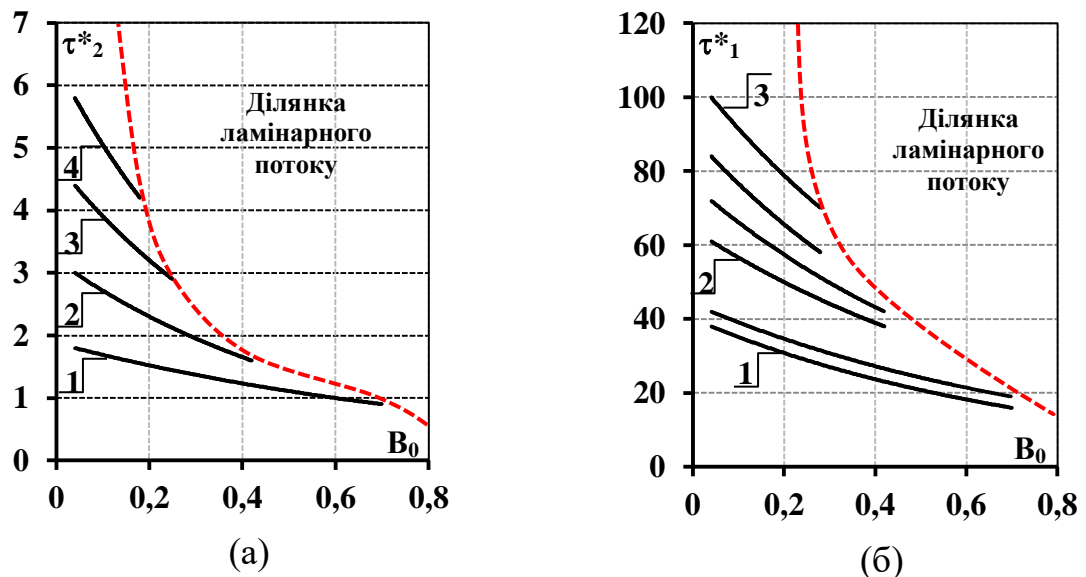


Рис. 3.5. Відносний час розриву перемички (а) та формування зародка та краплі (б): 1 –  $\sigma/\sigma_\delta = 1$ ; 2 –  $\sigma/\sigma_\delta = 2$ ; 3 –  $\sigma/\sigma_\delta = 3$ ; 4 –  $\sigma/\sigma_\delta = 4$ ; суцільні лінії –  $F_r = 0,01$ ; пунктирні лінії –  $F_r = 0,007$  відповідно

Як виходить з наведених залежностей, вплив відносного коефіцієнта поверхневого натягу ядро-оболонка ( $\sigma/\sigma_\delta$ ) значно сильніші впливу числа Бонда. Зменшення числа Бонда у 3 рази призводить до збільшення часу відриву краплі на 25,0 %, тоді, як триразове збільшення відповідного коефіцієнта поверхневого натягу збільшує час відриву краплі в 2,5 рази (рис. 3.5 (б)).

Зрозуміло, що зміна параметрів подачі рідини у живильній трубці (числа Фруда) пропорційно змінює час формування зародка та краплі. Так, наприклад, зменшення числа Фруда на 30,0 %, що відповідає зменшенню швидкості течії у живильної трубки на 16,0 %, збільшує тривалість етапу формування зародка і краплі на 16,0 % (рис. 3.5 (б)).

Важливим є той факт, що час формування зародка та краплі набагато більше, ніж час розриву перемички (приблизно у 20 разів). Таким чином, основним фактором, лімітуючим час утворення та відриву краплі, є саме стадія формування зародка, а не час розриву перемички. Це значить, що швидкість роботи пристрою для виробництва капсул за принципом самочинного розпаду визначає продуктивність капіляра по капсулоутворенню. Виконаємо оцінку цих часів для випадку формування краплі з чистої води. Для значень  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $\sigma = \sigma_\delta = 0,071 \text{ Н/м}$ ;  $r_0 = 1 \times 10^{-3} \text{ м}$ , початковий радіус перемички складає  $r_{br0} = 1,37 \times 10^{-3} \text{ м}$ , радіус краплі  $R = 2,45 \times 10^{-3} \text{ м}$  та, якщо прийняти значення числа  $Fr = 0,01$  (швидкість подачі води  $1,7 \text{ см/с}$ ), одержуємо відповідно час формування зародка та краплі  $0,47 \text{ с}$ , а час розриву перемички  $0,022 \text{ с}$ . Ці результати добре узгоджуються з даними, наведеними на рис. 3.1, де чітко видно, що основний час до відриву краплі доводиться на формування зародка та перемички. Для складних рідин та багатокомпонентної екструзії, з використанням конструкції по принципу «труба в трубі», ці величини необхідно визначати експериментально, тому що, коливання значень, можливо, будуть визначатися ступенем складності рідини, а також технологічними факторами, параметрами процесу тощо.

Повертаючись до рис. 3.5 (а), відзначимо вплив поверхневого натягу на час процесу: збільшення різниці у коефіцієнтах поверхневого натягу ядро-оболонка ( $\sigma - \sigma_\delta > 0$ ) збільшує час розриву перемички, але зменшує час формування зародка краплі. Зрозуміло, що час формування зародка обернено пропорційний швидкості подачі рідини, але, за зрозумілих причин, воно не може бути таким, оскільки погоджено з капілярним режимом течії.

Таким чином, з урахуванням закономірностей гравітації та використання методів системного аналізу розроблено модель капсулоутворення різних за походженням рідин екструзією у середовищі повітря. Визначено кінетику утворення капсульної структури, закономірності одержання кулястих форм з різним діаметром. Одержані закономірності є основою науково-технологічних принципів одержання ЛХСК у середовищі повітря зі стабільними властивостями.



Теоретично показано, що основним фактором, який лімітує процес утворення та відриву краплі, являється стадія формування зародка та безпосередньо краплі. Наявність під час капсулювання ЛХС оболонки на основі розчину AlgNa істотно впливає як на розміри перемички та краплі, так і на час процесів формування краплі й її відриву. При цьому, збільшення відносного коефіцієнта поверхневого натягу в 3 рази збільшує радіус краплі в 1,6 раз, а повний час формування й відриву краплі в 2,5 рази. Одержані рівняння можуть бути застосовані для експериментальної перевірки запропонованої моделі утворення й відриву краплі рідини, а також під час конструювання пристроїв для одержання капсул й обґрунтування їх потужності по кінцевому продукту.

### **3.2.2. Теоретичне обґрунтування кінетики капсулоутворення системи «ЛХС – водний розчин AlgNa» екструзією у середовищі олії дезодорованої**

Із аналізу даних теоретичних досліджень капсулоутворення двох рідин, із врахуванням залежностей трьох змінних – числа Бонда, числа Фруда й відносного коефіцієнта поверхневого натягу  $\sigma/\sigma_\delta$  та експериментальних досліджень (табл. 3.1) є очевидним, що процес капсулювання у середовищі повітря має певні процесові (продуктивність пристрою) та технологічні (неможливість одержання широкого розмірного типоряду ЛХСК) можливості, що звужує спектр використання ЛХСК в технології харчової продукції.

Процес капсулювання екструзією у середовищі повітря, який реалізується на самочинному гравітаційному відриві краплі від коаксіального екструдера за принципом «зверху-вниз», і науково-технічний принцип якого базується на рівності (балансі) поверхневого натягу оболонкоутворювача та сили тяжіння, які дозволяють створити зародок краплі й в подальшому безпосередньо саму краплю «ЛХС – оболонкоутворювач», згідно з технологічного та маркетингового аналізу не дозволяють у повній мірі задовільнити вимоги технологічного про-

цесу виготовлення харчової продукції в категорії характеристик «зовнішній вигляд», «розмірні характеристики», «маса капсули» тощо [286].

Із аналізу даних підрозділу 3.2.1 видно, що технологія одержання (формування) капсули екструзією у середовищі повітря складається з трьох етапів: утворення конусоподібного зародку краплі (етап 1), формування сферичної краплі під дією сил гравітації та перемички між краплею й струями рідин у голівці екструдера (етап 2), розрив перемички між краплею та зародком наступної краплі (етап 3). Зрозумілим є те, що такий принцип краплеутворення має певні обмеження в частині одержання асортиментного типоряду кінцевої продукції за розмірними характеристиками, що є важливим для даного сегменту харчової продукції.

Аналітично доведено, що саме формування зародка краплі, яке за часом близько у 20 разів перевищує час відриву краплі, є ключовим лімітуючим фактором продуктивності пристроїв для виробництва капсульованої продукції. Саме цьому, примусово прискорити кінетику процесу капсулоутворення у системі «рідка капсула – повітряне середовище» неможливо, оскільки саме перші два етапи повністю контролюються співвідношенням сил поверхневого натягу та тяжіння. Крім того, за такого способу формування капсули діаметр капсули також обмежений за тих же причин.

На підставі теоретичних досліджень нами висунуто робочу гіпотезу, яка полягає в тому, що заміна повітряного прийомного середовища рідким, яке не змішується з оболонкоутворювачем та за своїми фізичними характеристиками має порівняльно більшу густину ( $\rho$ ), дозволить, за рахунок використання компенсуючої сили тяжіння виштовхувальної сили Архімеда, покращити керованість кінетикою капсулоутворення, замінити самочинний гравітаційний, практично неконтрольований, відрив краплі у середовищі повітря на керований примусовий [287]. Це дозволить розширити розмірний типоряд ЛХСК і, тим самим, розширити асортимент нової продукції. Робоча гіпотеза базується на результатах дослідження підрозділу 3.2.1 з передбачень, що зменшення різниці

густини капсули та густини зовнішнього середовища ( $\rho_0$ ) призведе до зникнення перемички між утвореною капсулою та струями рідин екструдера (рис. 3.6), а значить змінить як кінетику капсулоутворення, так і забезпечить реалізацію прагнення капсули надбати сферичної форми, що є обов'язковою характеристикою якісного кінцевого продукту (рис. 3.7) [288].

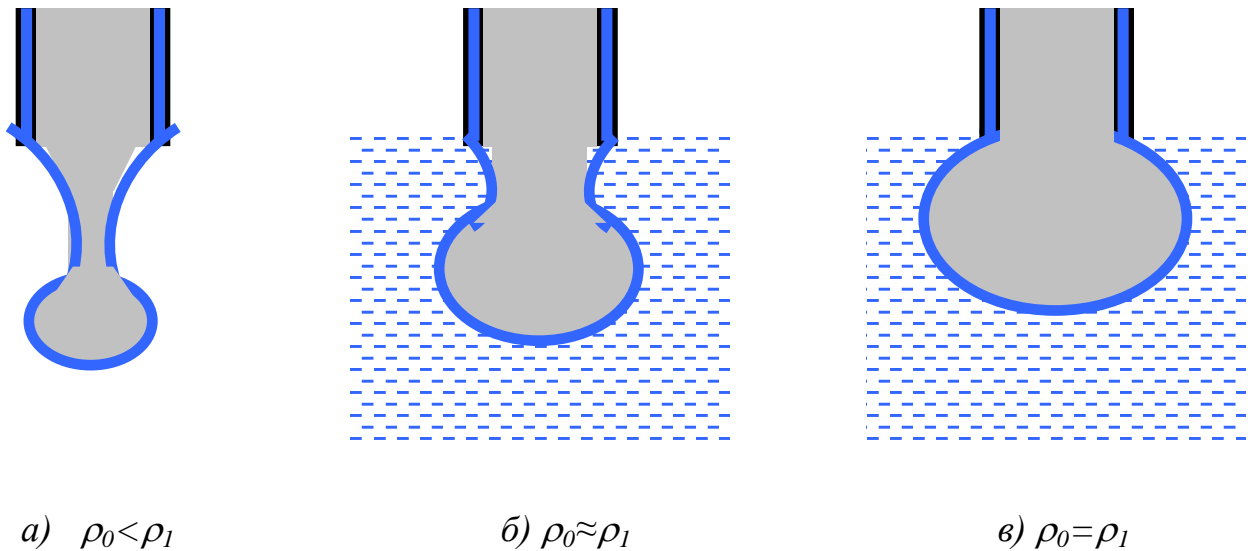


Рис. 3.6. Еволюція форми капсули під час утворення її у повітряному та рідкому середовищі: *a* – повітряне зовнішнє середовище; *б*, *в* – рідке зовнішнє середовище;  $\rho_0$  – різниця густин «капсула – зовнішнє середовище»;  $\rho_1$  – густина капсули

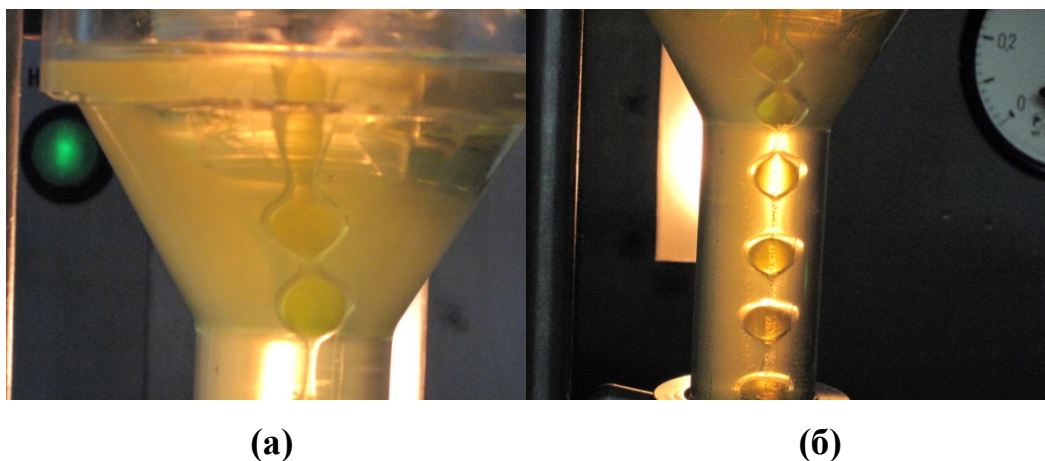


Рис. 3.7. Фотомоніторинг відсікання (*a*) капсули від ламінарного потоку коаксіальних струй рідин «олія в оболонкоутворювачі» та формування потоку квазістабільних ЛХСК (*б*) у верхньому шарі прийомного середовища «олія»

В ідеальному випадку реалізація умови «флотація» капсули ( $\rho_0/\rho_1 = 0$ ) у прийомному середовищі розмір та швидкість утворення капсули буде контролюватися силою міжфазного натягу (капсула – приймальна рідина), тиском подачі рідини у оболонку капсули та силою внутрішнього тертя. Очевидно, що реалізація таких умов залежить від цілого ряду факторів. У загальному вигляді це дуже складний гідродинамічний процес, в якому потрібно враховувати окрім внутрішніх та зовнішніх течій хімічні реакції, які можуть виникати на границі поділу фаз системи «рідке ядро – рідка оболонка – рідке прийомне середовище». Тому обов'язковою умовою є хімічна інтактність прийомного середовища від рецептурних учасників технологічного процесу, а капсула, яка утворюється у такому прийомному середовищі, повинна мати гарантовану фізичну цілісність форми у квазістабільному термодинамічному нерівноважному стані, що є вимогами підрозділу 3.1.

Виходячи з передбачень та для обґрунтування технологічного процесу одержання ЛХСК й окремих параметрів, які будуть закріплені як керуючі фактори у реальному технологічному процесі, нами сформульована задача, про побудову та аналіз гідродинамічної моделі, яка б дозволила надати аналітичний опис утворення та зростання до технологічно прогнозованих розмірів квазістабільної капсули «оболонкоутворювач – ЛХС» (у реальному процесі «водний розчин AlgNa + корегуючі добавки – олія та олійні екстракти ліпідів») у прийомному хімічно інтактному середовищі (в реальних умовах – олії) під дією доданого зовнішнього тиску.

Основні допущення, які прийняті для складання моделі:

– система, що досліджується, включає у себе рідку капсулу, яка складається з ядра й тонкої оболонки на основі різнорідних рідин, які не змішуються самостійно, з відсутніми хімічними потенціалами, та зовнішнє (приймне) рідке середовище, яке є хімічно інтактним до оболонкоутворювача (рис. 3.7). Розподіл фаз забезпечено міжфазними поверхневими взаємодіями. Усі фізичні характеристики рідин (густина, поверхневий натяг, в'язкість) не змінюються у процесі формоутворення. У якості оболонкоутворювача використовується водний розчин іонотропного полісахариду AlgNa, або в суміші з корегуючими властивості харчовими до-

бавками. За своєю структурою прийомне середовище може бути пошаровим, але робоча гіпотеза розповсюджується лише на один із його шарів (верхній), у якості якого використовуються олії дезодоровані;

– під час переходу квазістабільної капсули із формуючої фази прийомного середовища в інший шар прийомного середовища забезпечується фізична цілісність квазістабільної капсули, а склад другого шару визначається технологічною доцільністю; початковий момент часу на кінці коаксіальної капілярної труби радіусом  $R_0$  сформована капсула з початковим радіусом  $R_0$  та товщиною оболонки  $\delta$ , капсула повністю занурена у приймальну рідину, а товщина її оболонки не змінюється у часі;

– радіус капсули ЛХСК змінюється під дією зовнішнього тиску, який виникає стовбчиком рідини з постійною висотою  $h$ . Хімічні та теплові ефекти не враховуються.

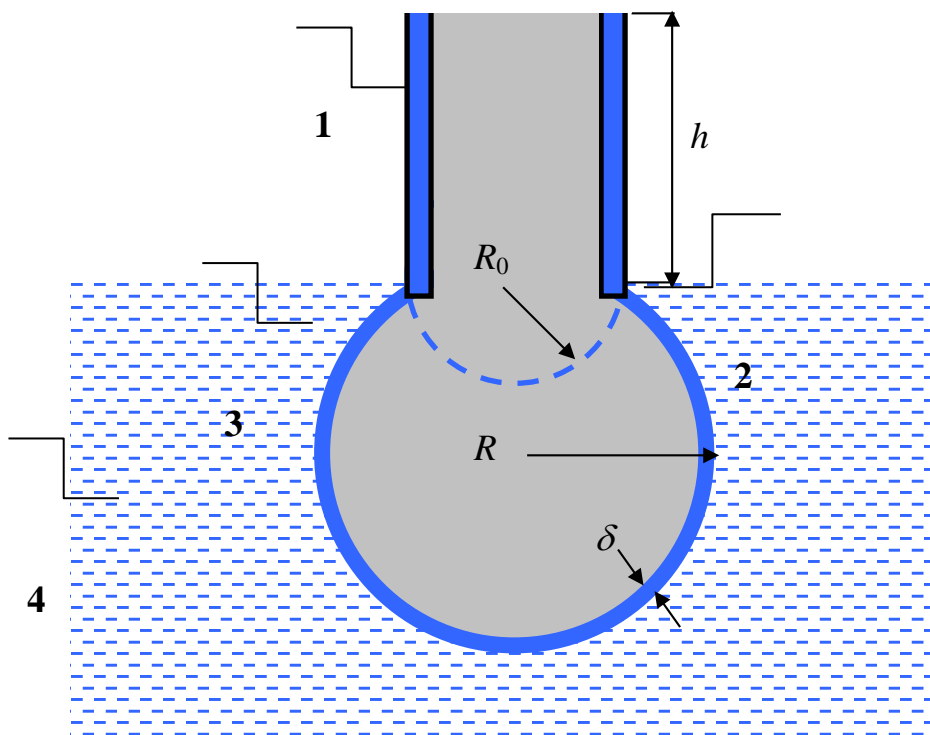


Рис. 3.8. Фізична модель утворення рідинної капсули у середовищі олії дезодорованої: 1 – труба подачі рідини; 2 – ядро капсули; 3 – оболонка капсули; 4 – приймальна рідина;  $R$  – зовнішній радіус краплі;  $R_0$  – початковий радіус краплі;  $h$  – висота стовбчика рідини у трубі;  $\delta$  – товщина оболонки капсули

На підставі другого закону Ньютона складаємо рівняння, яке описує зміну радіуса капсули [289]:

$$\frac{d}{d\tau}(\rho Vv) = F_h + (F_g - F_A) - F_\sigma - F_v, \quad (3.42)$$

де  $\rho$  – густина капсули;  $V$  – об'єм капсули;  $v$  – швидкість зміни радіуса капсули;  $F_h$  – сила зовнішнього тиску стовбчика рідини;  $F_g$  – сила тяжіння;  $F_A$  – сила Архімеда;  $F_v$  – сила внутрішнього тертя;  $F_\sigma$  – сила поверхневого натягу;  $\tau$  – поточний час

Враховуючи, що форма капсули – це усічена сфера, знайдемо її об'єм:

$$V = \frac{2}{3}\pi R^2 \left( R + \sqrt{R^2 - R_0^2} \right). \quad (3.43)$$

Швидкість зміни радіусу капсули дорівнює:

$$v = \frac{dR}{d\tau} \quad (3.44)$$

Відповідно у лівій частині рівняння (3.42) після диференціювання, та із врахуванням рівнянь (3.43 та 3.44), одержуємо:

$$\frac{d}{d\tau}(\rho Vv) = 2\pi R^2 \rho \left[ \frac{R + \sqrt{R^2 - R_0^2}}{3} \frac{d^2 R}{d\tau^2} + \left( 1 + \frac{3R^2 - 2R_0^2}{3R\sqrt{R^2 - R_0^2}} \right) \left( \frac{dR}{d\tau} \right)^2 \right]. \quad (3.45)$$

Відзначимо складові сил, які стоять у лівій частині рівняння (3.42).

$$F_h = \pi R_0^2 \rho g h, \quad (3.46)$$

$$F_g - F_A = \Delta \rho g V = \frac{2}{3} \pi \Delta \rho g R^2 \left( R + \sqrt{R^2 - R_0^2} \right). \quad (3.47)$$

Величину сили поверхневого натягу для капсули, яка складається з оболонки та ядра, знайдемо на підставі наступного. Сумарна поверхнева енергія сферичного ядра й оболонки капсули дорівнює:

$$W_{\sigma} = 4\pi R^2 \Delta\sigma_R + 4\pi(R - \delta)^2 \Delta\sigma_{\delta}, \quad (3.48)$$

де  $W_{\sigma}$  – сумарна поверхнева енергія;  $\Delta\sigma_R$  – коефіцієнт поверхневого натягу на границі «оболонка капсули – приймальна рідина»;  $\Delta\sigma_{\delta}$  – коефіцієнт поверхневого натягу на границі «ядро капсули – оболонка»

Відповідно сила поверхневого натягу дорівнює:

$$F_{\sigma} = \frac{dW_{\sigma}}{dR} = 8\pi[R\Delta\sigma_R + (R - \delta)\Delta\sigma_{\delta}]. \quad (3.49)$$

Для розрахунку сили внутрішнього тертя використаємо рівняння нерозривності, вважаючи, що сферична капсула утворюється з напівсфери наприкінці труби. Тоді рівняння нерозривності приймає наступний вигляд:

$$\pi R_0^2 v_0 = 4\pi R^2 v, \quad (3.50)$$

де  $v$  – поточна швидкість зміни радіуса капсули;  $v_0$  – швидкість подачі рідини у трубі.

На підставі рівняння нерозривності одержуємо зв'язок швидкості з радіусом капсули:

$$v = \frac{\pi R_0^2}{4 R^2} v_0. \quad (3.51)$$

Враховуючи закон внутрішнього тертя Ньютона, та формулу (3.50), запишемо:

$$F_v = -\eta \frac{dv}{dR} \cdot 4\pi R^2 = 2\pi\eta R_0^2 \frac{v_0}{R}. \quad (3.52)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт внутрішнього тертя на границі «зовнішня оболонка капсули – приймальна рідина»

Таким чином, із врахуванням рівнянь (3.45), (3.47), (3.49) та (3.52), диференціальне рівняння, яке описує зміну радіуса капсули у часі, остаточно приймає наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{R + \sqrt{R^2 - R_0^2}}{3} \frac{d^2 R}{d\tau^2} + \left( 1 + \frac{3R^2 - 2R_0^2}{3R\sqrt{R^2 - R_0^2}} \right) \left( \frac{dR}{d\tau} \right)^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{R_0}{R} \right)^2 gh + \dots \\ + \frac{1}{3} \frac{\Delta\rho}{\rho} g \left( R + \sqrt{R^2 - R_0^2} \right) - 4 \frac{R \cdot \Delta\sigma_R + (R - \delta) \cdot \Delta\sigma_\delta}{\rho R^2} - \frac{\eta v_0}{\rho} \frac{R_0^2}{R^3} \end{aligned} \quad (3.53)$$

Початкові умови задачі:

$$R(\tau)|_{\tau=0} = R_0, \quad \left. \frac{dR(\tau)}{d\tau} \right|_{\tau=0} = v_0. \quad (3.54)$$

Для того, щоб спростити одержане рівняння для аналізу надаймо йому безрозмірного вигляду, використовуючи відомі числа подоби. За наявності капілярних ефектів характерний розмір задачі дорівнює капілярній довжині ( $L_{cap}$ ):

$$L_{cap} = \sqrt{\frac{\Delta\sigma_R}{\rho g}}, \quad (3.55)$$

а характерний час:

$$\tau_{cap} = \sqrt{\frac{L_{cap}}{g}}. \quad (3.56)$$

Порядок цих характерних величин наступний: для системи «вода – повітря» –  $L_{cap} = 2,6 \times 10^{-3}$  м,  $\tau_{cap} = 0,017$  с; для системи «вода – олія» –  $L_{cap} = 2,0 \times 10^{-3}$  м,  $\tau_{cap} = 0,015$  с [290]. Введемо безрозмірні змінні та константи для задачі, що розглядається, нормуючи їх на капілярну довжину й час:



$$y = \frac{R}{L_{cap}}, \quad x = \frac{\tau}{\tau_{cap}}, \quad (3.57)$$

$$h_L = \frac{h}{L_{cap}}, \quad \delta_L = \frac{\delta}{L_{cap}}, \quad \frac{R_0}{L_{cap}} = \sqrt{Bo}. \quad (3.58)$$

де  $Bo$  – число Бонда:  $Bo = \frac{\rho g R_0^2}{\Delta \sigma_R}$

Тоді рівняння (3.54) та (3.55) приймають наступний безрозмірний вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{3y\sqrt{y^2 - Bo} + 3y^2 - 2Bo}{y\sqrt{y^2 - Bo}(y + \sqrt{y^2 - Bo})} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = \frac{3Bo h_L}{2y^2(y + \sqrt{y^2 - Bo})} + \dots \\ + \frac{\Delta \rho}{\rho} - \frac{12 \left( \frac{\Delta \sigma_\delta}{\Delta \sigma_R} (y - \delta_L) + y \right)}{y^2(y + \sqrt{y^2 - Bo})} - \frac{3Bo Cr}{y^3(y + \sqrt{y^2 - Bo})} \end{aligned} \quad (3.59)$$

$$y(x)|_{x=0} = \sqrt{Bo}, \quad \left. \frac{dy(x)}{dx} \right|_{x=0} = \sqrt{WeFr}. \quad (3.60)$$

де  $Cr = \frac{\eta v_0}{\Delta \sigma_R}$  – число капілярності;  $Fr = \frac{v_0^2}{gR_0}$  – число Фруда;  $We = \frac{\rho v_0^2 R_0}{\Delta \sigma_R}$

- число Вебера:  $\sqrt{WeFr} = v_0^2 \sqrt{\frac{\rho}{g \cdot \Delta \sigma_R}}$

У лівій частині рівняння (3.59) перший доданок – безрозмірне пришвидшення росту капсули, другий доданок – реактивна сила, яка виникає внаслідок зміни маси капсули. Ця сила зменшує результуюче пришвидшення.

Доданки у правій частині рівняння (3.60) представляють собою безрозмірні сили, які діють на капсулу у процесі її росту – це сили зовнішнього тиску, результуюча сила від дії сили тяжіння й Архімеда, сила поверхневого натягу й сила внутрішнього тертя. Слід відмітити, що останній доданок у рівнянні (3.59) на 3 порядки менший, чим інші внаслідок малості числа капілярності для мало-

в'язких рідин та невеликих реальних швидкостей течії під час формування капсули. Саме цьому, вплив цього доданку на кінетику процесу капсулоутворення практично не помітний.

Одержані розрахункові залежності (3.59) з технологічної точки зору є ключовим для конструктивного розрахунку пристрою, а також для забезпечення тиску в продуктопроводі, що забезпечує сталість та непереривність технологічного процесу капсулоутворення.

Очевидно, що умовою росту капсули являється умова позитивного пришвидшення, тобто  $d^2y/dx^2 > 0$ , для реалізації якої необхідно, щоб сумарна дія зовнішнього тиску, ваги капсули та сили Архімеда перевищували результативну дію сил, які мають негативний знак у рівнянні (3.59). Очевидно, що за нескінченно великого часу ( $x \rightarrow \infty$ ) пришвидшення рота капсули прагне до граничного значення, яке дорівнює співвідношенню різниці густини «капсула – зовнішнє середовище» до густини капсули.

$$\lim \left( \frac{d^2y}{dx^2} \right) \Big|_{x \rightarrow \infty} = \frac{\Delta\rho}{\rho}. \quad (3.61)$$

Саме цьому, в ідеальному випадку, якщо виконується умова «плавання» капсули ( $\rho_0 = 0$ ), швидкість рота капсули буде меншою, чим за умови позитивного значення відносної густини ( $\rho_0/\rho_1 > 0$ ).

З іншої сторони, за виконання умови  $\rho_0 > 0$  капсула рано чи пізно відірветься від живильної труби чи розірветься під дією надлишкового тиску, який створюється зовнішнім стовбчиком рідини висотою  $h$ .

За негативного значення  $\rho_0 < 0$  (сила Архімеда більша сили тяжіння) пришвидшення рота капсули буде негативним. Це значить, що у даному випадку швидкість рота капсули зменшується й рано чи пізно стає негативною, що призведе до виштовхування рідини з капсули назад до живильної труби.

Максимальний радіус капсули, який може бути досягнений за даних умов, визначається з умови рівноваги усіх сил рівняння (3.59):

$$\frac{3\text{Bo}h_L}{2y_{\max}^2} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \left( y_{\max} + \sqrt{y_{\max}^2 - \text{Bo}} \right) - \frac{12 \left( \frac{\Delta\sigma_\delta}{\Delta\sigma_R} (y_{\max} - \delta_L) + y_{\max} \right)}{y_{\max}^2} - \frac{3\text{BoCp}}{y_{\max}^3} = 0. \quad (3.62)$$

Рівняння (3.62) не має аналітичного рішення у загальному вигляді. Однак, за умови  $\Delta\rho/\rho = 0$  рівняння зводиться до квадратичного рівняння:

$$y_{\max} = \frac{8 \frac{\Delta\sigma_\delta}{\Delta\sigma_R} \delta_L + \text{Bo} h_L}{16 \left( \frac{\Delta\sigma_\delta}{\Delta\sigma_R} + 1 \right)} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{64 \text{BoCp} \left( \frac{\Delta\sigma_\delta}{\Delta\sigma_R} + 1 \right)}{\left( 8 \frac{\Delta\sigma_\delta}{\Delta\sigma_R} \delta_L + \text{Bo} h_L \right)^2}} \right), \quad (3.63)$$

З даного рівняння виходить, що, в ідеальному випадку реалізації умови плавання капсули у прийомній рідині ( $\rho_0/\rho_1 = 0$ ) максимальний радіус капсули ( $y_{\max} = R_{\max}/L_{cap}$ ) може бути скільки завгодно великим. Очевидно, що умову ( $\rho_0/\rho_1 = 0$ ) практично неможливо реалізувати на практиці, враховуючи хімічний склад речовини оболонки, ядра капсули та прийомного середовища, оскільки в першу чергу необхідно забезпечити розподіл поверхонь по міжфазній взаємодії.

Величина  $y_{\max}$  залежить фактично тільки від зовнішнього гідростатичного тиску ( $h_L = h / L_{cap}$ ), оскільки межі зміни інших параметрів, які входять до рівняння (3.63), обмежені за фізичних причин (як число Бонда та число капілярності) або за технологічними вимогами (співвідношення міжфазових натягів  $\Delta\sigma_\delta / \Delta\sigma_R$  й товщина капсули  $\delta/L_{cap}$ ).

Особливістю утворення капсули у середовищі «рідина» за малої різниці густин ( $\rho_0/\rho_1 \ll 1$ ), тобто тоді, коли масова частка оболонки в капсулі мінімальна, а наповнення капсули внутрішнім жировим умістом навпаки є максимальним, що є технологічним задумом процесу капсулювання, є умова, що зовні-

шній тиск повинен бути більшим деякого мінімального значення, яке забезпечує позитивне прискорення роста капсули у початковий момент часу.

Враховуючи, що у початковий момент часу  $y(0) = \sqrt{Bo}$ , одержуємо умову, за якої пришвидшення (права частина рівняння 3.59) буде позитивним:

$$h_L > 8 \left( \frac{1}{\sqrt{Bo}} - \frac{\delta_L}{Bo} \right) \frac{\Delta\sigma_\delta}{\Delta\sigma_R} - \frac{2}{3} \frac{\Delta\rho}{\rho} \sqrt{Bo} + 2 \frac{Cp+4}{\sqrt{Bo}}. \quad (3.64)$$

Рівняння (3.62) надає мінімальне значення гідростатичного напору стовбчика рідини у живильній трубці, оскільки  $p = \rho g h_L L_{cap}$ .

На рис. 3.9 наведені чисельні рішення рівняння (3.62) для максимального радіуса капсули залежно від основних параметрів задачі, що розглядається.

Рисунок 3.9 (а) відображає вплив на максимальний радіус капсули числа Бонда, який, в першу чергу, залежить від початкового розміру капсули ( $Bo = \rho g R_0^2 / \Delta\sigma_R$ ).

Рисунок 3.9 (б) ілюструє залежність величини  $R_{max}$  від коефіцієнтів поверхневого натягу на границі «ядро капсули – оболонка ( $\Delta\sigma_\delta$ )» та на границі «оболонка капсули – зовнішня приймальна рідина ( $\Delta\sigma_R$ )».

Очевидно, що найбільший вплив на максимальний розмір капсули надає відносна різниця густин. За  $\rho_0/\rho_l \rightarrow 1$  максимальний розмір капсули наближається до розміру в умовах, коли сила Архімеда прагне до 0, тобто у випадку, що описаний у підрозділі 3.2.1, коли аналізувалося утворення капсули у середовищі повітря.

Аналіз одержаних залежностей показує, що зміна товщини оболонки ( $\delta_L$ ) чи числа капілярності ( $Cp$ ) у 100 разів не впливає на максимальний розмір капсули.

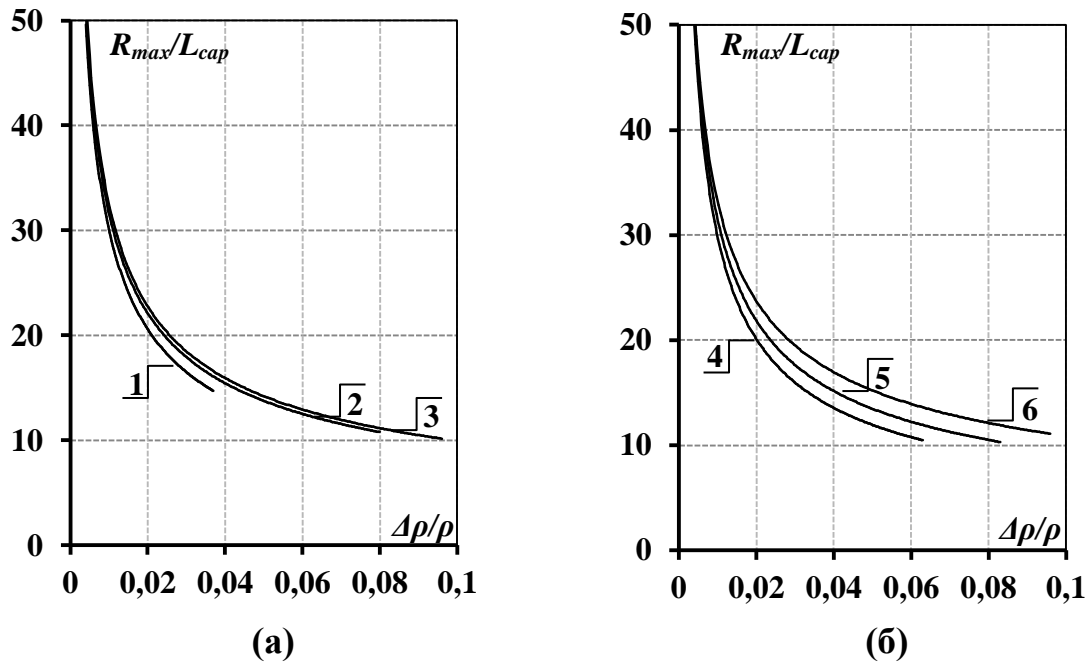


Рис. 3.9. Максимальний радіус капсули залежно від відносної різниці густин системи «рідка капсула – рідке зовнішнє середовище»:

(а): 1 –  $B_0 = 2$ ; 2 –  $B_0 = 1$ ; 3 –  $B_0 = 0,5$  ( $\Delta\sigma_\delta/\Delta\sigma_R = 0,75$ ;  $h_L = 30$ ;  $\delta_L = 0,07$ ;  $C_p = 0,03$ );

(б): 4 –  $\Delta\sigma_\delta/\Delta\sigma_R = 0,5$ ; 5 –  $\Delta\sigma_\delta/\Delta\sigma_R = 0,75$ ; 6 –  $\Delta\sigma_\delta/\Delta\sigma_R = 1$  ( $B_0 = 1$ ;  $h_L = 30$ ;  $\delta_L = 0,07$ ;  $C_p = 0,03$ )

Слід відмітити, що основні фізичні характеристики, які входять у рівняння (3.62) визначаються технологічними вимогами до кінцевого продукту, який капсулюється. Єдиним параметром, який може апаратно регулюватися у даному процесі є тиск подачі рідини (висота гідростатичного стовпчика  $h$ ). Нижньою межею зміни цього параметру являється мінімальна висота гідростатичного стовпчика, яка забезпечує початок росту капсули (3.64). Верхньою межею являється максимальний тиск стовпчика, який може бути ще компенсований силами поверхневого натягу. Цей максимальний тиск  $h_{L\max}(y_{\max})$  також визначається рівнянням (3.62):

$$h_{L\max} = \frac{8}{Bo} \frac{\Delta\sigma_\delta}{\Delta\sigma_R} (y_{\max} - \delta_\varepsilon) - \frac{2}{3} \frac{\Delta\rho}{\rho} y_{\max} \frac{y_{\max} + \sqrt{y_{\max}^2 - Bo}}{Bo} + 8 \frac{y_{\max}}{Bo} + \frac{2}{y_{\max}} C_p. \quad (3.65)$$

Нижче наведено графіки, які побудовані на підставі рівняння (3.65), що ілюструють вплив максимального тиску гідростатичного стовпчика рідини на величину максимального радіуса капсули.

Як показують наведені результати, зі збільшенням гідростатичного тиску максимальний розмір капсули зменшується, але незначно. Нижня границя гідростатичного тиску відповідає мінімальному тиску, який забезпечує початок росту капсули (3.62).

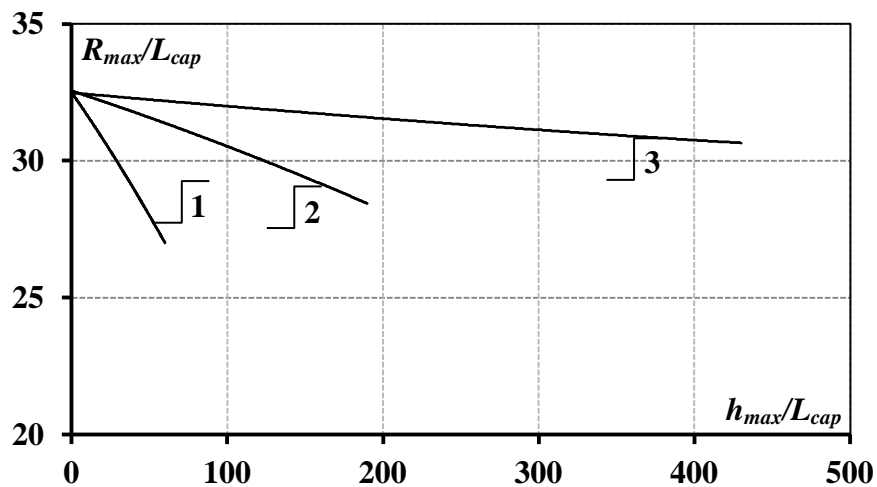


Рис. 3.10. Вплив гідростатичного тиску та числа Бонда на величину максимального радіуса капсули: 1 –  $B_0 = 2$ ; 2 –  $B_0 = 1$ ; 3 –  $B_0 = 0,1$  ( $\Delta\sigma_\delta / \Delta\sigma_R = 0,75$ ;  $\Delta\rho / \rho = 0,01$ ;  $\delta_L = 0,07$ ;  $C_p = 0,03$ )

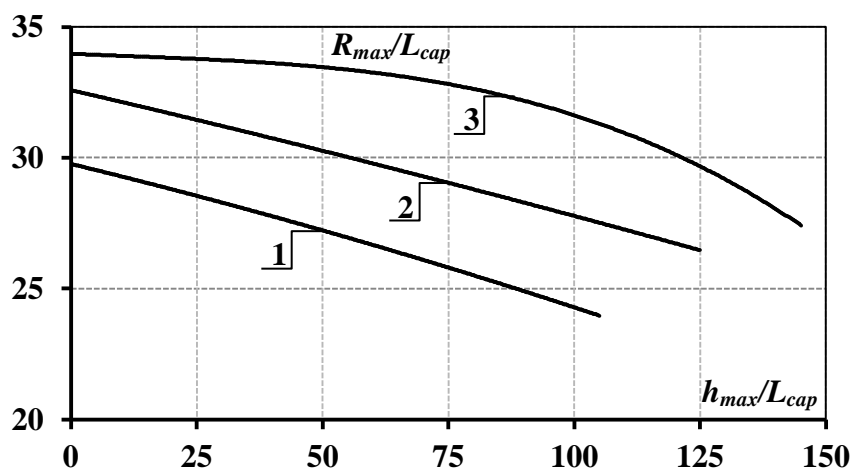


Рис. 3.11. Вплив гідростатичного тиску та відносного поверхневого натягу на величину максимального радіуса капсули: 1 –  $\Delta\sigma_\delta / \Delta\sigma_R = 0,5$ ; 2 –  $\Delta\sigma_\delta / \Delta\sigma_R = 0,75$ ; 3 –  $\Delta\sigma_\delta / \Delta\sigma_R = 1$  ( $B_0 = 1$ ,  $\Delta\rho / \rho = 0,01$ ;  $\delta_L = 0,07$ ;  $C_p = 0,03$ )

З рис. 3.10 видно, що зі збільшенням початкового радіуса капсули (числа Бонда) діапазон допустимих тисків подачі рідини значно зменшується. Це пояснюється тим, що за великої початкової маси капсули потрібно зменшити гідростатичний тиск, щоб капсула зберігала свою цілісність. З практичної точки зору, співвідношення діаметрів випускного отвору (3) та жикльору (10) (рис. 2.7) для забезпечення сталого технологічного процесу повинно бути обґрунтованим.

Зміна співвідношення між коефіцієнтами поверхневого натягу ( $\Delta\sigma_\delta / \Delta\sigma_R$ ) на границі «оболонка капсули – приймальна рідина» та «ядро капсули – оболонка» не значно впливає як на діапазон допустимих гідростатичних тисків, так і на величину максимального радіуса капсули (рис. 3.11).

Слід відмітити, що проведені розрахунки показують, що зміна товщини оболонки ( $\delta_L$ ) чи числа капілярності ( $C_p$ ) практично не впливають на максимальний радіус капсули.

На рис. 3.12 наведено результати моделювання кінетики процесу росту капсули, яка описується диференціальним рівнянням (3.59). Це рівняння із врахуванням початкових умов (3.59) вирішувалося чисельно у прикладному пакеті Mathcad. Результати моделювання показали, що наглядним явищем є три типи кінетичних залежностей, незалежно від зміни усіх параметрів дослідного процесу.

За малих гідростатичних тисків через деякий час радіус капсули може зменшуватися (крива 1, рис. 3.12). Це пов'язано з тим, що спочатку капсула зростає по інерції, спричиненою початковою швидкістю течії рідини у живильній трубці, але капілярні сили зростають швидше – й зовнішнього постійного тиску не достатньо для подолання капілярних сил та сили Архімеда.

Другий тип кінетичних кривих реалізується у випадку, коли зовнішній тиск підібрано так, що радіус капсули досягає свого максимального значення у момент, коли швидкість росту становиться нульовим (крива 2, рис. 3.12). В

цьому випадку, капсула нескінченно довго знаходиться у стані рівноваги. Такий зовнішній гідростатичний тиск слід віднести до оптимального.

Третій тип кінетичних кривих виникає у випадку, коли зовнішній тиск більший оптимального ( $h > h_{\text{opt}}$ ). В цьому випадку, швидкість росту капсули більший, чим у перших двох випадках, однак рано чи пізно капсула розривається під дією зовнішнього тиску (пунктирна лінія на кривих 3). При цьому максимальний радіус капсули зі збільшенням гідростатичного тиску зменшується.

На рис. 3.13 наведено початковий участок росту капсули залежно від початкового радіусу капсули. Висоту гідростатичного стовпчика при цьому обрали як оптимальну, відповідно до вищезазначених передумов. Як видно з наведених залежностей, у даному випадку початковий радіус не впливає на швидкість її росту вже через 0,02 с після початку процесу.

Таким чином, робочий тиск подачі рідини, що капсулюється, повинен бути оптимальним чи більшим, тобто раціональним для даних параметрів технологічного процесу, у тому числі і фізичних (органолептичних) характеристик кінцевого продукту. Величину цього тиску можна розрахувати по рівнянню (3.64) для заданого кінцевого радіусу капсули  $R_2 = y_{\text{max}} \cdot L_{\text{cap}}$ .

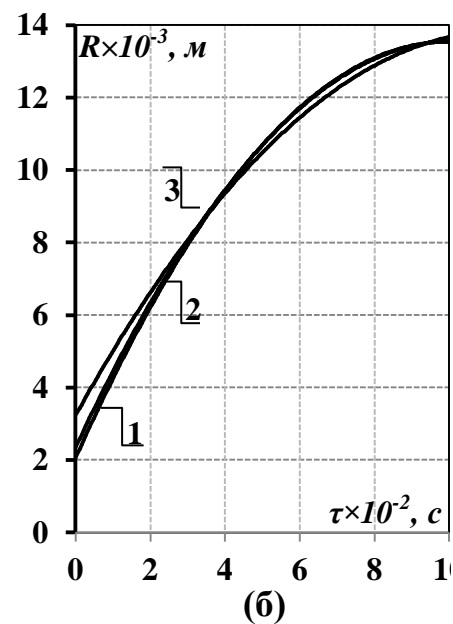
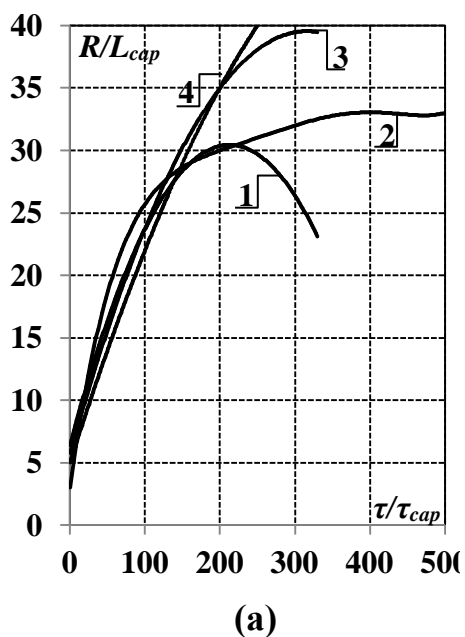


Рис. 3.12. Кінетика росту рідкої капсули у середовищі «рідина»: 1 –  $h < h_{\text{opt}}$ ; 2 –  $h = h_{\text{opt}}$ ; 3,4 –  $h > h_{\text{opt}}$  відповідно

Рис. 3.13. Початковий участок кінетики росту рідкої капсули у середовищі «рідина» залежно від початкового радіуса капсули: 1 –  $R_0 = 0,0015$  м; 2 –  $R_0 = 0,002$  м; 3 –  $R_0 = 0,003$  м ( $\Delta\sigma_\delta / \Delta\sigma_R = 0,75$ ,



Таким чином, розроблено модель формоутворення капсульованої рідини у газовому середовищі, яка дозволяє розрахувати початковий радіус перемички між зародком та краплею, радіус краплі, тривалість формування зародка та часу розриву перемички, що є необхідною для розробки нової технології. Теоретично показано, що основним фактором, який лімітує процес утворення та відриву краплі, являється саме стадія формування зародка та безпосередньо краплі. Час формування зародка та краплі набагато більший (приблизно в 20 разів), ніж час розриву перемички. Показано, що наявність у капсульованих рідин оболонки (збільшення відносного коефіцієнта поверхневого натягу ядро-оболонка) істотно впливає як на розміри перемички та краплі, так і на час процесів формування краплі й її відриву. При цьому, збільшення відносного коефіцієнта поверхневого натягу в 3 рази збільшує радіус краплі в 1,6 раз, а повний час формування й відриву краплі в 2,5 рази.

Теоретично доведено, що за умов формування капсул у газовому середовищі продуктивність процесу обмежена, як і діаметр капсул внаслідок визначальної дії на процес формоутворення сили тяжіння. Запропоновано вирішити проблему керованої кінетики формування капсули шляхом заміни газового прийомного середовища на рідинне, що дозволить скомпенсувати силу тяжіння силою Архімеда. Одержано диференційне рівняння, яке описує кінетику росту сферичної рідкої капсули у рідкому середовищі під дією доданого зовнішнього тиску, із врахуванням впливу міжфазного поверхневого натягу, розмірів ядра та оболонки, величину внутрішнього тертя. Показано, що під час росту капсули у рідкому середовищі максимальний радіус капсули значно залежить від значень відносної густини  $\rho_0 / \rho_1$  (відносної різниці густин капсули та зовнішнього середовища) та незначно змінюється від інших параметрів процесу: числа Бонда ( $Bo$ ), числа капілярності ( $C_p$ ), відносного поверхневого натягу ( $\sigma_\delta / \Delta\sigma_R$ ), товщини оболонки капсули тощо. При цьому, швидкість росту капсули тим більша, чим більше значення відносної густини системи. З практичної точки зору це значить, що чим

більше наповненість капсули інкапсулянтном, тим більше зростає складність керування процесом і знижується продуктивність пристрою за виходом кінцевого продукту. Одержане рівняння для розрахунку оптимального зовнішнього тиску залежно від кінцевого радіуса капсули. Доведено, що максимальний радіус капсули можна регулювати підбором зовнішнього гідростатичного тиску за інших заданих параметрів процесу.

Аналізом результатів моделювання процесу формування капсули доведено наявність трьох типів кінетичних залежностей незалежно від зміни параметрів процесу. Якщо зовнішній тиск менший оптимального, то через деякий час радіус капсули починає зменшуватися. Якщо зовнішній тиск дорівнює оптимальному, то квазістабільна капсула нескінченно довго може знаходитися у стані рівноваги. Якщо зовнішній тиск більший оптимального, то капсула розривається у момент, коли зовнішній тиск перевищує пружність капсули. Показано, що за оптимального зовнішнього тиску швидкість роста капсули не залежить від початкового радіуса капсули.

### **3.3 Розробка та аналітичне дослідження моделі одержання термодинамічно стабільних ЛХСК**

Теоретичне обґрунтування формоутворення дає підстави для одержання кулеподібних квазістабільних фізичних форм з заданими розмірними характеристиками за умов використання в якості формуючого середовища повітря або олії дезодорованої.

Практична значимість такого теоретичного дослідження для харчової промисловості буде значима лише за умови структурування квазістабільної текучої системи оболонкоутворювача з виникненням термодинамічно стабільної капсули з органолептичними показниками, що забезпечують її стабільність у технологічному потоці.

Під час використання у якості оболонкоутворювача розчину AlgNa доцільним є використання принципів структурування з утворенням «хімічного» гелю

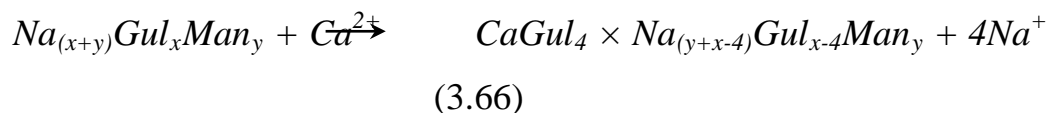
Alg<sub>2</sub>Ca.

### 3.3.1 Визначення закономірностей одержання ЛХСК, сформованих у середовищі повітря. Розробка моделі технологічного процесу виробництва

Одержання капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом відноситься до складних комплексних задач. Вони витікають із об'єктивних фізичних законів, врахування яких покладено у формування фізичного тіла та форми капсули (підрозділ 3.2). Одночасно враховуються хімічні закони на етапі формування гідрогелевої оболонки, що реалізовано на принципах виникнення «хімічного гелю» за рахунок виникнення поліелектролітного комплексу іонотропного полісахариду. Вирішення цих задач повинно бути реалізовано зі врахуванням вимог до товарознавчо-технологічних, функціонально-технологічних, мікробіологічних, органолептичних показників тощо.

Технологічно спрогнозовано, що сформована у середовищах повітря або олії дезодорованої квазістабільна капсула потрапляє у транспортно-приймне середовище водного розчину Ca<sup>2+</sup>.

Перехід капсули із квазістабільного в термодинамічний стабільний стан проходить у прийомному транспортному середовищі пристрою за рахунок реалізації хімічний потенціалів [7]. Завдяки хімічній взаємодії AlgNa, який є складовою частиною розчину оболонок квазістабільних капсул, з іонами бівалентного металу кальцію, який є складовою частиною прийомного середовища, утворюється плівкоподібна фаза капсули – Alg<sub>2</sub>Ca за схемою (3.66):



Спрогнозована нами модель розвитку утворення термодинамічної стабільної капсули наведено на рис. 3.14. Оцінюючи миттєві стани системи на рис. 3.14, можна констатувати, що під час потрапляння квазістабільної капсули у

водний розчин  $\text{CaCl}_2$  виникають декілька зон (рис. 3.14 а), розподілення яких пов'язано з закономірностями масопереносу  $\text{Ca}^{2+}$  із прийомного середовища в товщу стінки. Період існування стану (а) буде залежати від багатьох факторів, але час ( $\tau$ ) переходу у стан (б) є величиною, яка підлягає параметруванню.

Аналіз перетворень згідно гіпотези та розвиток системи до рівня (б) проходить у товщі оболонки шарів зони II, III в миттєвий час контакту з розчином  $\text{Ca}^{2+}$ . Це можливо лише за повного занурення капсули [291].

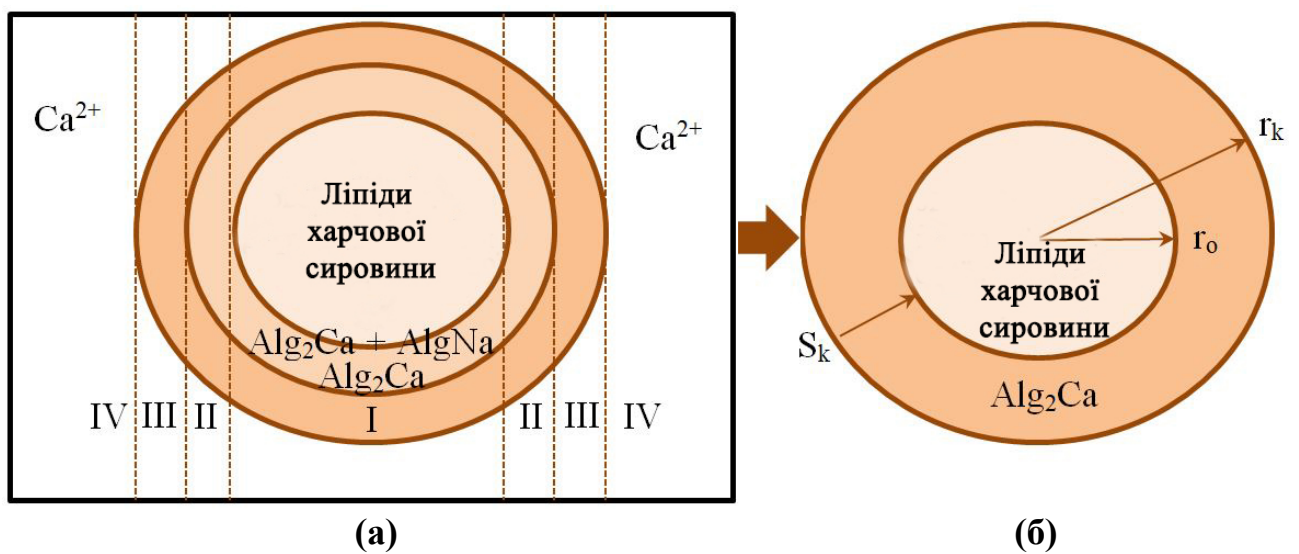


Рис. 3.14. Модель розвитку утворення термодинамічної стабільної капсули з внутрішнім жировим умістом: а – перша (миттєва) стадія (I – ЛХС; II – водний розчин AlgNa; III – гель  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ ; IV – прийомне середовище з  $\text{Ca}^{2+}$ ), б – утворення капсули з радіусом  $r_k$  і поверхнею  $S_k$

У початковий період у стінці капсули виникає декілька зон по відношенню до прийомного середовища (зона IV) та інкапсулянту (зона I).

Розглядаючи межі зон III та IV зрозуміло, що гель  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , який миттєво утворюється під час контакту квазістабільної капсули з прийомним середовищем, не може дифундувати в зону IV. Це можна пояснити тим, що ця речовина представляє собою гідрофобний полімер з високою молекулярною масою ( $> 1000$  кДа), який має низьку спорідненість з водою, а зона IV є водним розчи-

ном  $\text{Ca}^{2+}$ . Низька розчинність солі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  не дає можливість їй дисоціювати на іони за умови збитку концентрації  $\text{Ca}^{2+}$  у воді, тому дифузія  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  в бік водних розчинів, а саме зони IV, не можлива. Концентрація  $\text{Ca}^{2+}$  в зоні IV завжди буде більше концентрації  $\text{Ca}^{2+}$  в зоні III, що є причиною виникнення та існування  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  у стабільному стані. Не можлива також дифузія  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  всередину кулі у напрямку зон II та I, оскільки всередині кулі буде існувати водне середовище у вигляді суміші солей  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та  $\text{AlgNa}$ . Виходячи з умови, що  $D_{\text{AlgNa}} > D_{\text{Alg}_2\text{Ca}}$ , можлива лише дифузія  $\text{AlgNa}$  із зон I та II. Але низька спорідненість  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  з водою унеможлиблює цю дифузію.

Умова повного занурення квазістабільної капсули в прийомне середовище водного розчину  $\text{CaCl}_2$ , щоб досягти стану (б), є технологічно обов'язковою, але, як показують експериментальні дослідження, є неможливою без спеціальних технічних рішень, тому що вступає в протиріччя з основними фізичними законами, оскільки  $\rho_{\text{капсули}} < \rho_{\text{розчину Ca}^{2+}}$  та без додаткових конструктивно-технологічних рішень об'єктивно не може бути виконаною. Така нерівність виходить із фізичних характеристик складової капсули олії, наприклад соняшникової, для якої  $\rho = 920 \text{ кг/м}^3$ , що є меншим за густину прийомного середовища ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ). За цих умов капсула буде характеризуватися вираженою флоатацією (рис. 3.15) та наявністю хімічно пасивної зони  $S_{\text{поверхні}}$ . Єдиною можливою умовою масообміну іонів (рів. 3.66) з  $\text{Ca}^{2+}$  через поверхню капсули ( $S_k$ ) є надання капсулі циркумвільського обертання в рідині зі швидкістю ( $\omega$ ), що забезпечить контрольований масообмін через поверхню.

Оскільки активною поверхнею масообміну буде поверхня  $S_{\text{занурення}}$ , а поверхня  $S_{\text{поверхні}}$  буде об'єктивно контактувати з повітрям, то фактично питома поверхня контакту за перебування капсули у прийомному середовищі буде визначатися наступним виразом:

$$S_{\text{обміну капсули}} = \frac{(S_k - S_{\text{поверхні}}) \times \omega}{60}, \quad (3.67)$$

де  $S_k$  – поверхня капсули;  $S_{\text{поверхні}}$  – частина поверхні капсули, яка контак-

тує у прийомному середовищі;  $\omega$  – частота обертання капсули у прийомному середовищі.

Швидкість обертання капсули повинна перевищувати швидкість стікання розчину  $\text{AlgNa}$  по каналам Плато в межах  $r_k - r_o$ , де  $r_k$  – радіус сфери капсули, а  $r_o$  – радіус сфери капсули ЛХС у середині капсули. Із врахуванням рівняння, що швидкість перетворення  $\text{AlgNa}$  в  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  можна описати наступним виразом:

$$-\frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau} = \frac{dC_{\text{Alg}_2\text{Ca}}}{d\tau}, \quad (3.68)$$

де  $-\frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau}$  – швидкість перетворення  $\text{AlgNa}$  у часі,  $\frac{dC_{\text{Alg}_2\text{Ca}}}{d\tau}$  – швидкість утворення  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  у часі, та умови матеріального балансу в кожний момент часу

$$C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} + C_{\text{Alg}^-} = 1. \quad (3.69)$$

де  $C_{\text{Alg}^-}$ ,  $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}}$  – концентрації  $\text{AlgNa}$  й  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  відповідно, можна записати рівняння кінетики:

$$-\frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau} = \frac{d[\text{Alg}_2\text{Ca}]}{d\tau} = k[\text{Alg}^-] \times [\text{Ca}^+]. \quad (3.70)$$

де  $k$  – константа швидкості прямої реакції і за графічного моделювання капсули як сфери з порожниною з відомими розмірними характеристиками

Оскільки формоутворення оболонки у формуючій транспортній рідині є результатом масопереносів учасників рівняння (3.70), важливим є теоретичний розрахунок часу ( $\tau$ ) завершення процесу. Утворення стінок капсули фактично описується рівнянням заміщення катіонів. Це значить, що утворення оболонки ( $\frac{dC_{\text{Alg}_2\text{Ca}}}{d\tau}$ ) буде величиною пропорційно зв'язаною зі швидкістю перетворення

$\text{AlgNa}$  ( $-\frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau}$ ). За фіксованих через радіус ( $r_k$ ) розмірних характеристик капсули та радіусу внутрішнього умісту жиру ( $r_o$ ) можна розрахувати час переходу квазістабільної капсули у термодинамічний рівноважний стан із заданими технологічними показниками. Тоді концентрація  $\text{AlgNa}$   $[\text{Alg}^-]$ , та її зміна ( $-\frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau}$ ) у технологічному потоці може бути записана з врахуванням співвідношення за об'ємом «стінка капсули + ЛХС».

$$-\frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau} = [\text{Alg}^-] = (V_k - V_o) \times C_{\text{Alg}^-} \times \rho_{\text{розчинуAlg}^-} \quad (3.71)$$

де  $C_{\text{Alg}^-}$  – концентрація  $\text{AlgNa}$  за наважкою

У прийомному середовищі розчину  $\text{Ca}^{2+}$  зміна вмісту  $\text{AlgNa}$  в оболонці капсули  $-\frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau}$  за час  $\tau$  через поверхню  $S_k$  буде пропорційна змінній концентрації іонів кальцію  $[C_{\text{Ca}^{2+}}]$ .

$$[C_{\text{Ca}^{2+}}] = C_{\text{Ca}^{2+}} \times D \frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau} \times \tau \times S_k. \quad (3.72)$$

де  $D \frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau}$  – концентрація  $\text{AlgNa}$ , який переходить в гель  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  за час ( $\tau$ )

Така нерівність буде справедливою лише за умови, коли квазістабільна капсула буде повністю занурена у прийомне середовище розчину  $C_{\text{Ca}^{2+}}$  з концентрацією  $C_{\text{Ca}^{2+}}$ , що забезпечить дифузію  $\text{Ca}^{2+}$  через поверхню  $S_k$  зі значенням коефіцієнта дифузії  $D$ , але за умови нерівності (3.73):

$$\rho_k < \rho_{\text{Ca}^{2+}}. \quad (3.73)$$

Виштовхувальна сила Архімеда ( $F_A$ ) під час занурення капсули у прийомне середовище змусить капсулу до флотації. Модель розподілу площі поверхні іонообміну на поверхню, яка контактує з повітрям  $S_{\text{поверхні}}$  та занурення  $S_{\text{занурення}}$  наведено на рис. 3.15.

Тоді ефективна площа  $S_k = S_{\text{поверхні}} + S_{\text{занурення}}$  іонообміну  $S_{\text{занурення}}$  буде:

$$S_{\text{занурення}} = S_k - S_{\text{поверхні}}, \quad (3.74)$$

За цих умов формування стінки капсули як результат накопичення  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  може бути описано рівнянням:

$$\frac{dC_{\text{Alg}_2\text{Ca}}}{d\tau} = [k(V_k - V_o)C_{\text{Alg}^-} \times \rho] \times D \frac{dC_{\text{Alg}^-}}{d\tau} \times \frac{\tau(S_k - S_{\text{поверхні}}) \times \omega}{60}, \quad (3.75)$$

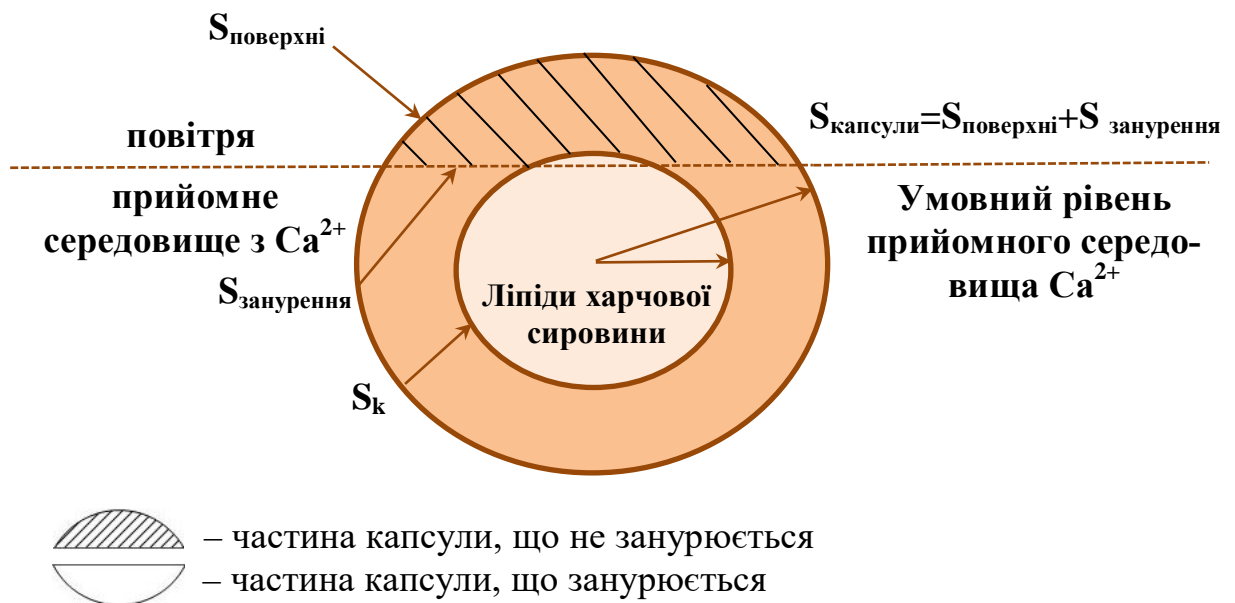


Рис. 3.15. Умовна модель розподілу поверхні капсули ( $S_k$ ) під час їх потрапляння у прийомне середовище  $\text{Ca}^{2+}$

Звідси час формування капсульованого продукту з заданими властивостями, які визначаються співвідношенням:  $\frac{\text{Alg}_2\text{Ca}}{\text{Alg}^-}$  буде:

$$\tau = \frac{60 \times \Delta X_2}{C_{\text{Ca}^{2+}} \times D \times \Delta X_1 \times S_{\text{занурення}} \times \omega \times k(V_k - V_o) \times C_{\text{Alg}^-}}, \quad (3.76)$$



Зазначимо, що  $\Delta X_1 = D \frac{dC_{Alg^-}}{d\tau}$ ;  $\Delta X_2 = \frac{dC_{Alg_2Ca}}{d\tau}$ , тоді, із врахуванням, що екструзійна головка має фіксовані за співвідношенням радіусів канали екструзії оболонкоутворювача ( $r_k$ ) та ЛХС ( $r_o$ ) та об'єм сфери розраховується за формулою  $V = 3/4\pi r^2$ , вираз набуває наступного вигляду:

$$\tau = \frac{180 \times \Delta X_2}{4C_{Ca^{2+}} \times D \times \Delta X_1 \times S_{занурення} \times \omega \times (r_k - r_o) \times C_{Alg^-}}. \quad (3.77)$$

Це рівняння описує закономірності формування термодинамічної стабільної із квазістабільної капсули у часі ( $\tau$ ) та виявляє значущі чинники, які є складовими рівняння. Використання одержаних результатів, а саме встановлення залежностей часу формування (рів. 3.77) термодинамічної стабільної капсули «ЛХС –  $Alg_2Ca$ » від величин, які можуть бути закладені як параметри технологічного процесу (концентрація  $AlgNa$  ( $C_{AlgNa}$ ) та іонів кальцію ( $C_{Ca^{2+}}$ ), розмірні характеристики капсули ( $r_k$ ), масові співвідношення оболонкоутворювача та жирового умісту ( $r_o$ ), конструктивні особливості пристрою, що забезпечують обертання капсули навколо своєї осі ( $\omega$ )), дозволяє одержати стабільний керований технологічний процес. Саме за виконання цих умов, на підставі аналізу розробленої моделі може бути розроблена технологічна схема реального технологічного процесу. Її виконання забезпечить одержання ЛХСК зі сталим прогнозованим рівнем якості [292].

Продуктивність пристрою (за витратами інкапсулянта) та розмірні характеристики ЛХСК будуть залежати від частоти відриву краплі-дози та фізичних розмірних характеристик.

Нами визначено ці залежності для водних розчинів  $AlgNa$  за концентрації  $C_{AlgNa}$  – 0,8 %, 1,0 % та 1,5 % в режимах моделювання капсулоутворення та під час наповнення оболонкоутворювача на 10...80 об.% олією.

Концентрації оболонкоутворювача  $C_{AlgNa} = 0,8...1,5$  % обрані за умов нижньої критичної концентрації  $AlgNa$  за здатністю утворювати гідрогелі по об'єму розчинника (гель-точка – 0,5 %), та верхньої критичної концентрації – за значного «ускладнення» рідини оболонкоутворювача, що призводить до неконтрольованого розпаду рідини з утворенням полідисперсних систем, описаних [293].

У табл. 3.1 наведені основні характеристики краплеутворення для технологічних ситуацій, що вивчалися. Для концентрації AlgNa  $C_{AlgNa} = 0,8\%$  збільшення діаметра сопла екструдера з  $d = 0,4$  до  $d = 4,0 \times 10^{-3}$  м призводить до зростання частоти відриву краплі у 2,2 рази, при цьому діаметр краплі зростає у 2,4 рази. Характерним є те, що приріст діаметру краплі по відношенню до діаметру сопла екструдера характерні тільки для діаметрів  $d = 0,4 \times 10^{-3}$  м ( $0,46 \pm 0,01$ ) та  $d = 0,6 \times 10^{-3}$  м ( $0,68 \pm 0,01$ ), що, вірогідно, обумовлено вираженими діями сил поверхневого натягу рідини. Подальше зростання діаметру призводить до відносного зниження діаметру краплі, що підтверджує теоретичний аналіз, наведений вище. Це свідчить про те, що діаметр капсули не може бути безкінечно збільшений тільки за рахунок зростання діаметру сопла.

Характерним є інтенсивне зростання величини похибки експерименту, що свідчить про зростання різнодисперсності зі збільшенням діаметру сопла. Це є опосередкованим фактом погіршення керованості технологічним процесом та погіршення якості кінцевого продукту. Очевидним є врахування цих даних під час обґрунтування конструктивних властивостей пристроїв для одержання ЛХСК.

Ця закономірність підтверджується і для експериментальних концентрацій AlgNa  $C_{AlgNa} = 1,0$  та  $1,5\%$  відповідно. Встановлено, що підвищення концентрації оболонкоутворювача розширює діапазон конструкторських діаметрів екструдера практично у 2 рази (до  $d = 8,0 \times 10^{-3}$  м), але діаметр краплі AlgNa зростає лише в 1,3 рази – до  $d = 1,4 \times 10^{-3}$  м. Для таких діаметрів сопла екструдера і діаметра краплі відхилення за стандартизованими керованими розмірами складає до  $\pm 28,6\%$ , що не є раціональним для організації технологічного процесу.

З наведених даних є очевидним, що продуктивність машини може бути керована у більшій мірі капілярним тиском, у результаті чого буде зростати частота відриву, оскільки можливість регулювання розмірами капсули є більш вузькою та обмеженою. Одночасно, моніторинг процесу краплеутворення свідчить, що вже починаючи з діаметру зовнішнього сопла  $d = 0,4 \times 10^{-3}$  м та до діаметру  $d = 4,0 \times 10^{-3}$  м є технічна можливість для наповнення рідиною оболонкоутворювача гідрофобним інкапсулянтном. Встановлено, що за діаметрів  $1,0 \times 10^{-3} < d$

$< 3,0 \times 10^{-3}$  м внутрішньої співвісної труби екструдера відбувається стійкий технологічний процес краплеутворення для оболонкоутворювача, але технічного рішення коаксіальної екструзії двох рідин нами не знайдено із-за неможливості сконструювати головку за принципом «труба в трубі». Така технічна можливість виникає з діаметру  $d = 4,0 \times 10^{-3}$  м. Така система забезпечує одержання квазістабільних капсул з наповненням 10,0...80,0 об.% та розмірними характеристиками  $d = 4,3...6,2 \times 10^{-3}$  м для в'язкості AlgNa  $\eta = 0,12...0,2$  Па  $\times$  с, що відповідає концентрації  $C_{AlgNa} = 0,8...1,0$  %. В межах цих концентрацій вдається одержати стабільний керований процес з капсулами різного наповнення, а, відповідно, і товщиною оболонки. За таких широких діапазонів наповнення капсули її проникність для речовин ззовні може бути суттєво скорегована, тому інкапсулянт може за одного складу суттєво змінювати свій вплив на гомеостаз.

Використання водних розчинів AlgNa з концентрацією  $C_{AlgNa} = > 1,5$  % не є доцільним, оскільки суттєво знижується керованість технологічним процесом. Слід підкреслити, що зростання частки інкапсулянту гальмує інтенсивність відриву капсул від ламінарного потоку рідин, що, вірогідно, продиктовано зниженням питомої маси краплі за рахунок  $\rho_o < \rho_{AlgNa}$ , а також об'єктивним зростанням вільної енергії поверхонь та виникненням міжфазного адсорбційного шару на межі поділу «водний розчин AlgNa – ЛХС».

Нижченаведені дослідження свідчать, що технологічний принцип є дуже ефективним для одержання ЛХСК з розмірами капсул  $d = 4,0...6,0 \times 10^{-3}$  м та має обмеження за продуктивністю пристроїв із-за необхідності забезпечення самочинного керованого розпаду рідин.

Вірогідно, для збільшення діаметрів ЛХСК є необхідним реалізувати нові технологічні принципи.

Проведене аналітичне моделювання стало підґрунтям для створення фізичних моделей та пристроїв для одержання ЛХСК у середовищі повітря та олії дезодорованої (рис. 2.5...2.7).

Таблиця 3.1

## Основні характеристики краплеутворення під час самочинного витікання струї водного розчину AlgNa

Характеристика розчину AlgNa	Діаметр сопла, $\times 10^{-3}$ м	Частота відриву краплі, $1/60$ с $^{-1}$	Діаметр краплі, $\times 10^{-3}$ м	Діаметр капсули / частота відриву з наповненням олії, %		
				10	40	80
C = 0,8 %; $\eta = 0,12$ Па $\times$ с за $\gamma = 100$ с $^{-1}$	0,4	$82 \pm 2$	$0,46 \pm 0,01$	-	-	-
	0,6	$98 \pm 4$	$0,68 \pm 0,01$	-	-	-
	1,0	$112 \pm 4$	$1,0 \pm 0,15$	-	-	-
	1,2	$116 \pm 8$	$1,1 \pm 0,16$	-	-	-
	2,0	$120 \pm 8$	$1,1 \pm 0,2$	-	-	-
	4,0	$180 \pm 12$	$3,8 \pm 0,2$	4,3 / 118	4,7 / 106	5,0 / 90
	6,0	не визначається		4,3 / 120	4,6 / 112	4,8 / 110
	8,0	не визначається				
C = 1,0 %; $\eta = 0,2$ Па $\times$ с за $\gamma = 100$ с $^{-1}$	0,4	$42 \pm 1$	$0,48 \pm 0,01$	-	-	-
	0,6	$76 \pm 2$	$0,7 \pm 0,02$	-	-	-
	1,0	$92 \pm 2$	$1,4 \pm 0,2$	-	-	-
	1,2	$102 \pm 4$	$1,7 \pm 0,1$	-	-	-
	2,0	$106 \pm 4$	$1,7 \pm 0,2$	-	-	-
	4,0	$162 \pm 3$	$4,4 \pm 0,4$	4,8 / 158	5,2 / 150	5,4 / 142
	6,0	$186 \pm 2$	$5,8 \pm 0,4$	6,0 / 160	6,6 / 153	7,6 / 150
	8,0	$198 \pm 8$	$5,6 \pm 0,4$	5,8 / 166	6,1 / 160	7,0 / 158
C = 1,5 %; $\eta = 0,43$ Па $\times$ с за $\gamma = 100$ с $^{-1}$	0,4	-	-	-	-	-
	0,6	-	-	-	-	-
	1,0	$42 \pm 4$	$1,1 \pm 0,1$	-	-	-
	1,2	$46 \pm 6$	$1,1 \pm 0,2$	-	-	-
	2,0	$52 \pm 10$	$1,3 \pm 0,1$	-	-	-
	4,0	$53 \pm 10$	$1,3 \pm 0,2$	4,3 / 50	4,8 / 48	-
	6,0	$58 \pm 12$	$1,3 \pm 0,4$	4,3 / 50	4,4 / 40	-
	8,0	$64 \pm 16$	$1,4 \pm 0,4$	4,3 / 51	-	-

В основі одержання ЛХСК лежить співвісна вертикальна екструзія за принципом «труба в трубі», де по зовнішній трубі подається водний розчин AlgNa, а по внутрішній – олія, жири або суміші, екстракти на основі ліпідів. Розроблено спосіб капсулоутворення гідрофобних речовин та запатентовано технічні рішення одержання капсул з внутрішнім гідрофобним умістом [107, 267].

Визначено, що для забезпечення стабільного технологічного процесу одержання ЛХСК важливим є організація ламінарних потоків оболонкоутворювача та ЛХС по продуктопроводам головки екструдера (рис. 2.8, рис. 2,9). Також, необхідним є забезпечення фізичного утворення квазістабільної капсули під час її відриву від головки з рівномірним та симетричним відносно центру капсули розподіленням ліпідного умісту та оболонкоутворювача. Забезпечення формування фізично правильної форми та рівномірного розподілення оболонкоутворювача по поверхні інкапсулянту є складною технологічною й конструктивною задачею в силу різної густини ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) оболонкоутворювача та внутрішнього умісту. Це є причиною виникнення дефектів квазістабільної краплі-капсули, які проявляються в утовщенні нижньої перемички оболонкоутворювача з одночасною втратою товщини у верхній та бокових її частинах. Виникнення фізичної диспропорції капсули призводить до ускладнення технологічного процесу: зниження якості готової продукції.

Ліквідація виявлених фізичних диспропорцій під час формоутворення краплі-капсули досягається шляхом використання спеціально сконструйованої головки з контрольованою рухомою внутрішньою трубою продуктопроводу (рис. 2.6, рис. 2.7). Це дозволяє контролювати та регулювати товщину горизонтальних стінок капсули. Одночасно важливо було відзначити діаметри сопел головки екструзії, тому що тільки відрив краплі близько до площини отвору забезпечує контрольовані фізичні характеристики капсули. Самочинний розпад струїв у середовищі «повітря» призводить до виникнення некерованої полідисперсної системи зі спонтанним набором розмірних характеристик. На підставі узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень встановлено раці-

ональні параметри одержання ЛХСК екструзією у середовищі повітря (табл. 3.2) та розроблено технологічну модель їх виробництва (3.16).

Таблиця 3.2

### Рациональні параметри одержання ЛХСК екструзією у середовищі повітря

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Граничні значення
Концентрація AlgNa у формуючому розчині оболонки капсули	%	0,8...1,5
Концентрація CaCl <sub>2</sub> у прийомному середовищі	%	1,0...1,2
Масове співвідношення оболонкоутворювача та внутрішнього умісту капсули	мас.%/мас.%	75 : 25
Розмірні характеристики капсули	× 10 <sup>-3</sup> м	4,3...7,6
Час формування оболонки капсули	с	Згідно форм. 3.76

Таблиця 3.3

### Структура технологічної системи та мета її функціонування

Позначення підсистеми	Найменування підсистеми	Мета функціонування підсистеми
A	Утворення готового продукту	Одержання продукту у вигляді капсул із заданими властивостями та хімічним складом
B	Одержання напівфабрикату ЛХСК	Одержання шляхом співвісної екструзії у середовищі повітря капсульованого напівфабрикату з внутрішнім жировим умістом кулястої форми заданого діаметру
C <sub>1</sub>	Утворення формуючого розчину AlgNa	Одержання гомогенного водного розчину AlgNa як формуючого розчину оболонки капсули
C <sub>2</sub>	Утворення водного розчину прийомного середовища	Одержання водного розчину CaCl <sub>2</sub> з прогнозованою кількістю Ca <sup>2+</sup> як прийомного середовища для квазістабільних капсул
C <sub>3</sub>	Утворення рецептурної суміші, яка підлягає капсулюванню	Одержання ЛХС підготовлених із заданими показниками текучості та хімічним складом

Реалізація моделі виробництва ЛХСК екструзією у середовищі повітря може бути тільки при побудові цілісної фізичної системи, в межах якої відокремлені окремі підсистеми –  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , В, А, функціонування яких спрямовано на одержання кінцевого продукту з заданими показниками якості та безпечності. Мету функціонування кожної підсистеми представлено у табл. 3.3.

В рамках підсистеми  $C_1$  одержують водний розчин AlgNa як формуючий розчин оболонки капсули, який диспергують у воді питній підготовленій до утворення гомогенної суміші. Визначено, що для забезпечення заданих структурно-механічних показників мінімальна концентрація AlgNa у формуючому розчині повинна складати 0,8...1,5 %.

Підсистема  $C_2$  спрямована на одержання водного розчину  $CaCl_2$  з прогнозованою кількістю  $Ca^{2+}$  як прийомного середовища для квазістабільних капсул. В даному випадку  $Ca^{2+}$  виступають в якості «зшиваючого» агенту під час реалізації методу іотропного гелеутворення результатом чого є перехід капсул із квазістабільного у термодинамічний стабільний стан.

Встановлено, що забезпечення заданих пружних характеристик оболонки капсул мінімальна концентрація  $CaCl_2$  у прийомному середовищі повинна складати не менше 1,0 %.

В межах підсистеми  $C_3$  проводять технологічні операції, спрямовані на підготовку внутрішнього жирового умісту капсул. Залежно від виду ЛХС, що використовуються, необхідним є одержання заданих в'язко-текучих властивостей ліпиду для забезпечення безперешкодного ламінарного потоку у внутрішньому продуктопроводі. У разі використання суміші оліє-жирової сировини або необхідності збагачення її жиророзчинними функціональними інгредієнтами попередньо проводять МКО усіх складових з наступним одержанням однорідної суміші заданої текучості.

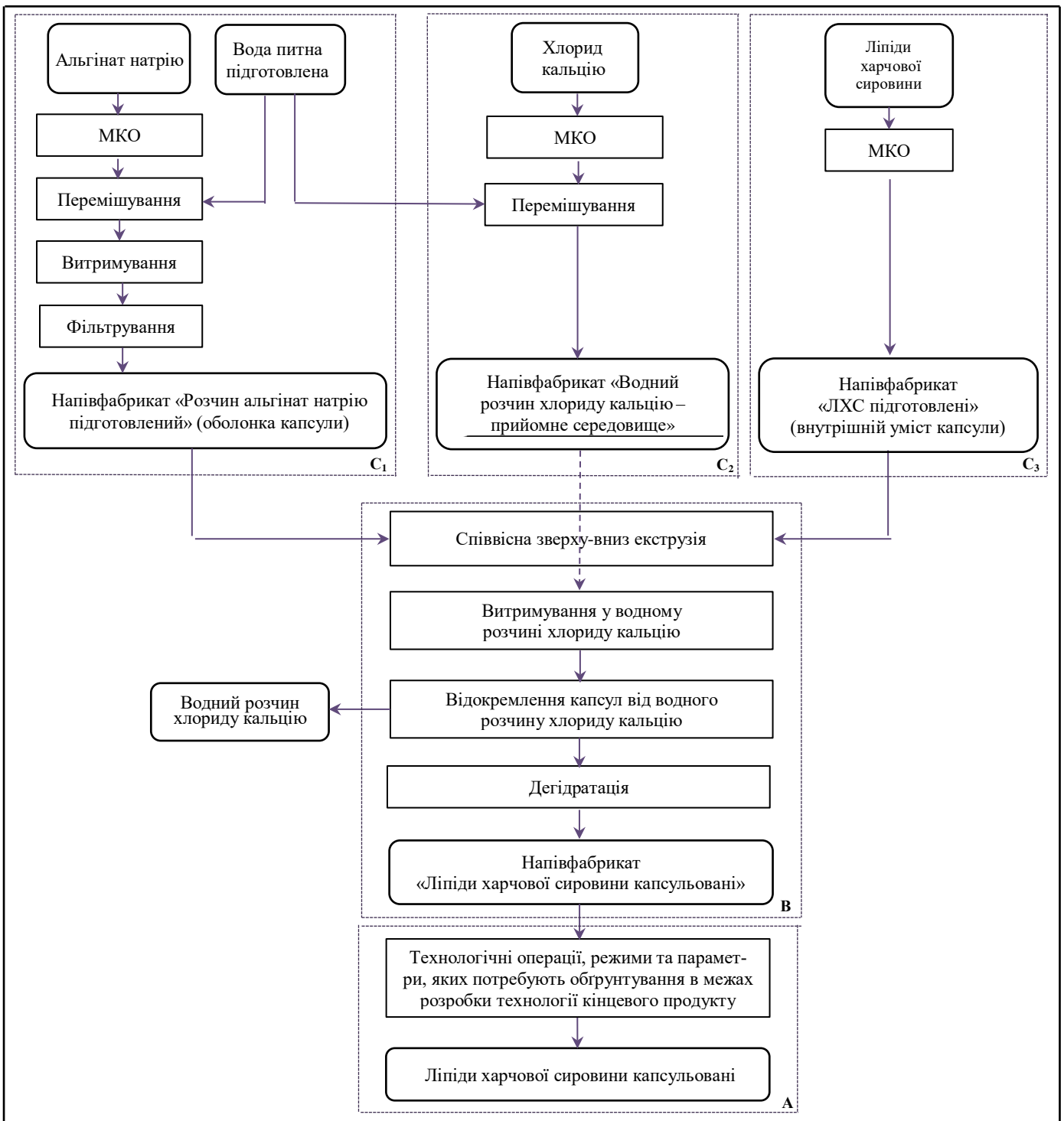


Рис. 3.16. Технологічна модель виробництва ЛХСК екструзією у середовищі повітря

Підсистема В передбачає проведення співвісної вертикальної екструзії водного розчину AlgNa та внутрішнього жирового умісту капсул з одержанням квазістабільної капсули у середовищі повітря, яка потрапляє у прийомне сере-



довище водного розчину  $\text{CaCl}_2$  де, безпосередньо, відбувається реалізація іонотропного гелеутворення хімічно активних речовин  $\text{AlgNa}$  та  $\text{Ca}^{2+}$ . Результатом цього є утворення термодинамічної стабільної оболонки капсули на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  заданої міцності та товщини. Доведена доцільність витримування капсул у прийомному середовищі  $\text{Ca}^{2+}$  протягом  $\tau =$  форм. 3.76 з наступними технологічними операціями для забезпечення сталих показників якості кінцевого продукту.

В рамках підсистеми А здійснюють технологічні операції, спрямовані на одержання кінцевого продукту з заданими органолептичними, фізико-хімічними, структурно-механічними показниками, які не змінюються протягом усього задекларованого терміну зберігання. Дана підсистема передбачає проведення послідовних організаційно-технологічних операцій, які забезпечують одержання кінцевого продукту заданої якості згідно зі встановленим технологічним та маркетинговим задумом.

### **3.3.2 Визначення закономірностей одержання ЛХСК, сформованих у середовищі олії дезодорованої. Розробка моделі технологічного процесу виробництва**

Для розширення асортименту ЛХСК за розмірними характеристиками теоретично обґрунтовано (розділ 3.2.2) технологію формування квазістабільних капсул у гідрофобному середовищі олії, тим самим стримуючи самочинний розпад компенсуючою реактивною виштовхувальною силою Архімеда. Передбачається, що течія двох рідин буде йти ламінарним безперервним потоком, що забезпечує сталість параметрів – швидкість витікання рідини зі складного сопла вертикальною рідиною екструдера, тиск та їх гомогенність й забезпечує керування примусовими умовами розриву рідин на краплі під час струйної екструзії. Нами змодельовано, що екструзія рідин буде виконуватися у складне прийомне середовище рідин, що передбачає наявність двох фаз середовища: верхня фаза – олійна,

нижня – водно-спиртовий розчин з  $\text{Ca}^{2+}$ , перехід капсул у який забезпечує «золь-гель» перехід гелеутворювача оболонки.

Вибір олії дезодорованої у якості верхньої фази прийомного середовища виходить з умов неспорідненості оболонкоутворювача та олії, що забезпечує утворення сфери. З технологічної точки зору, це дозволяє:

- надати технологічну можливість збільшити розмірні характеристики капсул, у порівнянні з екструзією у середовищі повітря;
- знизити швидкість занурення капсул у порівнянні з екструзією у середовищі повітря, що робить процес «технологічно контрольованим» для технолога-оператора;
- ввести у технологічний процес додатковий фактор керування якістю через параметр «час процесу».

Слід підкреслити, що крапля у вигляді сфери, яка знаходиться у шарі середовища, за складом є системою «олія – вода», тому з середини – з точки зору хімічного закону, доза олії завжди буде набувати фази у вигляді не змішуваної форми сфери, а потрапивши у прийомне середовище олії є системою «вода – олія», що змушує об'єктивно утримувати форму сфери. Саме це є квазістабільним фізичним станом капсули.

Перехід капсул із квазістабільного в термодинамічний стабільний стан досягається за рахунок завершеності процесу формоутворення у нижній водній фазі складного прийомного середовища, в якій реалізується механізм іонотропного гелеутворення, тобто відбувається «золь-гель» перехід.

Не зважаючи на об'єктивність перебігу хімічної реакції гелеутворення  $\text{AlgNa}$  у нижньому водному середовищі, за структурою можливе виникнення різних за властивостями (міцність, еластичність, крихкість, проникність) гелів оболонки, що корегується умовами та параметрами технологічного процесу. Оскільки, за умови фізичної екструзії і одночасної присутності у прийомному середовищі невизначеного співвідношення  $\text{Alg}^-$  у стані оболонок капсули у реальному технологічному процесі завжди буде виникати нерівноважний хімічний стан, ступінь нерівноважності якого буде визначатися нестачею одного із двох

компонентів –  $\text{Alg}^-$  або  $\text{Ca}^{2+}$  для забезпечення переходу сформованих капсул із квазі- у термодинамічно стабільний стан. Очевидним є, що масоперенос в системі « $\text{Alg}^- - \text{Ca}^{2+}$ » буде виконуватися лише за рахунок дифузії  $\text{Ca}^{2+}$ , тому умовою стабільності технологічного процесу є наступне:

$$[\text{Ca}^{2+}] \gg [\text{Ca}^{2+}_{\text{приймного середовища}}]$$

Зменшення концентрації компонентів підпорядковано наступній умові:

$$\frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{d\tau} < \frac{d[\text{Alg}^-]}{d\tau} \quad (3.78)$$

Якщо прийняти, що іонна концентрація  $\text{Ca}^{2+}$  в системі буде відповідати стехіометричній рівновазі за акцепторної ємності  $\text{Alg}^-$ , то у реальному технологічному процесі добуток концентрації  $\text{Ca}^{2+}$  на об'єм приймного середовища ( $V_1$ )  $\text{Ca}^{2+}$  повинен перевищувати добуток об'єму ( $V_2$ ) дози-краплі на концентрацію  $\text{AlgNa}$ , звідки:

$$V_1 \gg V_2 \quad (3.79)$$

Це значить, що конструктивно для екструдера об'єм приймного середовища повинен значно перевищувати об'єм  $\text{AlgNa}$ , що вноситься в систему. Це є умовою відсутності «збіднення» системи за єдиним здатним до дифузії компонентом –  $\text{Ca}^{2+}$  і, водночас, що капсули у приймне середовище повинні вноситися зі значно малою швидкістю, ніж темпи «збіднення» системи за  $\text{Ca}^{2+}$ .

Аналітичне прогнозування та експериментальні дослідження свідчать, що розробка технології ЛХСК з термостійкою еластичною оболонкою із використанням двошарового приймного середовища вимушено переводить розробку технології до вирішення складних комплексних системних завдань, що пов'язано як з розробкою безпосередньо технології ЛХСК, так і з необхідністю конструкторських розробок та обґрунтування складу та властивостей приймного середовища. З формальної точки зору, технологія підготовки приймного середовища не

входить до технології одержання ЛХСК. Властивості та склад двошарового прийомного середовища забезпечують надання кінцевому продукту функціонально-технологічних властивостей згідно з інноваційним задумом [294]. З наданого виходить, що технологію, яка розробляється, слід розглядати як відкриту систему, у якій у ієрархічному зв'язку задіяні дві підсистеми:

а) підсистема «ЛХСК», яка в свою чергу, поділяється на елементи: «ЛХС у квазістабільному стані в олійному середовищі», «ЛХС у водному середовищі», «ЛХСК відділені від прийомного середовища»;

б) підсистема «двошарове прийомне середовище» з елементами: «верхня олійна фаза прийомного середовища», «нижня водна фаза прийомного середовища», «міжфазовий шар прийомного середовища» (рис. 3.17).

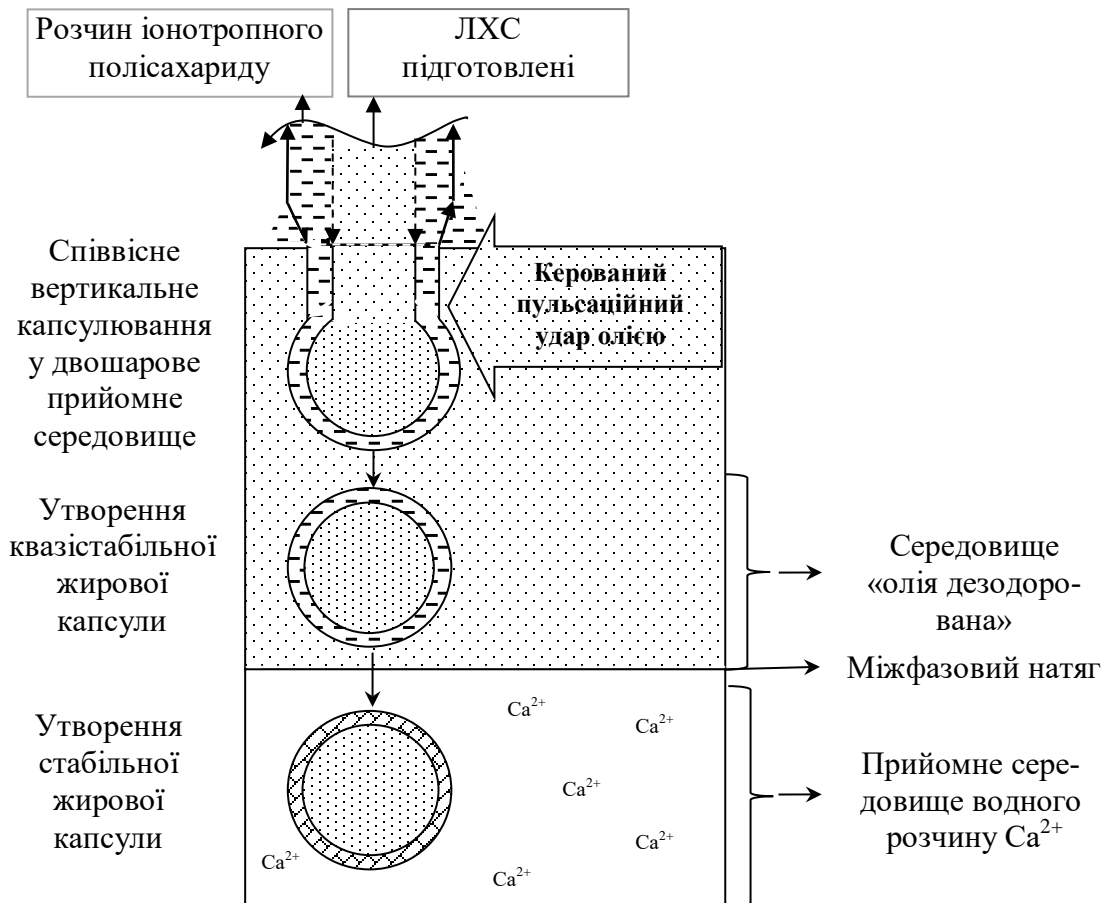


Рис. 3.17. Принцип моделі процесу утворення ЛХСК екструзією у середовищі олія дезодорована

Відкритість системи проявляється у тому, що кожен елемент впливає підсистеми і систему в цілому, що диктує необхідність її гнучкого функціонування у

технологічному потоці: «ЛХС у квазістабільному стані → верхня олійна фаза прийомного середовища», «ЛХС → нижня водна фаза прийомного середовища», «ЛХС у квазістабільному стані → міжфазовий шар прийомного середовища», а також «верхня олійна фаза прийомного середовища → міжфазовий шар прийомного середовища → нижня водна фаза прийомного середовища», а також «нижня водна фаза прийомного середовища → міжфазовий шар прийомного середовища → верхня олійна фаза прийомного середовища». Зрозуміло, що всі підготовлені «напівфабрикати-учасники» технологічного процесу є відносно стабільними (як умова параметрування технологічного процесу, але з визначеними параметрами).

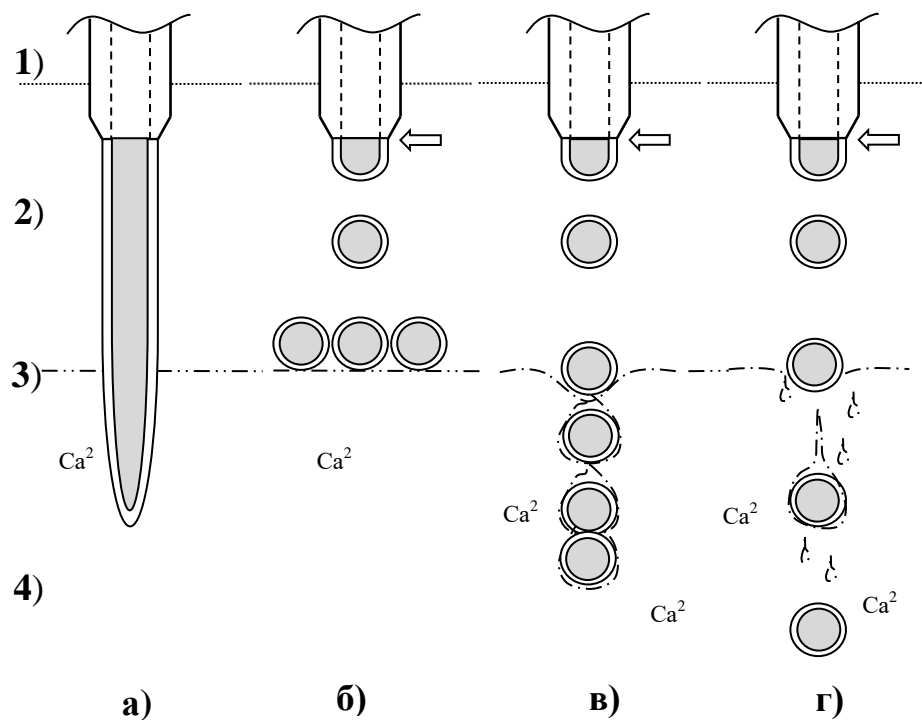


Рис. 3.18. Модель поведінки ЛХС у двошаровому прийомному середовищі

а)*	за відсутністю пульсаційного удару
б)*	за умови $\rho_{\text{в.ф.}} > \rho_{\text{ЛХС}}$ , де $\rho_{\text{в.ф.}}$ та $\rho_{\text{ЛХС}}$ – густина нижньої та верхньої фаз прийомного середовища
в)*	за умови міжфазовий натяг ( $\sigma_{\text{МАШ}}$ ) $\approx$ критичне значення $\sigma_{\text{МАШ}}$ , що забезпечує перетин капсулою межі фаз ( $\sigma_{\text{кр.}}$ )
г)*	за умови $\sigma_{\text{МАШ}} < \sigma_{\text{кр.}}$ , де $\sigma_{\text{МАШ}}$ та $\sigma_{\text{кр.}}$ – міжфазний натяг за певних умов ТП та $\sigma_{\text{кр.}}$ – міжфазний натяг занурення капсул

Змоделюємо умови одержання напівфабрикату «ЛХС – двошарове прийомне середовище» за умов зміни (параметрів) в окремих елементах системи. Модель поведінки струї (екструдату) рідин із сопла головки екструдера наведено на рис. 3.18, а на рис. 3.19 представлено фотографічне зображення закономірності перетину міжфазного натягу квазістабільною капсулою за умови  $\sigma_{МАШ} < \sigma_{кр}$ .

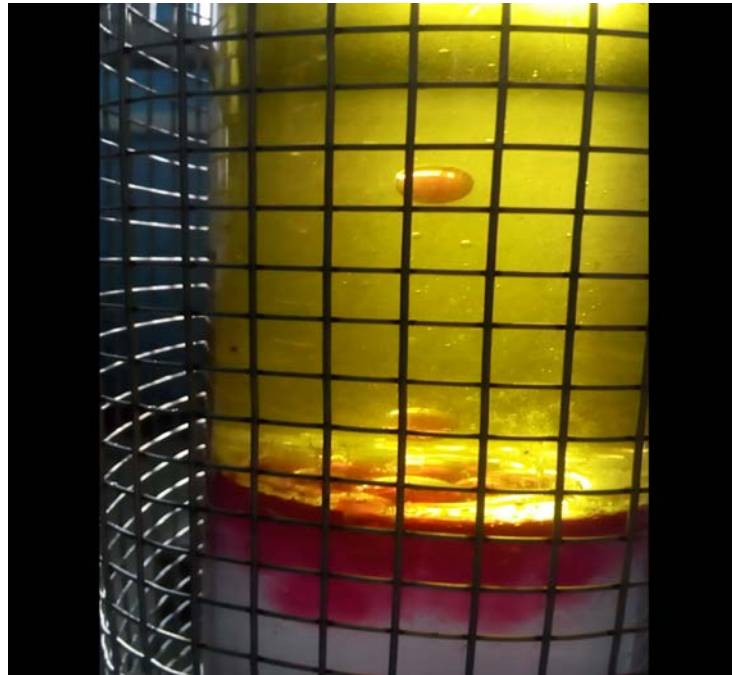


Рис. 3.19. Фотографічне зображення закономірності перетину міжфазного натягу квазістабільною капсулою за умови  $\sigma_{МАШ} < \sigma_{кр}$

Формування капсули у квазістабільному стані відбувається в олійному шарі шляхом перебивання гідродинамічного імпульсного відсікання дози від екструдера в олійному середовищі, де формується ЛХС у квазістабільному стані. Шляхом перетинання міжфазного шару ЛХС у квазістабільному стані переходить у нижню водну частину середовища. За відсутності етапу відсікання капсули спостерігається витікання ламінарних потоків рідин у верхній олійний шар прийомного середовища з виникненням структур довільної форми та розмірів (рис. 3.18.а). На рис 3.17, 3.18 та рис. 3.19 видно, що за допомогою керованого пульсаційного удару олії (дії пристрою – пульсатора) відбувається розпад екструдуючого потоку на фрагменти – контрольна точка управління 1.

Кожен із фрагментів має внутрішнє жирове наповнення, що зовні оточене розчином AlgNa та, через великий поверхневий натяг по відношенню до олійного прийомного середовища фрагменту «жировий уміст – водний розчин AlgNa – олія рафінована дезодорована» приймає сферичну форму капсули у квазістабільному стані – контрольна точка управління 2.

Наступним етапом технологічного процесу є безперешкодне перетинання квазістабільної капсули міжфазового шару (МАШ) двошарового прийомного середовища, яке відбувається під дією гравіметричних сил, що діють на швидкість проходження межі фази – контрольна точка управління 3. МАШ є певною гідростатичною перепорою під час гравітаційного руху ЛХС у квазістабільному стані. За різної міцності МАШ можливий стан «зависання» ЛХС на міжфазі (рис. 3.18. б) або проникнення ЛХС у нижню водну фазу середовища (рис. 3.18, в, г). В свою чергу, проникнення через МАШ може бути втратою кінетики руху (рис. 3.18 в) і як результат, – злипання ЛХС або без втрати кінетики руху (рис. 3.18 г, рис. 3.19), що й передбачено технологічним процесом. Під дією сили тяжіння капсули у квазістабільному стані потрапляють до реакційного водно-спиртового шару  $Ca^{2+}$  де, звільняючись від олійної «сорочки» – контрольна точка управління 4, хімічно активні  $Ca^{2+}$  вступають в реакцію з AlgNa та капсула набуває стабільного стану. Для досягнення розмірних характеристик капсули в інтервалі  $d = (6,0 \dots 12,0) \times 10^3$  м достатньо регулювання діаметру зовнішнього та внутрішнього діаметру філь'єр, з яких поступають сумісні за в'язкістю потоки AlgNa та жирової сировини або інших технологічних рішень: регулювання тиску, що впливає на швидкість потрапляння розчину AlgNa та жирової сировини чи зміна діаметру філь'єр екструдера вихідних потоків екструзії. Для одержання ЛХСК з іншими розмірними характеристиками необхідно корегувати рецептурний склад зовнішнього екструзійного потоку та діаметра отвору філь'єр екструдера. Для забезпечення міжфазового переходу сформованих квазістабільних капсул, утворених у верхньому олійному шарі двошарового прийомного середовища, до реакційного нижнього водного середовища необхідно забезпечити механізм утворення ЛХСК, що виконується шляхом виконання критичних точок управління технології.

Обов'язковими умовами реалізації технологічного процесу є:

- забезпечення співвісності потоків рідин у каналі екструдера пристрою;
- наявність керованого пульсаційного удару олії;
- густина водного розчину солі та густина олії ( $\rho_{олії}$ ) повинна дорівнювати та відповідати умові  $\rho_{олії} = \rho_{водного\ розчину\ Ca^{2+}} = 926,0 \text{ кг/м}^3$ ;
- густина двошарового прийомного середовища мусить бути меншою за густину капсули у квазістабільному стані, тобто  $\rho_{двошарового\ прийомного\ середовища} \ll \rho_{капсули\ у\ квазістабільному\ стані}$ ;
- водний шар прийомного середовища повинен містити  $Ca^{2+}$ ;
- міцність МАШ повинна забезпечити перехід капсулою у квазістабільному стані у нижнє водне середовище зі збереженням фізичної форми ЛХС;
- густина водного середовища повинна бути меншою або рівною густині ЛХС, що є умовою гравітаційного занурення.

З графічного зображення (а) рис. 3.18 подачі технологічного процесу капсулоутворення видно, що утворення квазістабільного фрагменту квазікапсули є неможливим без пульсаційного удару олії, що забезпечується співвісною налагодженою роботою пристрою. Утворення капсул не відбувається, так як ламінарне витікання рідини є обов'язковою умовою технологічного процесу. Є очевидним, що за об'єктивної умови  $\rho_{олії} = 926,0 \text{ кг/м}^3$ , а  $\rho_{водного\ розчину\ Ca^{2+}} = 998,0 \text{ кг/м}^3$  ( $t = 20^\circ\text{C}$ ) сформульована модель функціонувати не буде.

За умови використання у якості розчинника води такий перехід неможливий, оскільки густина у такому випадку, відповідає наступному виразу:

$$(926,0 \text{ [кг/м}^3] = \rho_{ЛХС}) < \rho_{капсули} < (\rho_v = 998,0 \text{ [кг/м}^3]) \quad (3.80)$$

де  $\rho_{ЛХС}$ ,  $\rho_v$ ,  $\rho_{об.}$  – густина ЛХС, води та оболонки;

$\rho_k$  – сумарна густина капсули;

$V_{ЛХС}$ ,  $V_{об.}$ ,  $V_k$  – об'єм ЛХС, оболонки в окремій капсулі та сумарний об'єм капсули.



Оскільки ця нерівність виходить із природи та властивостей учасників процесу, для всіх капсул з порожнечею ця нерівність буде справедлива. Цей вираз може перетворитися у рівність лише за умови  $V_{ЛХС} = 0$ , що вступає в протиріччя з інноваційним задумом нової продукції. Умовою переходу у водне середовище є:

$$\rho_{\text{приймного середовища}} < \rho_{\text{ЛХС}} \quad (3.81)$$

Це можливо тільки за рахунок корегування  $\rho_{\text{води}}$  третьою речовиною, наприклад етанолом ( $\rho_{\text{етанолу}} = 780,0 \text{ кг/м}^3$ ). Тоді склад системи за густини учасників технологічного процесу має відповідати такій умові:

$$\rho_{\text{води}} + \rho_{\text{етанолу}} \approx \rho_{\text{ЛХС}} \quad (3.82)$$

Це єдина і достатня технологічна вимога, яка відповідає умові занурення капсул без додаткової зміни властивостей ХЛК. За умови 3.83 суміш води та етанолу буде мати низьку густину, що призведе до порушення ТП, і ні за яких умов не дозволить одержати ЛХСК.

$$\rho_{\text{води}} + \rho_{\text{етанолу}} < \rho_{\text{ЛХС}} \quad (3.83)$$

Для виконання умови 3.81 важливе значення має міцність МАШ на межі розділу фаз «олія – водне середовище», яка повинна відповідати умові 3.84:

$$\sigma_{\text{МАШ}} \leq \sigma_{\text{кр.}} \quad (3.84)$$

де  $\sigma_{\text{МАШ}}$  – міжфазовий натяг на межі «олія – водне середовище»;

$\sigma_{\text{кр.}}$  – критичне значення міжфазового натягу МАШ, що забезпечує перетин межі фаз.

За значення  $\sigma_{\text{МАШ}} \approx \sigma_{\text{кр.}}$  відбувається накопичення капсул на міжфазі «олія – водне середовище» та умови технологічного процесу не виконуються (рис. 3.18 – в).

За умови  $\sigma_{МАШ} \leq \sigma_{кр.}$  (3.84) та  $\rho_{води} + \rho_{етанолу} < \rho_{ЛХС}$  капсули будуть проникати у водну фазу прийомного середовища. Але побічним ефектом такого значення міжфазового натягу є можливе перемішування фаз прийомного середовища, зростання міжфазного прошарку з гетерогенним складом та досягнення ним критичної частки, наслідки чого можуть мати суттєвий вплив на якість процесу.

На підставі аналізу розвитку сформульованої моделі екструзії у середовищі олії дезодорованої (табл. 3.4) розроблено технологічну модель виробництва ЛХСК (рис. 3.20).

Таблиця 3.4

**Раціональні параметри одержання ЛХСК екструзією  
у середовищі олії дезодорованої**

Найменування параметра	Одиниця вимірювання	Граничні значення
Концентрація AlgNa у формуючому розчині оболонки капсули	%	0,8...1,5
Концентрація CaCl <sub>2</sub> у прийомному середовищі	%	1,0...1,2
Масове співвідношення оболонкоутворювача та внутрішнього умісту капсули	мас.%/мас.%	20 : 80
Розмірні характеристики капсули	$\times 10^{-3}$ м	6,0...12,0
Час формування оболонки капсули	с	Згідно форм. 3.76

Таблиця 3.5

**Структура технологічної системи та мета її функціонування**

Позначення підсистеми	Найменування підсистеми	Мета функціонування підсистеми
1	2	3
A	Утворення готового продукту	Одержання продукту у вигляді капсул із заданими властивостями та хімічним складом
B	Одержання напівфабрикату ЛХСК	Одержання шляхом співвісного коаксіальної екструзії у середовищі олії дезодорованої капсульованого напівфабрикату з внутрішнім жировим умістом кулястої форми заданого діаметру

## Продовження таблиці 3.5

1	2	3
C <sub>1</sub>	Утворення формуючого розчину AlgNa	Одержання гомогенного водного розчину AlgNa як формуючого розчину оболонки капсули
C <sub>2</sub>	Утворення нижньої фази прийомного середовища	Одержання водного розчину CaCl <sub>2</sub> з прогнозованою кількістю Ca <sup>2+</sup> та заданими показниками густини як нижнього шару прийомного середовища для утворення термодинамічних стабільних капсул
C <sub>3</sub>	Утворення верхньої фази прийомного середовища	Одержання олійного формуючого середовища з заданими показниками густини як верхнього шару складного прийомного середовища для утворення квазістабільних капсул
C <sub>4</sub>	Утворення рецептурної суміші, яка підлягає капсулюванню	Одержання ЛХС підготовлених із заданими показниками текучості та хімічним складом

Модель виробництва ЛХСК екструзією у середовищі олії дезодорованої також представлено у вигляді цілісної системи, але кількість підсистем більша за рахунок ускладнення технологічного процесу виробництва готової продукції. Мета функціонування кожної підсистеми представлено у табл. 3.5. Слід підкреслити, що функціонування підсистем C<sub>1</sub>, C<sub>4</sub> та А в даному технологічному прийомі аналогічні, як у випадку екструзії системи у середовищі повітря (рис. 3.16).

В рамках підсистеми C<sub>2</sub> проводять технологічні операції, спрямовані на одержання водного розчину CaCl<sub>2</sub> з прогнозованою кількістю Ca<sup>2+</sup> як нижнього шару складного прийомного середовища для утворення термодинамічних стабільних капсул. На цьому етапі важливим є забезпечення заданих показників густини розчину, значення якої являється керуючим фактором для перетину кордону розподілу фаз та «здолання» поверхневого натягу квазістабільною капсулою. Для цього у новій технології можуть використовуватися регулятори густини та/чи поверхнево-активні речовини, концентрація яких визначається технологічною необхідністю.

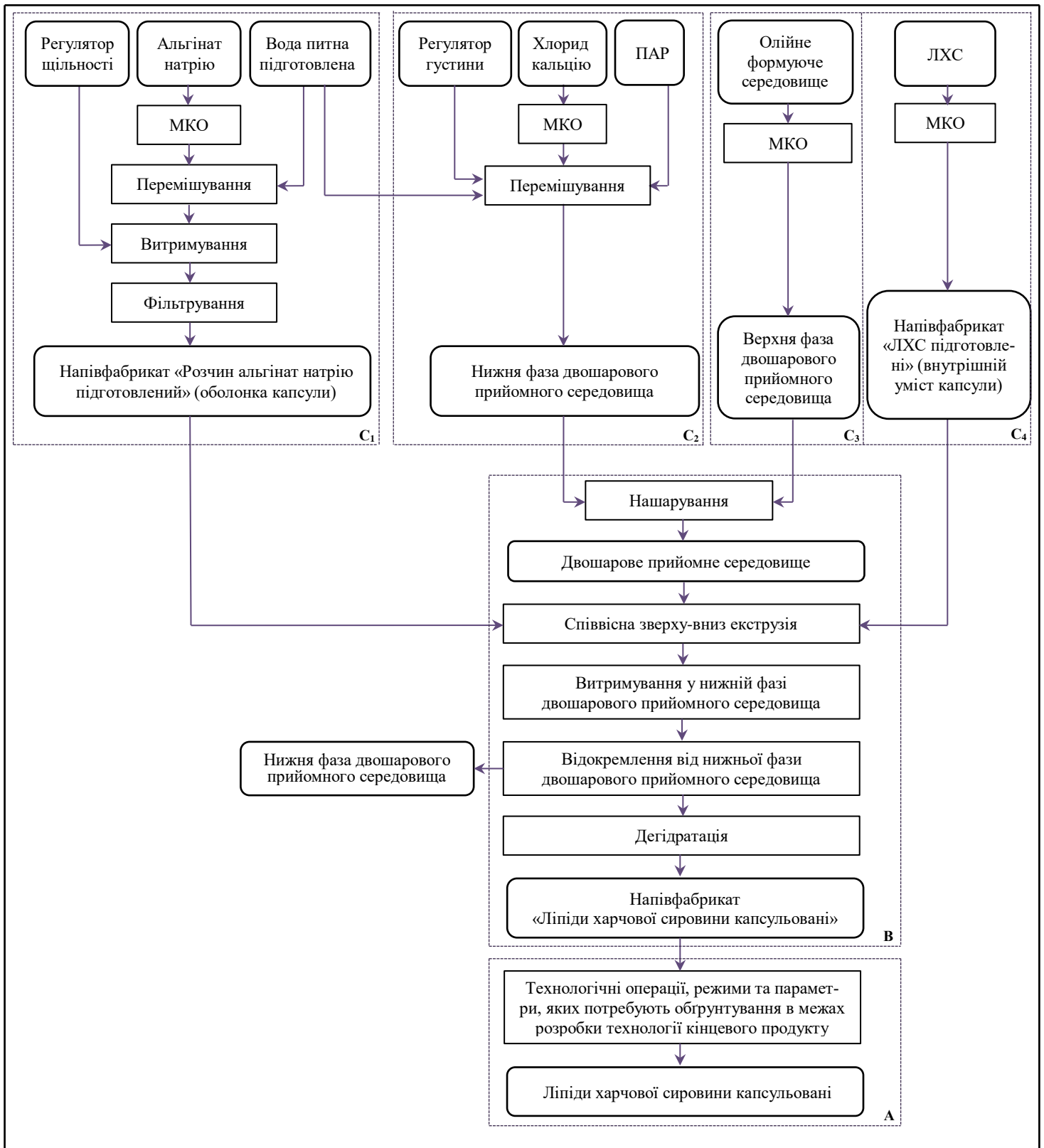


Рис. 3.20. Технологічна модель виробництва ЛХСК екструзією у середовищі олії дезодорованої

Підсистема  $C_3$  передбачає утворення олійного формуючого середовища як місця, де безпосередньо утворюється капсула у квазістабільному стані. Слід зауважити, що забезпечення заданої густини цього шару буде визначати геометричну форму та розмірні характеристики самої капсули та кінцевого продукту в цілому.

Проведення процесу капсулювання екструзією у середовищі олії дезодорованої здійснюється в рамках підсистеми В. Для цього, попередньо необхідно виконати технологічні операції «нашарування» олійного формуючого середовища на водний шар прийомного середовища, який є джерелом  $Ca^{2+}$ .

Після, здійснюється безпосередньо коаксіальна співвісна екструзія водного розчину AlgNa та внутрішнього жирового умісту крізь шари двошарового прийомного середовища, що завершується утворенням капсули у термодинамічному стабільному стані. На даному етапі важливим є тривалість перебування квазістабільної капсули у двошаровому прийомному середовищі та дотримання усіх значущих факторів технологічного процесу, що зумовлює кінцеві розмірні показники, геометричну форму та органолептичні показники кінцевого капсульованого продукту.

### **3.4 Обґрунтування технологічних властивостей двошарового прийомного середовища**

Створення двошарового прийомного середовища, у якому функціонально-технологічна сутність олійної фази – формування капсули у квазістабільному стані, а водно-спиртової – реалізація хімічних потенціалів, забезпечить непереривний цикл та одержання ЛХСК із заданими властивостями.

Виходячи із густини олії верхнього прийомного середовища ( $\rho_{\text{олії}} = 926,0 \text{ кг/м}^3$  [290, 295]), є очевидним, що умови  $\rho_{\text{олії}} = \rho_{\text{водний розчин солі } Ca^{2+}}$ ,  $\sigma_{\text{олії}} = \sigma_{\text{водного регульованого за густиною розчину солі } Ca^{2+}} \rightarrow 0,0 [10^{-3} \text{ Н/м}]$ ,  $\sigma_{\text{МАШ}} \leq \sigma_{\text{кр}}$  є обов'язковими для переходу капсули у квазістабільному стані з олійного у водно-спиртовий шар.

Прийнято, що реалізація цих умов можлива за умов використання у складі водного розчину  $\text{Ca}^{2+}$  етанолу ( $\rho_{\text{етанолу}} = 789,0 \text{ кг/м}^3$ ), здатного понизити густину води ( $\rho_{\text{води}} = 998,0 \text{ кг/м}^3$ ) до густини олії.

$$\rho_{\text{етанолу}} = 789,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} < \rho_{\text{олії}} = 926,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} < \rho_{\text{води}} = 998,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (3.85)$$

Аналітично розраховано густину водно-спиртових розчинів по відношенню до густини олії дезодорованої (на прикладі олії соняшnikової), що наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6

**Аналітичні дані густини водно-спиртових розчинів  $\text{Ca}^{2+}$  ( $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Водно-спиртовий розчин $\text{Ca}^{2+}$ , об/об. (етанол / вода)	$\rho$ водно-спиртового розчину $\text{Ca}^{2+}$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho$ олії соняшnikової, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
20 / 80	956,2	926,0
25 / 75	945,75	
30 / 70	936,3	
35 / 65	924,85*	
40 / 60	914,4*	
45 / 55	903,95	
50 / 50	893,5	
55 / 45	883,05	
60 / 40	872,6	

\* – області раціональної густини

З табл. 3.6 видно, що за концентрації етанолу в інтервалі 35,0...40,0 об.% густина водно-спиртового шару рідин близька до густини олії соняшnikової, що являється умовою проходження сформованої капсули під дією гравітаційної сили.

Математичне моделювання залежності густини від концентрації учасників технологічного водно-спиртового середовища  $x_1$ , % – етанол,  $x_2$ , % – вода,  $x_3$ , % – водний розчин  $\text{CaCl}_2$  ( $C = 2,0$  %) із використанням симплекс-гратчастого планування Шеффе (рис. 3.21) дозволили викласти аналітичний вираз (3.86) співвідношення компонентів, що відповідає раціональній густині  $926,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Рівняння регресії має наступний вигляд:

$$y(x_1, x_2, x_3) = 789,0 \times x_1 + 998,0 \times x_2 + 1015,0 \times x_3, \quad (3.86)$$

де  $x_1$  – етанол;  $x_2$  – вода;  $x_3$  – 2,0% водний розчин  $\text{CaCl}_2$ .

Адекватність одержаного рівняння підтверджено за критерієм Фішера при рівні значущості 0,95.

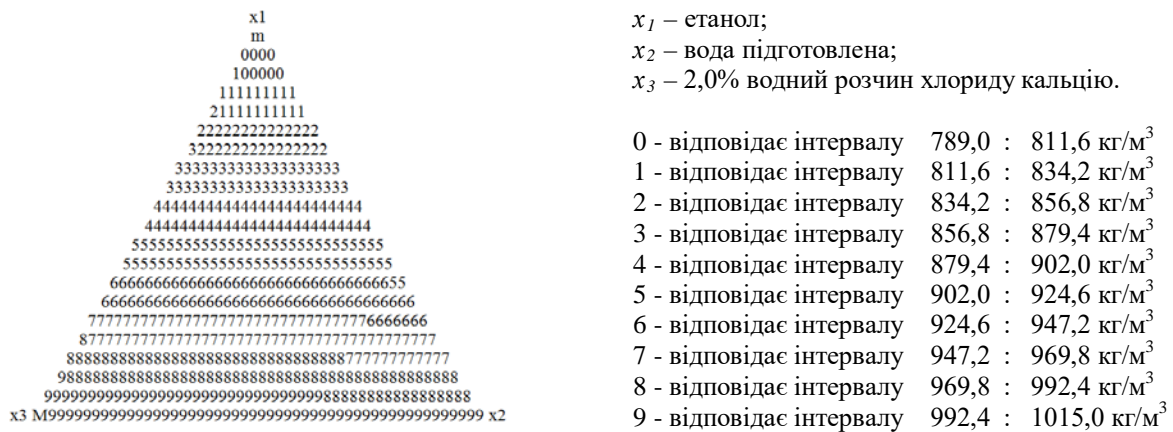


Рис. 3.21. Діаграма залежності щільності  $y(x_1, x_2, x_3)$  водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$  від співвідношення рецептурних компонентів

У результаті дослідження визначено діапазон співвідношень компонентів водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$ , значення густини яких дорівнює значенню  $926,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . При цьому концентрація  $\text{CaCl}_2$  водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$  може бути 1,0 %, що забезпечує задані структурно-механічні властивості оболонки капсули [271, 286].

Фотомоніторинг модельних систем двошарового прийомного середовища за різних концентрацій етанолу (рис. 3.22) підтвердив наведені розрахунки. Рецептурний склад нижньої фази середовища наведено у табл. 3.7.

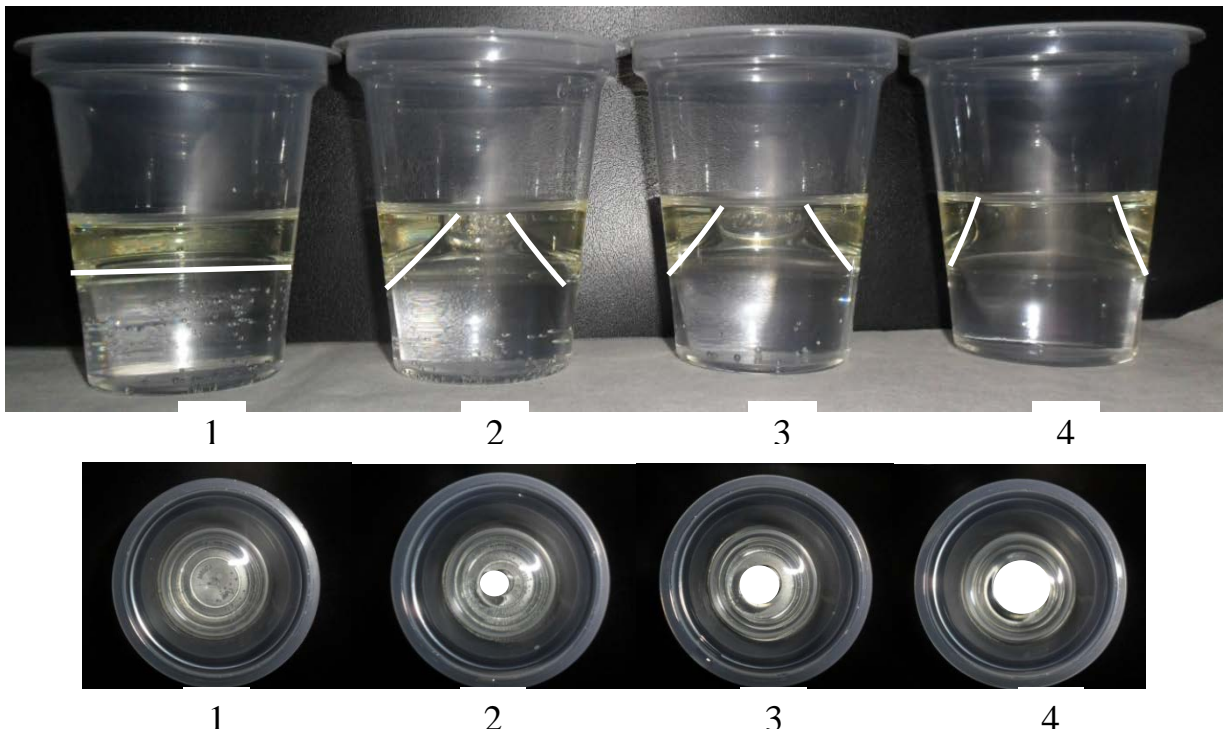


Рис. 3.22. Фронтальний та горизонтальний фотомоніторинг модельних систем двошарового прийомного середовища за різних концентрацій етанолу, ( $t = 20^{\circ}\text{C}$ ), об. %: 1 – 40,0; 2 – 42,0; 3 – 44,0; 4 – 46,0 відповідно

Таблиця 3.7

**Рецептурний компонентний склад водно-спиртового розчину  $\text{Ca}^{2+}$  за густиною розчину  $926,0 \pm 0,05 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$**

Найменування рецептурного компонента	Рецептурний склад суміші, об. %	
	№ 1 (max концентрація етанолу за $C_{\text{CaCl}_2} = 1,0 \%$ )	№ 2 (min концентрація етанолу за $C_{\text{CaCl}_2} = 1,0 \%$ )
Етанол	40,0	37,5
Вода підготовлена	59,0	61,5
$\text{CaCl}_2$	1,0	1,0

Одночасно повинні бути забезпечені умови безперервного переходу міжфазного шару «олія – водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ ».

Величина міжфазового натягу є вагомим фактором, який впливає на якість ЛХСК, оскільки за різних співвідношень «оболонка – внутрішній жировий уміст» буде виникати коливання маси капсули. Тому визначення закономірностей керування міжфазовим поверхневим натягом є необхідним фактором для визначення керуючих параметрів технологічного процесу.



Досліджено закономірності зміни міжфазового натягу від концентрації етанолу ( $C_{CaCl_2} = 0,5 \dots 2,5\%$ ) за різних значень температур та встановлено, що збільшення концентрації  $CaCl_2$  в інтервалі від 0,5 до 2,5% за дискретних значень температур  $t = 20^\circ C$  та  $t = 40^\circ C$  не впливає на значення міжфазового натягу. Одночасно встановлено, що за умови  $V_1 > V_2$  у дослідному інтервалі концентрація солі достовірно не впливає на інтенсивність «золь – гель» переходу AlgNa.

За даними експертної оцінки обрано раціональну концентрацію солі у системі, яка складає  $C_{CaCl_2} = 1,0 \pm 0,05 \%$ , що забезпечує формоутворення у безперервному технологічному потоці на протязі  $\tau = (20 \dots 25) \times 60$  с та інтенсивності капсулювання 3...5 шт./с. Але умова 3.6 при цьому повинна виконуватися.

Встановлено закономірності впливу концентрації етанолу на міжфазовий натяг, що наведено на рис. 3.23.

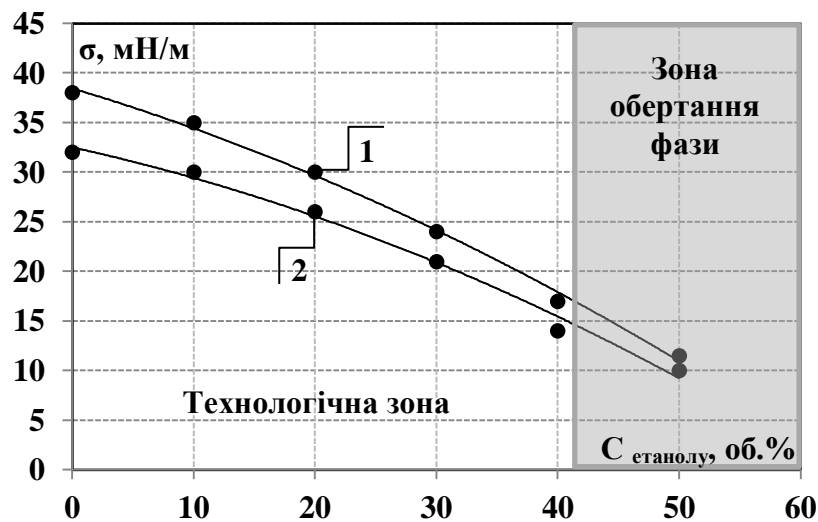


Рис. 3.23. Міжфазовий натяг системи «олія соняшникова – водно-спиртовий розчин  $Ca^{2+}$ » залежно від концентрації етанолу (об.%) за температури,  $^\circ C$ : 1 – 20; 2 – 40 відповідно

Встановлено, що за граничної концентрації етанолу  $C_{ет} = 40,0$  об.%, після якої може бути обертання фаз (рис. 3.21), технологічно не забезпечується перетин міжфазового шару капсулами у квазістабільному стані зі співвідношенням оболонки та внутрішнього жирового умісту капсули як 10...30 : 90...70 та спостерігається «зависання» капсул на межі поділу фаз. Але, оскільки значення міжфазового натягу за температури  $t = 20^\circ C$  та  $t = 40^\circ C$  (рис. 3.23) є мінімальним  $\sigma = f(C_{em})$  в

інтервалі  $1,0 < C_{em} < 40,0$  об.%, то безперебійність процесу може бути забезпечено іншими керованими впливами, наприклад використанням ПАР.

ПАР можуть бути введені в одну із фаз двошарового прийомного середовища за ознакою її спорідненості, або одночасно в обидві фази. Додатковим фактором впливу на проникність ЛХСК у середовищі можуть бути кероване збільшення густини оболонки ( $\rho_1 > \rho_{AlgNa}$ ) шляхом введення речовин з молекулярним рівнем розчинності або одночасним застосуванням факторів рис. 3.17 (а – г).

Запропоновано використання у якості третьої речовини сахарози у формі цукру білого. Значення густини розчинів альгінних сиропів за різних концентрацій сахарози наведено у додатку А;

Дія ПАР побудоване на зменшенні вільної енергії Гіббса на границі розділу фаз прийомного середовища системи «олія – водно-спиртовий розчин  $Ca^{2+}$ ».

Нами досліджено вплив неіоногенного (Е471, Е432) та амфотерного ПАР (Е322) з різною величиною гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ) за спорідненістю з розчинниками (табл. 3.8) на формування міжфазового натягу системи «олія – водно-спиртовий розчин  $Ca^{2+}$ » за температури 20°C та 40°C відповідно.

Таблиця 3.8

### Характеристика ПАР для двошарового прийомного середовища технології ЛХСК

Найменування ПАР	ГЛБ	Тип ПАР	Характеристика за розчинністю	Здатність до міцелування та тип міцел у розчиннику
Е471 моно- і дигліцериди вищих карбонових кислот	3...4	неіоногенний	жиророзчинний, спирторозчинний, диспергується у воді	зворотні міцели; міцели
Е322 лецитин	3...4	амфотерний	жиророзчинний	зворотні міцели; міцели
Е432 поліоксидетиленсорбітанмонолаурат	16,7	неіоногенний	жиророзчинний, водорозчинний, спирторозчинний	зворотні міцели; міцели

Використання E432 сприяє зниженню міжфазового натягу системи у 3,7 разів з 17,31 мН/м до 4,62 мН/м (рис. 3.22) за температури 20°C та з 14,13 мН/м до 3,92 мН/м за температури 40°C.

Видно, що для ПАР E432 концентраційний інтервал насичення поверхні починається за концентрації  $C > 0,2$  %. Визначено, що введення у водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$  моно- і дигліцеридів вищих карбонових кислот (E471) у концентрації від 0,1 % до 0,5 % не знижує міжфазовий натяг в системі, тому його використання не є доцільним.

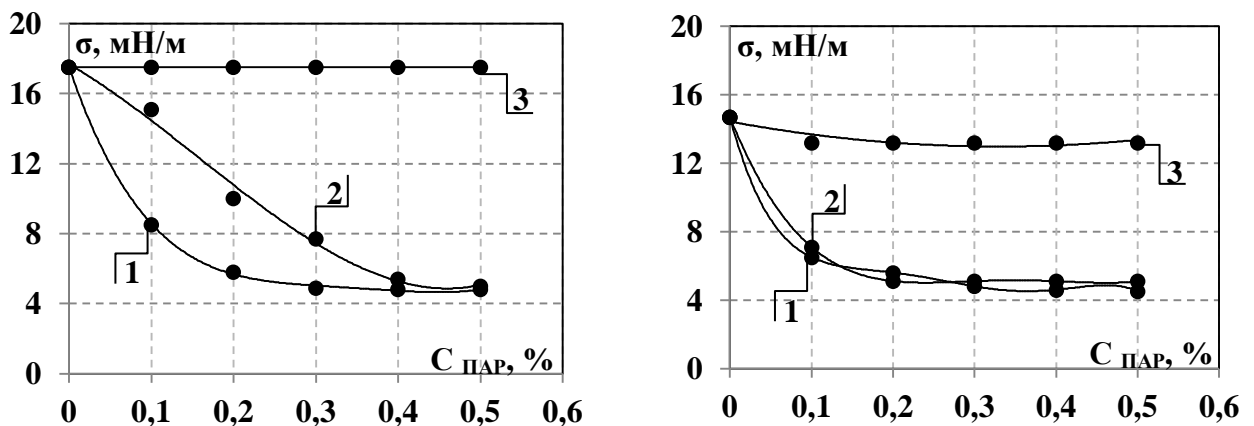


Рис. 3.24. Міжфазовий натяг системи «оля – водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ » ( $C_{em} = 40,0$  об.%,  $C_{\text{CaCl}_2} = 1,0$  %) залежно від концентрації ПАР за виду ПАР: 1 – E432, 2 – E322, 3 – E471 та температур: а – 20, б – 40°C відповідно

Введення в олійну фазу лецитину (E432) носить виражену залежність від концентрації. В інтервалі концентрацій до 0,4 %, спостерігається монотонний спад значень міжфазового натягу. Подальше зростання концентрацій не є доцільним. Доцільним є одночасне використання двох та більше видів ПАР в різних розчинниках із розрахунком на ефект синергізму, результатом якого може бути як зниження концентрацій ПАР, так й одержання інших технологічних переваг.

Використання ПАР E432 (ГЛБ 16,7)  $C_{E432} = 0,3$  % або лецитину E322 ( $C_{E322} = 0,4$  %) досягається виконанням умови (3.86) та функціонуванням моделі ((г) рис. 3.17), коли  $\sigma_{\text{МАШ}} < \sigma_{\text{кр}}$ , що, забезпечує стабільний технологічний процес формування, утворення ЛХСК та відповідає технологічним вимогам до процесу.

У табл. 3.9 наведені закономірності зміни значень МАШ ( $C_{CaCl_2} = 1,0 \%$ ,  $C_{Al_2Na} = 1,0 \%$ ) за використання ПАР з різним ГЛБ ( $C_{етано́лу} = 40,0 \text{ об.}\%$ ).

Таблиця 3.9

### Результати дослідження МАШ за різних складів фаз за температури 20°C

Найменування фази	$C_{ПАР}$ , % на фазу / ГЛБ	Величина $\sigma$ МАШ, м/Нм
Олія (E322) – вода підготовлена – етанол ГЛБ = 3...4	0,0	17,317
	0,1	14,127
	0,2	11,162
	0,3	10,543
	0,4	9,991
	0,5	9,312*
Олія – вода підготовлена (E322) УЗ* – етанол ГЛБ = 3...4	0,1	15,393
	0,2	10,072
	0,3	7,854
	0,4	5,466*
	0,5	5,372*
Олія соняшникова – вода підготовлена (E432) – етанол ГЛБ = 16,7	0,1	8,274
	0,2	5,969
	0,3	4,665*
	0,4	4,359*
	0,5	4,747*
Олія – вода підготовлена (E471) – етанол ГЛБ = 3...4	0,1	17,081
	0,2	17,215
	0,3	17,300
	0,4	17,400
	0,5	17,500
Олія (E322) – вода підгото- влена (E432) – етанол ГЛБ = $\frac{3...4}{16,7}$	0,1	4,672*
	0,2	4,698
	0,3	5,765
	0,4	5,775
	0,5	6,326

УЗ\* – водний розчин E322, модифікований у полі ультразвукових хвиль

\* – раціональні значення, які рекомендуються до використання

Узагальненням одержаних результатів є закріплення концентрацій рецептурних компонентів як параметрів технологічного процесу:  $C_{етано́лу} = 37,5...40,0 \text{ об.}\%$ ;  $C_{CaCl_2} = 1,0 \pm 0,5\%$ ;  $C_{E432} = 0,3 \pm 0,001 \%$  відповідно, що дозволило організувати непереривний процес одержання ЛХСК із заданими властивостями.

Експериментально встановлено, що побічним ефектом цих обґрунтованих технологічних дій є зростання спорідненості фаз й затьмарення у часі водно-спиртової фази прийомного середовища та накопичування ефекту емульгування олії під час проходження ЛХС (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

**Мутність ( $T_0$ , %) під час пропускання ЛХС крізь  
водно-спиртовий розчин  $Ca^{2+}$**

Співвідношення олія : вода	Температура проведення технологічного процесу 20°C / 40°C		
	без ПАР	Е 322 = 0,4 %	Е 432 = 0,3 %
0 / 100	0	0	0
10 / 100	6,0 / 6,0	10,0 / 17,0	87,0 / 32,0
15 / 100	150,0 / 10,0	32,0 / 30,0	69,0 / 55,0
20 / 100	29,0 / 20,0	45,0 / 35,0	100,0 / 100,0
25 / 100	54,0 / 25,0	88,0 / 70,0	100,0 / 100,0
30 / 100	90,0 / 55,0	10,0 / 100,0	100,0 / 100,0

З аналізу табл. 3.10 видно, що перемішування полярних фаз виникає за всіх дослідних умов – різної температури, за наявності ПАР та його виду, але з різною інтенсивністю.

Додавання ПАР до складу двошарового прийомного середовища суттєво інтенсифікує процеси перемішування полярних фаз прийомного середовища. Так, для систем без ПАР, мутність становить близько 55,0 % за співвідношення 30,0 г олії на 100,0 г водно-спиртового розчину  $Ca^{2+}$  ( $t = 40^\circ C$ ) та 90,0 % за температури  $t = 20^\circ C$ . Використання Е322 дозволяє досягти такого ефекту за співвідношення 15 / 100 г/г за температури  $40^\circ C$ . Є зрозумілим, що для побудови промислового технологічного потоку необхідно передбачити технологічні заходи по регенерації двошарового прийомного середовища, з метою його використання у процесі рециклінгу.

Визначено кількісні характеристики накопичення олійної фази у водно-спиртовому розчині  $Ca^{2+}$ , де максимальні значення пов'язані з мутністю більшою 80,0 %. За всіх технологічних умов водна фаза може накопичувати 1,5...2,2 % олії у емульсованому стані. За цих умов втрачається візуальний кон-

троль технологічного процесу, що диктує необхідність або заміни двошарового прийомного середовища, або прийняття додаткових заходів по його очищенню.

За встановленими закономірностями розроблено технологію двошарового прийомного середовища: для верхнього шару двошарового прийомного середовища обрано олію рафіновану дезодоровану, для нижнього – «водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ » за  $C_{\text{CaCl}_2} = 1,0 \pm 0,05 \%$ ,  $C_{\text{етанолу}} = 37,5 \dots 40,0 \text{ об.}\%$  та  $C_{\text{E432}} = 0,3\%$  відповідно. Нашарування двох шарів – верхнього та нижнього виконується за співвідношення як 15 : 85. Технологія «двошарового прийомного середовища» стабільно функціонує за температури  $t = 30,0 \pm 10,0^\circ\text{C}$ . Виявлений ефект затьмарення двофазного прийомного середовища під час використання ПАР диктує необхідність пошуку інших технологічних рішень, використання яких дозволить нівелювати встановлений збурюючий фактор. Одночасно, для покращення переходу у нижню фазу прийомного середовища, нами вивчено вплив технологічних прийомів, пов'язаних зі зростанням густини оболонок капсул.

Нами прийнято рішення про корегування густини капсули ( $\rho_{\text{капсули}}$ ), як фактора нівелювання впливу МАШ «олія – водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ » на технологічний процес переходу квазістабільної капсули у водно-спиртовий шар прийомного середовища.

### 3.5. Обґрунтування технологічних властивостей та складу оболонок капсул в технології ЛХСК, одержаних у двошаровому прийомному середовищі

Вихідною величиною є розуміння, що масові співвідношення фази жирового умісту та фази водного розчину  $\text{AlgNa}$  будуть визначати загальну величину густини капсули ( $\rho_{\text{капсули}}$ ), яка буде визначатися за формулою:

$$\rho_{\text{капсули}} = \frac{\rho_{\text{о.с.}} \cdot V_{\text{о.с.}} + \rho_{\text{ст.}} \cdot V_{\text{ст.}}}{V_{\text{к}}}, \quad (3.87)$$

де  $\rho_{\text{капсули}}$ ,  $\rho_{\text{жирового умісту}}$ ,  $\rho_{\text{стінки}}$  – густина капсули, жирового умісту, стінки;

$V_{\text{жирового умісту}}$ ,  $V_{\text{стінки}}$ ,  $V_{\text{капсули}}$  – об'єм жирового умісту, стінки, капсули.

Густина стінки капсули є складною величиною та розраховується як:

$$\rho_{\text{оболонки}} = \frac{1}{2}(\rho_{\text{води}} + \rho_{\text{AlgNa}}) \quad (3.88)$$

Тоді:

$$\rho_{\text{капсули}} = \frac{\rho_{\text{жирового умісту}} \times V_{\text{жирового умісту}} + \frac{1}{2}(\rho_{\text{води}} + \rho_{\text{AlgNa}}) \times V_{\text{стінки}}}{V_{\text{капсули}}}, \quad (3.89)$$

Де  $\rho_{\text{капсули}}$ ,  $\rho_{\text{жирового умісту}}$ ,  $\rho_{\text{води}}$  – густина капсули, жирового умісту, води;

$V_{\text{жирового умісту}}$ ,  $V_{\text{стінки}}$ ,  $V_{\text{капсули}}$  – об'єм жирового умісту, стінки, капсули.

Заналізу виразу (3.89) є очевидним, що прогнозоване значення  $\rho_{\text{капсули}}$  буде відповідати наступній умові:

$$\rho_{\text{жирового умісту}} \leq \rho_{\text{капсули}} \leq \rho_{\text{стінки}} \quad \left| \begin{array}{l} V_{\text{стінки}} = 0 \\ V_{\text{жирового умісту}} = 0 \end{array} \right. \quad (3.90)$$

Крайні значення нерівності (3.90) не відповідають умовам технології, оскільки за цих умов існування форми капсули не є можливим за фізичною сутністю, а за  $V = 0$  крапля AlgNa набуває стану гранули, що суперечить інноваційному задуму.

Є очевидним, що доцільним є збільшення  $\rho_{\text{капсули}}$ , що можливе залученням до технологічного процесу додаткової третьої речовини зі значенням  $\rho \gg \rho_{\text{капсули}}$ , яка повинна бути введена в одну із фаз капсули. Досліджено можливість використання у технології приготування водного розчину AlgNa цукру білого ( $\rho_{\text{цукру білого}} = 1580,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ) [156], додавання якого здатне підвищити густина оболонки проти густини олії в інтервалі концентрації  $0,01\% < C_{\text{цукру білого}} < 40,0\%$  у 1,23 разів.

Одночасно є технологічна можливість регулювання співвідношення «оболонка – внутрішній жировий уміст» (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

**Густина розчинів AlgNa від концентрації цукру білого  
( $C_{\text{AlgNa}} = 1,0\%$ ;  $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Концентрація цукру білого, %	$\rho$ розчину AlgNa, проти $\rho$ олії кг/м <sup>3</sup>	$\Delta\rho = \rho$ водного розчину AlgNa – $\rho$ жирового умісту, кг/м <sup>3</sup>
0,01	997,0	71,0 ± 0,1
5,0	1019,0	93,0 ± 0,2
10,0	1038,0	112,0 ± 0,5
15,0	1054,0	128,0 ± 0,5
20,0	1080,0	154,0 ± 1,0
25,0	1104,0	178,0 ± 1,5
30,0	1126,0	200,0 ± 1,5
35,0	1148,0	222,0 ± 2,0
40,0	1176,0	250,0 ± 2,0

Таблиця 3.12

**Густина ЛХСК ( $C$  цукру білого 5,0 – 40,0%;  $t = 20^\circ\text{C}$ ) залежно від  
співвідношення «оболонка – внутрішній жировий уміст»**

Співвідношення фаз наповнення капсули: AlgNa / жировий уміст	Густина ЛХСК у квазістабільному стані, кг/м <sup>3</sup> залежно від концентрації цукру білого, %								
	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0
5 / 95	929,6*	930,6	931,6	932,4	933,7	934,9	936,0	937,1	938,5
10 / 90	933,2	935,3	937,2	938,8	941,4	943,8	946,0	948,2	951,0
15 / 85	936,8	939,9	942,8	945,2	949,1	952,7	956,0	959,3	963,5
20 / 80	940,4	944,6	948,4	951,6	956,8	961,6	966,0	970,4	976,0
25 / 75	944,0	949,2	954,0	958,0	964,5	970,5	976,0	981,5	988,5
30 / 70	947,6	953,9	959,6	964,4	972,2	979,4	986,0	992,6	1001,0
35 / 65	951,2	958,5	965,2	970,8	979,9	988,3	996,0	1003,7	1013,5
40 / 60	954,8	963,2	970,8	977,2	987,6	997,2	1006,0	1014,8	1026
45 / 55	958,4	967,8	976,4	983,6	995,3	1006,1	1016,0	1025,9	1038,5
50 / 50	962,0	972,5	982,0	990,0	1003,0	1015,0	1026,0	1037,0	1051,0

\* – нераціональні значення густини



Із наведених даних є очевидним, що збільшення концентрації цукру білого є більше ефективним фактором зміни густини капсули, чим регулювання співвідношенням «оболонка – внутрішній жировий уміст» в інтервалі  $(5 - 50) \div (95 - 50)$  мас.%/мас.%

При цьому, «розбавлення» системи «AlgNa – вода» цукром білим призводить до зміни пружності гелів оболонки і є фактором зміни текстурних властивостей ЛХСК. Встановлено закономірності формування пружних властивостей оболонки за різного вмісту цукру білого (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

### Склад модельних систем «вода – AlgNa – цукор білий»

№ зразка	Концентрація рецептурних компонентів, %		Частка води, %
	AlgNa / цукор білий (до води), %, (рис. 3.28 а)	AlgNa / вода, % (рис. 3.28 б)	
1 (контроль)	1,0* / 0,0	1,0 / 99,0	99,0
2	1,1* / 10,0	1,1 / 88,9	88,9
3	1,2* / 20,0	1,2 / 78,8	78,8
4	1,3* / 30,0	1,3 / 68,7	68,7
5	1,4* / 40,0	1,4 / 58,6	58,6

Оскільки введення цукру білого штучно призводить до відносного зростання концентрації AlgNa у розчиннику системи, то для визначення впливу цукру білого на властивості гелів створено модельні системи без цукру білого з підвищеним вмістом AlgNa, концентрація якого відповідає системі з цукром білим та дозволяє співставити реологічні значення структурованих систем за еквімолекулярних співвідношень по AlgNa.

Порівняльне співставлення модулів пружності модельних систем «вода – AlgNa – цукор білий» – крива 2, «вода – AlgNa» – крива 1 (рис. 3.25) підтвердило наростання пружних властивостей за відносного збільшення концентрації AlgNa та формування більш пружного гелю (крива 1, рис. 3.26) зі збільшенням концентрації цукру білого.

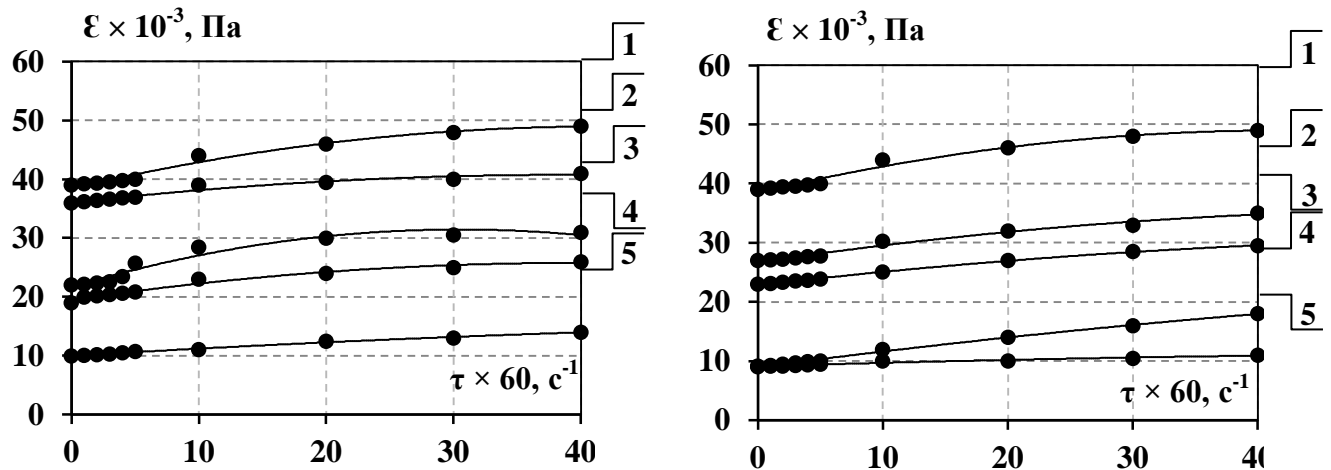
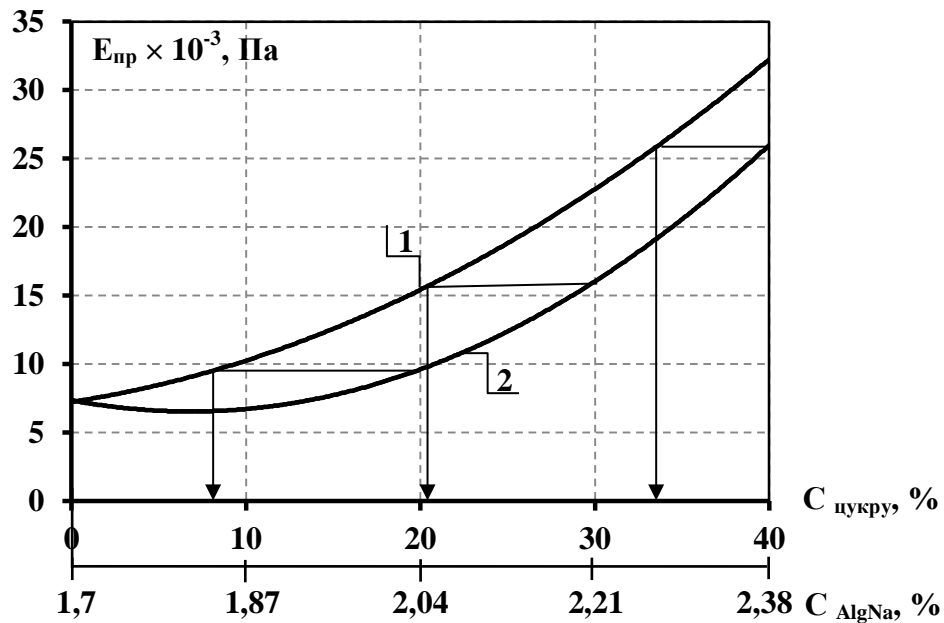


Рис. 3.25. Піддатливість модельних систем на основі AlgNa (концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$  0,048%): а) системи «вода – AlgNa 1,0 % – цукор білий» за концентрації цукру білого, %: 1, 2, 3, 4, 5 – 0,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 відповідно; б) системи «вода – AlgNa 1,0 %» за концентрації AlgNa, %: 1, 2, 3, 4, 5 – 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 відповідно



$C^*_{\text{AlgNa}}$  – приведена величина

Рис. 3.26. Модуль пружності ( $E_{np}$ ) модельних систем ( $C_{\text{Ca}^{2+}} = 0,048\%$ ,  $C_{\text{AlgNa}} = 1,0\%$ ) за вмісту цукру білого 10,0...40,0%: 1 – «вода – AlgNa»; 2 – «вода – AlgNa – цукор білий» відповідно

При цьому, важливим є концентрація сухих речовин, а саме цукру білого, у рецептурному розчині AlgNa. Модельні гелі Alg<sub>2</sub>Ca з концентрацією  $C = 20,0...40,0$  % відповідають діапазону модулю миттєвої пружності  $E_{np.} = (10,0...21,5) \times 10^3$  Па.

Співставлення залежностей двох побудованих ліній тренду 1, 2 дозволяє стверджувати, що фактичний вміст цукру білого 40,0 % впливає на властивості сітки гелю та проявляє характерні пружні властивості гелю у чистому розчиннику з концентрацією AlgNa  $C = 2,28 \pm 0,05$  %. Експериментальні дані свідчать, що збільшення концентрації цукру білого у рецептурному складі суміші альгінат-кальцієвої оболонки капсули утворює сітку гелю з відносно зниженими показниками пружності, а цукор білий виконує пластифікуючу функцію по відношенню до гелю Alg<sub>2</sub>Ca.

Підвищення концентрації AlgNa у рецептурі оболонок капсул як компенсуючий фактор пластифікуючої дії цукрів, продиктовано також для капсул з діаметром  $(6...12) \times 10^{-3}$  м необхідністю забезпечення коефіцієнта форми  $K_\phi \approx 0,9...1,0$ . Тому, одночасне зростання концентрації цукру білого (як пластифікатора в органолептичному відчутті) та AlgNa (як фактора забезпечення  $K_\phi$ ) є технологічно виправданим та обґрунтованим.

### **3.6 Вивчення впливу технологічного прийомного середовища на структурно-механічні властивості оболонок**

Необхідністю виробництва ЛХСК з розмірними характеристиками  $d = (6...12) \times 10^{-3}$  м призвела, порівняно з технологією капсулювання у середовищі повітря, до відносного ускладнення технологічного процесу та складу прийомного середовища, результатом чого є певний вплив на характеристика ЛХСК.

Олія дезодорована верхньої фази двошарового прийомного середовища може проникати у стінку капсули, а водно-спиртовий розчин Ca<sup>2+</sup> потенційно характеризується дегідратуючою здатністю та зміною властивостей оболонки.

Вплив прийомного технологічного середовища на властивості стінок досліджували в модельних системах шляхом витримки гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  за стехіометричного співвідношення  $\text{Alg}^-$  та  $\text{Ca}^{2+}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,0 \dots 1,5\%$ ) у прийомних середовищах за співвідношення «гель : середовище» як 1 : 50 (г/г). На рис. 3.27 та 3.28 представлено динаміку маси гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,0$  та  $1,5\%$  відповідно) залежно від концентрації етанолу.

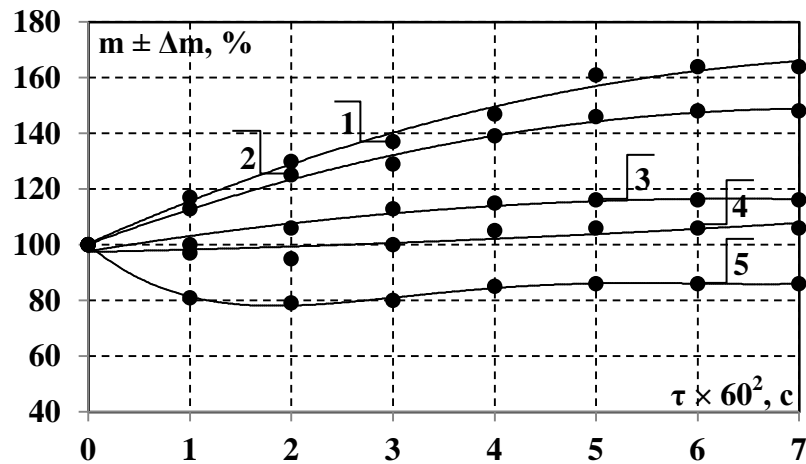


Рис. 3.27. Динаміка маси ( $m \pm \Delta m, \%$ ) гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,0\%$ ) у водно-спиртовому середовищі  $\text{Ca}^{2+}$ , за концентрації етанолу, об.%.: 1 – 10,0; 2 – 20,0; 3 – 30,0; 4 – 40,0; 5 – 50,0 відповідно

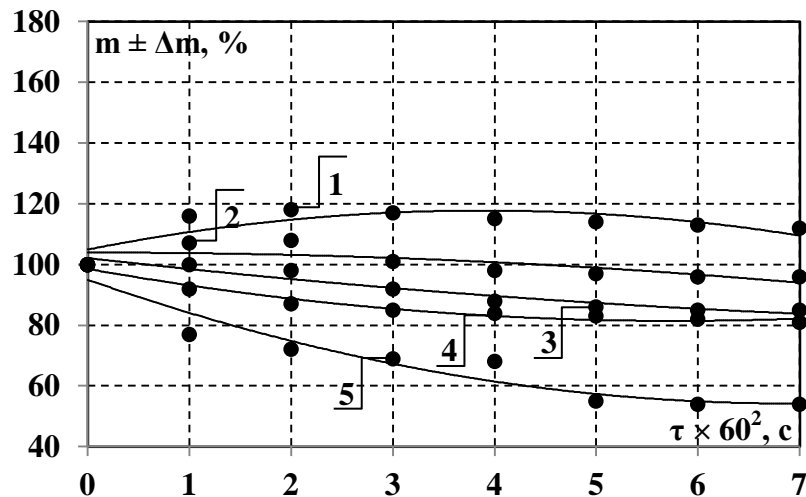


Рис. 3.28. Динаміка маси ( $m \pm \Delta m, \%$ ) гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,5\%$ ) у водно-спиртовому середовищі  $\text{Ca}^{2+}$ , за концентрації етанолу, об.%.: 1 – 10,0; 2 – 20,0; 3 – 30,0; 4 – 40,0; 5 – 50,0 відповідно

Видно, що зміна маси гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  відбувається у різновекторному напрямі. Це, вірогідно, пов'язано з властивістю етанолу виступати дегідратором обводнених гелів за підвищених концентрацій та сприяти сольватації гелеподібної системи за низьких концентрацій [296].

Встановлено, що зразки гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  змінюють свою геометричну форму під впливом етанолу. Є очевидним, що вода та водно-спиртові розчини не забезпечують сталих розмірних характеристик капсул ЛХС та не можуть без додаткових умов бути використані як середовище їх зберігання.

Експериментально встановлено, що динаміка ( $m \pm \Delta m$ ) модельних гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  за концентрації  $\text{AlgNa}$  1,0 % та 1,5 %, які витримувалися протягом  $\tau = 6 \times 3600$  с в олії соняшниковій за температури  $20^\circ\text{C}$  характеризується мало-вараженою динамікою, що пов'язано зі структурою гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та їх нездатністю вивільнення вільної вологи у гідрофобне середовище.

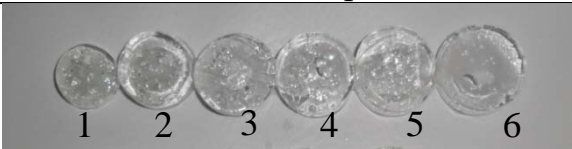

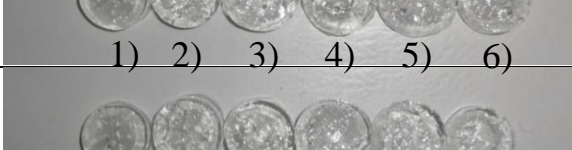
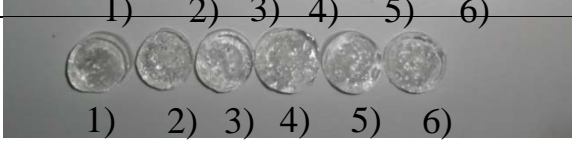
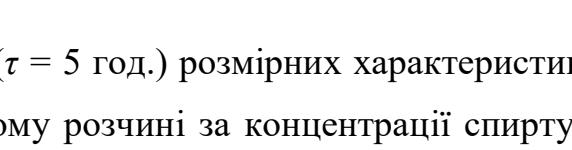
Параметри та умови	Фотомоніторинг
$C_{\text{ст}} = 10$ об.%; $\tau = 1, 2, 3, 4, 5, 6 - (0 \dots 6) \times 3600$ с відповідно	
$C_{\text{ст}} = 20$ об.%; $\tau = 1, 2, 3, 4, 5, 6 - (0 \dots 6) \times 3600$ с відповідно	
$C_{\text{ст}} = 30$ об.%; $\tau = 1, 2, 3, 4, 5, 6 - (0 \dots 6) \times 3600$ с відповідно	
$C_{\text{ст}} = 40$ об.%; $\tau = 1, 2, 3, 4, 5, 6 - (0 \dots 6) \times 3600$ с відповідно	
$C_{\text{ст}} = 50$ об.%; $\tau = 1, 2, 3, 4, 5, 6 - (0 \dots 6) \times 3600$ с відповідно	

Рис. 3.29. Фотомоніторинг динаміки ( $\tau = 5$  год.) розмірних характеристик гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C = 1,0$  %) у водно-спиртовому розчині за концентрації спирту, об. %: 1 – 10,0; 2 – 20,0; 3 – 30,0; 4 – 40,0; 5 – 50,0 відповідно

Введення технологічних концентрацій цукру білого за загального збереження тренду призводить до менш виражених за інтенсивністю змін.

Зберігання у водно-спиртовому розчині призводить до зміни як розмірних характеристик, так й структури оболонок для дослідних концентрацій AlgNa  $C = 1,0$  та  $1,5$  % відповідно (рис. 3.29).

Наведені дослідження дозволили обґрунтувати параметри та умови одержання кінцевої продукції. Визначено, що сталі фізичні та органолептичні показники готового продукту будуть одержані за умови використання у якості середовища зберігання для ЛХСК олії дезодорованої за обґрунтованих температур зберігання. За характеристикою середовища зберігання – олія дезодорована – параметри зберігання співпадають для ЛХСК, одержаних як у середовищі повітря, так і у двошаровому прийомному середовищі.

### Висновки за розділом 3

1. Одержані теоретичні та аналітичні моделі процесу капсулоутворення екструзією у середовищі повітря та олії дезодорованої дозволили розробити та обґрунтувати фізичні моделі утворення термодинамічної стабільної капсули з внутрішнім жировим умістом та запропонувати технічні рішення пристроїв та вузлів пристроїв для капсулювання гідрофобних речовин із врахуванням визначених параметрів та значущих факторів технологічного процесу.

2. Обґрунтовано та розроблено моделі технологічних процесів одержання термодинамічно стабільних капсул на основі оболонкоутворювача AlgNa з внутрішнім жировим умістом. Аналітично розраховано час ( $\tau$ ) перебування квазістабільної капсули у прийомному технологічному середовищі  $Ca^{2+}$ , що забезпечує одержання капсульованої продукції згідно інноваційного задуму з високими товарознавчо-технологічними характеристиками.

3. Визначено раціональні параметри одержання харчової продукції капсульованої з внутрішнім жировим умістом, розроблено принципові технологічні схеми їх одержання шляхом екструзії у середовищі повітря та олії дезодорованої.

4. Досліджено аналітичні моделі капсулоутворення системи «ЛХС –  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ », що дозволило встановити доцільність екструзії робочих рідин-учасників технологічного процесу вертикально зверху-вниз, із використанням принципу «труба в трубі». Доведено необхідність циркульвісьового обертання сформованої квазістабільної капсули у прийомному середовищі розчину  $\text{Ca}^{2+}$ .

5. Визначено, що основними умовами формування термостабільної капсули з внутрішнім жировим умістом є забезпечення заданої густини розчинів-учасників з метою формування квазістабільної капсули у середовищі олії, перетинні кордону «олія – водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ » з наступним гелеутворенням системи-оболонки та формуванням заданих товарознавчно-технологічних властивостей напівфабрикатів.

4. Встановлено, що введення  $\text{CaCl}_2$  за концентрації  $C = 1,0 \pm 0,005$  % у систему двошарового прийомного середовища «олія – вода» не впливає на значення міжфазового натягу, введення 37,5...40 об.% етанолу сприяє зниженню міжфазового натягу до  $\sigma = 17,317$  м/НМ, одночасно забезпечуючи густину з 919,62 до 914,4  $\text{кг/м}^3$  та створення двошарового прийомного середовища; визначено, що використання E432 ( $C_{E432} = 0,3\%$ ) забезпечує зниження міжфазового натягу до значень  $\sigma = 4,359$  м/НМ та забезпечує неприливний технологічний цикл одержання ЛХСК.

6. Аналітичними дослідженнями системи «капсула – прийомне середовище» науково обґрунтовано умови перебігу технології капсулоутворення, доведено, що за концентрації цукру білого  $C_{\text{цукру білого}} = 23,0\%$  капсули характеризуються заданою пружністю ( $E_{np} = 11,0 \times 10^3$  Па) з високими стабільними органолептичними показниками.

## РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ НАПІВФАБРИКАТІВ ЛПІДІВ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ КАПСУЛЬОВАНИХ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ МОДИФІКАЦІЇ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

У даному розділі узагальнено результати експериментальних досліджень та технологічних відпрацювань, спрямованих на обґрунтування та розробку технологій напівфабрикатів ЛХСК, здійснено комплексне дослідження показників якості та безпечності нової продукції, визначено шляхи модифікації оболонки капсульованої продукції та внутрішнього жирового умісту для розширення спектру їх використання

#### 4.1 Обґрунтування та розробка технологій, дослідження основних показників якості та безпечності ЛХСК

Згідно з дослідженнями науково обґрунтовано дві принципово різні за технологічної організації технологічні схеми капсулювання жирової сировини. За принципом формування капсули досліджено технологію капсулювання у середовищі повітря з діаметром капсул  $d = (4,3 \dots 7,6) \times 10^3$  м та у середовищі олії дезодорована з діаметром капсул  $d = (6,0 \dots 12,0) \times 10^3$  м (розділ 3).

Обидва технологічних рішення дозволяють одержувати напівфабрикати ЛХСК заданої якості та розмірів. На рис. 4.1 представлено схему розвитку наукового напрямку за ознакою форми реалізації інноваційного задуму.

Основною сировиною на сьогоднішній день за запитами споживчого ринку для внутрішнього наповнення капсули виступають олії рослинні, які мають в'язко-текучу консистенцію за кімнатних температур, а також їх суміші з іншими жирами. За необхідності технологічний процес може проводитися за підвищених температур.



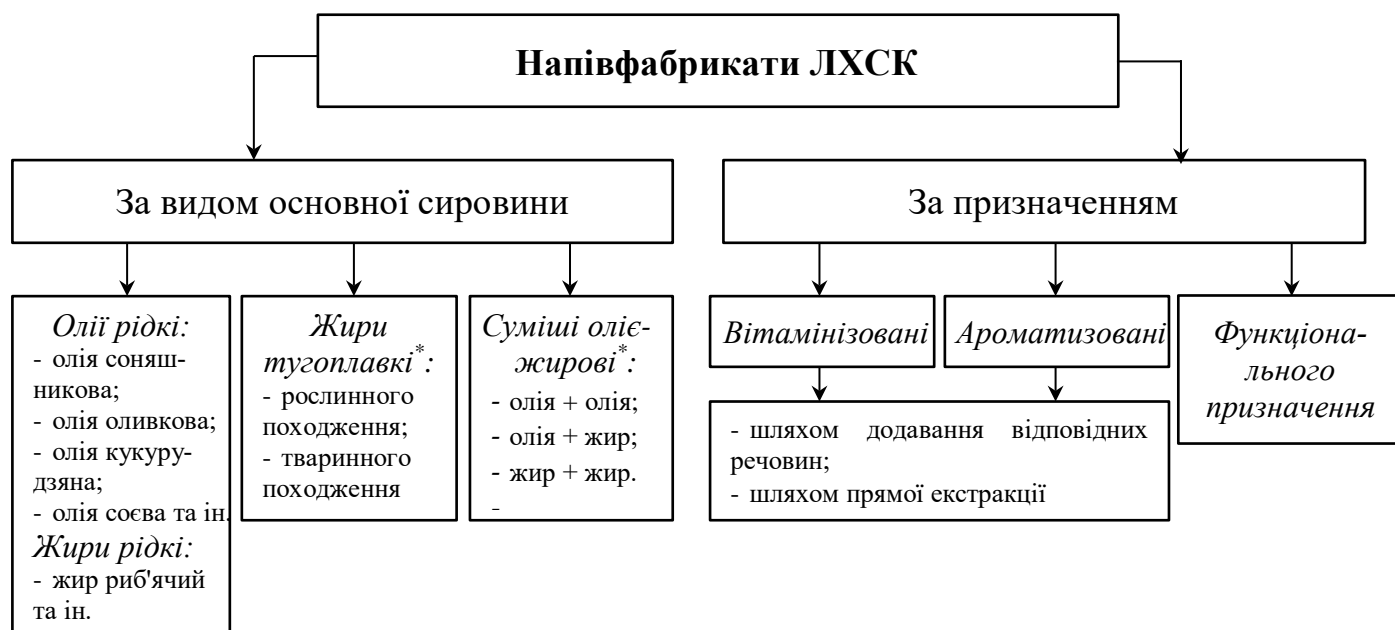


Рис. 4.1. Схема розвитку та форми реалізації інноваційного задуму в рамках наукового дослідження

Підготовка такої сировини передбачає за необхідності, утворення суміші олій із відповідним співвідношенням кожної. Також, внутрішнім умістом напівфабрикату ЛХСК можуть виступати тугоплавкі жири, їх суміші, та/чи суміші олій з в'язко-текучою й твердою консистенцією. Підготовка таких систем передбачає попереднє темперування до температури плавлення відповідного жиру безпосередньо перед початком процесу екструзії. Це є обов'язковою умовою, оскільки одним з основних параметрів забезпечення самочинної течії рідини, відрив краплі є в'язко-текучі властивості вихідних сумішей (розділ 3).

#### 4.1.1. Обґрунтування та розробка технологій напівфабрикатів «Олія оливкова капсульована» та «Олія соняшникова капсульована»

Технологічний процес виробництва ЛХСК на прикладі напівфабрикату «Олія оливкова капсульована», одержаний у середовищі повітря, передбачає проведення наступних технологічних операцій: підготовка сировини, приготування жирової сировини й розчину оболонкоутворювача для екструзії, приготу-

вання водного розчину  $\text{CaCl}_2$ , підбір та регулювання діаметру каналів головки екструдера для заданого діаметру капсул та відповідно проведення процесу екструзії з наступним структуруванням оболонки капсули.

Структурна модель технологічного процесу виробництва напівфабрикату «Олія оливкова капсульована» у середовищі повітря, представлено на рис. 4.2.

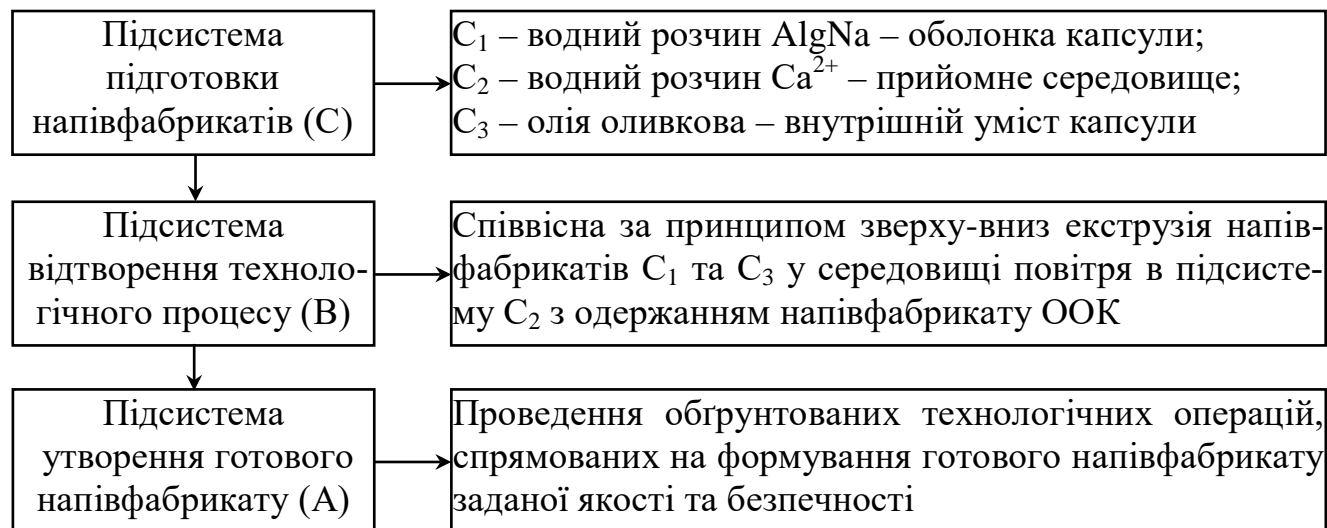


Рис. 4.2. Структурна модель технологічного процесу виробництва напівфабрикату «Олія оливкова капсульована»

В межах функціонування підсистеми  $C_1$  «Підготовка напівфабрикату «Розчин AlgNa» (оболонка капсули)» AlgNa просіюють та розчиняють у воді питній підготовленій за температури  $t = 18 \dots 20^\circ\text{C}$  шляхом інтенсивного перемішування. Одержаний розчин витримують за температури  $t = 2 \dots 6^\circ\text{C}$  до повного розчинення сухих речовин. Експериментально доведено використання розчину AlgNa за концентрації  $0,8 \dots 1,2 \%$ . Це пов'язано з параметрами утворення заданої товщини оболонки та її стійкістю до наступних технологічних перетворювань. Крім того, враховуючи особливості технологічного процесу та режиму рециклінгу, лише визначені концентрації оболонкоутворювача на основі AlgNa забезпечують контрольований самочинний розрив струй без супутників та утворення оболонки капсули в межах рівноважності реалізації хімічної реакції взаємодії AlgNa та водного розчину  $\text{CaCl}_2$  за концентрації  $1,2 \%$ .

Підсистема С<sub>2</sub> «Підготовка напівфабрикату «Водний розчин CaCl<sub>2</sub> – прийомне середовище» передбачає проведення механічної кулінарної обробки CaCl<sub>2</sub> та розчинення його заданої кількості у воді питній підготовленій за температури  $t = 18...20^{\circ}\text{C}$  шляхом перемішування протягом  $\tau = (3...6) \times 60$  с за  $N = 1500$  об./хв.

В межах підсистеми С<sub>3</sub> «Підготовка напівфабрикату «Олія оливкова підготовлена» передбачається підготовка олії оливкової для капсулювання, що досягається послідовним виконанням окремих технологічних операцій, які мають особливості відповідно до якісних характеристик сировини.

Відповідно до проведених лабораторних та промислових досліджень, технологічний процес в межах підсистеми В «Співвісна зверху-вниз екструзія» та утворення напівфабрикату олії оливкової капсульованої (ООК) здійснюють у наступній послідовності:

– олію оливкову та водний розчин AlgNa підготовлені подають до екструдера й одержують капсули шляхом одночасної співвісної екструзії обох сумішей у водний розчин прийомного середовища із вмістом Ca<sup>2+</sup>. Перебування краплин рецептурної суміші безпосередньо у прийомному середовищі складає  $\tau = (15...20) \times 60$  с за  $t = 18...20^{\circ}\text{C}$ ;

– надалі сформовані капсули відділяють від прийомного середовища, промивають водою питною за  $t = 18...20^{\circ}\text{C}$  та дегідратують витримкою за кімнатної температури протягом  $\tau = (0,5...1,0) \times 60^2$  с;

– капсули фасують у споживчу упаковку – полімерну упаковку масою від 0,1 до 9,6 кг (для системи В2В) або скляну тару масою від 0,025 до 0,2 кг, за технологічної необхідності заливають олією, яка забезпечує цілісність продукту під час зберігання та транспортування.

Підсистема А передбачає проведення кінцевих операцій з підготовки напівфабрикату «Олія оливкова капсульована» до реалізації – маркування споживчої тари, пакування у транспортну тару та зберігання протягом  $\tau = 180$  діб за  $t = 8...20^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості повітря  $W = 75,0 \pm 5,0$  %. На підставі експериментальних даних розроблено та обґрунтовано рецептурний склад (табл. 4.1) та

технологічну схему виробництва напівфабрикату «Олія оливкова капсульована», одержаного у середовищі повітря (рис. 4.3).

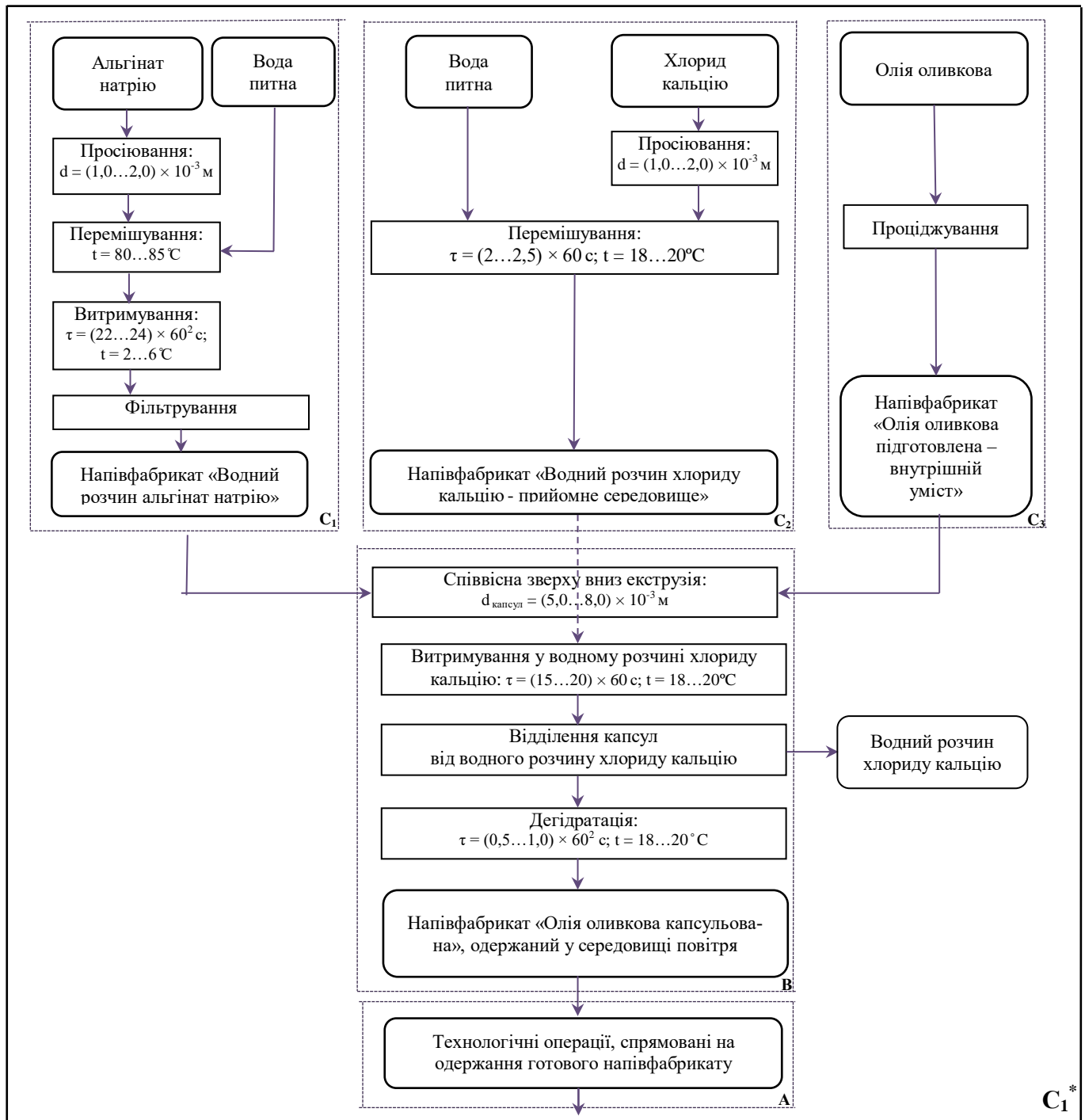


Рис 4.3. Технологічна схема одержання напівфабрикату «Олія оливкова капсульована» у середовищі повітря

Проведені експериментальні та практичні відпрацювання в технології напівфабрикату ЛХСК, одержаного у середовищі повітря, є науковим підґрунтям

для розвитку технології в частині введення до технологічного процесу іншої за походженням та властивостями жирової сировини.

Таблиця 4.1

### Рецептурний склад напівфабрикату «Олія оливкова капсульована»

Найменування сировини	Витрати сировини на 1000 кг, кг	
	брутто	нетто
Альгінат натрію (AlgNa)	8,10	8,00
Вода питна підготовлена	161,90	161,90
<b>Вихід напівфабрикат «Розчин AlgNa»</b>	<b>170,00</b>	<b>169,90</b>
Олія оливкова	852,80	850,00
<b>Вихід «Олія оливкова підготовлена»</b>	<b>852,80</b>	<b>850,00</b>
Хлорид кальцію (CaCl <sub>2</sub> )	12,00	12,00
Вода питна підготовлена	88,00	88,00
<b>Вихід напівфабрикат «Водний розчин CaCl<sub>2</sub>»</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Усього:	1022,80	1019,90
<b>Вихід напівфабрикату:</b>	-	1000,00

З'являється передумова для капсулювання твердих за кімнатної температури жирів у розплавленому (за підвищених температур) стані. Розмірний типоряд капсульованих продуктів регулюється в межах  $d = 4,3 \dots 7,6$  мм, що дозволяє їх використання в технології салатів, гарнірів, а також під час спеціального дозування в якості компонента знежиреного йогурту та кисломолочної продукції.

Одержання напівфабрикатів ООК як технологічних систем відкриває можливості організації, модифікації та оптимізації багатьох технологічних харчових процесів, де олії виконують роль рецептурного компоненту, у тому числі в технології кулінарної продукції. Жири тугоплавкі капсульовані та їх суміші можуть використовуватися під час приготування виробів із тіста, де тугоплавкі жири є складовими рецептурними компонентами. Це відноситься насамперед до технологій бісквітного, дріжджового та листкового тіста.

Технологічний процес виробництва напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована», одержаного у середовищі олія дезодорована, передбачає наступні технологічні операції: підготовка сировини, приготування олійної складової для екструзії, приготування розчину оболонкоутворювача для екструзії, приготуван-

ня розчинів двошарового прийомного середовища та їх нашарування, одержання напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована», фасування у споживчу тару, можлива пастеризація, етикетування, пакування у транспортну тару, зберігання, реалізація та, як результат, одержання готового напівфабрикату.

Технологічний процес можна представити у вигляді структурної моделі виробництва напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована», який представлено на рис. 4.4.

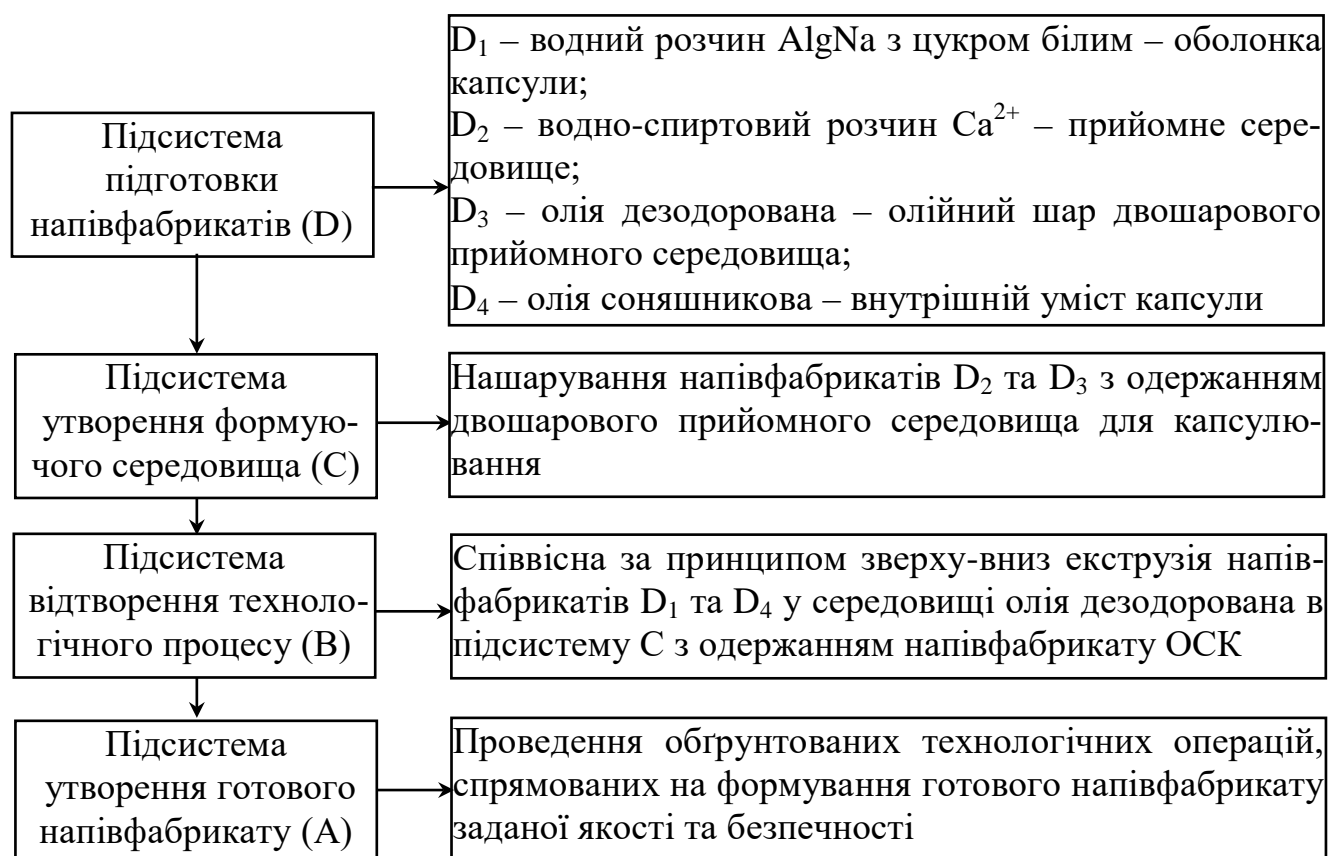


Рис. 4.4. Структурна модель технологічного процесу виробництва напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована»

В межах функціонування підсистеми  $D_1$  «Підготовка напівфабрикату «Водний розчин AlgNa з цукром білим» (оболонка капсули)» цукор білий та AlgNa просіюють. Цукор білий розчиняють у воді питній підготовленій, термооброблюють за температури  $t = 75...85^\circ\text{C}$  за постійного перемішування протягом  $\tau = (10...15) \times 60$  с та подальшим охолодженням суміші до температури  $t = 18...20^\circ\text{C}$ . Наступною операцією є розчинення AlgNa у воді питній шляхом пе-

ремішування його до повного розчинення. Одержаний розчин витримують протягом доби за температури  $2...6^{\circ}\text{C}$  до повного розчинення сухих речовин та набуття стаціонарних властивостей. Охолоджені розчини перемішують з наступним фільтруванням та одержують напівфабрикат «Водний розчин AlgNa з цукром білим» (оболонка капсули).

Підсистема  $D_2$  «Підготовка напівфабрикату «Водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$  (нижній шар двошарового прийомного середовища)» передбачає просіювання  $\text{CaCl}_2$  та розчинення його у воді питній підготовленій шляхом перемішування, після чого додають етанол та поліоксиетиленсорбітанмонолаурат (E432).

Підсистема  $D_3$  «Підготовка напівфабрикату «Олійний шар двошарового прийомного середовища» (верхній шар двошарового прийомного середовища) олію дезодоровану дозують та проціджують.

В межах підсистеми  $D_4$  «Підготовка напівфабрикату «Олія соняшникова підготовлена» передбачається дозування та проціджування олії соняшкової.

Підсистема  $C$  «Нашаровування напівфабрикатів підсистем  $D_2$ ,  $D_3$  та утворення двошарового прийомного середовища» реалізується шляхом нашарування напівфабрикату «Олійний шар двошарового прийомного середовища» на напівфабрикат «Водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ » без перемішування (емульгування) шарів за співвідношення 15 : 85.

В межах підсистеми  $B$  «Співвісна екструзія у двошарове прийомне середовище та утворення напівфабрикату ОСК» відбувається процес співвісної екструзії напівфабрикатів «Розчин AlgNa з цукром білим» та «Олія соняшникова підготовлена – внутрішній уміст» з одержанням кулястих форм з розміром  $d = (6,0...12,0) \times 10^3$  м, які під дією сил гравітації потрапляють у водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$  двошарового прийомного середовища та витримуються протягом  $\tau = (20...25) \times 60$  с з наступним відділенням напівфабрикату ОСК капсул від водно-спиртового середовища розчину  $\text{Ca}^{2+}$ . Напівфабрикат «Олія соняшникова капсульована» витримують протягом  $\tau = (0,5...1,0) \times 60^2$  с за температури  $t = 2...6^{\circ}\text{C}$  для видалення надлишкової вологи з оболонки капсули.

Функціонування підсистеми А «Утворення готового напівфабрикату» направлено на одержання напівфабрикату високого ступеня готовності, для чого його фасують у споживчу тару, за технологічною необхідністю заправляють олією соняшниковою, маркують та пакують у транспортну тару.

У результаті послідовного виконання наведених технологічних операцій одержують напівфабрикат «Олія соняшникова капсульована» з високими показниками якості та безпечності. На підставі експериментальних даних розроблено та обґрунтовано рецептурний склад (табл. 4.2) та технологічну схему виробництва напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована», одержаного у середовищі олії дезодорованої (рис. 4.5).

Таблиця 4.2

**Рецептурний склад напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована»**

Найменування сировини	Витрати на 1000 кг, кг	
	брутто	нетто
Альгінат натрію (AlgNa)	2,10	2,00
Вода питна підготовлена	239,90	239,90
Цукор білий	4,70	4,62
<b>Вихід напівфабрикату «Розчин AlgNa з цукром білим»</b>	<b>246,70</b>	<b>246,52</b>
Олія соняшникова	871,10	850,00
<b>Вихід напівфабрикату «Олія соняшникова підготовлена»</b>	<b>871,10</b>	<b>850,00</b>
Хлорид кальцію (CaCl <sub>2</sub> )	1,51	1,50
Вода питна підготовлена	87,90	87,90
Етанол	61,05	60,30
Полюоксиетиленсорбітанмонолаурат (E432)	0,60	0,60
<b>Вихід н/ф «Двошарове прийомне середовище»</b>	<b>151,06</b>	<b>150,30</b>
Усього:	1117,80	1096,52
<b>Вихід напівфабрикату</b>	-	1000,0

Основні фізико-хімічні показники розроблених напівфабрикатів ЛХСК наведено у табл. 4.3.



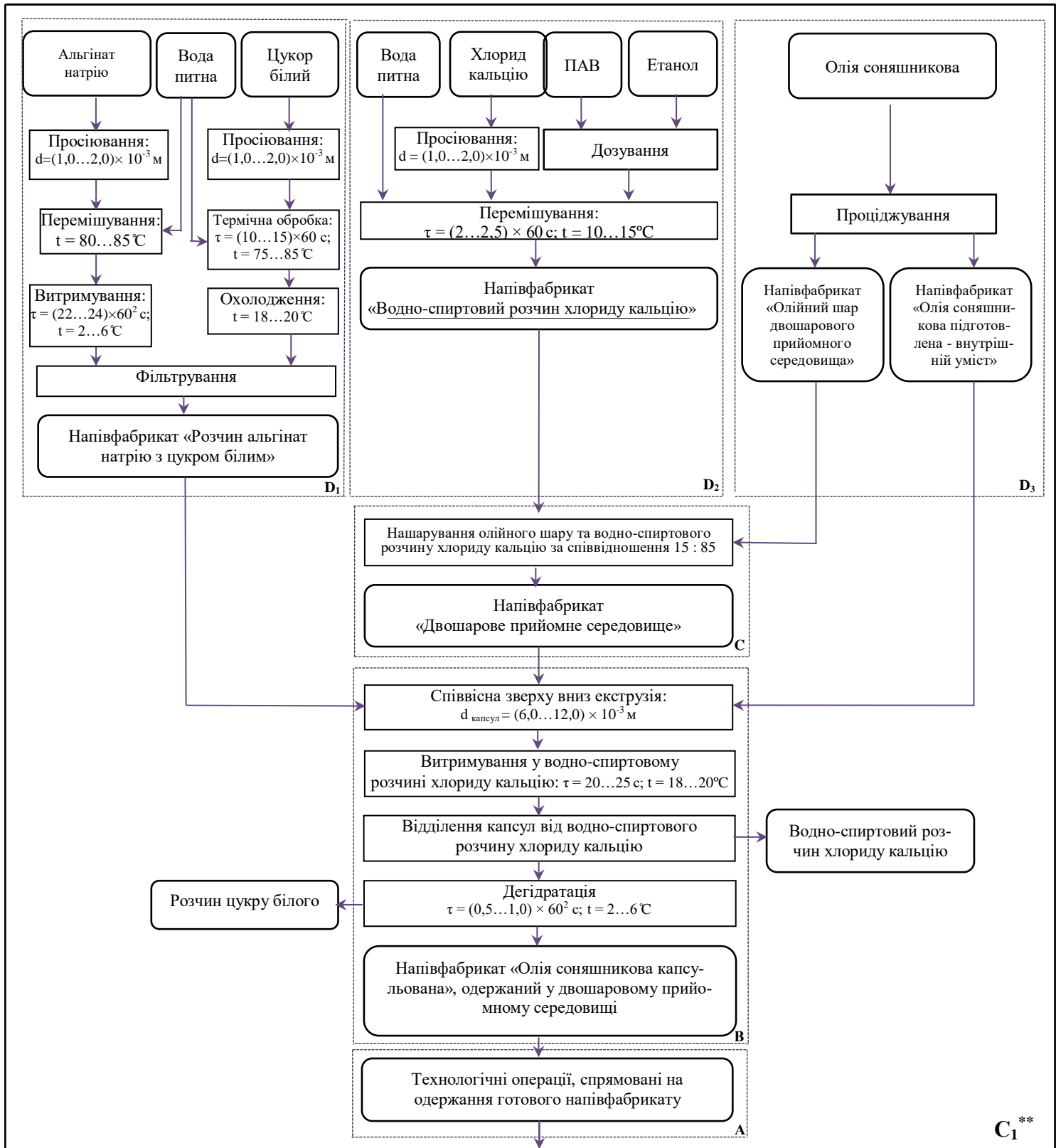


Рис. 4.5. Технологічна схема одержання напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована» у середовищі олії дезодорованої

### Загальні фізико-хімічні показники напівфабрикатів ЛХСК

Найменування показника	Найменування напівфабрикату	
	ОСК	ООК
Вміст сухих речовин, %	80,2±0,2	78,8±0,2
Ліпіди, у тому числі, %:	79,9±0,3	78,5±0,3
– що не омилюються, %	0,08±0,001	0,32±0,01
Вуглеводи, %	0,3±0,01	0,3±0,01
Діаметр капсули, × 10 <sup>3</sup> м	12,0	5,0
Співвідношення оболонка : внутрішній жировий уміст, мас. %	75 : 25	80 : 20
Колір	світло-жовтий	жовто-зелений

Розроблені напівфабрикати являють собою базові напівфабрикати високого ступеня готовності та можуть бути використані в технології харчової та кулінарної продукції.

#### 4.1.2 Обґрунтування та розробка технологій напівфабрикатів «Олії вітамінізовані та ароматизовані капсульовані»

Одержання базових напівфабрикатів ЛХСК дозволяє одержувати технологічні системи капсульовані з внутрішнім умістом ароматизованих та вітамінізованих олій, жирів та їх сумішей, що є дуже важливим у фізіологічному та технологічному плані. В першу чергу, це стосується можливості одержання ЛХСК, збагачених жиророзчинними вітамінами та пігментами. До таких компонентів відноситься ретиноли (форми вітаміну А), кальційфероли (форми вітаміну D), токофероли (ізомери вітаміну Е), β-каротин (провітамін А), фосфоліпіди, стерини та ін. [297–299]. Крім того, сформульовані вимоги сучасної нутриціології свідчать про необхідність споживання ПНЖК сімейства ω-6 та ω-3 [121]. Встановлено, що у природі не існує жодної оліє-жирової сировини, яка б за кількістю та співвідношенням ПНЖК являлась джерелом цих кислот. Передбачено, що технологія капсулювання ЛХС дозволить вирішити це питання та

запропонувати ринку нову форму напівфабрикатів ЛХСК зі збалансованим хімічним, фізіологічним складом, функціонального призначення.

Одержання вітамінізованих жирових систем досягається або шляхом введення заданої кількості жиророзчинних компонентів (у сухому, рідкому стані), або шляхом попередньої екстракції цих компонентів з відповідної сировини.

В рамках дисертаційного дослідження у якості технологічного прикладу розроблена технологія олії вітамінізованої, одержаної шляхом прямої екстракції ліпідів червоного перцю чілі олією соняшниковою та оливковою, а також визначено закономірності зміни якості капсул протягом зберігання у середовищі олії.

Встановлено, що екстракція каратиноїдів перцю у олію залежить від тривалості екстракції, співвідношення компонентів та кількості екстракцій. Диспергований перець чілі змішували з олійною сумішшю та екстрагували протягом  $\tau = 24 \times 60^2$  с, одержану суміш фільтрували.

У табл. 4.4 наведено зміну коефіцієнту заломлення олії соняшникової та оливкової, до складу яких введено перець чілі, від концентрації каратиноїдів за температури  $t = 20^\circ\text{C}$ , а на рис. 4.6 та рис. 4.7 наведено дослідження оптичної густини ( $D_0 = 495$  нм) дослідних зразків від співвідношення олія : перець чілі.

Таблиця 4.4

**Залежність показника заломлення олій вітамінізованих від співвідношення олія : перець чілі, г/г ( $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Співвідношення олія / перець «Чілі»	Концентрація каратиноїдів, мг%	Показник заломлення	
		<b>ОСК</b>	<b>ООК</b>
100 / 0	0	1,4748	1,4771
99,0 / 1,0	0,46	1,4750	1,4774
98,0 / 2,0	0,83	1,4752	1,4775
97,0 / 3,0	0,97	1,4753	1,4777
96,0 / 4,0	1,08	1,4754	1,4777
95,0 / 5,0	1,14	1,4754	1,4777

Слід зазначити, що накопичення каратиноїдів пропорційно зростанню навантаження суміші «олія – перець чілі» за масовою часткою перцю, що реєструється екстинцією за  $D_0 = 495$  нм (Додаток Б).

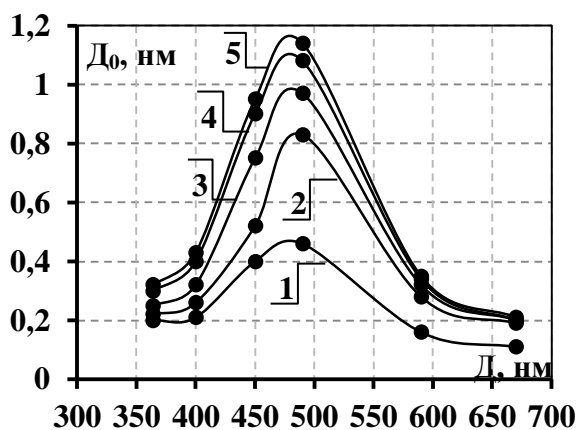


Рис. 4.6. Оптична густина ( $D$ ) залежно від концентрації каротиноїдів у олії соняшниковій вітамінізованій, мг/100 г: 1 – 0,46; 2 – 0,83; 3 – 0,97; 4 – 1,08; 5 – 1,14 відповідно

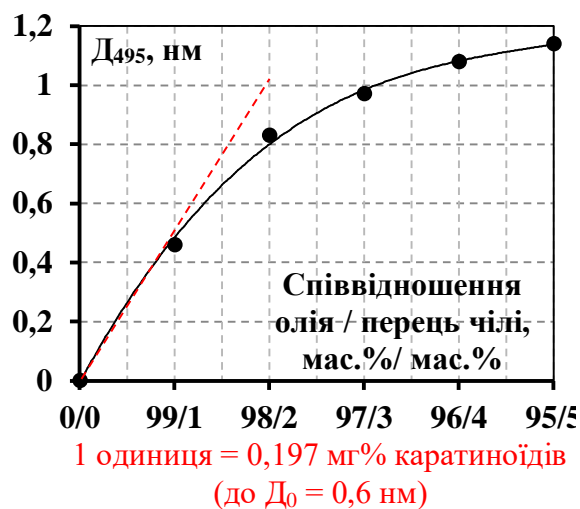


Рис. 4.7. Оптична густина ( $D_{495}$ ) олій вітамінізованих залежно від співвідношення олія : перець чілі, мас.%/мас.% ( $t = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau_{\text{екстракції}} = 24 \times 60^2\text{с}$ ;  $N_{\text{екстракції}} = 1$ )

Аналіз кривих на рис. 4.6, 4.7 свідчить про можливість одержання широкого асортименту вітамінізованої продукції за вмістом каротиноїдів, що є дуже важливим моментом під час одержання ЛХСК з регульованим складом. На рис. 4.8 та 4.11 представлено ІК-спектри олійних екстрактів перцю чілі. Вони мають низку смуг поглинання, які відповідають екстрагованим ліпідам перцю. Аналіз даних свідчить про те, що домінуючим поглинання є в області тригліцеридів, а смуги інших ліпідів проявляються тільки в межах, де вони не перекриті поглинаннями тригліцеридів. У фракціях, що не омилюються, олій вітамінізованих, окрім токоферола, який переходить із самої олії, містяться ліпіди безпосередньо перцю – каротиноїди, вітаміни групи А, Е. Слід зазначити, що в ІК-спектрах олій та олій вітамінізованих практично не має різниці в обох фракціях, що не омилюються, - вони майже співпадають, оскільки концентрація олії значно вища, чим концентрація ліпідів перцю. Відношення смуг у спектрах речовин, що не омилюються, для дослідних олій рослинних представлено у табл. 4.4.

**Відношення смуг у ІК-спектрі речовин, що не омилюються в дослідних оліях вітамінізованих**

Хвильове число, $\text{см}^{-1}$	Відношення смуги
720	Маякові коливання $-(\text{CH}_2)-$ у стероїдах, токоферолі, вітамінах групи D
836	Деформаційні C-H у тризаміщеному етиленовому зв'язку
930	Деформаційні C-H у транс-зв'язку
1010	Валентні C-O у групі OH стероїдів, вітаміни групи D
1080	Валентні C-O у пірановому циклі – токоферол
1230	Валентні C-O фенольного гідроксилу – токоферол
1280	Деформаційні O-H спиртів – стероїди
1380	Деформаційні C-H у групі $\text{CH}_3$
1410	Деформаційні C-H у цис-зв'язку $(-\text{CH} = \text{CH}-)$
1430	Валентні C = C – стероїди, каратиноїди
1460	Деформаційні C-H у групах $\text{CH}_3$ та окремі коливання груп $\text{CH}_2$
1550	Скелетні коливання бензольного кола – токоферол
1660	Валентні C=C ізольованого подвійного зв'язку у стероїдах
1710	Валентні коливання C=O кетонів
2858-2926	Валентні C-H у групах $\text{CH}_2$ ланцюгів стероїдів, токоферолу
2960	Валентні C-H у групах $\text{CH}_3$ ланцюгів стероїдів, токоферолу
3010-4000	Валентні C-H у цис-зв'язку $(-\text{CH} = \text{CH}-)$ – стероїди, каратиноїди

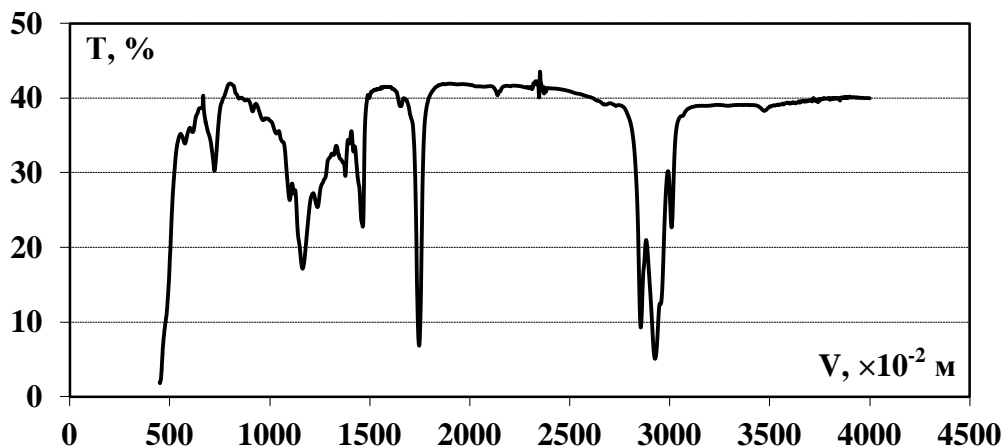


Рис. 4.8. ІК-спектр речовин, що не омилюються, у складі напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована»

Слід зазначити, що ІК-спектри вітамінізованих олій характеризуються рядом смуг, які відповідають коливанням групи O-H, що підтверджує наявність вітамінів групи А, Е – це зміни, що проявляються в області  $3010 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$ . Токо-

феролу належать смуги бензольного поглинання в області 2858...2926  $\text{см}^{-1}$ , а широка, чітка смуга в області 1710  $\text{см}^{-1}$ , яка відповідає поглинанню групи C=O кетонів, відноситься до різновидностей каротинів, у тому числі вітаміну А. У ІК-спектрах речовин, що не омилуються на основі олій видно, що поглинання у зоні 1170  $\text{см}^{-1}$  розширено та характеризуються наявністю декількох максимумів. Це можна пояснити наявністю ізопропіленових груп, які містять вітаміни Е.

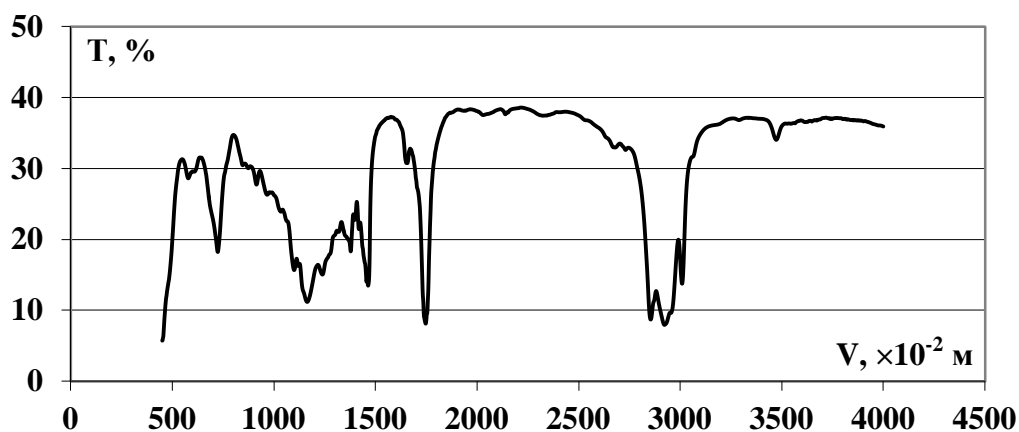


Рис. 4.9. ІК-спектр речовин, що не омилуються, у складі напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована вітамінізована»

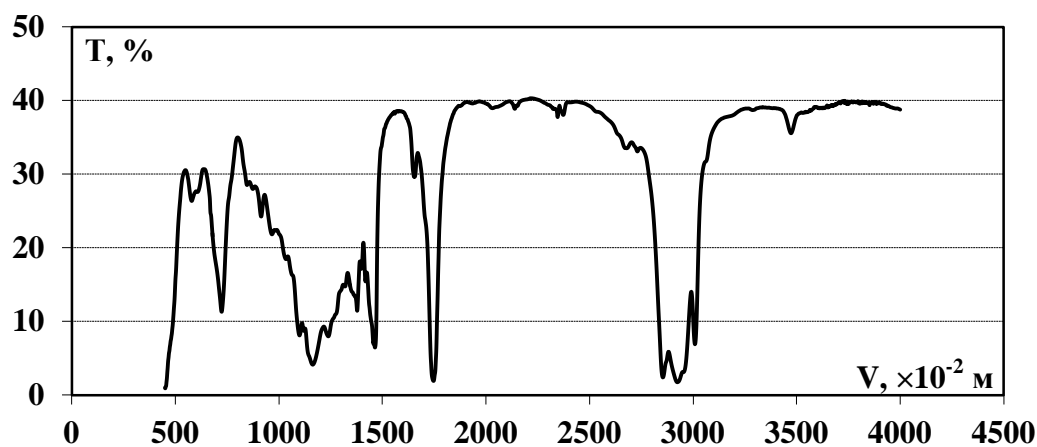


Рис. 4.10. ІК-спектр речовин, що не омилуються, у складі напівфабрикату «Олія оливкова капсульована»

Аналіз даних спектрального аналізу вихідних та олій вітамінізованих свідчить про те, що до складу усіх зразків входять ті ж самі жиророзчинні вітаміни, що й до складу ліпідів перцю – вітаміни групи А, Е.

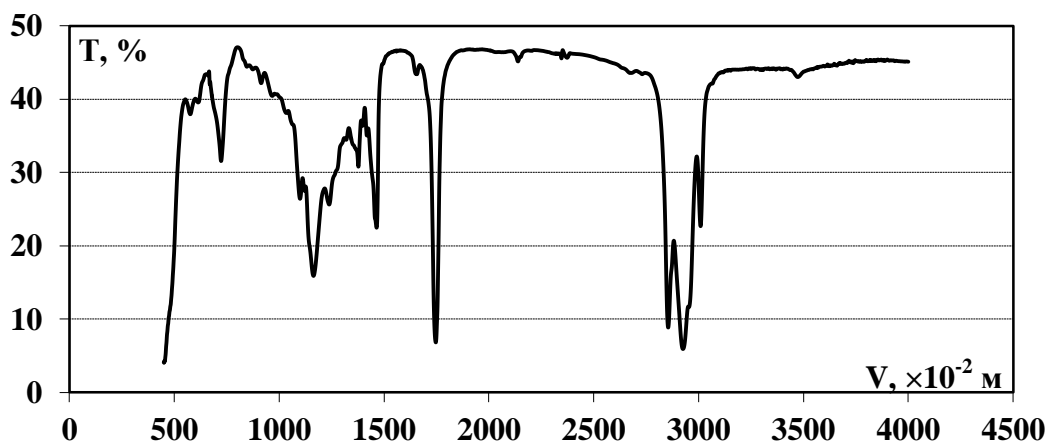


Рис. 4.11. ІК-спектр речовин, що не омилюються, у складі напівфабрикату «Олія оливкова капсульована вітамінізована»

Природа олії не впливає на якісний склад жиророзчинних компонентів перцю, які переходять під час вітамінізації олій.

Слід відмітити, що за такими принципами можливе одержання капсульованих систем різних смаків та кольору. При цьому, важливою складовою є аналітична та експериментальна експертиза нової продукції з визначення виду та вмісту харчової добавки (ароматизатори, барвники, есенції та ін.), яка підтверджує відповідність даної продукції вимогам державної системи контролю харчової продукції та законодавчим й нормативним документам з регламентування заданої харчової добавки у складі напівфабрикатів ЛХСК [184...188].

#### **4.2 Дослідження показників якості та безпечності напівфабрикатів харчових жирових капсульованих та їх зміна під впливом технологічних чинників**

Розроблена капсульована продукція є принципово новим напрямком переробки ЛХС та під час використання дозволяє одержати інноваційну харчову продукцію, яка не має аналогів на світовому ринку харчової індустрії.

Виражена наявність технологічних інновацій, які визначено у підрозділі 3.1 (контрольована екструзія двох неспоріднених речовин, формування куляс-

тих форм, утворення оболонки капсули з заданими структурно-механічними показниками та внутрішнім жировим умістом, комплексна переробка ЛХС, індустріальне виробництво продукції, формування заданих технологічних та споживчих властивостей та інш.) потребує дослідження її показників якості (органолептичних, фізико-хімічних, харчової цінності) та безпечності (мікробіологічних, токсикологічних).

Дослідження органолептичних показників нових напівфабрикатів, які зображено на рис. 4.12, здійснювалось на основі розробленої шкали сенсорної оцінки (додаток В). Результати представлені у табл. 4.5 та зображено у вигляді профілів зовнішнього вигляду, текстури, кольору, смаку та запаху (рис. 4.13).

Слід зазначити, що напівфабрикати «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована» за зовнішнім виглядом має кулеподібну цілісну форму, з діаметром капсул  $5,0 \times 10^{-3}$  м (ООК) й  $12,0 \times 10^{-3}$  м (ОСК) відповідно, з насиченим однорідним кольором внутрішнього умісту (оцінка відповідно 5,0 та 4,9), оболонка прозора, без сторонніх відтінків (оцінка 4,8). Текстура ОСК та ООК з вираженим ефектом лопання (оцінка 4,9), пружністю та еластичністю (оцінки 5,0 та 4,9 відповідно), добрим опором до роздавлювання (4,9), ефект липкості відсутній.



а)

б)

Рис. 4.12. Фотографічне зображення напівфабрикату капсульованого: а – олія оливкова, одержаний шляхом капсулювання у середовищі повітря; б – олія соняшникова, одержаний шляхом капсулювання у середовищі олія дезодорована відповідно



### Результати сенсорної оцінки нової продукції

Найменування показника	№ дескриптора	Коефіцієнт вагомості дескриптора	Характеристика	Оцінка в балах
1	2	3	4	5
Зовнішній вигляд	1	0,1	Кулеподібність форми	4,9
	2	0,2	Цілісність оболонки	5,0
	3	0,2	Рівномірність товщини оболонки	4,7
	4	0,2	Відсутність злипання капсул	5,0
	5	0,1	Відсутність пошкоджених екземплярів	4,9
	6	0,1	Відповідність заданого діаметру капсул	4,8
	7	0,2	Відсутність сторонніх домішок	5,0
Сумарна оцінка				4,9
Коефіцієнт вагомості показника				0,3
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>1,47</b>
Колір	1	0,2	Чистота	5,0
	2	0,1	Рівномірність кольору	5,0
	3	0,2	Однорідність	4,9
	4	0,2	Прозорість оболонки	4,8
	5	0,1	Відсутність стороннього відтінку	4,9
	6	0,2	Насиченість кольору	4,7
Сумарна оцінка				4,88
Коефіцієнт вагомості показника				0,2
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>0,97</b>
Запах та смак	1	0,2	Чистота	5,0
	2	0,1	Збалансованість	4,9
	3	0,2	Натуральність	5,0
	4	0,2	Відсутність згірклого смаку	5,0
	5	0,1	Відсутність сторонніх присмаків	4,9
	6	0,1	Насиченість	4,8
	7	0,1	Відповідність смаку	5,0
Сумарна оцінка				4,94
Коефіцієнт вагомості показника				0,3
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>1,48</b>
Текстура	1	0,2	Опір роздавлюванню	4,9

## Продовження таблиці 4.5

	2	0,2	Еластичність	4,9
	3	0,1	Ефект лопання	4,9
	4	0,2	Пружність	5,0
	5	0,1	Відсутність склоподібності	5,0
	6	0,2	Відсутність липкості	5,0
Сумарна оцінка				4,95
Коефіцієнт вагомості показника				0,2
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>0,99</b>
<b>Всього:</b>				<b>4,91</b>

Запах та смак напівфабрикатів «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована» визначені як чисті, без сторонніх, без наявності згірлого присмаку, насичені (оцінка 5,0 балів). Враховуючи коефіцієнти вагомості окремих дескрипторів та органолептичних показників в цілому, сумарна оцінка продукту складає 4,91 бали.

Харчова цінність напівфабрикатів ЛХСК визначається вмістом ліпідів та вуглеводів (в оболонці). За широкого асортименту жирової сировини, вміст поживних речовин буде в кожному випадку індивідуальний та буде залежати від виду сировини, що підлягає капсулюванню, співвідношення внутрішнього жирового вмісту та оболонки (мас.%).

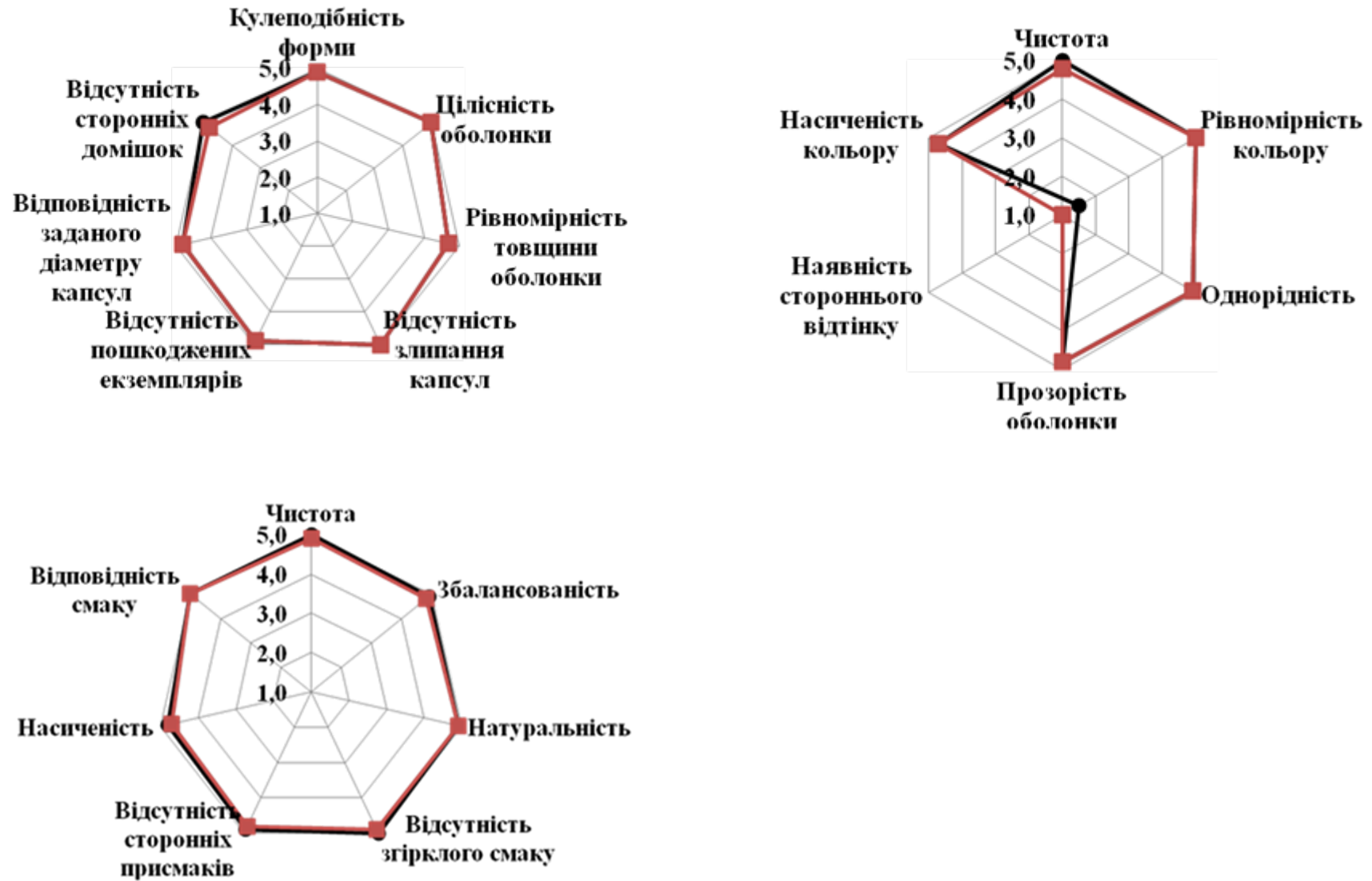


Рис. 4.13..Профілограми органолептичної оцінки нової продукції під час зберігання, діб: 1 – 0; 2 – 180 відповідно

З метою визначення енергетичної та харчової цінності досліджено загальний хімічний (табл. 4.6, 4.7) та жирнокислотний склад ліпідів напівфабрикатів (табл. 4.8, 4.9), який представлено як насиченими, так і ненасиченими жирними кислотами. Загальний вміст насичених жирних кислот складає для олії соняшnikової –  $14,92 \pm 0,4$  %, для олії оливкової –  $17,19 \pm 0,5$  % від вмісту жирних кислот, домінуючою серед яких є пальмітинова кислота, масова частка якої складає  $44,9 \pm 1,3$  % й  $65,7 \pm 2,5$  % відповідно від загального вмісту насичених жирних кислот. Як видно з табл. 4.8 вміст мононенасичених жирних кислот складає для ОСК  $27,2 \pm 0,6$  %, в цій групі домінує олеїнова кислота ( $26,9 \pm 0,6$  %), в той час коли цей показник у складі ООК більше у 2,6 рази та складає  $73,67 \pm 2,5$  %. Це пояснюється хімічним складом олійної сировини. Важливо відзначити, що жирнокислотний склад напівфабрикатів ЛХСК характеризується відсутністю транс-ізомерів жирних кислот, які негативно впливають на життєву діяльність організму людини [300, 301]. Враховуючи фізіологічні норми споживання окремих речовин, можна зробити висновок, що нова продукція є джерелом поліненасичених жирних кислот, у тому числі  $\omega_3$  та  $\omega_6$  жирних кислот.

Дослідження фізико-хімічних показників напівфабрикатів «Олія соняшnikова капсульована» та «Олія оливкова капсульована» дозволяє стверджувати, що продукт має сталі показники, які відповідають зазначеним результатам (табл. 4.10, 4.11) протягом 6 місяців зберігання. Співвідношення внутрішньої складової до оболонки капсули складає як 80 : 20. Динаміка фракційного складу напівфабрикатів «Олія соняшnikова капсульована» та «Олія соняшnikова капсульована» представлено у табл. 4.12 та 4.13. Одержані дані свідчать про зниження вмісту фосфоліпідів та тригліцеридів з одночасним зростом частки інших фракцій. Збільшення частки вільних жирних кислот та дигліцеридів у обох зразках під час зберігання свідчить про початок процесу гідролізу, підтвердженням чого є збільшення кислотного числа.

**Хімічний склад напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована»**

Найменування показника	Найменування зразку							
	ОСК протягом зберігання, діб				ОСКВ протягом зберігання, діб			
	0	30	90	180	0	30	90	180
Масова частка сухих речовин, %	80,2±0,4	80,6±0,4	81,0±0,4	81,3±0,4	80,7±0,3	81,4±0,3	81,6±0,3	81,9±0,3
Масова частка жирів, %:	79,9±0,3	79,9±0,3	79,9±0,3	79,9±0,3	78,5±0,3	78,6±0,3	78,6±0,3	78,7±0,3
Масова частка вуглеводів, %	0,3±0,01	0,7±0,01	1,1±0,02	1,4±0,02	2,2±0,02	2,8±0,02	3,0±0,02	3,2±0,02
Калорійність (ккал)	744,3	745,9	747,6	748,8	739,5	742,5	743,9	745,1

співвідношення внутрішньої складової : оболонки капсули як 80 : 20

Таблиця 4.7

**Хімічний склад напівфабрикату «Олія оливкова капсульована»**

Найменування показника	Найменування зразку							
	ООК протягом зберігання, діб				ООКВ протягом зберігання, діб			
	0	30	90	180	0	30	90	180
Масова частка сухих речовин, %	78,8±0,2	79,4±0,2	79,8±0,2	80,2±0,2	79,3±0,3	79,9±0,3	80,3±0,4	80,6±0,4
Масова частка жирів, %:	78,5±0,3	78,5±0,3	78,5±0,3	78,5±0,3	78,9±0,3	78,9±0,3	79,1±0,3	79,2±0,2
Масова частка вуглеводів, %	0,3±0,01	0,9±0,01	1,3±0,01	1,7±0,01	0,8±0,03	1,0±0,03	1,2±0,02	1,4±0,02
Калорійність (ккал)	731,3	733,7	735,4	737,0	736,9	737,8	740,5	742,2

співвідношення внутрішньої складової : оболонки капсули як 80 : 20

## Жирнокислотний склад ліпідів напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована»

Найменування жирної кислоти	Індекс кислоти	ОСК протягом зберігання, діб				ОСКВ протягом зберігання, діб			
		0	30	90	180	0	30	90	180
Міристинова	C <sub>14:0</sub>	0,20±0,001	0,17±0,001	0,09±0,001	0,01±0,001	0,20±0,001	0,16±0,001	0,09±0,001	0,02±0,001
Пальмітинова	C <sub>16:0</sub>	6,70±0,2	6,75±0,2	6,90±0,2	7,10±0,2	7,20±0,2	7,34±0,2	7,46±0,2	7,60±0,2
Стеаринова	C <sub>18:0</sub>	5,50±0,1	5,52±0,1	5,61±0,1	5,70±0,1	3,31±0,1	3,35±0,1	3,43±0,1	3,55±0,1
Арахідова	C <sub>20:0</sub>	0,50±0,03	0,48±0,03	0,42±0,02	0,4±0,02	0,4±0,01	0,36±0,01	0,33±0,01	0,31±0,01
Бегенова	C <sub>22:0</sub>	1,50±0,03	1,43±0,03	1,35±0,03	1,30±0,03	1,2±0,02	1,14±0,02	0,96±0,02	0,89±0,02
Лігноцерінова	C <sub>24:0</sub>	0,50±0,01	0,47±0,01	0,45±0,01	0,40±0,01	0,49±0,01	0,43±0,01	0,40±0,01	0,36±0,01
<b>Всього насичених жирних кислот:</b>		<b>14,90</b>	<b>14,82</b>	<b>14,82</b>	<b>14,91</b>	<b>12,80</b>	<b>12,78</b>	<b>12,67</b>	<b>12,73</b>
Пальмітолеїнова	C <sub>16:1</sub>	0,30±0,01	0,28±0,01	0,25±0,01	0,20±0,01	0,10±0,001	-	-	-
Олеїнова	C <sub>18:1</sub>	28,30±0,6	25,10±0,6	23,40±0,6	20,30±0,6	26,9±0,06	24,20±0,06	20,50±0,06	18,50±0,07
Ейкозенова	C <sub>20:1</sub>	0,30±0,001	0,27±0,001	0,25±0,001	0,22±0,001	0,20±0,001	0,12±0,001	-	-
<b>Всього мононенасичених жирних кислот:</b>		<b>28,90</b>	<b>25,65</b>	<b>23,90</b>	<b>20,72</b>	<b>27,2</b>	<b>24,32</b>	<b>20,50</b>	<b>18,50</b>
Лінолева	C <sub>18:2</sub>	55,20±1,0	58,70±1,0	60,50±1,0	63,70±1,0	59,20±1,0	62,17±1,0	65,80±1,0	68,20±1,0
Ліноленова	C <sub>18:3</sub>	0,30±0,01	0,27±0,01	0,24±0,01	0,2±0,01	-	-	-	-
Ейкозатрієнова	C <sub>20:3</sub>	0,30±0,01	0,25±0,01	0,21±0,01	0,17±0,01	0,30±0,001	0,23±0,001	0,15±0,001	0,11±0,001
Арахідонова	C <sub>20:4</sub>	0,40±0,01	0,31±0,01	0,33±0,01	0,30±0,01	0,51±0,02	0,50±0,02	0,48±0,02	0,46±0,02
<b>Всього поліненасичених жирних кислот:</b>		<b>56,2</b>	<b>59,53</b>	<b>61,28</b>	<b>64,37</b>	<b>60,01</b>	<b>62,90</b>	<b>65,43</b>	<b>68,77</b>
<b>Всього жирних кислот:</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,00</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

співвідношення внутрішньої складової : оболонки капсули як 80 : 20

## Жирнокислотний склад ліпідів напівфабрикату «Олія оливкова капсульована»

Найменування жирної кислоти	Індекс кислоти	ОСК протягом зберігання, діб				ОСКВ протягом зберігання, діб			
		0	30	90	180	0	30	90	180
Міристинова	C <sub>14:0</sub>	0,05±0,001	-	-	-	-	-	-	-
Пальмітинова	C <sub>16:0</sub>	11,30±0,3	11,97±0,3	12,35±0,3	12,91±0,3	11,11±0,3	11,30±0,3	11,50±0,3	11,70±0,3
Стеаринова	C <sub>18:0</sub>	2,81±0,3	3,37±0,3	3,85±0,3	4,05±0,2	3,00±0,1	3,10±0,1	3,17±0,1	3,25±0,1
Арахінова	C <sub>20:0</sub>	0,30±0,001	0,25±0,001	0,19±0,001	0,12±0,001	0,40±0,02	0,38±0,02	0,35±0,01	0,31±0,01
Бегенова	C <sub>22:0</sub>	0,21±0,001	0,09±0,001	-	-	-	-	-	-
Лігноцерінова	C <sub>24:0</sub>	0,20±0,001	0,17±0,001	0,15±0,001	0,13±0,001	0,19±0,001	0,10±0,001	-	-
<b>Всього насичених жирних кислот:</b>		<b>14,87</b>	<b>15,85</b>	<b>16,54</b>	<b>17,19</b>	<b>14,70</b>	<b>14,88</b>	<b>15,02</b>	<b>15,26</b>
Пальмітолеїнова	C <sub>16:1</sub>	0,80±0,02	0,70±0,02	0,72±0,02	0,67±0,03	0,80±0,02	0,74±0,02	0,66±0,02	0,63±0,02
Олеїнова	C <sub>18:1</sub>	78,05±1,5	76,00±1,5	74,86±1,5	73,0±1,5	78,65±2,0	78,10±2,0	77,34±2,0	76,40±2,0
Ейкозенова	C <sub>20:1</sub>	0,15±0,001	0,07±0,001	-	-	0,10±0,001	-	-	-
<b>Всього мононенасичених жирних кислот:</b>		<b>79,90</b>	<b>76,05</b>	<b>75,58</b>	<b>73,67</b>	<b>79,55</b>	<b>78,84</b>	<b>78,00</b>	<b>77,03</b>
Лінолева	C <sub>18:2</sub>	4,30±0,3	7,27±0,3	7,03±0,3	8,55±0,3	4,60±0,3	5,25±0,3	6,07±0,3	6,90±0,3
Ліноленова	C <sub>18:3</sub>	0,62±0,02	0,50±0,02	0,48±0,02	0,44±0,02	0,82±0,02	0,76±0,02	0,68±0,02	0,62±0,02
Ейкозатрієнова	C <sub>20:3</sub>	0,31±0,001	0,33±0,001	0,37±0,001	0,2±0,001	0,33±0,001	0,27±0,001	0,23±0,001	0,19±0,001
<b>Всього поліненасичених жирних кислот:</b>		<b>5,23</b>	<b>8,10</b>	<b>7,88</b>	<b>9,14</b>	<b>5,75</b>	<b>6,28</b>	<b>6,98</b>	<b>7,71</b>
<b>Всього жирних кислот:</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

співвідношення внутрішньої складової : оболонки капсули як 80 : 20

**Фізико-хімічні показники напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована»**

Найменування показника	Допустимі значення	Найменування зразку							
		ОСК протягом зберігання, діб				ОСКВ протягом зберігання, діб			
		0	30	90	180	0	30	90	180
Масова частка сухих речовин, %	85,5	80,2±0,4	80,4±0,4	80,8±0,4	81,6±0,4	80,7±0,4	81,06±0,4	80,58±0,4	81,93±0,4
Колірне число, мг йоду, не більше	10,0	2,0±0,02	2,8±0,02	4,1±0,03	9,5±0,05	2,2±0,02	3,1±0,03	5,05±0,03	9,9±0,05
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,6	0,29±0,01	0,32±0,01	0,44±0,01	0,59±0,01	0,31±0,01	0,35±0,01	0,40±0,01	0,51±0,01
Пероксидне число, 1/2 O ммоль/кг, не більше ніж	10,0	1,8±0,02	2,19±0,03	4,05±0,03	9,8±0,04	1,2±0,02	1,57±0,03	3,45±0,03	5,49±0,03
Число омилення, мг КОН/г	не норм.	188	190	193	198	186	187	190	194
Сторонні домішки, %	не допуск.	не виявлено				не виявлено			

Таблиця 4.11

**Фізико-хімічні показники напівфабрикату «Олія оливкова капсульована» відповідно до вимог ЕС**

Найменування показника	Допустимі значення	Найменування зразку							
		ООК протягом зберігання, діб				ООКВ протягом зберігання, діб			
		0	30	90	180	0	30	90	180
Масова частка сухих речовин, %	-	78,85±0,3	79,1±0,3	79,5±0,3	80,19±0,3	79,35±0,3	79,60±0,3	79,75±0,3	80,58±0,4
Колірне число, г I <sub>2</sub> /100 г	94	75,0±0,5	75,5±0,5	81,2±0,6	88,8±0,6	не нормується			
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0,8	0,23±0,01	0,29±0,01	0,57±0,01	0,73±0,01	0,25±0,01	0,33±0,01	0,38±0,02	0,50±0,02
Пероксидне число, 1/2 O ммоль/кг, не більше ніж	20,0	2,5±0,3	2,7±0,3	8,3±0,3	12,1±0,3	1,9±0,3	2,41±0,3	5,27±0,3	8,22±0,4
Число омилення, мг КОН/г	не норм.	184,5	186,2	189,5	193,7	184	186	189	195
Сторонні домішки, %	не допус.	не виявлено				не виявлено			







Вміст токсичних елементів, мікотоксинів у напівфабрикатах «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована» не перевищує допустимих рівнів протягом 6 місяців зберігання, встановлених у МБВ і СН № 5061 й регламенті ЕС № 834/07 [152, 234] та наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.14

**Результати токсичних досліджень напівфабрикатів  
«Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована»**

Найменування показника	Допустимі рівні, мг/кг, не більше	Фактичний вміст в ОСК, мг/кг	Фактичний вміст в ООК, мг/кг
<b>Токсичні елементи:</b>			
– свинець	0,10	0,05	0,05
– миш'як	0,10	0,01	0,00
– кадмій	0,05	0,02	0,01
– ртуть	0,03	0,01	0,00
– мідь	0,50	0,10	0,00
– залізо	5,00	1,00	0,44
– цинк	5,00	1,00	0,00
<b>Мікотоксини:</b>			
– афлатоксин В <sub>1</sub>	0,005	0,002	0,001
– зеараленон	1,000	0,500	0,300

Вміст радіонуклідів у напівфабрикатах «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована» не перевищує допустимих рівнів протягом зберігання, встановлених ГН 6.6.1.1-130 «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів цезію – 137, стронцію – 90 в продуктах харчування і воді питній» й регламенті ЕС № 834/07 [150, 237] (табл. 4.15).

Таблиця 4.15

**Результати дослідження вмісту радіонуклідів у напівфабрикатах  
«Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована»**

Найменування показника	Допустимі рівні, Бк/кг	Фактичний вміст в ОСК, Бк/кг	Фактичний вміст в ООК, Бк/кг
<sup>137</sup> Cs	100	85	80
<sup>90</sup> Sr	30	18	10

Безпечність розробленої продукції досліджували шляхом визначення мікробіологічних показників, які відповідають вимогам, зазначеним у табл. 4.16.

Таблиця 4.16

**Результати дослідження мікробіологічних показників напівфабрикатів «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована»**

Найменування показника	Допустимі рівні, не більше	Значення показника			
		0 діб зберігання		180 діб зберігання	
		ОСК	ООК	ОСК	ООК
Кількість аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО/г	$1 \times 10^4$	$4 \times 10^2$	$2 \times 10^2$	$4 \times 10^3$	$3 \times 10^3$
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), у 0,1 г	не допуск.	не виявлено		не виявлено	
<i>S.aureus</i> , у 1 г	не допуск.	не виявлено		не виявлено	
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду <i>Salmonella</i> , у 25 г	не допуск.	не виявлено		не виявлено	
Дріжджі, КУО/г	50	10	10	35	20
Плісняві гриби, КУО/г	$1 \times 10^2$	не виявлено		не виявлено	

Таким чином, дослідження енергетичної та харчової цінності, показників якості та безпечності напівфабрикатів «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована» вказують на відповідність даної продукції вимогам державної системи контролю харчових продуктів.

На рис. 4.14 зображено зразки промислових напівфабрикатів «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована» як кінцева форма реалізації капсульованої продукції для переробки у готову продукцію на її основі.



Рис. 4.14. Фотографічне зображення промислових зразків напівфабрикатів капсульованих для системи В2В (маса одиниці пакування складає 9,6кг)

Результати дослідження покладено в основу ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані» та ТУ У 10.4-38128375-009:2018 «Олії, жири та їх суміші капсульовані в олійних та оцтових середовищах» й технологічних інструкцій з їх виробництва (Додаток 3).

### **4.3 Закономірності формування технологічних властивостей оболонок капсул з внутрішнім умістом ЛХС**

Властивості оболонок капсул визначають технологію їх використання у складі харчової продукції, у тому числі з точки зору їх стабільності та резистентності у технологічному потоці. Є очевидним, що використання  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  як оболонкоутворювача не може задовольнити усі випадки технологічних процесів, особливо з точки зору механічних впливів на капсули, дії високих температур тощо. У процесі гелеутворення із розчинів альгінати проходять фази виникнення нестехіометричних та стехіометричних поліелектролітних комплексів, тому просторові структури гелю під час переходу із вільно дисперсного стану неньютонівської рідини до зв'язанодисперсного стану гідрогелю виникають різні за властивостями структуровані системи [302].

Передбачено, що шляхи використання ЛХСК у харчовій промисловості будуть визначатися їх функціонально-технологічними та фізіологічними влас-

тивостями. На це, в свою чергу, впливають рецептурний склад альгінат-кальцієвої оболонки та внутрішнього жирового умісту. Слід розуміти, що структуро-механічні, текстурні, фізико-хімічні характеристики, здатність реагувати або стримувати зовнішні технологічні фактори будуть визначати органолептичні та споживчі показники ЛХСК та харчової продукції з їх використанням [303]. Встановлено, що модифікація властивостей альгіново-кальцієвих оболонок ЛХСК можлива за умов використання різних за походженням та принципів структуроутворення гелеутворювачів [4]. Одночасно вони визначають текстурну однорідність продукту, тривалість гомеостазу, параметри технологічного процесу та терміни її зберігання. Також потрібно враховувати рН основної сировини та середовища, що здатна впливати на стабільність системи та умови зберігання готової продукції [7, 304, 305].

Вибір структуроутворювача для модифікації альгінат-кальцієвих оболонок капсульованої продукції може базуватися на двох принципах. По-перше, структуроутворювач не повинен за різних умов змінювати свої функціональні властивості за результатами зміни основної та допоміжної сировини. Цей принцип використовується лише за умови, коли структуроутворювач є хімічно індиферентним, колоїдно стабільним та не реагує на основну сировину. З іншої точки зору, структуроутворювач залучає властивості інших рецептурних компонентів у процес структуроутворення до синергетичної взаємодії. Тим самим, він забезпечує необхідні структурно-механічні, органолептичні показники та стабільність під час зберігання. Другий шлях для створення капсульованої продукції на основі сумішей полісахаридів є більш перспективним, але потребує детального вибору структуроутворювачів із відповідними властивостями. Створення змішаного модифікованого гелю можливе за рахунок комбінування двох або більше гідроколоїдів, які здатні проявляти ефект синергізму. Практичне використання мають синергетичні комбінації нейтральних та кислих полісахаридів чи комбінація кислих полісахаридів та білків [306].

Модифікація властивостей оболонок може бути пов'язана з введенням хімічно пасивних до гелеутворення речовин, наприклад спиртів, у тому числі глі-

церину [307], які здатні суттєво впливати на властивості розчинника, не висолуючи полісахарид, тим самим змінювати умови гелеутворення.

Важливою задачею є зміна фізичних властивостей розчину оболонкоутворювача, у тому числі пов'язаних з густиною розчину. Збільшення густини розчину  $\rho_{AlgNa}$  введенням речовин з молекулярною розчинністю, наприклад цукру білого, або високоцукрових декстринів є важливим технологічним параметром, який може бути використано для забезпечення переходу квазістабільних капсул із олійної фази двошарового прийомного середовища у водно-спиртовий розчин  $Ca^{2+}$ .

Висунуто робочу гіпотезу, що одночасне використання у спільній системі розчину декількох термотропних та/чи іонотропних гелеутворювачів за умови взаємодії з водним розчином  $Ca^{2+}$  дозволить реалізувати хімічні та фізичні потенціали цих речовин. За умов виконання задекларованих технологічних параметрів можливе одержання капсульованої продукції, якій притаманні властивості гелеутворювачів, що використовуються. У даному випадку, міра впливу на властивості гелів оболонок ЛХСК термотропних та іонотропних полісахаридів, або інших учасників суміші буде визначатися співвідношенням учасників процесу.

З метою вивчення можливості взаємодії гелеутворювачів у складі змішаного гелю досліджено системи «AlgNa – агар –  $Ca^{2+}$  – вода» та «AlgNa – пектин низькоетерифікований –  $Ca^{2+}$  – вода». Під час вибору речовин-модифікаторів нами враховувався фактор термодинамічної сумісності у спільному розчиннику та можливість утворювати третьою речовиною «фізичні» та «хімічні» гелі.

Зроблено припущення сітки гелю іонотропного  $Alg_2Ca$  та агару утворюють каркасні структури продуктів та існують у ньому без хімічної взаємодії. В цілому властивості таких гелів проявляється як сума властивостей гелів, що утворені двома гелеутворювачами з перевагою показників домінуючого компонента. Враховуючи здатність AlgNa та пектину низькоетерифікованого взаємодіяти з іонами двовалентних металів, під час введення в систему  $Ca^{2+}$ , ймовірно, відбуватиметься конкуренція за можливість вступити у взаємодію з  $Ca^{2+}$  та утворити комплекс « $Alg_2Ca$ » та « $Ca^{2+}$  – пектин низькоетерифікований». Однак, виходячи з хімічного потенціалу речовин, AlgNa характеризується значно

більш вираженою взаємодією з  $\text{Ca}^{2+}$ , ніж пектин. Внаслідок цього домінуюча кількість  $\text{Ca}^{2+}$  утворює хелатні сполуки саме з  $\text{AlgNa}$ . З цього виходить, що змішаний гель проявлятиме більшою мірою властивості гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , особливо щодо термостійкості. У системі « $\text{AlgNa}$  – агар –  $\text{Ca}^{2+}$  – вода» взаємодіє з  $\text{Ca}^{2+}$  тільки  $\text{AlgNa}$ , так як сульфатований полісахарид не має вираженої властивості до комплексоутворення за присутності  $\text{Ca}^{2+}$  [7, 59, 307].

Структуруючі властивості альгінатів речовинами-модифікаторами можуть бути скореговані в бік корегування пружних та пластичних властивостей оболонки за рахунок здатності створювати у розчиннику за певних умов просторову сітку або комплекси  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , або пасювати гелеутворення. За колоїдними ознаками попередньо потрібно утворити розчин-систему, у якій містяться як мінімум два полімери у спільному розчиннику. При цьому системи, що утворюються класифікуються за наступними функціональними властивостями з точки зору утворення гелів:

– розчин нейтрального полімеру та електроліту, які є термодінамічно сумісними за умови їх змішування без фазового розшарування та висадження. Розчин здатен підвищувати в'язкість порівняно з монокомпозиційними системами за рахунок асоціації полімерів як результат виникнення водневих зв'язків. Стабільність бінарного розчину забезпечується розгортанням у розчиннику поліелектроліту, що забезпечує утворення гомогенної суміші розчину з нейтральним полісахаридом. У випадку гелеутворення за рахунок нейтралізації електроліту (випадок утворення  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ ) технологічна система може розшаровуватися на дві фази, що не змішуються, тому гелеутворення повинно бути одночасним з формоутворенням [308].

Слід враховувати, що поліелектролітами є полімери з вмістом іоногенної групи, які набувають зарядженої форми у водних розчинах внаслідок дисоціації функціональних груп. Тоді макромолекула знаходиться в стані поліаніону, навколо якого є еквівалентна кількість протиіонів. До такого стану переходять полікислоти, утворюються поліаніони, полілуги – полікатиони, поліамфоліти поліцвіттеріони. За ступенем дисоціації їх розрізняють як сильні – коли іоніза-



ція не залежить від рН середовища та слабкі, здатних до часткової іонізації. Встановлено, що альгірати відносяться до слабких полікислот, результатом чого є одержання наступних систем:

– технологічні системи, які містять однойменно заряджені поліелектроліти – термодинамічно несумісні. Сегрегативний тип поведінки таких систем призводить до фазового розшарування систем, що унеможлиблює використання таких гідроколоїдів, розчинених у спільному розчиннику;

– технологічні системи, які містять протилежно заряджені електроліти – через спільний розчинник також є проблематичним, оскільки електростатичне притягання через середовище спільного розчинника призведе до утворення комплексів асоціативного типу з міцними зв'язками, які утворюються як результат кооперативних реакцій. Ці комплекси мають назву поліелектролітні комплекси (ПЕК). Виникнення міжланцюгового сольового зв'язку полегшує утворення зв'язків між ланцюгами поліелектролітного комплексу, але вони можуть виникати за умов додавання третьої речовини (блокуючого поліелектроліту). Така комбінація електролітів у спільному розчиннику надає комплексам високої стабільності [7].

Наявність іоногенних груп створює умови для хіміко-технологічної побудови тримірної матриці-каркасу, що надає можливість реалізації інноваційних задумів по створенню структурованих продуктів, у тому числі з інкапсульованими ЛХС, а за рахунок наявності нековалентних міжмолекулярних взаємодій, що призводить до утворення хелатів, виключає виникнення ковалентних зшивок та забезпечує біодеградацію у кишечниковому тракті, тим самим забезпечуючи нешкідливість нового продукту [23].

Такий підхід прийнято із передбачення, що кероване гелеутворення приведе до утворення гелю, спільні властивості якого будуть пропорційні вкладу парціальних властивостей рецептурних компонентів. Одночасно, технологічні властивості гелеподібної іонотропно-термотропної системи будуть визначатися додатковою сіткою водневих зв'язків, електростатичних взаємодій та характе-

ризуватися на молекулярному рівні наявністю значень за розмірами гідрофобних ділянок, які утворені сольовими містками та координаційними зв'язками.

Є очевидним, що мікроструктура сітки гелю за умов іотропно-термотропного гелеутворення буде залежати від температури проведення процесу капсулоутворення. За здійснення умов термотропного гелеутворення та пасиювання іотропного гелеутворення каркас гелю буде відзначатися структурою термотропного гелю. І, навпаки, під час капсулювання за температур вищих температур термотропного гелеутворення на першому етапі буде виникати іотропна сітка гелю, яка під час охолодження буде «прошиватися» додатковою сіткою термотропного гелю [309].

За умов термодинамічного сумісництва агару або пектину низькоестерифікованого згідно теорії сумішей полімерів Флорі-Хаггенса [135] у трикомпонентній системі «полімер А (AlgNa) – полімер Б (полісахарид) – розчинник (вода)» можливість одержання гелю сегрегативного типу зі взаємно проникною сіткою гелю.

Є вірогідним, що за умов термодинамічного сумісництва виникне дві незалежні сітки гелю з утворенням зон з неспецифічною взаємодією.

За умов використання у якості модифікатора оболонки трьохатомного спирту передбачається одержання одного із типів гелю але зі збільшеними пластичними властивостями за рахунок хімічної та колоїдної інертності спирту. При цьому, спирт повинен не володіти дегідратуючими властивостями та одночасно не бути розчинником солей. Крім того, слід враховувати, що використання спиртів в технології ЛХСК в якості «розбавлювача» розчинника призводить до суттєвих змін темпу та фізичної маси приросту оболонки капсул.

Необхідність модифікації оболонки ЛХСК виходить із декількох передумов, які сформульовані із двох ознак. Перша ознака сформульована із передбачення використання ЛХСК у складі харчової та кулінарної продукції, яка піддається різним технологічним впливам, а саме:

– температурним – в інтервалах, які характерні для традиційних у технологічному потоці (близько 100°C) в різних водних середовищах або пароводяної суміші. Слід враховувати можливість використання ЛХСК у середовищах

рецептурних сумішей та напівфабрикатів харчової продукції – фарші, соусах, гарнірів, різного виду тіста, які піддаються термічній обробці протягом заданого часу, тобто з одночасним впливом добутку бінома  $\tau \times t$ ;

- температурним впливом у гідрофобних середовищах, коли ЛХСК знаходяться у середовищі олій, жирів, які є середовищем їх зберігання, а також рецептурним компонентом, наприклад у складі дрессингів;

- технологічним впливом середовищ з вираженим впливом хімічних потенціалів у вигляді іонної сили, рН середовища, що характерно для соусів;

- механічним, технологічним впливом різних за властивостями технологічних систем.

Друга ознака виходить із-за необхідності керування кінетикою капсулювання та гелеутворення, де речовини-модифікатори виступають в якості або активаторів, або пасиваторів фазових золь-гель переходів, впливаючи, одночасно, на пружно-пластичні властивості оболонок капсул. В межах другої ознаки передбачається регулювання деяких фізичних характеристик технологічної системи, наприклад, густини ( $\rho_{\text{капсул}}$ , кг/м<sup>3</sup>), що дозволить оптимізувати технологічний процес одержання ЛХСК.

Використання для модифікації структури оболонок пектинами ґрунтувалось на необхідності модифікації механічних, структурних, фізико-хімічних, у тому числі термостійкості, а також стійкості до кислих значень рН середовища полісахаридної матриці Alg<sub>2</sub>Ca [65]. Це, в свою чергу, впливає на втрати вологи гелевою системою, можливість використання нового продукту в різних технологічних середовищах. Вірогідно, функціональні властивості у технологічному потоці, на відміну від фізіологічного впливу, будуть залежати від їх розчинності, а у випадку використання спільно з AlgNa – здатністю до сумісності [140].

Товарний асортимент пектинів дуже широкий – від вичавок (концентрату пектинових речовин) до пектинів різного ступеню метоксилювання та нейтралізації. У технологічному процесі пектини можливо підібрати як за сировинною ознакою, так і його функціонально-технологічним властивостями, що робить

технологію гелеутворення відносно еластичною та дієвою в різних технологічних системах. Необхідність вибору пектинів за сировинною ознакою виходить з того, що для всіх пектинів є характерним вміст близько 60,0 % залишків галактуранової кислоти, але значна частина пектинів випадає на нейтральні цукри – раманному, галактозу, арабінозу, вміст яких є характерним для певного виду сировини та значно впливає на технологічні властивості. Частки молекул пектину, які переважно утворені галактурановою кислотою, є частково метоксильованими, складаються із вільних карбоксильних груп та з тих які утворюють прості солі (калієві, натрієві, кальцієві, амонійні). Вміст у пектинах натуральних цукрів залежить від параметрів технологічного процесу, тому що вони здатні до гідролізу й втрачаються під час виділення пектину. В той же час, співвідношення вільних карбоксильних груп та етерифікованих карбоксильних груп, відоме у фахівців як ступень етерифікації, визначають чутливість пектину до значень рН та здатність до розчинення й умов гелеутворення. У загальному вигляді ступінь етерифікації пектинів близько 60,0...73,0 %. За кислотної обробки пектинвмісної сировини ступінь етерифікації знижується, що робить їх гелеутворення малодинамічним. Одночасно, їх гелеутворення та швидкість гелеутворення залежить від вмісту цукру в системі та ці характеристики проявляються та зростають зі зростанням концентрації цукру та зменшення значень рН [310–312].

Лімітуючим фактором процесу одержання капсул є граничні умови за в'язкістю, оскільки краплеутворення залежить від текучості та складності вхідних компонентів, оскільки цей параметр забезпечує утворення кулеподібної форми та діаметру отвору сопел екструдера [36, 96].

З цього стає зрозумілим, що для забезпечення необхідних розмірних характеристик необхідно забезпечити в'язкість, яка характеризується вираженою термічною залежністю. На рис. 4.15 наведено залежність концентраційних зон водних розчинів AlgNa від температури. Значення температури обрано з врахуванням необхідної течії термотропних полісахаридів через капіляри формуючих головок екструдера.

Є зрозумілим, що за використання речовин-модифікаторів в'язкість повинна відповідати вимогам рис. 4.15. У попередніх дослідженнях [7, 36, 96] встановлено, що в'язкість вхідної рецептурної суміші  $\eta = 0,17 \dots 0,32 \text{ Па} \times \text{с}$  за температури  $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  є раціональною для проведення процесу екструзії. Це дозволяє одержувати готову капсульовану продукцію з жировим умістом з діаметром капсул  $(4,3 \dots 7,6) \times 10^{-3} \text{ м}$  з високими органолептичними показниками.

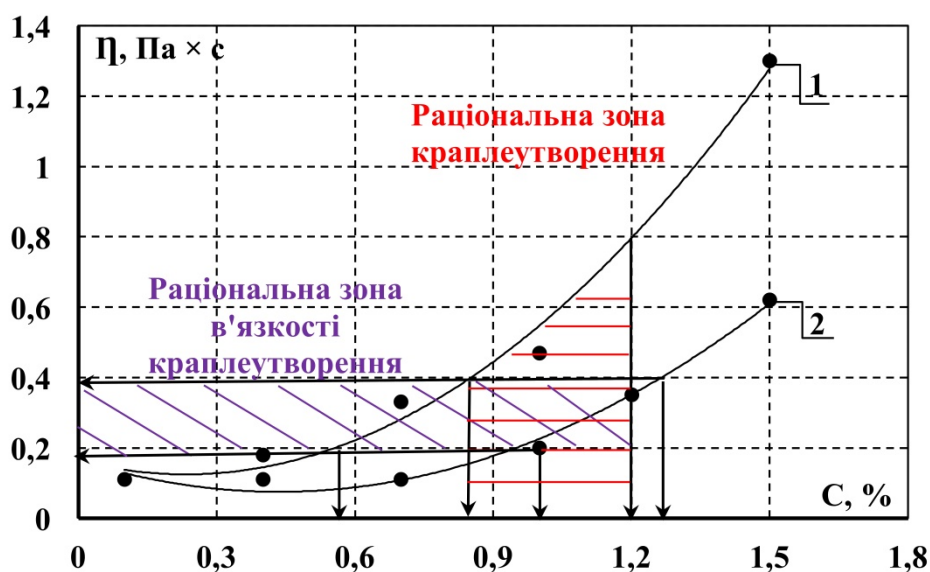


Рис. 4.15. Вплив температури на концентраційні зони капсулоутворення водних розчинів AlgNa різної концентрації: 1 – за температури  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ; 2 – за температури  $60 \pm 4^\circ\text{C}$  відповідно

Співставлення результатів дослідження залежності в'язкості від концентрації за різних температур свідчить, що в інтервалі раціональних концентрацій AlgNa для забезпечення процесу краплеутворення  $C = 0,8 \dots 1,2 \%$ , в'язкість зменшується у 1,63 рази, за умови, що відрив краплі від сопла залежить тільки від в'язкості розчину. Таке суттєве зменшення в'язкості під час нагрівання дозволяє ввести значну концентрацію пектину або агару. Утримуючи раціональну в'язкість в інтервалі раціонального в'язкісного режиму ( $0,17 < \eta < 0,32 \times 10 \text{ Па} \times \text{с}$ ) для капсулоутворення можливо виконати керований вплив на властивості оболонки.

Нами для експериментів обрано пектини низькометоксильовані (<50,0 %), здатних до взаємодії з іонами  $\text{Ca}^{2+}$  та гелеутворення за певних концентрацій та рН. Вибір такого класу пектинів є доцільним, оскільки модифікацією низькометоксильованих пектинів одержують амідовані пектини, які впливають помірно на здатність до гелеутворення та сприяють розширенню концентраційної зони гелеутворення пектинів низькометоксильованих як за зменшення концентрації пектину, так й концентрації кальцію, що робить технологічний процес більше еластичним. Такі пектини можуть утворювати гелі у діапазоні сухих речовин 10,0...80,0 % та значень рН 3,0...5,0. Ці властивості дають можливість їх використовувати спільно з альгінатами, а підбором зовнішнього середовища впливати на якість й властивості кінцевого гелю. Під час використання пектину нами враховувались ступінь його етерифікації (СЕ) в інтервалі  $43,0 < \text{CE} < 58,0$  % (119-125-127). Зі зростанням значення СЕ зростає його розчинність. Крім того, враховувався той факт, що пектини високого ступеня етерифікації здатні до гелеутворення у кислому середовищі за присутності цукру (технологія дрессингів, соусів, заправок), а пектини низьких ступенів етерифікації – у присутності солей полівалентних металів, що відповідає концентраційній присутності  $\text{Ca}^{2+}$  у системі [4, 65]. Вивчено динаміку відносної деформації гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та змішаних гелів з пектином за умов концентрації  $\text{AlgNa}$   $C_{\text{AlgNa}} = 2,0$  % та пектину у діапазоні  $C = 1,0 \dots 2,0$  % у присутності  $\text{Ca}^{2+}$  (0,4 %) (рис. 4.16).

Встановлено, що за умов підвищення вмісту пектину низькоетерифікованого до постійної концентрації  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  за рахунок утворення змішаного «хімічного» гелю у системі спостерігається поступове зниження піддатливості модельних гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ .

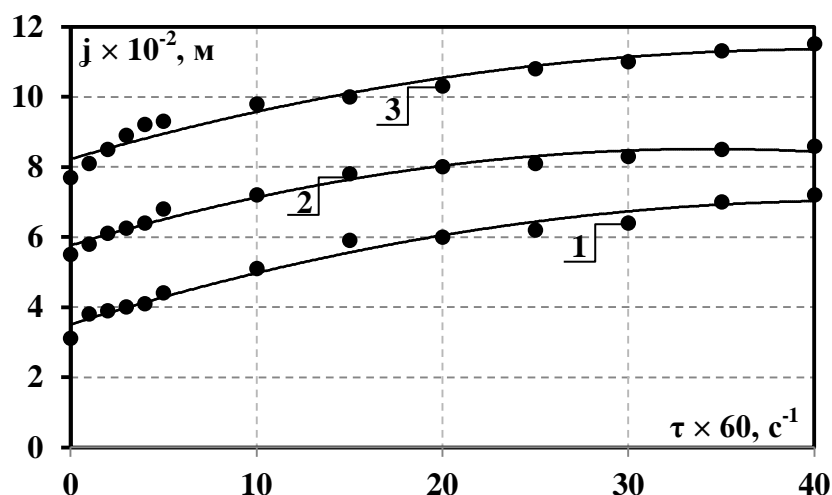


Рис. 4.16. Криві повзучості гелів ( $t = 18 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $C_{\text{AlgNa}} = 2,0\%$ ,  $C_{\text{Ca}^{2+}} = 0,4\%$ )  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  (крива 3) за концентрації пектину, %: 1 – 2,0; 2 – 1,0 відповідно

Таблиця 4.17

**Основні реологічні характеристики змішаних гелів на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та пектину**

Вміст $\text{AlgNa}$ , %	Вміст $\text{Ca}^{2+}$ , %	Вміст низькоетерифікованого пектину, %	Деформація			$\frac{\gamma_{\text{зв}}}{\gamma_{\text{заг}}}$	$\frac{\gamma_{\text{незв}}}{\gamma_{\text{заг}}}$	Висоеластичний модуль $E_{\text{ел}} \times 10^3$ , Па
			Загальна $\gamma_{\text{заг}} \times 10^3$	Зворотна $\gamma_{\text{заг}} \times 10^3$	Незворотна $\gamma_{\text{заг}} \times 10^3$			
2,0±0,05	0,4	–	2,80	2,31	5,5	0,81	0,19	1,15
		1,0±0,02	2,20	1,69	5,0	0,77	0,23	1,31
		2,0±0,02	1,86	1,12	7,3	0,60	0,39	1,40

Аналіз основних реологічних характеристик гелів (табл. 4.17) свідчить, що використання пектину приводить до більш щільної сітки змішаного гелю, чим у випадку з агаром, але концентраційний ефект є менш виражений.

На рис. 4.17 наведено залежність високоеластичного модуля пружності (а) та ступеня пенетрації (б) гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  від концентрації пектину низькоетерифікованого за постійної концентрації  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ . Із аналізу наведених закономірностей є зрозумілим, що збільшення концентрації пектину призводить до монотонного зростання пружних властивостей гелів, що дозволить виготовляти олії капсульовані, які без руйнування можна вводити в більш в'язкі та густі середовища. При цьому, вірогідно, зростає діапазон їх використання у продукції зі зниженими значеннями рН.

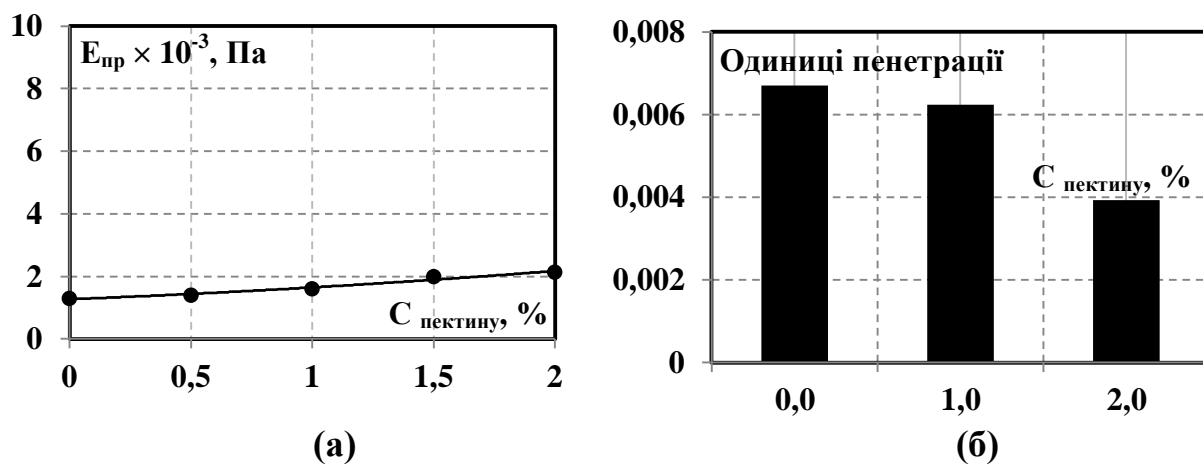


Рис. 4.17. Вискоеластичний модуль пружності ( $E_{пр}$ ) (а) та ступеня penetрації (б) гелів  $Alg_2Ca$  залежно від концентрації пектину низькоестерифікованого

На рис. 4.18 представлено динаміку в'язкості ( $\eta$ ) та модуля пружності ( $E_{пр}$ ) гелів на основі  $AlgNa$  та пектину низькометоксильованого за різних значень рН середовища.

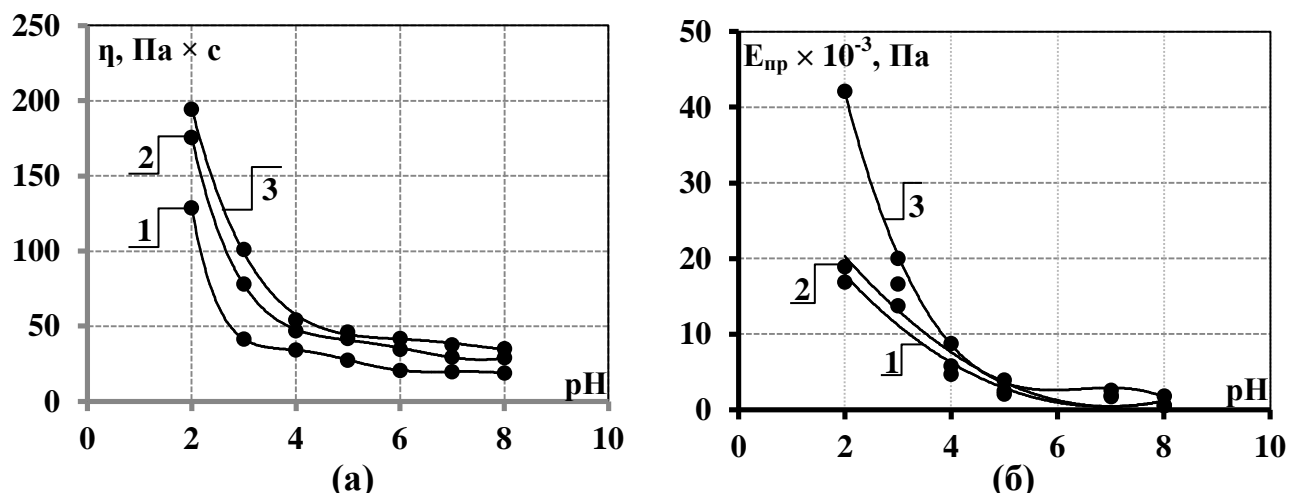


Рис. 4.18. В'язкість ( $\eta$ ) (а) та модуль пружності ( $E_{пр}$ ) (б) модельних систем на основі  $AlgNa$  та пектину від значення рН середовища, за концентрації  $AlgNa$  1,4 % та концентрації пектину, %: 1 – 2,0; 2 – 4,0; 3 – 6,0 відповідно

Вірогідно, згідно з теорією сумішей полімерів Флорі-Хаггінса [135] для трикомпонентної системи «полімер А – полімер Б – розчинник» для технологічної суміші « $AlgNa$  (полімер А) – пектин низькометоксильований або амідований



(полімер Б) – розчинник (вода питна)» характерним є асоціативний тип розшарування за рахунок сил протягування між макромолекулами.

За цих умов під час гелеутворення система розшаровується на дві фази, одна із яких (гель) містить обидві фази, а інша – є розчинником з невеликою кількістю полімерів. За таких теоретичних передумов можна прогнозувати синергетичний ефект гелеутворення, а зміною рН у кислу область – додаткове зростання міцності гелю.

Вірогідно, оскільки капсулоутворення є високодинамічним процесом, серед низькометоксильованих пектинів слід обирати пектини з високою реакційною здатністю [313, 314].

Гелеутворення агару проходить тільки за рахунок агарози шляхом утворення «фізичного гелю» – структури молекул за рахунок водневих зв'язків. Кожна молекула агару в структурі гелю фактично є незалежною, тому утворення структури гелю не є процесом полімеризації. Це значить, що водневі зв'язки за своєю суттю виникають за рахунок електростатичної взаємодії. У цьому випадку, вода (розчинник), яка міститься у сітці гелю, здатна до відносно вільного переміщення в середині макросітки гелю [7, 315]. Вірогідно, з альгінатом кальцію за обґрунтованих умов агар здатен утворювати змішаний «хімічно-фізичний» гель.

Відомо, що метоксильовання вуглецю С6 агаробіози у складі агару підвищує температуру гелеутворення. За цією особливістю агар (С = 1,5 %) із агарофіту *Pterocladia* ( $t_{\text{гел}} = 33...35^{\circ}\text{C}$ ) є одним із найбільш низько температуроутворюючих агарів, а агар із *Gelidiella* ( $t_{\text{гел}} = 42...45^{\circ}\text{C}$ ) є високо температурним гелеутворювачем. Такі характеристики є дуже важливими в технології одержання ЛХСК, оскільки можуть визначати можливість температурного регулювання в'язкості альгінатів за використання трикомпонентної суміші «AlgNa – агар – вода питна». Гелі агару здатні до синерезису з одночасною зміною крихкості гелю на еластичність [293].

Під час використання модифікуючої добавки у вигляді агару робочі температури екструзії повинні бути більше  $t = 50^{\circ}\text{C}$  [7, 96]. На рис. 4.19 наведено те-

мпературно-концентраційну залежність в'язкості розчинів агару в інтервалі концентрації 1,0...4,0 %.

Співставлення одержаних даних залежності в'язкості альгіно-агарових розчинів від їх концентрації за температури  $t = 60 \pm 2^\circ\text{C}$  свідчить, що 1,0 % водний розчин AlgNa (як базова концентрація для капсулювання) та розчини агару  $\leq 1,0$  % за принципом впливу на в'язкість у різних співвідношеннях однакові з одержанням альгіново-агарових оболонок, а також з одержанням агаро-альгінових оболонок. Але останнє трактування має суттєві фактичні обмеження, оскільки у реальному технологічному процесі існує мінімально-критична концентрація AlgNa.

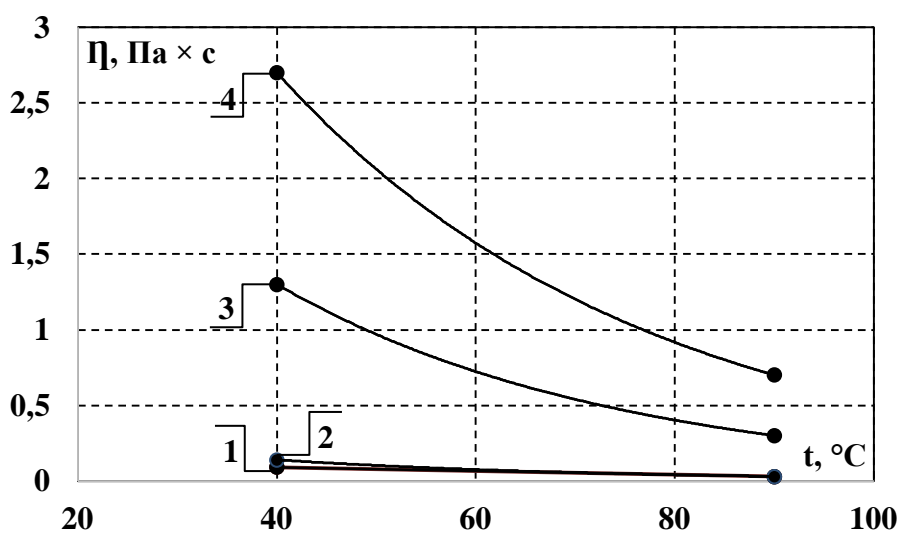


Рис. 4.19. В'язкість альгіново-агарових розчинів залежно від температури за концентрації AlgNa  $C = 1,0$  % та агару, %: 1, 2, 3, 4 – 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 відповідно

Мінімальна концентрація AlgNa відповідає за трансформацію колоїдного неспорідненого рецептурного розчину та прийомного середовища розчину  $\text{Ca}^{2+}$ , тим самим забезпечуючи капсулоутворення. Протягом експериментальних досліджень встановлено, що зниження концентрації AlgNa у системі нижче критичної – капсулоутворення не відбувається, але стійкий керований режим виникає вже за концентрації AlgNa  $C = \geq 0,8$  %. Оскільки вихідною умовою екструзії є температура  $t = \geq 60^\circ\text{C}$ , а продуктивність пристрою для капсулювання не дозволяє швидко переробляти технологічні рецептурні розчини, то дуже важли-

вим є температурна колоїдна стабільність рецептурної суміші. Як правило, результатом термічного гідролізу є зниження в'язкості суміші, що (опосередковано) свідчить про гідроліз полісахаридів, як результат – погіршення гелеутворюючої здатності та органолептичних характеристик ЛХСК. Вивченням модельних систем водних розчинів AlgNa, підданих термокислотній деструкції, встановлено, що за рахунок погіршення формуючої здатності полісахариду технологічні витрати у виробництві зростають на 7,0...11,0 % на кожні 10,0 % зниження в'язкості розчину AlgNa в інтервалі відносних в'язкостей 100,0...78,0 %, на 18,0...26,0 %, в інтервалі в'язкості 78,0...55,0 %. Розчини, у яких в'язкість знизилася вдвічі формуванню не піддаються. Встановлено закономірності зміни в'язкості технологічної альгіново-агарової суміші (AlgNa – 1,0 %; агар – 0,4 %) під час термостатування за температур 70 °С, 80 °С та 90 °С (рис. 4.20).

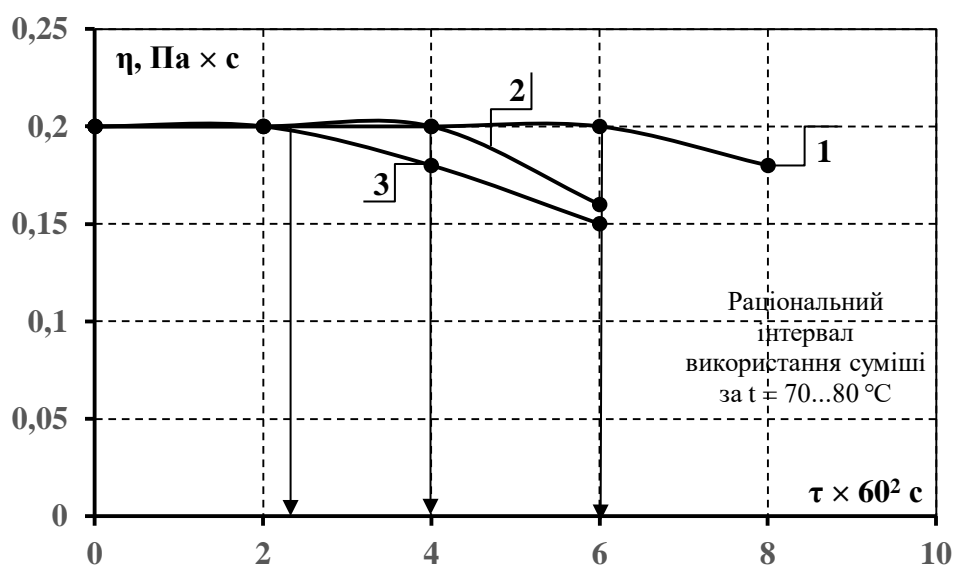


Рис. 4.20. Динаміка в'язкості альгіново-агарової суміші за концентрації AlgNa 1,0 %, агару 0,4 % від температури, °С: 1 – 70±2; 2 – 80±2; 3 – 90±2 відповідно

Інтервал дослідження у діапазоні  $\tau = (4 \dots 6) \times 60^2$  с обрано із врахуванням тривалості роботи пристрою для капсулювання у реальних виробничих умовах [265]. Підтверджено, що до температури  $t = 70 \pm 2^\circ\text{C}$  технологічна стабільність

роботи складає близько  $\tau = 6 \times 60^2$  с. У той же час вона скорочується до  $\tau = 2 \times 60^2$  с за термостатування дослідних зразків за температури  $t = 90^\circ\text{C}$ .

Вивчено динаміку піддатливості гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та змішаних гелів з агаром за умов концентрації  $\text{AlgNa}$   $C_{\text{AlgNa}} = 2,0$  % та агару у діапазоні  $C = 0,2 \dots 0,8$  % у присутності  $\text{Ca}^{2+}$  (0,4 %) (рис. 4.21). Встановлено, що за підвищення вмісту агару в системі з постійною концентрацією  $\text{AlgNa}$  відбувається поступове зниження відносної деформації змішаних гелів.

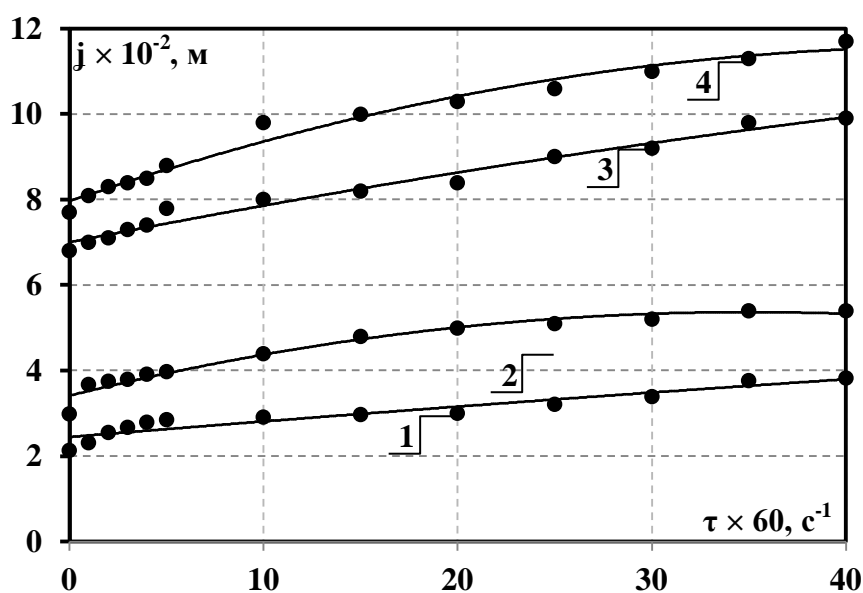


Рис. 4.21. Криві повзучості гелів ( $C_{\text{AlgNa}} = 2,0$  % ;  $t = 18 \pm 2^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{Ca}^{2+}} = 0,4$  %)  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  (крива 4) за концентрації агару, %: 1 – 0,8; 2 – 0,4; 3 – 0,2 відповідно

На рис. 4.22 наведено залежність високоеластичного модуля пружності ( $E_{np}$ ) та ступеня пенетрації гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  від концентрації агару за постійної концентрації  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ .

Аналіз рис. 4.22 (а) показує, що зростання модуля пружності є практично лінійним. Це підтверджує той факт, що концентраційної взаємодії між гелем  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та гелем агару не існує. Тобто, в даному випадку, в сітці одного гелю виникає сітка іншого гелю за рахунок різних механізмів, що виходять із природи гелеутворювачів. Можна констатувати, що гелі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , які містять агар у дослідній концентрації, характеризуються більшою пружністю, ніж гелі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ . Це пояс-

нюється тільки концентраційним ефектом та здатністю агару утворювати термотропну сітку гелю зі власними структурно-механічними характеристиками, які впливають на властивості гелю в цілому.

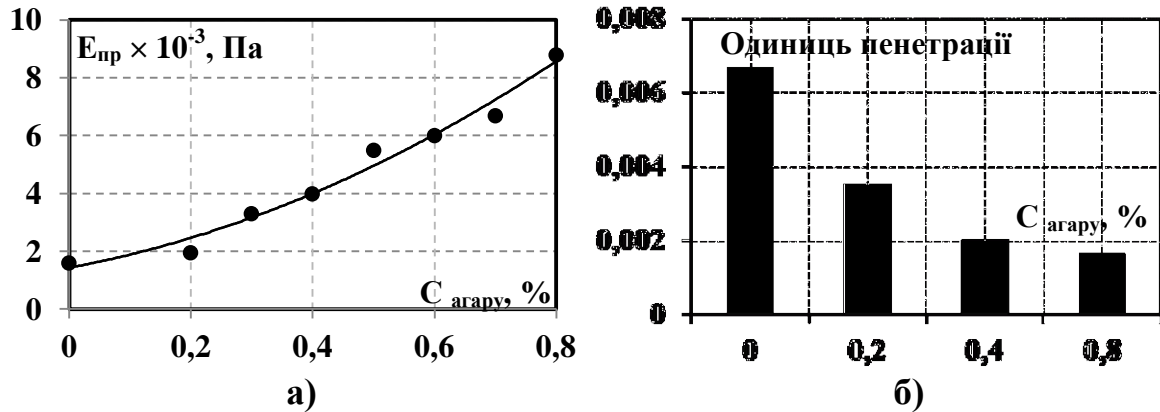


Рис. 4.22. Модуль пружності ( $E_{пр}$ ) (а) та ступінь penetрації (б) гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  залежно від концентрації агару

Аналіз основних реологічних характеристик змішаних гелів на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та агару наведено у табл. 4.18.

З табл. 4.18 видно, що пластичність системи зростає більш інтенсивно, оскільки доля зворотньої деформації в системі знижується з 82,5 до 68,0 % за умов зростання концентрації агару до 0,8 %. Це підтверджує, що щільність сітки «хімічного» гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  вище щільності «фізичної» сітки гелю агару. Одночасно не доведено синергічну взаємодію дослідних структуроутворювачів.

Таблиця 4.18

**Основні реологічні характеристики змішаних гелів на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та агару**

Вміст $\text{AlgNa}, \%$	Вміст $\text{Ca}^{2+}, \%$	Вміст агару, %	Деформація			$\frac{\gamma_{зв}}{\gamma_{заг}}$	$\frac{\gamma_{незв}}{\gamma_{заг}}$	Висоеластичний модуль $E_{ел} \times 10^3, \text{Па}$
			Загальна $\gamma_{заг} \times 10^3$	Зворотна $\gamma_{заг} \times 10^3$	Незворотна $\gamma_{заг} \times 10^3$			
2,0±0,05	0,4	—	2,80	2,31	5,5	0,82	0,19	1,15
		0,2±0,02	2,40	1,88	5,1	0,78	0,21	1,73
		0,4±0,02	7,31	5,9	4,2	0,71	0,30	2,97
		0,8±0,02	8,80	6,0	2,8	0,68	0,32	4,41

Експериментально досліджено вплив рН середовища на структурно-механічні властивості змішаних гелів на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та агару. В якості дослідних зразків обрано суміші, де вміст агару становить 0,4 % та 0,8 %. Для дослідження зразки поміщали в п'ять різних рН середовища (рН 2,0...8,0) та витримували до встановлення постійного значення. На рис. 4.23 представлено залежність в'язкості ( $\eta$ ) та модуля пружності ( $E_{np}$ ) гелів на основі  $\text{AlgNa}$  та агару за різних значень рН середовища. Виражена нейтральність полісахаридів агару, здатність утворювати зворотні від температури «фізичні гелі» надає їм високої перспективи під час використання в сумішах з полісахаридами, які утворюють «хімічні гелі» – зшиті ковалентними зшивками або утворені хелатними комплексами.

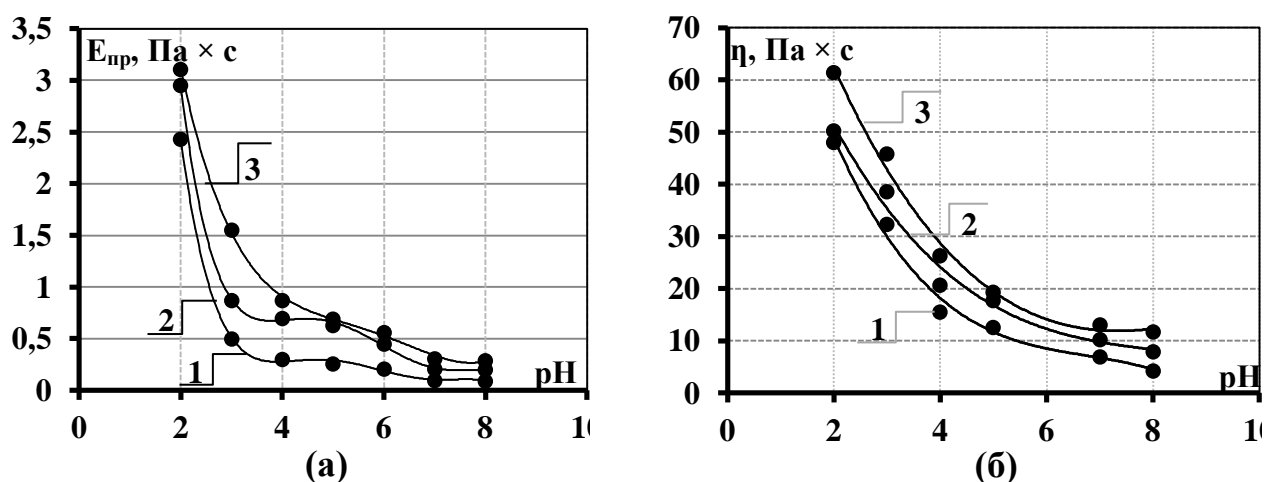


Рис. 4.23. Модуль пружності ( $E_{np}$ ) (а) та в'язкості ( $\eta$ ) (б) модельних систем на основі  $\text{AlgNa}$  та агару залежно від значення рН середовища, за концентрації  $\text{AlgNa}$  1,4 % та концентрації агару, %: 1, 2, 3 – 0,4; 0,8; 1,6 відповідно

За цих умов може виникати змішаний термотропно-іотропний гель з перевагами, які несуть обидва полісахариди, з показниками термо- та іотропності пропорційно їх концентрацій.

Особливістю технології виробництва ЛХСК полягає у забезпеченні напівфабрикату необхідною консистенцією, яка залежить від багатьох факторів. Зміна консистенції даного напівфабрикату, в першу чергу, залежить від впливу рН середовища, солі кухонної та, частково, внутрішнього жирового умісту.

Встановлено, що кислотність зовнішнього середовища за рН 2,0...4,0 призводить до підвищення в'язкості суміші для капсулювання. Це пояснюється, вірогідно, утворенням «кислого» гелю AlgNa. Є очевидним, що інтенсивність утворення кислого гелю буде залежати від виду кислоти. Одночасно є зрозумілим, що в технологічному процесі кислоту до рецептурної суміші оболонкоутворювача слід додавати обґрунтовано. Більше раціональним є використання кислоти після утворення капсульованого напівфабрикату в технологічній системі. Визначено інтенсивний вплив кислого середовища і на сформовані гелеподібні системи (рис. 4.23). Видно, що за зниження значень рН в кислу зону зростає пружність технологічних систем, одночасно втрачається еластичність оболонок, зменшуються геометричні розміри. Це опосередковано свідчить про ущільнення сітки гелів для усіх зразків, що експериментально підтверджено зростанням пружних характеристик. В результаті проведених досліджень встановлено, що за значень рН близьких до характеристик у шлунку людини (рН 2,0) змішані гелі набувають тверду але не крихку структуру гелю з низькою здатністю утримувати вологу. Гелева система зменшується у розмірах у 2,12 разів, що пов'язано, в першу чергу, з ущільненням сітки гелю, в першу чергу його частини, утвореної альгінатом кальцію. За рН 8,0 відмічається зворотна ситуація, гелі частково втрачають пружні властивості та відбувається зміна зовнішнього вигляду гелів.



Рис. 4.24. Фотомоніторинг фізичної структури альгіново-агарових гелів (AlgNa 2,0 %, CaCl<sub>2</sub> 0,4 % та агару 0,8 %) за інтервалу значень рН середовища: зліва-направо рН 2,0...8,0

На рис. 4.24 наведено фотомоніторинг фізичної форми модельних гелів на прикладі альгіно-агарових гелів від значень рН середовища. Ці дані достовірно корелюють зі зміною модуля пружності оболонки капсульованих олій.

Гелі збільшуються у розмірах у 1,17...1,20 рази, проте вони не втрачають цілість структури гелю за фізичною формою без прикладення критичних навантажень, але стають більше пластичними та м'якими у порівнянні з контролем.

При виборі у якості модифікатора гліцерину виходили з того, що гліцерину не властиво розчинити мінеральні солі, через що він у системі може впливати тільки на розчинник. Гліцерин може залишатись рідким та за температури нижче  $0^{\circ}\text{C}$  подібним чином себе поведуть його водні розчини. Наприклад, розчин, в якому на дві вагові частини гліцерину приходить одна частина води, замерзає за температури  $t = -46,5^{\circ}\text{C}$ . Гліцерин вповільнює утворення кристалів льоду [316]. На рис. 4.25 наведено динаміку відносної деформації гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та змішаних гелів з гліцерином за умов концентрації  $\text{AlgNa}$   $C_{\text{AlgNa}} = 2,0\%$  та гліцерину у діапазоні  $C = 0,5 \dots 1,0\%$  у присутності  $\text{Ca}^{2+}$  ( $0,4\%$ ).

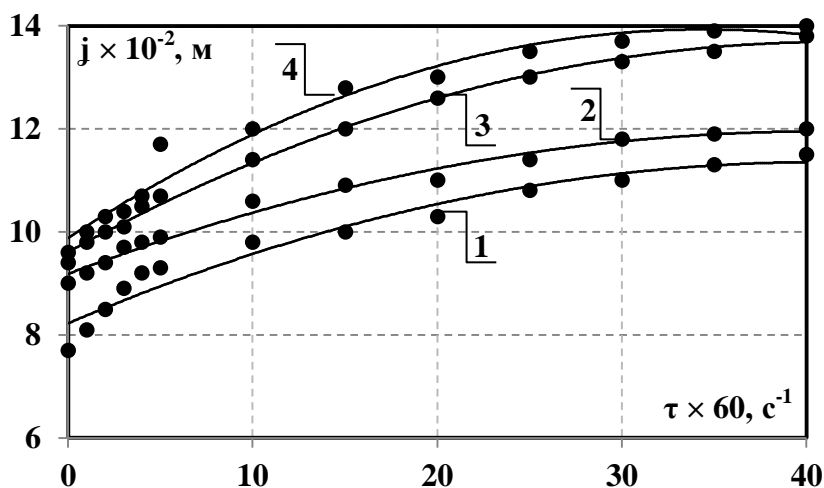


Рис. 4.25. Криві повзучості гелів ( $t = 18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $C_{\text{AlgNa}} = 2,0\%$ ,  $C_{\text{Ca}^{2+}} = 0,4\%$ )  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  (крива 1) за концентрації гліцерину, %: 2 – 0,5; 3 – 0,75; 4 – 1,0 відповідно

У табл. 4.19 та на рис. 4.26 наведено результати досліджень впливу гліцерину на структурно-механічні показники гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  за концентрації  $\text{AlgNa}$   $C = 2,0\%$ ,  $\text{Ca}^{2+}$   $C = 0,4\%$  та гліцерину у діапазоні  $0,5 \leq C \leq 1,0\%$ . Встановлено, що за підвищення вмісту гліцерину у системі з постійною концентрацією  $\text{AlgNa}$



відбувається поступове підвищення відносної деформації змішаних гелів. Причиною цьому може бути розрідження системи, що може заважати утворення гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ .

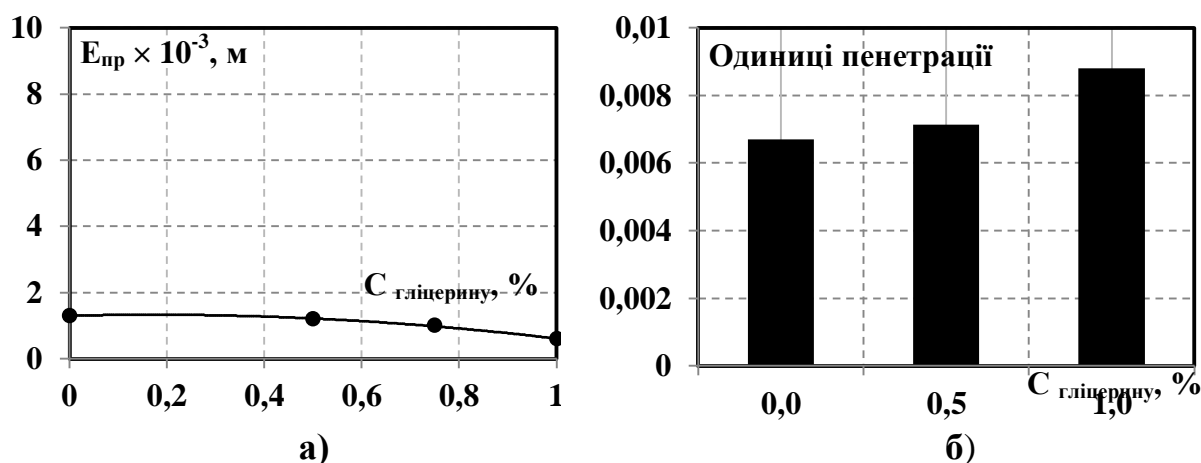


Рис. 4.26. Високоеластичний модуль пружності ( $E_{\text{пр}}$ ) (а) та ступінь penetрації (б) гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  залежно від концентрації гліцерину

Встановлено, що величина піддатливості гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  є найменшою, а з підвищенням вмісту гліцерину її значення зростає практично лінійно. Зменшення модуля пружності є практично лінійним, що підтверджує факт, що концентраційної взаємодії між  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та гліцеином не існує. Можна констатувати, що гліцеири виступає не розчинником, але заважає утворенню повноцінного гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  завдяки природі гліцеириу. У результаті отримуємо більше пластичні гелі.

Таблиця 4.19

#### Основні реологічні характеристики змішаних гелів на основі $\text{Alg}_2\text{Ca}$ та гліцеириу

Вміст $\text{AlgNa}$ , %	Вміст $\text{Ca}^{2+}$ , %	Вміст гліцеириу, %	Деформація			$\frac{\gamma_{\text{зв}}}{\gamma_{\text{заг}}}$	$\frac{\gamma_{\text{незв}}}{\gamma_{\text{заг}}}$	Висоеластичний модуль $E_{\text{ел}} \times 10^3, \text{Па}$
			Загальна $\gamma_{\text{заг}} \times 10^3$	Зворотна $\gamma_{\text{заг}} \times 10^3$	Незворотна $\gamma_{\text{заг}} \times 10^3$			
2,0±0,05	0,4	–	2,80	2,31	5,5	0,82	0,19	1,15
		0,5±0,02	3,03	2,54	5,6	0,84	0,18	1,06
		1,0±0,02	3,51	2,75	6,0	0,78	0,21	0,90

З метою визначення механізму дії гліцеириу, як модифікатора гелевої системи на основі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , досліджено динаміку приросту маси оболонки капсули

у заданий час від його концентрації. При цьому дослідження виконано у двох напрямках: у першому випадку гліцерин вводили безпосередньо в інкапсулянт (на модельних системах, де інкапсулянт готували на водних розчинах), у другому – у водний розчин AlgNa (рис. 4.27...4.30).

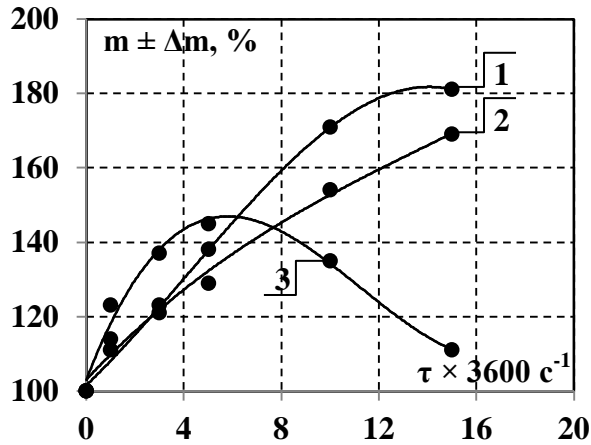


Рис. 4.27. Динаміка маси ( $m \pm \Delta m$ , %) гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,0$  %) від концентрації гліцерину в інкапсулянті, за концентрації гліцерину, об. %:  
1 – 1,0; 2 – 2,0; 3 – 3,0 відповідно

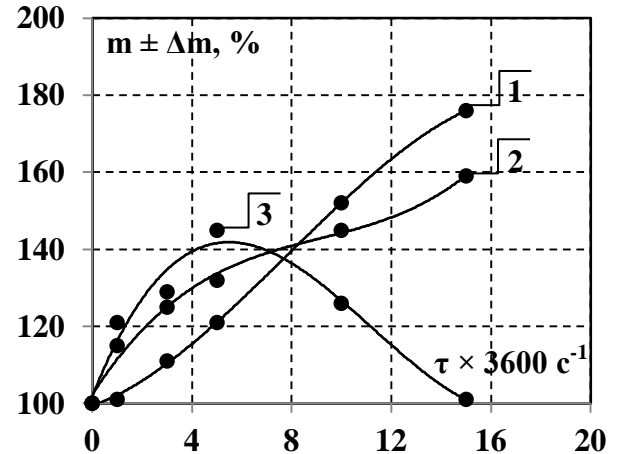


Рис. 4.28. Динаміка маси ( $m \pm \Delta m$ , %) гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,5$  %) від концентрації гліцерину в інкапсулянті, за концентрації гліцерину, об. %:  
1 – 1,0; 2 – 2,0; 3 – 3,0 відповідно

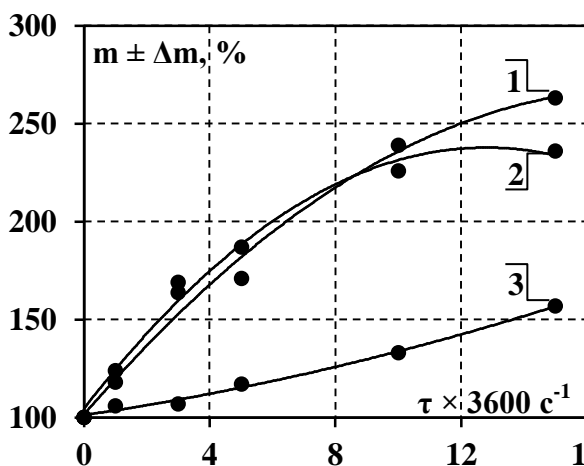


Рис. 4.29. Динаміка маси ( $m \pm \Delta m$ , %) гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,0$  %) від концентрації гліцерину в оболонкоутворювачі, за концентрації гліцерину, об. %:  
1 – 1,0; 2 – 2,0; 3 – 3,0 відповідно

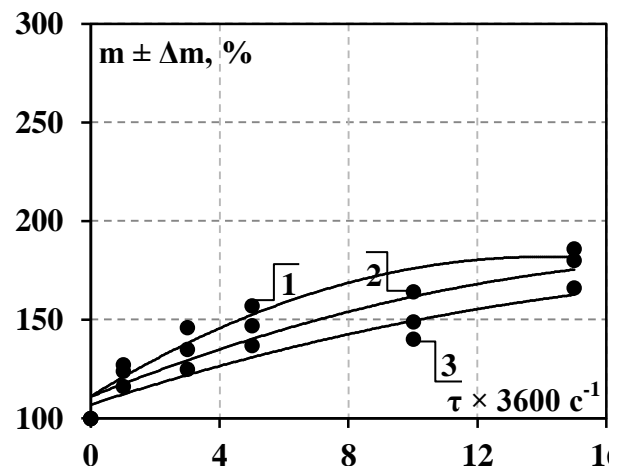


Рис. 4.30. Динаміка маси ( $m \pm \Delta m$ , %) гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,5$  %) від концентрації гліцерину в оболонкоутворювачі, за концентрації гліцерину, об. %:  
1 – 1,0; 2 – 2,0; 3 – 3,0 відповідно

Встановлено, що введення гліцерину за концентрацій 1,0 % у водний розчин AlgNa ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,0 \%$ ) сприяє монотонному зростанню масової частки оболонки капсули. При цьому, збільшення концентрації гліцерину до 3,0 % призводить до уповільнення динаміки приросту маси оболонки у 1,68 разів. Ймовірно, це пов'язано з виникненням спиртових сольватів у розчиннику, що ускладнює дифузію  $\text{Ca}^{2+}$  у середовищі оболонкоутворювача. Збільшення ж відносної концентрації AlgNa до 1,5 % в дослідній системі призводить до зменшення відсотка приросту маси оболонки капсули на 44,0 %, що пов'язано зі зростанням в'язкості середовища дифузії.

Як результат, встановлено, що утворення оболонки ЛХСК на основі AlgNa із використання речовини-модифікатора – гліцерину приводить до одержання більш м'яких, ніжних, соковитих гелів, а його обґрунтована концентрація дозволяє регулювати товщину та час утворення оболонки капсули. На рис. 4.31 наведено динаміку модуля пружності ( $E_{np}$ ) змішаних гелів залежно від виду речовини-модифікатора.

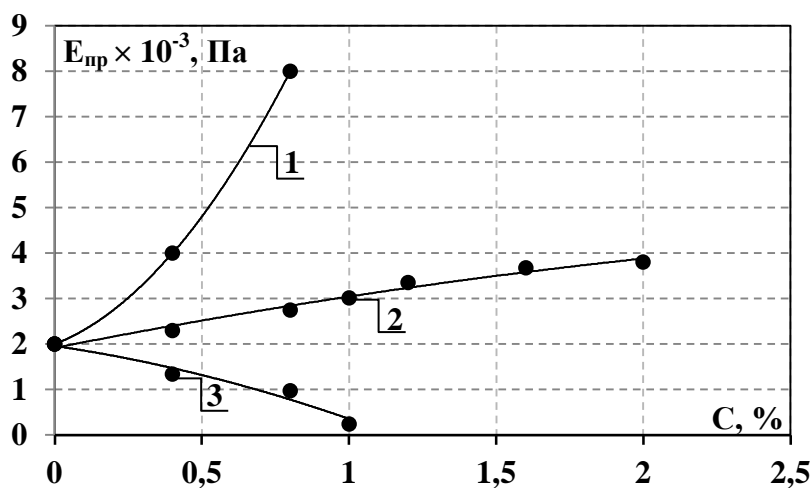


Рис. 4.31. Залежність модуля пружності ( $E_{np}$ ) гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C_{\text{AlgNa}} = 2,0 \%$ ) від концентрації: 1 – агару ( $C = 0,2 \dots 0,8 \%$ ); 2 – пектину низькоетерифікованого ( $C = 0,5 \dots 2,0 \%$ ); 3 – гліцерину ( $C = 0,5 \dots 1,0 \%$ ) відповідно

У вище наведеній інформації про вплив речовин-модифікаторів на структурно-механічні властивості не було враховано ефект зміни вмісту сухих речо-

вин у модельних системах. Ось чому зміна структурно-механічних властивостей може трактуватися не тільки як ефект дії модифікатора, а і як ефект зростання частки сухих речовин. Тому нами з використанням методів текстурних досліджень встановлені закономірності впливу речовин-модифікаторів за масової компенсації сухих речовин. Одночасно ця інформація опосередковано дає уявлення про щільність оболонок капсул.

На відміну від органолептичного поняття консистенція (ступінь щільності продукту, твердості, м'якості, соковитості як органолептичного відчуття) поняття текстура, як результат об'єктивного реологічного (фізичного) вимірювання – це комплексні властивості продукту (тіла продукту), які одночасно визивають у споживача (експерта) відчуття, які реєструються органами слуху, зору, сприйняття під час відкушування, пережовування, проковтування. Для більш об'єктивного аналізу поняття «консистенція» нами оцінювалася система, коли (у випадку, що досліджується) зусилля розрізання зразків гелю (під час споживання – розкушування), penetрація або глибина занурення тієї ж гільйотини, яка розрізає зразок (фактор розжовування), тривалість (час) цього процесу (як модель розжовування), міцність гелю (як добуток зусилля розрізання на глибину penetрації) та загальна робота (як добуток зусилля розрізання на тривалість цього процесу) оцінювались комплексно.

В якості контролю використовувались зразки гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  для рівноважної, з точки зору хімічних потенціалів, системи, з якими порівнювались модельні зразки оболонок капсул на основі змішаних гелів « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – агар – розчинник», « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – пектин – розчинник», « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – гліцерин – розчинник».

У табл. 4.20 наведено дані реологічних досліджень, доповнені та проаналізовані за рахунок одержання текстурних характеристик, дослідженням тих самих гелів, що піддавались розрізанню на текстурометрі ТА.ХТ2.

Для встановлення закономірностей змішаного гелеутворення на текстурні характеристики змішаних гелів нами проведені експерименти із послідовним збільшенням частки модифікуючого полісахариду – пектину низькоерифікованого, агару, з наступним гелеутворенням за двома принципами зміни концент-

рації: у першому випадку – за загального збереження концентрації гелеутворювача 1,4 %, у другому випадку – створювали ряд модельних систем за умов зниження концентрації AlgNa з кроком від 0,2 % до 1,0 % та компенсували його тією ж концентрацією пектину низькоестерифікованого чи агаром.

Аналіз текстурних характеристик гелів  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та змішаних гелів « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – пектин - розчинник» наведено на рис. 4.32.

Із аналізу графічних залежностей стає очевидним, що показники реограми за величиною вимірювання максимального зусилля розрізання зменшується зі значень 105,1 г до 85,8 та 84,0 г, що зафіксовано графічно. За аналізом профілю реограми видно, що зразки за концентрації  $\text{Alg}_2\text{Ca}$   $C = 1,4$  % (позиція 1) та  $C = 1,2$  % + 0,2 % пектину (позиція 2) оцінюється за сіткою гелю як однорідні, про що свідчить симетрія кутів зростання та спадання зусилля.

Таблиця 4.20

### Текстурні характеристики змішаних гелів

Найменування групи речовин та їх концентрація, %	Максимальне зусилля розрізання $F_{\text{max}}$ , $\text{M}^2/\text{H}$	Пенетрація (глибина розрізання) $l$ , мм	Час циклу, $\times 3600 \text{ c}^{-1}$	Робота розрізання $F \text{ M}^2/\text{H}$	Міцність гелю за зусиллям розрізання, $F \text{ M}^2/\text{H}$
<i>Результати дослідження концентраційного впливу речовин</i>					
AlgNa : пектин як 1,0 : 0,4	84,068	10,903	4,35	365,4	77,1
AlgNa : пектин як 1,2 : 0,2	85,798	9,175	4,37	375,925	78,1
AlgNa – 1,4	105,11	8,81	4,3	452,037	92,4
<i>Результати дослідження видового впливу речовин</i>					
AlgNa : пектин як 2,0 : 2,0	273,452	6,99	3,88	1060,9	190,8
AlgNa : пектин як 2,0 : 1,0	268,503	7,15	3,71	996,14	192,3
AlgNa – 2,0	267,59	7,133	3,52	940,57	190,2

Сітка гелю за концентрації  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C = 1,0$  % + 0,4 %) пектину оцінюється як двокомпонентна, оскільки у профілі виникли два додаткових «плеча» розрізання (горизонтальні проекції :  $1 \approx 4,0 \times 3600^{-1} \text{ c}$ ,  $2 \approx (4,5 \dots 5) \times 3600^{-1} \text{ c}$ ).

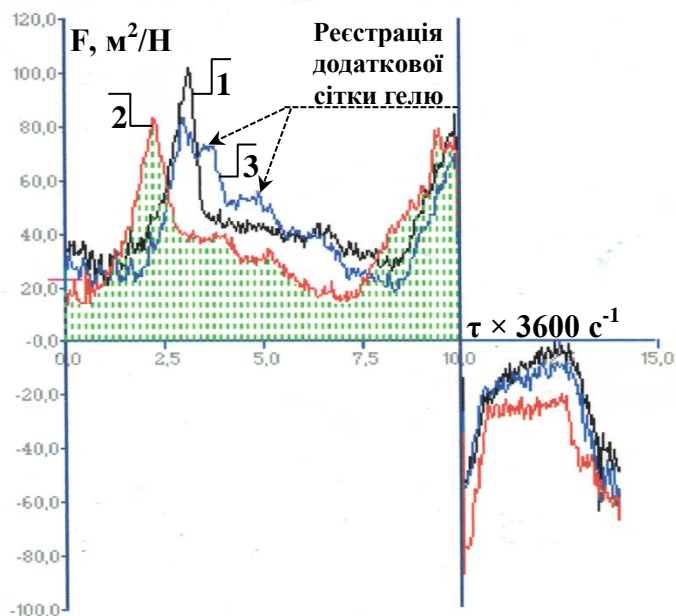


Рис. 4.32. Реограма (динаміка) зусилля розрізання гелів від концентрації пектину низькоестерифікованого, %: 1 – контроль ( $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} = 1,4 \%$ ), 2 – 0,2 ( $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} = 1,2 \%$ ), 3 – 0,4 % ( $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} = 1,0 \%$ )

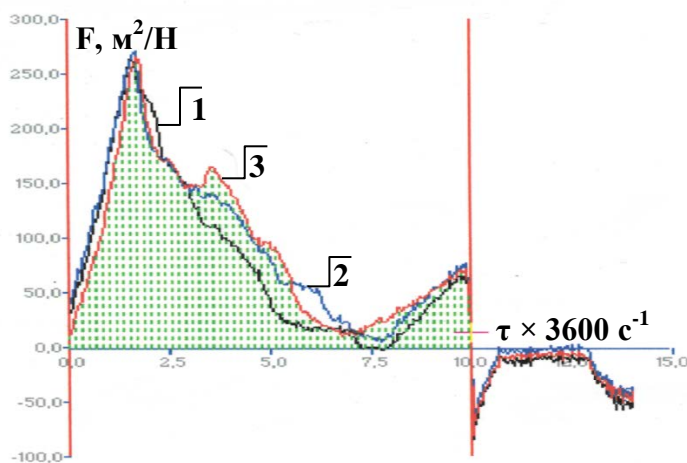


Рис. 4.33. Реограма (динаміка) зусилля розрізання змішаних гелів ( $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} = 2,0 \%$ ) від концентрації пектину, %: 1 – контроль, 2 – 1,0, 3 – 2,0 % відповідно

Але загальна робота із розрізання зразка монотонно знижується зі значення 452 г/с до 365,4 г/с з одночасним паданням міцності гелю в 1,18...1,20 разів. Це може бути лише у випадку, коли внесена полісахаридом – модифікатором сітка є менш щільною за густиною упаковки полімеру, чим контрольна.

З метою оцінювання ролі гелеутворювача (AlgNa) та речовин-модифікаторів на контрольному гелі  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  ( $C = 2,0\%$ ) збільшено концентрацію додаткових гелеутворювачів за умов використання пектину ( $C_{\text{пектину}} = 1,0$  та  $2,0\%$ ) (рис. 4.33) та агару ( $C_{\text{агару}} = 0,2$  та  $0,4\%$ ) (рис. 4.34).

Із аналізу даних реограм видно, що за загального зберігання зусилля розрізання на рівні 267,6...273,5 г. зі збільшенням концентрації низькоетерифікованого пектину суттєво зростає робота із розрізання змішаного гелю, що пояснюється виникненням додаткового плеча на реограмі в інтервалі 3,0...6,0 с. Так, робота (табл. 4.20) на розрізання зросла на 11,2 % для змішаного гелю з 1,0 мас.% пектину. Вірогідно, за такої масової частки пектину не існують умови для його гелеутворення через певного дисбалансу за акцепторними властивостями полісахаридів-учасників гелеутворення та ємкістю системи за іонами  $\text{Ca}^{2+}$ . Оскільки концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$  прораховувалась нами на стехіометричну рівновагу з альгінатом натрію, а збільшення її концентрації неможливе через органолептичні обмеження, то стає вочевидь, що необґрунтоване зростання в системі концентрації пектину не приводить до очікуваного ефекту і, вірогідно, є ефективним лише в межах значно нижчих концентрацій.

Вивчення впливу агару за концентрації 0,4 % та 0,6 % проводили проти концентрації альгінату ( $C_{\text{AlgNa}} = 2,0\%$ ) (поз. 1, рис. 4.34), за умови компенсації кількості AlgNa рівноцінною кількістю агару, тобто за співвідношення у суміші ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,4\%$ ,  $C_{\text{агару}} = 0,6\%$ ) (поз. 3, рис. 4.34) та ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,6\%$ ,  $C_{\text{агару}} = 0,4\%$ ) (поз. 2, рис. 4.34). Це пов'язано з можливістю використання ефекту змішаного гелеутворення в технологіях харчової продукції, виготовлення якої не передбачає температуру її термічної обробки вище  $t = 40...45^\circ\text{C}$ .

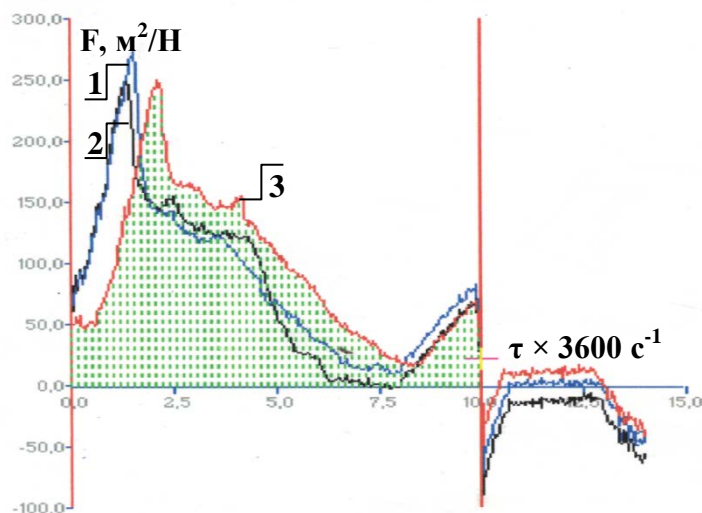


Рис. 4.34. Реограма (динаміка) зусилля розрізання гелів від концентрації агару, %: 1 – контроль ( $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} = 2,0 \%$ ), 2 – 0,4 ( $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} = 1,6 \%$ ), 3 – 0,6 % ( $C_{\text{Alg}_2\text{Ca}} = 1,4 \%$ ) відповідно

Аналіз даних рис. 4.34 свідчить, що такий підхід призводить до загально-го падіння зусилля розрізання, але у зразках (поз. 2, 3) чітко проявляється плече, що свідчить про виникнення додаткової сітки фізичного гелю агару. У табл. 4.21 наведено результати дослідження зміни текстури за умов темперування гелів ( $t = 20 \dots 55^\circ\text{C}$ ), тобто температур, які близькі до температури плавлення «фізичного гелю» агару та перевищують її.

Таблиця 4.21

#### Зміна текстурних характеристик змішаних гелів під впливом температури

Найменування групи речовин та їх концентрація, %	Максимальне зусилля розрізання $F_{\text{max}}, \text{м}^2/\text{Н}$	Пенетрація (глибина розрізання) $l, \text{мм}$	Час циклу, $\times 3600 \text{ с}^1$	Робота розрізання $F \text{ м}^2/\text{Н}$	Міцність гелю за зусиллям розрізання, $F \text{ м}^2/\text{Н}$
AlgNa : агар як 1,4 : 0,6; $t = 55^\circ\text{C}$	201,8	10,7	2,9	585,2	215,10
AlgNa : агар як 1,4 : 0,6; $t = 40^\circ\text{C}$	208,1	10,1	3,19	663,8	210,18
AlgNa : агар як 1,4 : 0,6; $t = 20^\circ\text{C}$	257,982	8,512	3,78	975,054	219,3



Встановлено, що зусилля розрізання під час нагрівання падає зі значень 258 г до 208 г, а робота на розрізання зменшується у 1,47 ( $t = 40^{\circ}\text{C}$ ) та 1,68 ( $t = 55^{\circ}\text{C}$ ) разів. Ці дані, вірогідно, свідчать про втрату змішаним гелем додаткової сітки гелю, утвореної агаром під час нагрівання.

Аналіз реограм свідчить, що створення складних гелеподібних систем у складі альгінат-кальцієвих оболонок ЛХСК є складною технологічною, колоїдною та реологічною задачею, вирішення якої одночасно пов'язане з вибором речовини-модифікатора, співвідношенням рецептурних компонентів, умов технологічного процесу тощо.

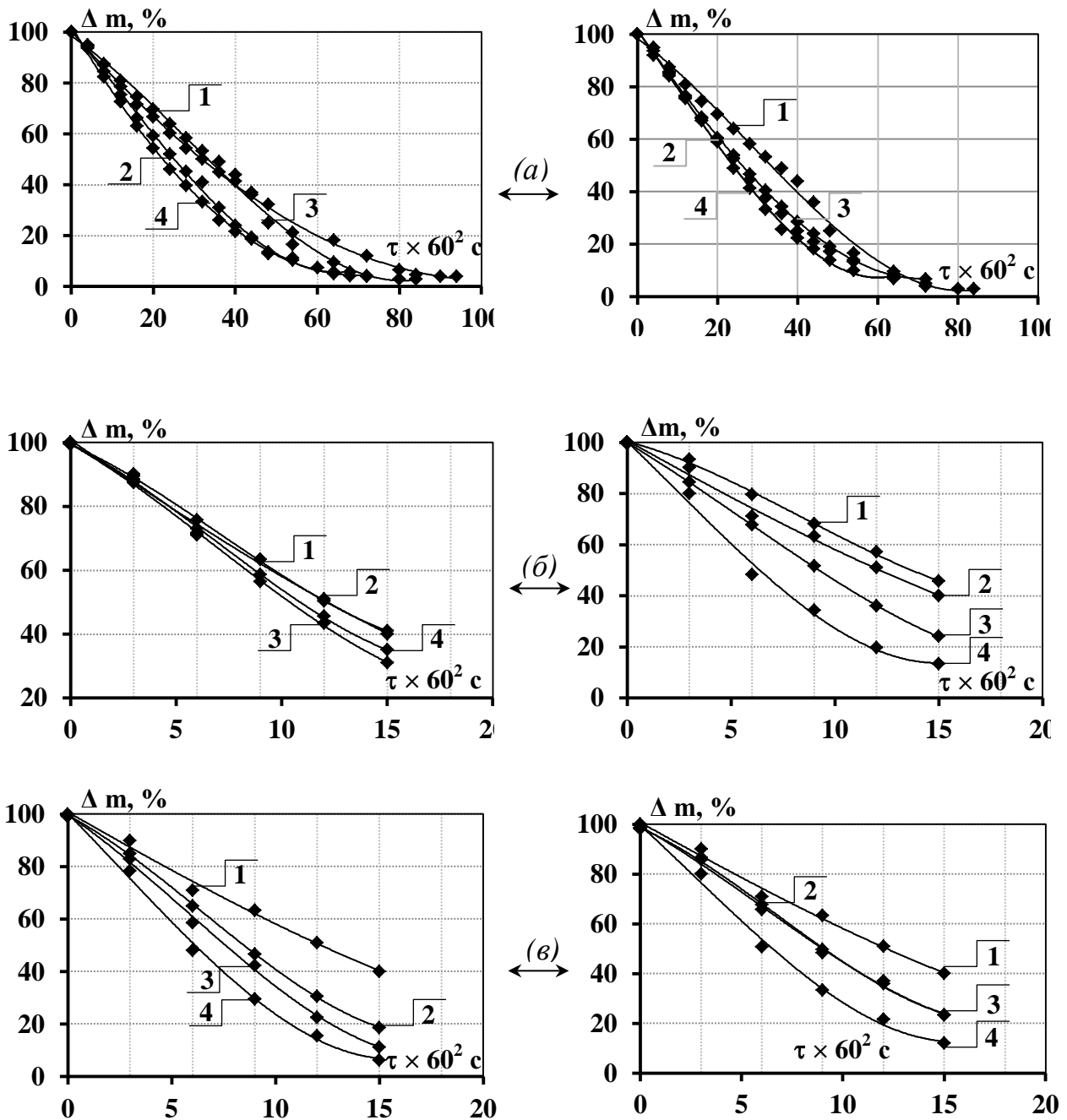
Використання речовин-модифікаторів дозволяє суттєво впливати на зміни маси гелів [7, 34, 96, 140] у складі оболонок капсул за умов технологічного впливу, у тому числі за різних режимів теплової обробки.

На рис. 4.35 та 4.36 представлено зміни маси дослідних систем під впливом різної температури. Для дослідження вибрано температури –  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $75^{\circ}\text{C}$ ,  $105^{\circ}\text{C}$ , які характерні для гелеутворення термотропних пролісахаридів та використовуються у технологічних процесах.

Є очевидним, що додавання третьої речовини (вологоутримуючого агента) до системи  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  призводить до зменшення втрати вологи, відповідно до більш стійких фізико-хімічних, пружно-еластичних, органолептичних характеристик плівкоутворювача (оболонки) ліпідної краплі ЛХСК.

Але, під час збільшення температури від  $40^{\circ}\text{C}$  до  $105^{\circ}\text{C}$  треті речовини змінюють свої властивості: гель агару у просторовій сітці гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  за температури  $45^{\circ}\text{C}$  тане, а за температури більше  $100^{\circ}\text{C}$  вода випаровується, змінюючи властивості сухого залишку.

Моделльні гелі « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – пектин» з залученням низкоетерифікованого пектину проявляють меншу динаміку втрати маси (рис. 4.36, б), що, ймовірно, пов'язано з утворенням пектатів, а також за рахунок зростання гідрофільності системи.



концентрація  $AlgNa$   $C = 1,4\%$

температура,  $^{\circ}C$ : а – 40; б – 75; в – 105 відповідно

Рис. 4.35. Динаміка маси (%) модельних систем на основі  $AlgNa$  з агаром від температури за концентрації агару, %: 1 – 0; 2 – 0,4; 3 – 0,8; 4 – 1,6 відповідно

Рис. 4.36. Динаміка маси (%) модельних систем на основі  $AlgNa$  з пектином від температури за концентрації пектину, %: 1 – 0; 2 – 2,0; 3 – 4,0; 4 – 6,0 відповідно

В системі « $Alg_2Ca$  – пектин» виникає, вірогідно, два «хімічні» гелі, які як проникають один в інший, так і формують єдиний гель на окремих участках структури. Таке трактування виходить із єдиної хімічної природи гелеутворен-

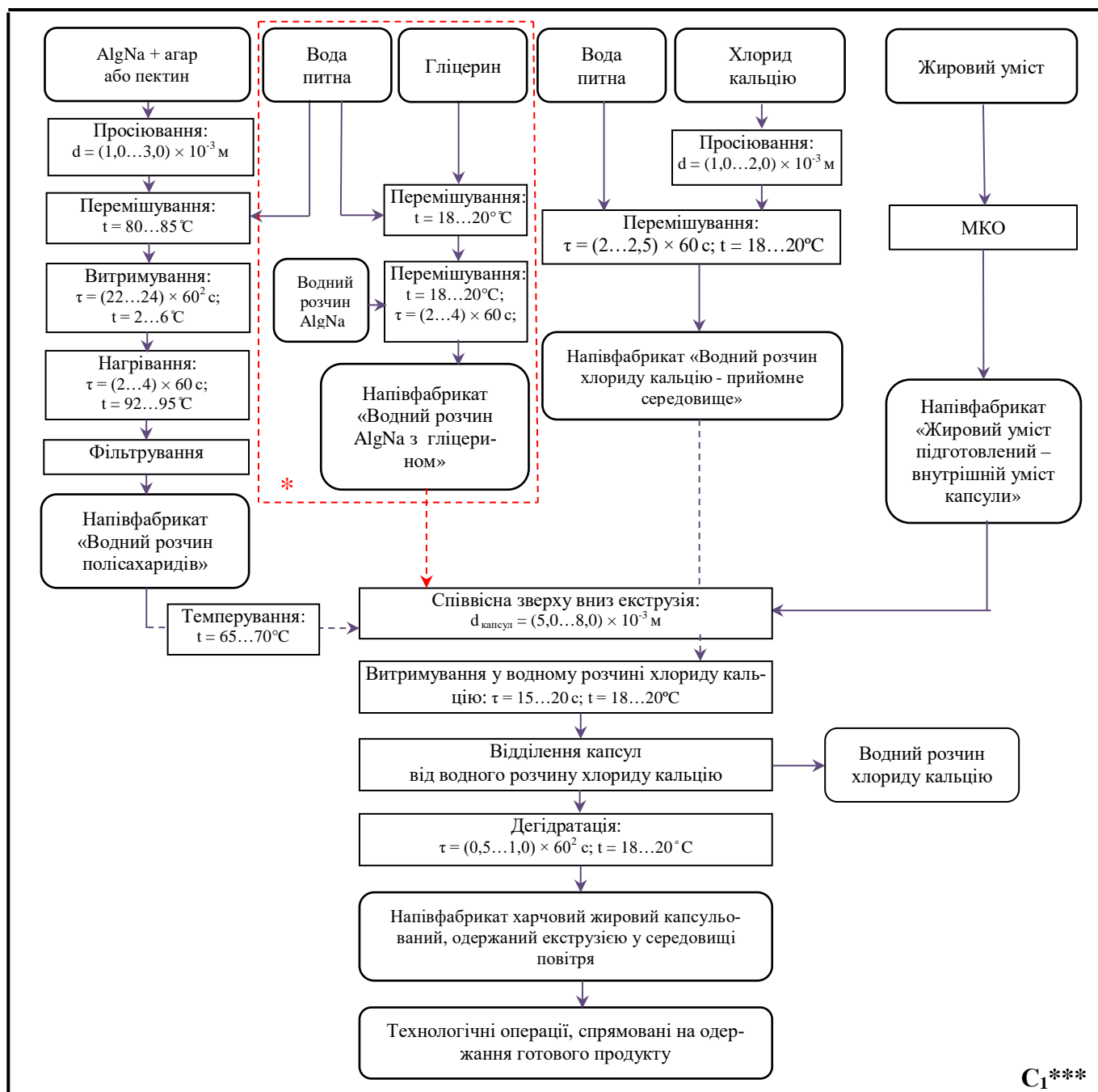
ня, яка є спільною для альгінату та пектину за наявності спільного іонного донору у формі  $\text{Ca}^{2+}$ . Але за наявності «енергетичного маскону» у формі G-блоків вірогідність більше динамічного гелеутворення  $\text{AlgNa}$  є великою, тому він вступає перший до хімічної реакції і формує каркас гелю з іонами  $\text{Ca}^{2+}$ , але пектини також вступають до реакції з іонами й, ймовірно, бути конкурентом  $\text{AlgNa}$  за акцепторними властивостями. Утворена гелеподібна система характеризується підвищеною термостійкістю.

За аналізом динаміки вологовмісту зразків модельних систем за температур 40°C, 75°C, 105°C (рис. 4.35, а) для гелю « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – агар» за умов зростання температури видно, що агар проявляє термотропні властивості більше виражено, чим пектин. Виявлено, що використання агару у системі « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – агар» в концентраціях 0,8 % призводить за температур  $>45^\circ\text{C}$  до його фазового переходу із гелю у різнний стан, що свідчить про доцільність його використання в технологічних системах з низькотемпературними впливами.

Змішані гелі « $\text{Alg}_2\text{Ca}$  – пектин» характеризується вираженими іонотропними властивостями й підвищеною термостійкістю, що дозволяє їх рекомендувати для використання у високотемпературних технологічних процесах.

На підставі проведення комплексу досліджень з визначення впливу термотропних полісахаридів та гліцерину на властивості альгінат-кальцієвої оболонки розроблено технологічну модель виробництва ЛХСК, одержаний екструзією у середовищі повітря, з модифікованою оболонкою (на прикладі агару) для використання у складі харчової та кулінарної продукції (рис. 4.37).

Таким чином, встановлено закономірності впливу складу гелеутворювачів в трикомпонентній системі « $\text{AlgNa}$  – полісахарид (агар, пектин низькоетерифікований) – вода» та « $\text{AlgNa}$  – гліцерин – вода», які забезпечують одержання оболонок ЛХСК з керованими структурно-механічними властивостями.



\* - модуль за умов використання гліцерину

Рис. 4.37. Технологічна модель виробництва ЛХСК з модифікованою оболонкою, одержаний екструзією у середовищі повітря

Але є очевидним, що наукове обґрунтування такого напрямку дозволить суттєво розширити можливості використання ЛХСК в технологіях кулінарної та харчової продукції.

Проведені дослідження підтвердили можливість утворення гелів зі змішаним типом гелеутворення, структурно-механічні властивості яких піддають-

ся певному технологічному впливу із забезпеченням консистентних характеристик готової продукції. Проведені експериментальні дослідження щодо визначення впливу інших полісахаридів та гліцерину на структурно-механічні показники альгінат-кальцієвих оболонки капсульованої продукції стали підґрунтям для обґрунтування та розробки технологічних процесів виробництва капсульованих олій у середовищах з екстремальними значеннями рН, що знайшло своє відображення в технологіях ЛХСК в олійних та оцтових середовищах, дресінги капсульовані та ін. (підрозділ 5.1, 5.2).

#### **4.3.1 Моделювання проникнення ферментів ШКТ оболонкою капсул з внутрішнім жировим умістом у процесі гомеостазу**

Принциповим завданням розвитку харчової індустрії є не тільки розробка високоефективних технологій харчової продукції, але й запровадження концепції забезпечення потрапляння поживних речовин, таких як поліненасичені жирні кислоти, у тому числі групи  $\omega$ -3,  $\omega$ -6, вітаміни та вітаміноподібні сполуки, ферменти спрямованої дії, імуноглобуліни, харчові волокна та ін. до організму людини та їх засвоєння. В основу цього покладено форми та методи внесення субстанцій функціональних інгредієнтів, видалення з системи «бар'єрних» складових, контроль їх просування вздовж шлунково-кишкового тракту, асиміляцію та дисиміляцію в організмі людини тощо [26, 305, 316 – 319].

Розробка технологій переробки оліє-жирової сировини у капсульовану продукцію формує нові задачі фізіологічного плану та може бути передумовою контрольованого вивільнення внутрішнього умісту за рахунок складної, але пористої структури стінки капсул. Вірогідно за рахунок цього сформована капсула з внутрішнім жировим умістом може розглядатись не як система з інкорпорованими речовинами, а як депо-система з направленою швидкістю вивільнення харчових компонентів. Вивільнення та доставка функціональних компонентів як запорука контрольованого травлення та всмоктування виконується через слизові оболонки шлунково-кишкового тракту людини. Рідини та ендоречови-

ни, які виділяються у середині ШКТ, є сприятливим середовищем для вивільнення цих компонентів, що забезпечує травлення та полегшує всмоктування.

Можна передбачити, що за рахунок різного механізму гелеутворення, проникність оболонок альгіново-пектинових та альгіново-агарових буде різною, що має суттєве фізіологічне значення. У дослідному випадку це відноситься, насамперед, до проникності ліпаз ШКТ до жирового вмісту капсул, що буде визначати швидкість її травлення та засвоєння. Одночасно такий експеримент буде опосередковано свідчити про щільність сіток гелю, оскільки пружність за таких умов не є об'єктивним показником (підрозділ 4.3).

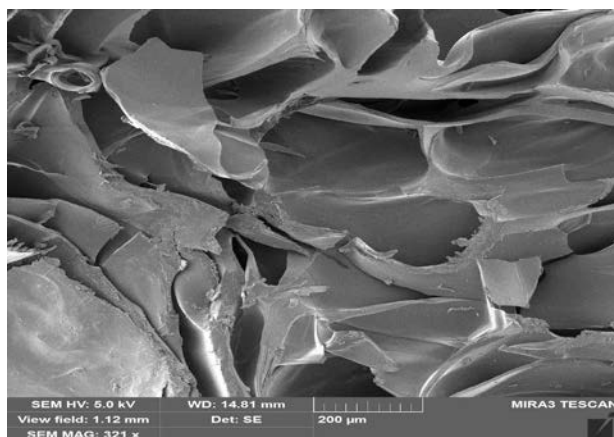
Моделювання проникності оболонок капсул з внутрішнім жировим вмістом проводилось на підставі вивчення процесів масопереносу функціональних інгредієнтів під дією збурюючих факторів.

Масоперенос (дифузія) може виконуватися як з поверхні самої капсули (з внутрішніх шарів гідрогелю), так й крізь оболонку – з інкапсулянту, а також у зворотньому напрямку, тобто травних ферментів у середину капсули.

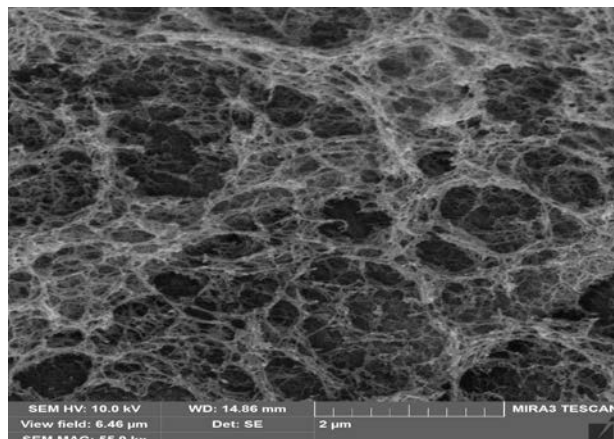
Очевидним є те, що динаміка масопереносу функціональних інгредієнтів та керуючі фактори стимуляції та інгібування масопереносів будуть дуже складними як за встановленням закономірностей, так й за вибором керуючих факторів, оскільки в реальному процесі травлення – це будуть нестационарні процеси та в повній мірі не можуть описуватися спрощеною моделлю [320].

Першим етапом дослідження стало вивчення пористості мікроструктури гелевих систем для визначення можливості перебігу дифузійних процесів, що зображено на рис. 4.38.

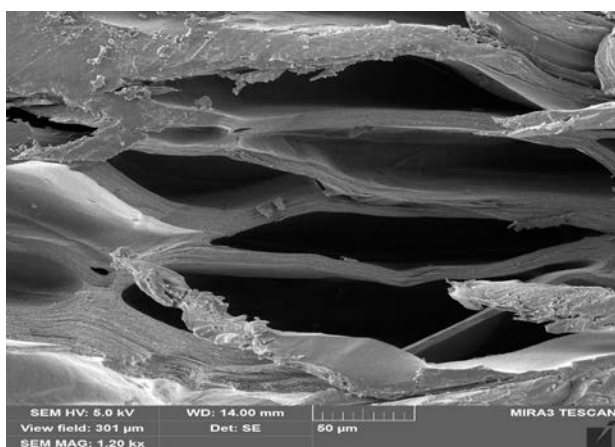
Аналіз фотографічних зображень свідчить про наявність у структурі гелевих систем відкритих та закритих порожнин (пори), що дає розуміння про перебіг дифузійних процесів, швидкість яких зумовлюється видом та складом гелю, концентрацією рецептурних компонентів та умовами їх одержання.



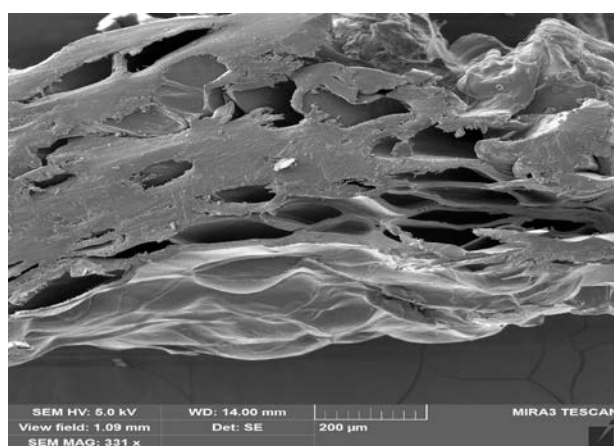
(1)



(2)



(3)



(4)

Рис. 4.38. Мікроструктура змішаних гелів за концентрації AlgNa 1,4 %, агару та пектину низькоетерифікованого 0,4 % відповідно: 1, 2 – альгіно-агаровий; 3, 4 – альгіно-пектиновий

Нами змодельовані ситуації масопереносів із різних зон капсул за умов, наближених до умов ШКТ. Метою дослідження був не сам процес травлення, а визначення умов масопереносів за моделювання умов ШКТ. Такі дослідження проведені для ситуацій «стінка капсули – зовнішнє середовище», «інкапсулянт – зовнішнє середовище (через стінку)». У якості наповнювача (дифузійної речовини) використовували цукор білий, який знаходиться у розчині у молекулярному стані та не впливає на утворення гелю за рахунок реалізації хімічних потенціалів. На рис. 4.39 наведено профілі дифузії («виходу») цукру білого із матриці альгіново-пектинового гелю у водне середовище у спокійному стані (рис.

4.39 (а)) та за умов використання примусової дифузії за рахунок коливань 2 кол./с (рис. 4.39 (б)).

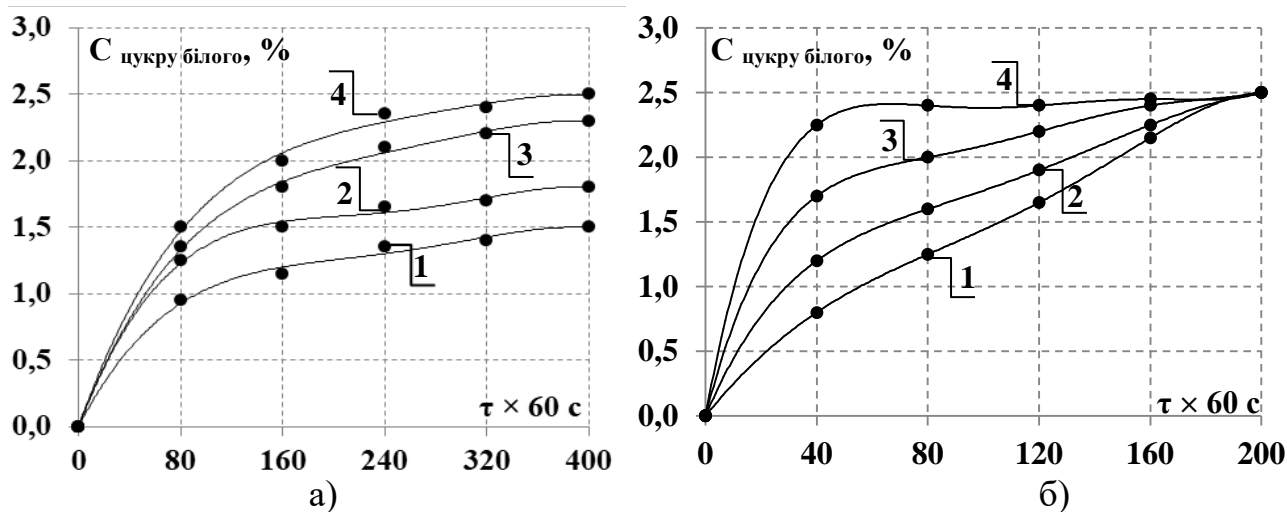
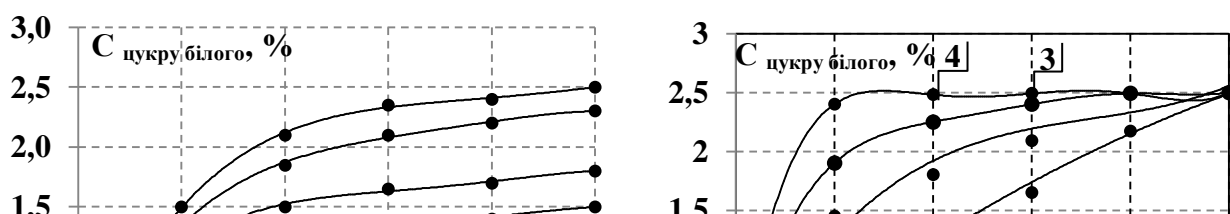


Рис. 4.39. Профілі дифузії («виходу») цукру білого із альгіново-пектинового гелю у водне середовище: а – без коливань; б – за умов примусового коливання 2 кол./с; за концентрації рецептурних компонентів: 1 – AlgNa 1,4 %; 2 – AlgNa 1,2 % та пектин низькоетерифікований 0,2 %; 3 – AlgNa 1,0 % та пектин низькоетерифікований 0,4 %; 4 – AlgNa 0,8 % та пектин низько-етерифікований 0,6 % відповідно

На рис. 4.40 наведено профілі дифузії («виходу») цукру білого із матриці альгіново-агарового гелю у водне середовище у спокійному стані.

Із аналізу наведених графічних закономірностей можна констатувати, що гель  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  є найменш проникним для низькомолекулярних речовин. Під час пасивної витримки та примусових збурюючих коливань скорочений. Але, за своєю суттю, він є проникним під час дифузії з середовищем гелю.

Модифікація гелів шляхом послідовного збільшення масової частки агару («фізичний гель») та пектину низькоетерифікованого («хімічний гель»), вірогідно, призводить до певного «розрихлення» структури гелю. Про це свідчить суттєве зростання коефіцієнту дифузії альгіново-пектинового гелю та інтенсифікація процесу.





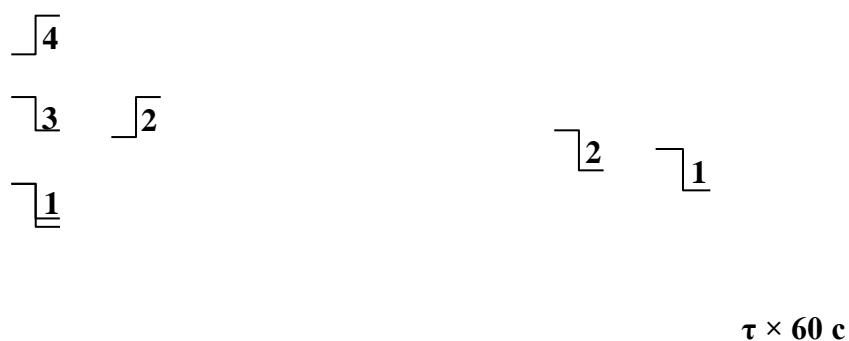


Рис. 4.40. Профілі дифузії («виходу») цукру білого із альгіново-агарового гелю у водне середовище: а – без коливань; б – за умов примусового коливання 2 кол./с; за концентрації рецептурних компонентів: 1 – AlgNa 1,4 %; 2 – AlgNa 1,0 % та агар 0,4 %; 3 – AlgNa 0,8 % та агар 0,6 %; 4 – AlgNa 0,6 % та агар 0,8 % відповідно

Таким чином, використання композицій гелеутворювачів, які здатні до контрольованого набрякання за різних умов, дозволяє цілеспрямовано змінювати технологічні та текстурні характеристики продукту, кінетику проникнення харчових речовин крізь полісахаридні оболонки структурованої продукції. За невисоких швидкостей дифузії крізь гідрогель забезпечується ефект пролонгованого засвоєння, за високих – більш інтенсивний. Тому підбір композицій (учасників) гідрогелю оболонок капсул, окрім органолептичних властивостей кінцевого продукту, має фізіологічне значення, яке повинне враховуватися під час наукового обґрунтування технологій ЛХСК.

#### Висновки за розділом 4

1. Узагальнено результати експериментальних та технологічних відпрацювань, спрямованих на розробку технологій напівфабрикатів ЛХСК, одержаних методами екструзії у середовищі повітря та олії дезодорованої; досліджено властивості капсульованої продукції за умов використання речовин із заданими функціонально-технологічними властивостями у її складі з метою ро-

зробки та впровадження технологій вітамінізованих, ароматизованих ЛХСК, спеціального призначення тощо.

2. Визначено показники якості та безпечності напівфабрикатів «Олія соняшникова капсульована» та «Олія оливкова капсульована», а також їх вітамінізованих сумішей, їх зміни під впливом технологічних чинників. Обґрунтовано умови та терміни зберігання напівфабрикатів ЛХСК. Досліджено органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні, токсикологічні показники нової продукції, їх зміни під час зберігання.

3. Встановлено харчову цінність напівфабрикатів, які, залежно від виду сировини, являються джерелом насичених жирних кислот, у тому числі: для напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована» –  $14,92 \pm 0,4$  %, для напівфабрикату «Олія оливкова капсульована» –  $17,19 \pm 0,4$  % від вмісту жирних кислот, домінуючою серед яких є пальмітинова кислота, мононенасичених жирних кислот – для напівфабрикату «Олія соняшникова капсульована»  $27,2 \pm 0,6$  %, в цій групі домінує олеїнова кислота ( $26,9 \pm 0,6$  %), в той час коли цей показник у складі напівфабрикату «Олія оливкова капсульована» більше у 2,6 рази та складає  $73,67 \pm 2,5$  %.

4. Досліджено фізико-хімічний та фракційний склад напівфабрикатів ЛХСК під час виробництва та зберігання нової продукції. Доведено, що протягом 6 місяців ці показники змінюються незначно.

5. Встановлено, що використання у рецептурному складі оболонки ЛХСК агару та пектину низькоетерифікованого приводить до лінійного зростання пружних властивостей гелю оболонки пропорційно концентрації уведеного полісахариду до сталої концентрації  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ . Введення гліцерину призводить до монотонного падіння модуля пружності гелів оболонки капсул.

6. Методом текстурметрії підтверджено, що створення складних гелеподібних систем у складі альгінат-кальцієвих оболонки ЛХСК можливе за рахунок обґрунтованого вибору речовини-модифікатора, обґрунтування співвідношення рецептурних компонентів та умов технологічного процесу тощо.

7. Доведена принципова можливість керування структурно-механічними та органолептичними властивостями оболонки ЛХСК, що дозволяє суттєво розширити можливість їх використання у технології капсулювання ЛХС та харчової продукції.

8. Встановлено закономірності впливу рН середовища, температури, виду та концентрації модифікуючих властивості гелів добавок на зміну структурно-механічних, текстурних показників гелів та їх здатності до зберігання заданих характеристик у технологічному потоці.

9. Доведено, що змішане гелеутворення надає можливість суттєво впливати на фізіологічну цінність ЛХСК, тобто на показники «проникність» оболонки капсули для ферментів під час гомеостазу.

## РОЗДІЛ 5

### **ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НАПІВФАБРИКАТУ ЛІПІДІВ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ КАПСУЛЬОВАНИХ**

У даному розділі узагальнено результати експериментальних досліджень та технологічних відпрацювань, спрямованих на обґрунтування та розробку технологій ЛХСК та харчової продукції, одержаної методом зовнішнього дифу-

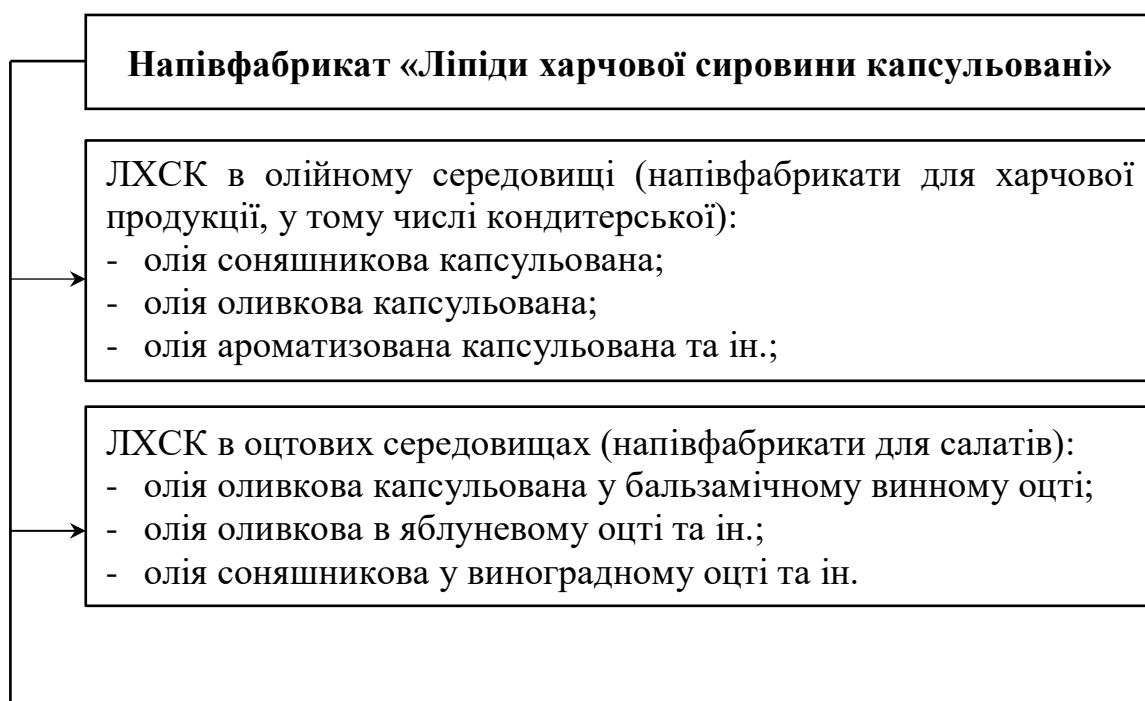
зійного гелеутворення; визначено показники якості та безпечності, їх зміни під впливом технологічних чинників; обґрунтовано умови та терміни зберігання; розроблено рекомендації з використання ЛХСК у складі кулінарних страв та харчової продукції; описано конструкторські рішення авторського обладнання та спеціалізованих ліній для виробництва ЛХСК.

Теоретичні та експериментальні дослідження з розробки та перевірки на адекватність розроблених фізичних моделей капсулоутворення системи «оболонкоутворювач – внутрішній жировий уміст», дослідження впливу технологічних чинників на закономірності формування фізико-хімічних, структурно-механічних показників капсульованих систем дозволили визначити раціональні інтервали концентрацій рецептурних компонентів та параметри технологічного процесу нової продукції.

Автор вважає, що надані приклади використання ЛХСК не є вичерпаними з точки зору можливостей ЛХСК та можуть бути розширені практичними робітниками харчових галузей.

Використання ЛХСК у формі вироблених напівфабрикатів спеціалізованими харчовими підприємствами базуються на їх технологічних властивостях бути рецептурними компонентами харчової продукції, виконувати роль декоративного матеріалу та володіють високою функціонально – технологічною здатністю створювати самостійні оригінальні продукти на основі ЛХСК.

Класифікація авторських розробок наведена на рис. 5.1



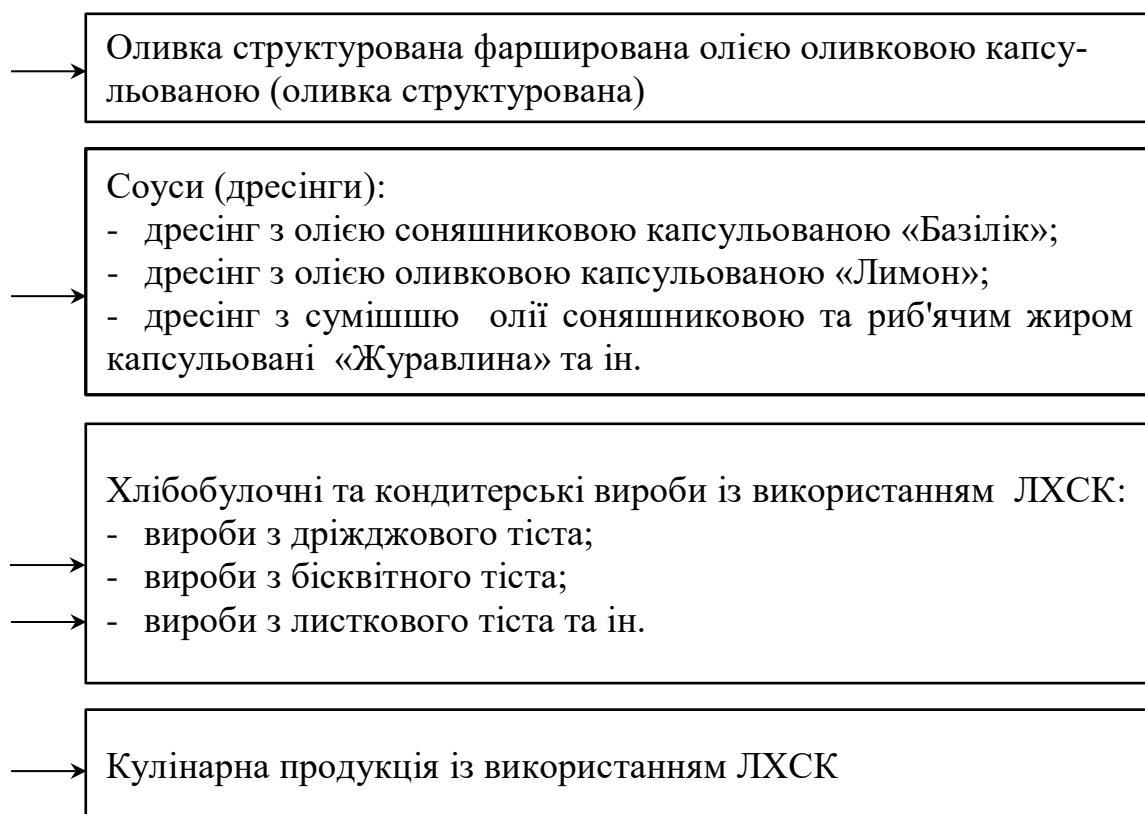


Рис. 5.1. Шляхи використання наукового напрямку капсулювання ЛХС в технології кулінарної, хлібобулочної, кондитерської та харчової продукції

### 5.1 Технологія ліпідів харчової сировини капсульованих в олійному середовищі

Відзначимо, що напівфабрикати ЛХСК в олійному середовищі згідно інноваційного задуму може бути використано як універсальний напівфабрикат (підрозділ 4.1) для використання в технологіях харчової продукції, у тому числі авторських технологій, а його технологія базується на безперервному циклі одержання ЛХСК заданого складу та властивостей з наступною доробкою до кінцевої

харчової форми. На рис. 5.2 представлено технологічну схему утворення готового продукту на прикладі олії оливкової – «Олія оливкова капсульована у заливці».



Рис. 5.2. Технологічна схема одержання готового продукту «Олія оливкова капсульована у заливці»

Технологічний процес виробництва олії оливкової капсульованої у заливці включає стадії підготовки рецептурних компонентів, приготування розчинів, капсулювання, фасування, маркування і зберігання [107].

Промислова апробація та маркетингові дослідження підтвердили доцільність випуску продукції у споживчій скляній тарі для роздрібної торгівлі та виконаній в м'якій упаковці для продажу у системі B2B з фіксованою вагою від 0,5 кг до 5,0 кг (рис. 5.3).

Технологічний процес одержання такої продукції зводиться до машинного дозування ЛХСК за масою або об'ємом з наступним додаванням олії, яка виконує роль заливки. Очевидна простота технологічного процесу дозволяє розірвати ці процеси у просторі та часі, що дозволяє виробничим підприємствам виготовляти ЛХСК на замовлення з доставкою напівфабрикатів за системою В2В з наступним фасуванням продукції у споживчу тару. Такий підхід для національних виробників є дуже ефективним, оскільки в Україні відсутні асортиментні жири та олії, наприклад оливкової, або спеціальних олій.

На рис. 5.3 відображено фотографічне зображення відтворення реального технологічного процесу одержання готової продукції та виведення її у роздрібну торгівельну мережу.

Олія оливкова капсульована у заливці може бути використана для виробництва кулінарних страв (закусок, салатів, перших, других страв), для реалізації споживачам у торгівельній мережі, закладах ресторанного господарства і як напівфабрикат високого ступеня готовності згідно рецептур, затверджених в установленому порядку. Олія оливкова капсульована у заливці зберігається на стелажах або піддонах у транспортній тарі у сухих, добре вентильованих, без сторонніх запахів складських приміщеннях за температури повітря 8...20 °С та відносної вологості повітря не більше  $75 \pm 5$  %. Термін придатності олії оливкової капсульованої у заливці становить 6 місяців від дати виготовлення [302, 321, 322] (Додаток Ж).



Рис. 5.3. Фотографічне зображення етапів перетворення напівфабрикатів ЛХСК у готовий продукт – олію оливкову капсульовану в рамках комерційного проекту, що реалізовано в Іспанії



Вимоги до органолептичних, мікробіологічних, токсикологічних показників готової продукції, умов та термінів зберігання відображено у висновку державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 05.03.02-06/53116 від 19.08.2014 р., виданий МОЗ України, м. Київ та технічних умовах «Олії, жири та суміші жирові капсульовані» ТУ У 10.4-38128375-003:2014» для реалізації даної продукції в межах України, а також у декларації виробника та сертифікатах ТОВ «КАПСУЛАР» – для реалізації в країнах Європейського Союзу відповідно (Додатки Ж, З).

## **5.2 Обґрунтування та розробка технологій «Олії капсульовані в оцтах» та дресінгів із використанням капсульованих олій**

Аналіз світового ринку соусної групи дозволив встановити чітку сегментацію та спеціалізацію виробництва й споживання соусів. Встановлено, що сьогодні об'ємам споживання соусів-майонезів, соусів-кетчупів не поступається сегмент продажу групи прозорих салатних заправок та дресінгів на водно-жировій основі. Останній рік показав позитивну динаміку розвитку даного сегменту і в Україні та збільшення об'ємів їх продажу на 5,0...7,0 %. Це, ймовірно, пов'язано з культурологією харчування, прагненням споживача споживати «здорову», легку, зручну у використанні їжу з оригінальними смаками.

Окремий сегмент у цій категорії займають соусні заправки із використанням лише олії та оцту, які у промисловій харчовій продукції з подовженими термінами зберігання пропонуються або окремо (в ізольованій упаковці), або у вигляді суміші, але за умов введення стабілізаційних речовин – емульгаторів, загусників, ПАВ тощо. Це пояснюється тим, що система «олія – кислота», з точки зору колоїдної стабільності, легко піддаються розшаруванню у мінімальний час за рахунок ліофобності таких систем.

Нами спрогнозовано, що використання капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом у середовищах кислотовміщуючої сировини, тобто промислове одержання сумішей «олія-кислота», дозволить не лише розширити

сегмент салатних заправок, а й забезпечити їх стабільні органолептичні та фізико-хімічні показники упродовж довготривалого зберігання.

Виробництво салатних заправок «олія – оцет», дресингів передбачає використання середовищ з кислим значенням рН, що унеможлиблює використання лише іотропного гелеутворення, яке було використано у технологічних процесах виробництва ЛХСК. В даному випадку технологічні комбінації систем-середовищ з екстремальними значенням рН впливають на стійкість кооперативних зв'язків альгінат-кальцієвих оболонок капсул, руйнуючи її. Враховуючи, що константа дисоціації ( $pK_a$ ) гулурунової кислоти складає  $pK_a = 3,65$ , а мануронової –  $pK_a = 3,38$ , що значно менше  $pK_a$  більшості харчових кислот, які використовуються у технологіях салатних заправок та дресингів, то за таких умов реакція іонообміну відбуватися не буде за рахунок втрати  $AlgNa$  розчинності та функціональних властивостей. Саме цьому, актуальним є застосування принципів змішаного (термотропно-іотропного) гелеутворення в технологіях виробництва соусів капсульованих (підрозділ 4.3). В якості оболонкоутворювача ЛХСК в даному випадку нами обрано альгінат-кальцієву оболонку за концентрації  $AlgNa C = 1,4 \%$  та агару  $C = 0,8 \%$  відповідно.

Експериментально доведено, що введення смакових рецептурних компонентів (кислоти, солі кухонної, цукру білого) до середовища соусів за визначеного їх співвідношення впливає на структурно-механічні показники модифікованих оболонок капсул (на прикладі альгіно-агарових оболонок).

На рис. 5.4 наведено рН водного середовища соусів від концентрації оцту бальзамічного.

Експериментальні дані підрозділу 4.3 свідчать, що за умов рН технологічного середовища соусу у діапазоні 3,5...5,5 пружні показники альгіно-агарової оболонки капсули змінюються незначно упродовж усього терміну зберігання.

На рис. 5.5 представлено діаграму відносної механічної міцності альгіно-агарової оболонки капсули залежно від значень рН середовища.

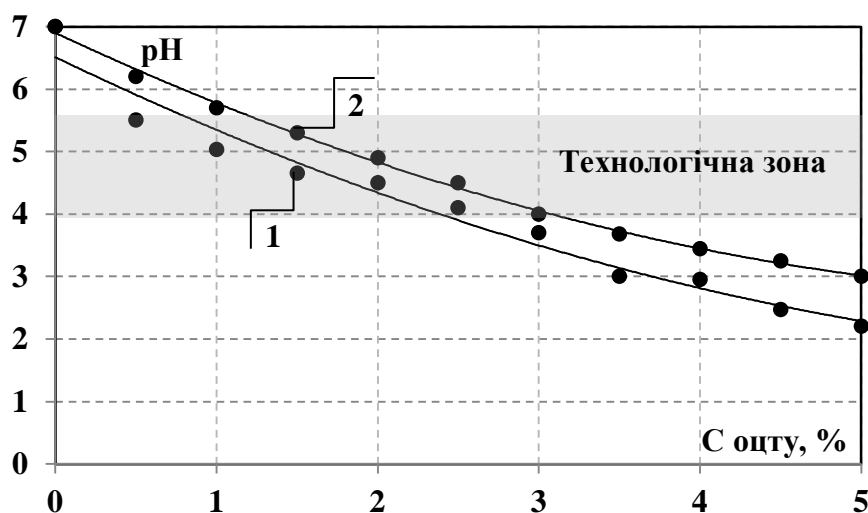


Рис. 5.4. рН водного середовища соусів залежно від концентрації оцту бальзамічного (розчин 9,0 %): 1 – середовище без капсул; 2 – середовище з ООК з модифікованою оболонкою ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,4\%$ ;  $C_{\text{агару}} = 0,8\%$ )

Одержані дані свідчать, що за умов зсуву значень рН середовища до 3,0, тобто у зону кислих значень, відносна міцність гелевих оболонок дещо збільшується (у 1,2 рази) за рахунок ущільнення гелю  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  та висадження «слабкої» до дії кислот альгінової кислоти (підрозділ 4.2).

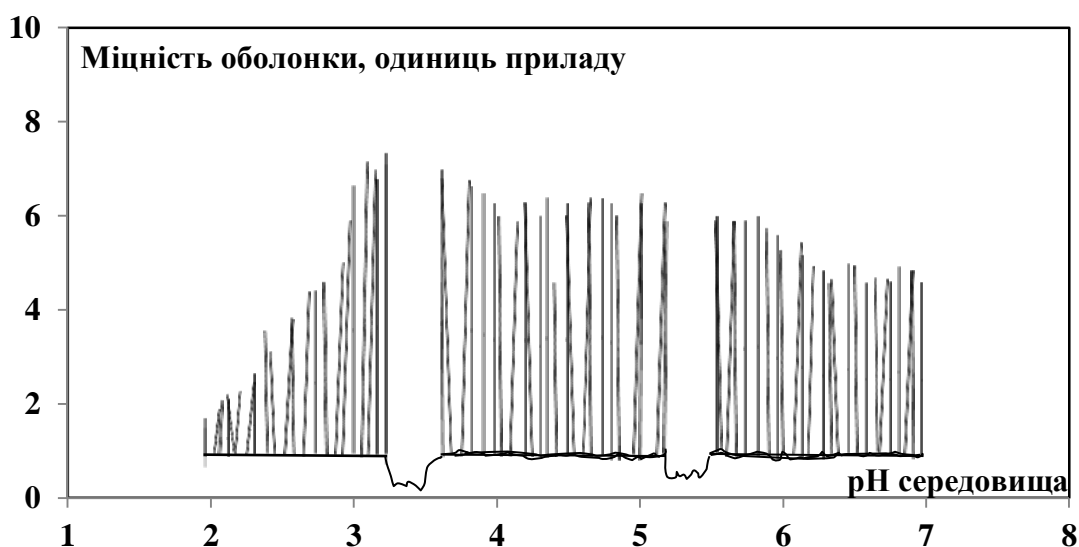


Рис. 5.5. Динаміка механічної міцності альгіно-агарової оболонки капсули за різних значень рН середовища

При цьому, нейтральні властивості до дії кислот агарової складової оболонки дозволяє адсорбувати видалену  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  вологу, тим самим зберігаючи первинні розміри оболонки, її масу та пружно-еластичні властивості.

Одержані вище результати дозволяють обґрунтувати допустиму концентрацію оцту бальзамічного, яка складає  $> 4,5 \%$ , що може бути закріплено як раціональний параметр в технології салатних заправок с кислим значенням рН.

На рис. 5.6 наведено технологічну схему виробництва салатної заправки «Олія оливкова капсульована – оцет бальзамічний» для використання у складі холодних закусок й других страв, а також салатів з подовженими термінами зберігання.

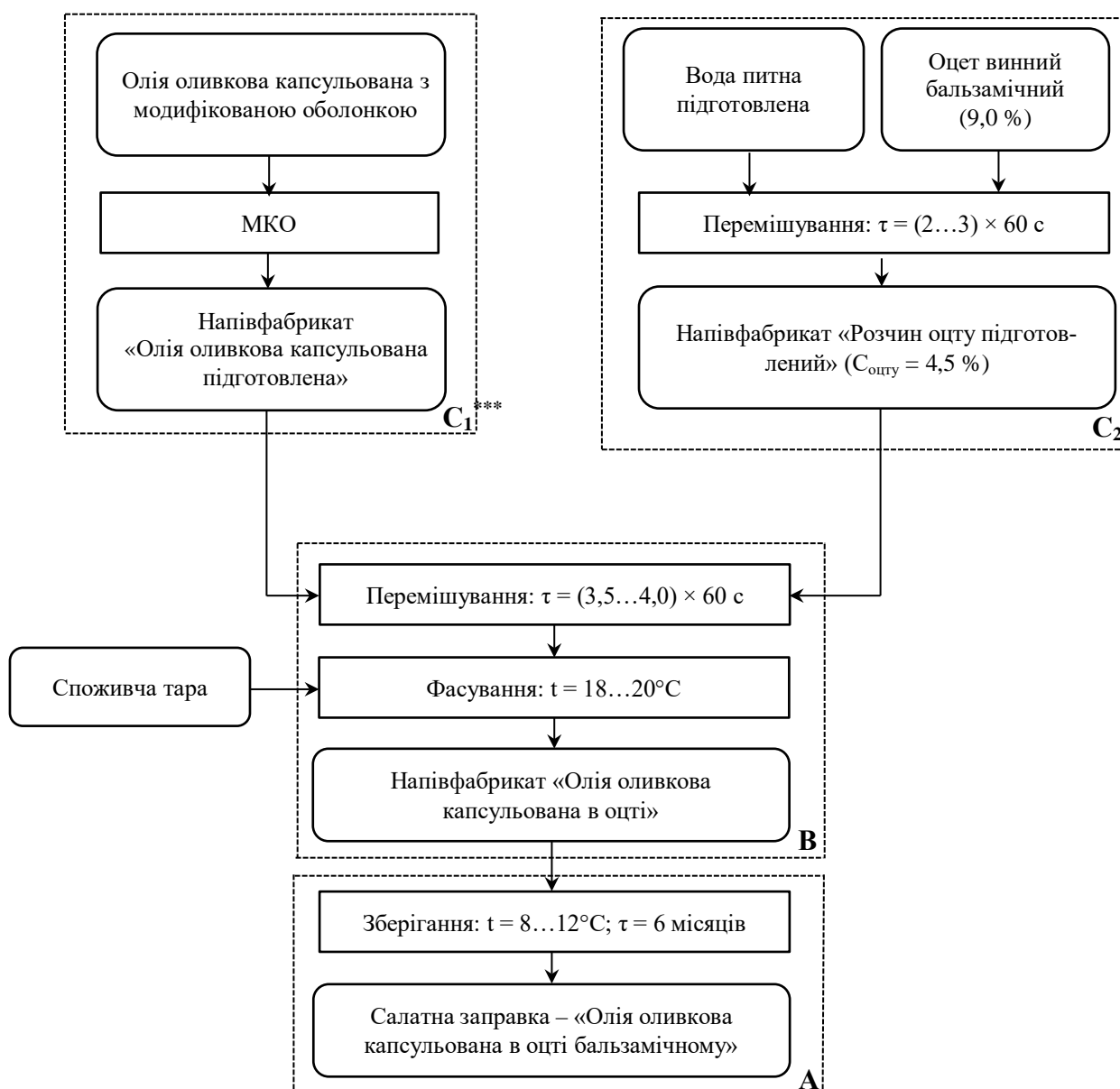


Рис. 5.6. Технологічна схема виробництва салатної заправки «Олія оливкова капсульована в оцті бальзамічному»

З точки зору термінології, дресінги – це складні салатні заправки, середовище яких представлено загущеною сумішшю олії, кислотовміщуючої сировини, смако-ароматичних компонентів, такі як сіль кухонна, цукор білий, спеції, шматочки овочів та фруктів та ін.

Відомо, що сіль кухонна утворює іонний розчин, що призводить до порушення кооперативних зв'язків  $\text{Alg}_2\text{Ca}$  за рахунок збільшення відносної концентрації  $\text{Na}^{2+}$ , тим самим порушити баланс іонообмінної реакції між оболонками капсул та середовищем дресінгу [323]. Це, в свою чергу, може призвести спочатку до пом'якшення, зменшення пружних властивостей оболонок капсул, з подальшим руйнуванням їх структури за критичних концентрації солі кухонної (рис. 5.7).

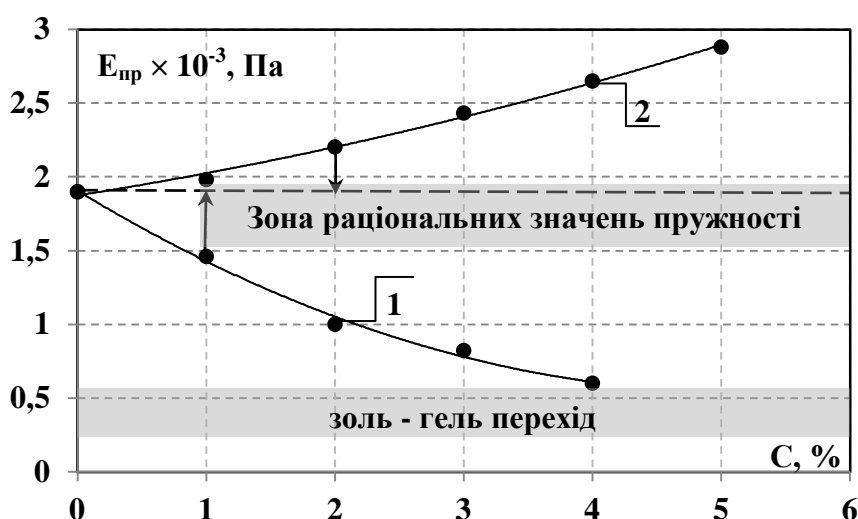


Рис. 5.7. Модуль пружності модифікованих оболонок капсул ООК ( $C_{\text{AlgNa}} = 1,4 \%$ ;  $C_{\text{агару}} = 0,8 \%$ ) залежно від концентрації смакових рецептурних компонентів: 1 – солі кухонної; 2 – цукру білого відповідно

Паралельно досліджено, що цукор білий, який утворює молекулярні розчини у дисперсійному середовищі, сприяє збільшенню пружних властивостей оболонок капсул за рахунок збільшення відносної концентрації сухих речовин, здатних до дегідратації, у системі. Тому, із врахуванням протилежних за знаком трендів впливу на модуль пружності альгіно-агарових оболонок капсул прийнято рішення про введення у рецептурний склад середовища-заливки солі ку-

хонної за концентрації  $C_{\text{соли}} = > 1,0 \%$  та цукру білого  $C_{\text{цукру}} = > 2,0 \%$ , що за значенням абсолютних відхилень  $\Delta E_{\text{пр}}$  є взаємокомпенсуючими величинами.

На підставі проведених досліджень та органолептичної оцінки обґрунтовано раціональні концентрації смакових рецептурних компонентів, що використовуються у складі середовища-заливки в технології дресінгів капсульованих: оцет бальзамічний – 4,0 %; сіль кухонна – 1,0 %; цукор білий – 2,0 % відповідно.

На рис. 5.8 наведено структурну модель виробництва дресінгу, де в якості жирової складової використано олію соняшникову капсульовану, кислотовміщуючої сировини – оцет виноградний (9,0 %), загусника середовища заливки – водний розчин модифікованого крохмалю Ніflo.

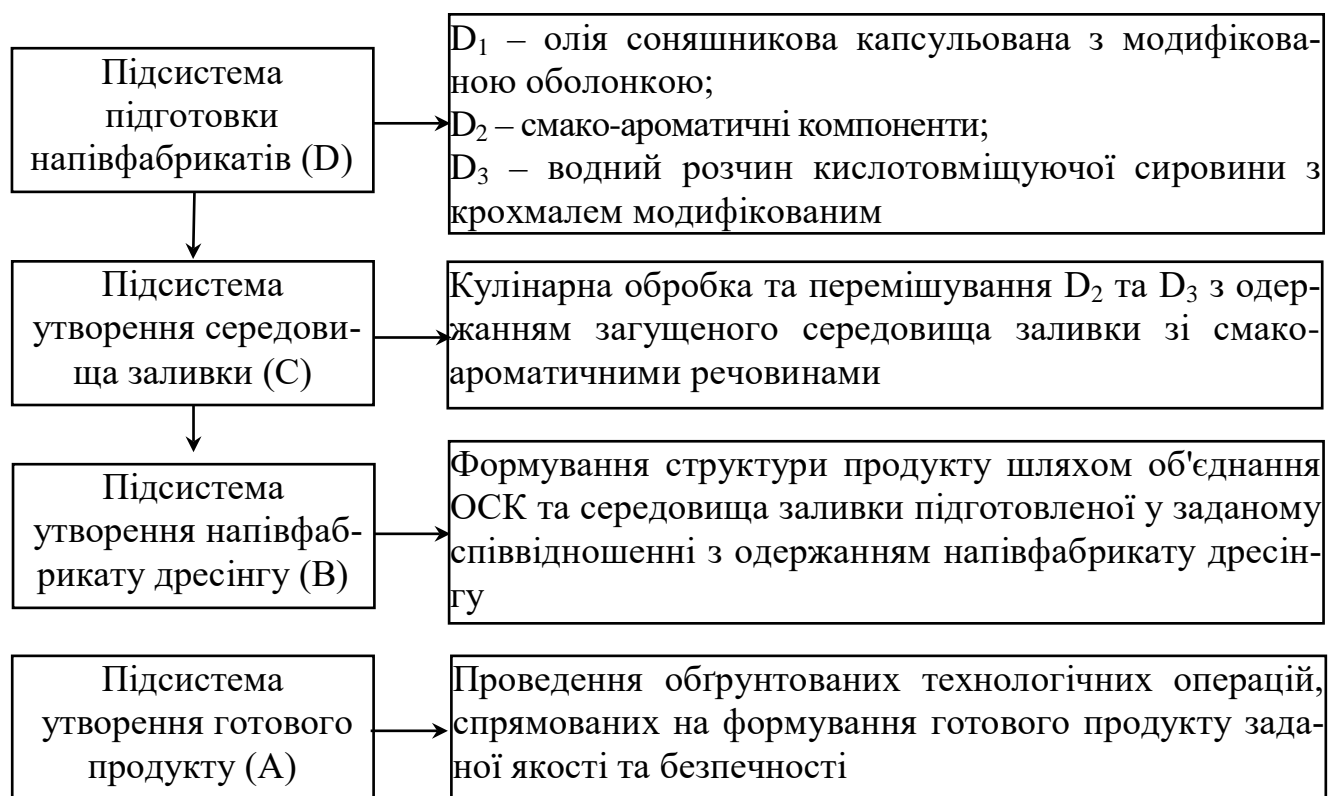


Рис. 5.8. Структурна модель технологічного процесу виробництва дресінгу із використанням олії соняшnikової капсульованої та оцту виноградного

Підсистема  $D_1$  «Підготовка напівфабрикату олії соняшnikової капсульованої з модифікованою оболонкою» передбачає проведення технологічних операцій, спрямованих на одержання заданої маси капсул з модифікованою оболонкою та внутрішнім умістом олії соняшnikової (рис. 4.35, розділ 4).

Метою функціонування підсистеми  $D_2$  є підготовка смако-ароматичних компонентів, а саме солі кухонної, цукру білого та суміші прянощів, які просівають, використовуючи механічне устаткування чи інвентар, діаметр чарунок складає  $d = (1,5 \dots 2,0) \times 10^{-3}$  м.

Під час функціонування підсистеми  $D_3$  виконуються окремі операції, які мають особливості відповідно до сировини:

1. *Підготовка загусника крохмалю модифікованого.* У якості згущувача середовища заливки дресінгу нами обрано крохмаль модифікований Niflo, водні розчини якого за концентрацій  $C = 1,8 \dots 2,2$  % дозволяють формувати та регулювати органолептичні та фізико-хімічні, у тому числі кислотостійкість, властивості середовища дресінгу за показниками в'язкість, плинність, однорідність та ін. Враховуючи, що у якості водного середовища дресінгу обрано яблуневий сік, то крохмаль рівномірно перемішували за  $t = 18 \dots 20^\circ\text{C}$ , протягом  $\tau = (3,5 \dots 5,5) \times 60$  с, за швидкістю обертів  $N = 1500$  об./хв. та витримували за тієї ж температури протягом  $\tau = (18 \dots 20) \times 60$  с до повного розчинення гідроколоїду. Одержану суміш піддавали термічній кулінарній обробці протягом  $\tau = (6 \dots 8) \times 60$  с, за температури  $t = 65 \dots 75^\circ\text{C}$  для забезпечення мікробіологічної стабільності. Розчин крохмалю у яблуневому соці охолоджували та піддавала фільтруванню.

2. *Підготовка кислотовміщуючої сировини.* У якості кислотовміщуючої складової в технології дресінгу може бути використана різноманітна сировина – оцет, харчові кислоти, соки кислі, концентрати, екстракти та ін. Залежно від виду сировини виконуються технологічні операції, спрямовані на одержання водного розчину чи суспензії кислотовміщуючої речовини із заданим значенням рН. Кислотність середовища визначає спектр речовин, що можуть бути використані у якості наповнювача, збагачувача середовища дресінгу – вони повинні проявляти нейтральні властивості до дії кислот. Встановлено, що раціональним значенням рН дресінгу для забезпечення контрольованого гомеостазу в організмі людини є  $4,0 \dots 4,5$ . В рамках дисертаційного дослідження розроблено широкий спектр середовищ дресінгів, які можуть бути представлені високодисперсними концентрованими емульсіями типу «олія у воді», емульсіями зво-

ротного типу, розчинами білків, вуглеводів, мінеральних речовин та вітамінів. Органолептичні показники та харчова цінність дресінгів залежить від виду ЛХСК, кислотовміщуючої сировини та наповнювачів (овочеві, фруктові, спеції, горіхи та ін.). В даному випадку оцет виноградний (9,0 % розчин) піддавали МКО та проціджували.

Підсистема С спрямована на одержання загущеної заливки (середовища дресінгу) зі смако-ароматичними речовинами. Для цього напівфабрикати «Розчин кислотовміщуючої сировини з крохмалем підготовлений» та «Смако-ароматичні компоненти підготовлені» перемішують протягом  $\tau = (7,5 \dots 9,0) \times 60$  с з утворенням однорідної маси за об'ємом суміші.

В рамках підсистеми В проводять операції, спрямовані на одержання напівфабрикату дресінга із використанням ОСК. Для цього капсули з внутрішнім умістом олії соняшникової перемішують з напівфабрикатом «Кисла заливка зі смако-ароматичними добавками» за співвідношення капсули : заливка як 80 : 20 за  $t = 18 \dots 20^\circ\text{C}$  протягом  $\tau = (1,5 \dots 2,0) \times 60$  с. Дресінг фасують у первинну споживчу тару – полімерну чи скляну упаковку масою  $m = 0,1 \dots 10,0$  кг.

Підсистема А передбачає кінцеві операції з підготовки дресінгу до реалізації – маркування споживчої тари та зберігання: у полімерній упаковці – за температури  $t = 8 \dots 12^\circ\text{C}$  та відносної вологості повітря  $W = 75 \pm 2,0$  % протягом 3 місяців та у скляній упаковці – за тих же умов протягом 6 місяців відповідно.

На підставі проведених досліджень розроблено рецептурний склад та технологічну схему виробництва салатної заправки «Олія оливкова капсульована в оцті бальзамічному» (Додаток 33) та дресінгу із використанням олії соняшникової капсульованої «Зі смаком прянощів» (табл. 5.1, рис. 5.9).

Вимогам до органолептичних показників салатних заправок та дресінгів із використанням олій капсульованих передувало розробка шкали сенсорної оцінки (додаток В), відповідно до якої встановлено органолептичні показники нової продукції (табл. 5.2).



Таблиця 5.1

**Рецептурний склад одержання готового продукту  
Дресинг із використанням олії соняшникової капсульованої  
«Зі смаком прянощів»**

Найменування сировини	Витрати на 1000 кг, кг	
	брутто	нетто
Напівфабрикат олії соняшникової капсульованої з альгіно-агаровою оболонкою	824,00	800,00
<b>Вихід н/ф «Олія соняшникова капсульована з модифікованою оболонкою»</b>	<b>824,00</b>	<b>800,00</b>
Оцет виноградний (9,0 %)	41,03	40,00
Яблуневий сік	100,21	100,00
Карбоксилметілцеллюлоза (NaКМЦ)	19,20	19,00
<b>Вихід н/ф «Розчин кислотвміщуючої сировини з NaКМЦ»</b>	<b>160,41</b>	<b>159,00</b>
Цукор білий	20,40	20,00
Сіль кухонна	10,50	10,00
Суміш прянощів	11,52	11,00
<b>Вихід н/ф «Смако-ароматичні компоненти»</b>	<b>42,42</b>	<b>41,00</b>
Усього:	1026,83	1005,00
<b>Вихід готового продукту:</b>	-	<b>1000,00</b>

На рис. 5.10 представлено фотографічне зображення дресінгу із використанням олії вітамінізованої на основі олії соняшникової з червоним перцем та олії оливкової в оцті бальзамічному.



Рис. 5.10. Фотографічне зображення дресінгу на основі олії соняшникової вітамінізованої та олії оливкової капсульованої в бальзамічному оцті

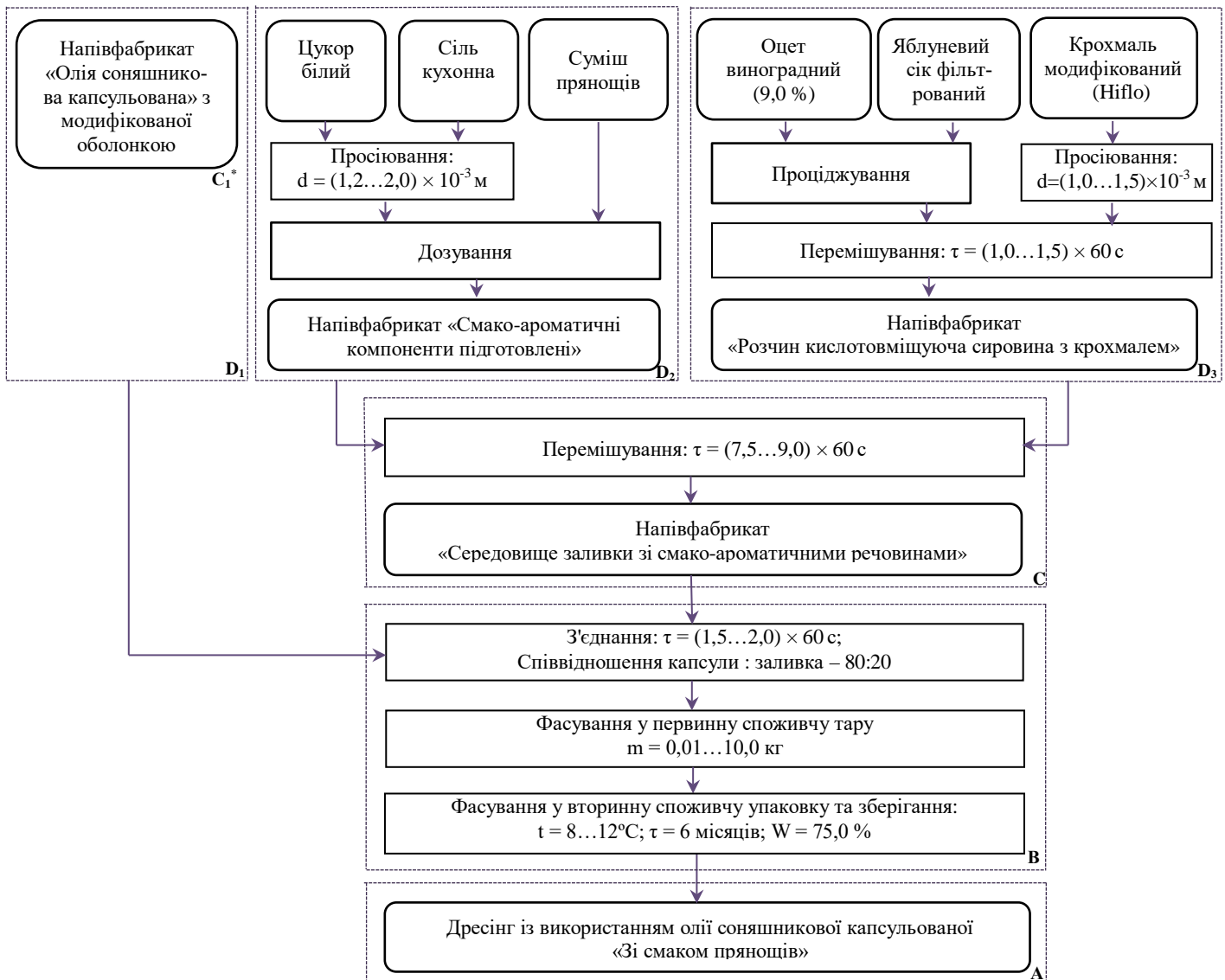


Рис. 5.9. Технологічна схема виробництва дресінгу із використанням олії соняшникової капсульованої «Зі смаком прянощів»

Таблиця 5.2

### Результати сенсорної оцінки нової продукції

Найменування показника	№ дескриптора	Коефіцієнт вагомості дескриптора	Характеристика	Оцінка в балах
1	2	3	4	5
Зовнішній вигляд	1	0,1	Однорідність	4,8
	2	0,2	Прозорість	5,0
	3	0,2	Відсутність злипання капсул	5,0
	4	0,1	Відсутність пошкоджених екземплярів	4,7

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
	5	0,1	Відповідність заданого діаметру капсул	5,0
	6	0,2	Відсутність сторонніх домішок	5,0
Сумарна оцінка				4,91
Коефіцієнт вагомості показника				0,3
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>1,48</b>
Колір	1	0,2	Чистота кольору	5,0
	2	0,1	Відповідність кольору	5,0
	3	0,2	Однорідність	4,9
	4	0,2	Прозорість	5,0
	5	0,1	Відсутність стороннього відтінку	4,9
	6	0,2	Насиченість кольору	5,0
Сумарна оцінка				4,96
Коефіцієнт вагомості показника				0,2
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>0,99</b>
Запах та смак	1	0,2	Чистота	5,0
	2	0,1	Збалансованість	5,0
	3	0,2	Натуральність	5,0
	4	0,2	Відсутність згірклого смаку	5,0
	5	0,1	Відсутність сторонніх присмаків	5,0
	6	0,1	Насиченість	4,6
	7	0,1	Відповідність смаку	4,7
Сумарна оцінка				4,90
Коефіцієнт вагомості показника				0,3
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>1,47</b>
Текстура	1	0,2	Опір роздавлюванню капсул	5,0
	2	0,2	Текучість	4,7
	3	0,1	Ефект лопання капсул	4,9
	4	0,2	В'язкість	4,9
	5	0,1	Відсутність комочків	5,0
Сумарна оцінка				4,90
Коефіцієнт вагомості показника				0,2
<b>Підсумкова оцінка за показником</b>				<b>0,98</b>
<b>Всього:</b>				<b>4,92</b>

Аналізуючи дані табл. 5.2 слід зазначити, що середовище заливки олії оливкової в оці та дресінгу на основі олії соняшникової вітамінізованої капсульованої являється однорідною, капсули відповідного кольору та розміру (оцінка відповідно 4,9 та 5,0), колір продукту насичений та чистий (оцінки по 5,0 балів). Текстура середовища заливки продукції характеризується як в'язко-текуча (оцінка 4,7 та 4,8 балів відповідно), капсули пружні, легко роздавлюються (оці-

нка відповідно 5,0 та 4,9). Запах та смак визначені як чисті, без сторонніх, без наявності гіркого присмаку, натуральні тощо.

Досліджено загальний хімічний склад олії оливкової в оцті та дресінгу на основі олії соняшnikової вітамінізованої капсульованої (табл. 5.3)

Таблиця 5.3

**Загальний хімічний склад олії оливкової в оцті та дресінгу із використанням олії соняшnikової капсульованої**

Найменування показника	Термін зберігання, дiб			
	Олія оливкова капсульована в оцті бальзамічному		Дресінг із використанням олії соняшnikової капсульованої	
	<b>0</b>	<b>180</b>	<b>0</b>	<b>180</b>
Масова частка сухих речовин, %	79,91±0,3	81,58±0,4	80,30±0,3	81,24±0,4
Масова частка жирів, %	73,50±0,3	73,50±0,3	74,90±0,3	74,90±0,3
Масова частка вуглеводів, %, у тому числі:	6,41±0,03	8,08±0,04	5,40±0,02	6,34±0,04
– олігосахариди	-	-	3,20±0,02	3,16±0,04
Калорійність (ккал)	687,7	694,6	696,2	700,1

\*співвідношення оболонка капсули : внутрішній жировий уміст складає як 75 : 25

Під час зберігання спостерігається також незначна втрата вільної вологи оболонок капсул (до 1,5 %) наслідком чого є відносне зростання вмісту сухих речовин у складі дресінгів.

Таблиця 5.4

**Фізико-хімічні показники олії оливкової в оцті та дресінгу із використанням олії соняшnikової вітамінізованої капсульованої**

Найменування показника	Допустимі значення		Термін зберігання, дiб			
			Олія оливкова капсульована в оцті		Дресінг із використанням олії соняшnikової капсульованої	
	оок	оск	<b>0</b>	<b>180</b>	<b>0</b>	<b>180</b>
Вміст сухих речовин, %	-		79,91±0,3	81,58±0,4	80,30±0,3	81,24±0,4
Йодне число, г, I <sub>2</sub> /100 г	50,0	55,0	35,0±0,5	41,3±0,5	2,4±0,02	10,8±0,02
Число омилення, мг КОН/г	не норм.		187	193	189	198
Сторонні домішки, %	не допус.		не виявлено			

\*співвідношення оболонка капсули : внутрішній жировий уміст складає як 75 : 25

Дослідження фізико-хімічних показників олії оливкової в оцті та дресінгу із використанням олії соняшникової вітамінізованої дозволяють стверджувати, що продукт має сталі показники протягом 6 місяців зберігання. Результати дослідження наведено у табл. 5.4, при цьому співвідношення внутрішньої складової до оболонки капсули складає як 75 : 25, а співвідношення капсули : середовище заливки як 80 : 20.

Безпечність розробленої продукції досліджували шляхом визначення мікробіологічних показників нової продукції, які відповідають вимогам, зазначеним у табл. 5.5.

Таблиця 5.5

**Мікробіологічні показники олії оливкової в оцті та дресінгу із використанням олії соняшникової вітамінізованої капсульованої**

Найменування показника	Допустимі рівні, не більше	Значення показника			
		0 діб зберігання		180 діб зберігання	
		ООК в оцті	ДК	ООК в оцті	ДК
Кількість аеробних та факультативно- анаеробних мікроорганізмів, КУО/г	$1 \times 10^4$	$2 \times 10^2$	$3 \times 10^2$	$3 \times 10^3$	$4 \times 10^3$
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), у 0,1 г	не допуск.	не виявлено		не виявлено	
<i>S.aureus</i> , у 1 г	не допуск.	не виявлено		не виявлено	
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду <i>Salmonella</i> , у 25 г	не допуск.	не виявлено		не виявлено	
Дріжджі, КУО/г	50	5	7	15	30
Плісняві гриби, КУО/г	$1 \times 10^2$	не виявлено		не виявлено	

Таким чином, дослідження енергетичної та харчової цінності, показників якості та безпечності олії оливкової в оцті та дресінгу із використанням олії соняшникової капсульованої вказують на відповідність даної продукції вимогам державної системи контролю харчової продукції.

Результати дослідження покладено в основу ТУ У 10.4-38128375-009:2018 «Олії, жири та суміші жирів капсульовані в олійних та оцтових середовищах», ТУ У 10.4-38128375-010:2018 «Дресінги капсульовані», технологіч-

ної інструкції з виробництва кулінарних виробів із використанням капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом (Додаток З) та документації інтелектуальної власності [324–326].

### **5.3 Обґрунтування та розробка технології оливки структурованої з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої**

Структурування харчової сировини – це процес формування структури виробу з ознаками твердого тіла під впливом зовнішніх чинників та за рахунок реалізації функціонально-технологічних властивостей систем, що піддаються структуруванню. Але інтерес до структуроутворення пов'язано не лише з можливістю створення продукту-аналога технологічними принципами – це пов'язано із забезпеченням високої якості та цільової поживної цінності готовим структурованим продуктам, запровадженням високоефективних, безвідходних технологій переробки різної за походженням сировини з ємким економічним потенціалом та показником рентабельності.

В основі формування текстури структурованої продукції лежить широкий спектр фізико-хімічних процесів, зумовлених способом технологічного впливу на вихідну сировину та рецептурний склад продукту. Такі технології базуються на реалізації функціонально-технологічних властивостей вхідних інгредієнтів, здатних, за певних умов, до структуроутворення. Капсулоутворення – ідеальна технологія формування текстури кулястого чи овального виробу із заданими фізико-хімічними та структурно-механічними показниками [7, 36].

Споживчий інтерес до використання оливок консервованих в останні роки значно збільшився. Вони активно використовуються у вигляді самостійного продукту, так і у складі харчової та кулінарної продукції. [326–331]. Маркетингові дослідження показали, що оливкова сировина на 100,0 % є імпортованою в Україну, що робить даний продукт вартісним та знижує об'єми його споживання. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок розробки та впровадження технології структурування цієї сировини. Упровадження технології екструзій-

ного формування за принципом [7] у середовищі іонотропного полісахариду AlgNa та зовнішнього дифузійного гелеутворення [332] системи дозволяє створити оливку структуровану, яка відтворює органолептичні та реологічні властивості оливки консервованої.

Актуальність даної розробки полягає у наступному:

- запровадження високоефективних безвідходних технологій переробки оливкової сировини у харчову продукцію;
- створення високотехнологічної оливкової продукції зі стандартизованими показниками якості та безпечності результатом чого є задовільнення постійно зростаючого попиту на даний вид продукції за показниками «якість» та «вартість»;
- переробка оливкової сировини зі зниженою товарною цінністю – недозрілої, перезрілої, битої, м'якої у продукцію з високою харчовою цінністю;
- створення принципово нової структурованої продукції із застосування сучасних способів капсулювання та гранулювання харчової сировини різного походження тощо.

В основу інноваційного задуму покладено розробку способу переробки оливкової сировини за її комплексної переробки у термостабільні альгінові капсули, одні з яких утримують внутрішній уміст на основі її олій, а інші – на основі вичавок, пульпи, або мезги після видалення олії. Аналіз науково-технічної літератури та патентний пошук не виявив інформації про комплексну переробку оливкової сировини, яка б дозволила ефективно комплексно переробляти м'якоть плодів (пульпу) та вичавки (мезгу) після видалення олії та олію у харчову продукцію з прогнозованим вмістом цих компонентів, та яка б дозволила знизити експлуатаційні та транспортні витрати за рахунок видалення з транспортного потоку малоцінних у харчовому плані компонентів плодів – кісточок та малоцінних частин.

### **5.3.1 Інноваційна стратегія розробки технології оливки структурованої з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої**

Оливки відносяться до сільськогосподарських культур, від об'ємів виробництва яких залежить стан та рівень багатьох народів світу. Технологічний рівень переробки оливкової сировини для багатьох країн визначає економічний статус регіону в цій країні. Споживання оливок «для столу», а також оливкової олії зростає у більшості країн світу, у тому числі й в Україні. Одночасно зростає попит країн-споживачів на нову продукцію з оливок, а також із використанням оливок. Цей попит може бути задоволений лише за умов залучення до технологічних циклів новітніх сучасних методів переробки рослинної сировини. До таких технологій відносяться технології капсулювання водних систем, а також капсулювання гідрофобних речовин. Технологічна комбінація цих двох принципів може дати нові технологічні ефекти, які дозволяють виробляти харчову продукцію з принципово новими органолептичними та технологічними властивостями, розробляти та впроваджувати технологічні цикли з вираженою експортною спрямованістю та, одночасно, задовільняти потреби українських споживачів.

Актуальність реалізації такого підходу зростає з аналізу структури харчування населення України, який свідчить про недостатнє відносно нормативних величин українськими споживачами овочевої продукції та ягід незалежно від достатку, віку, виду діяльності тощо. Серед головних причин такого дисбалансу є харчова інертність більшості споживачів до традиційної продукції рослинного походження, недостатній асортимент некрохмальної рослинної продукції, економічна недоступність рослинної сировини, що імпортується. До такої продукції відносяться у тому числі оливки та олія оливкова. Інноваційний задум полягає в тому, що створення структурованої продукції на основі пюре оливок, у тому числі з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої (далі по тексту - оливка структурована) з різними смаковими характеристиками, дозволить створити новий асортиментний ряд продукції із оливок з високим експортним потенціалом, у певній мірі ліквідувати харчові диспропорції, створити нові напів-



фабрикати високого ступеня готовності для ЗРГ. Інноваційний задум нової продукції наведено у табл. 5.6.

Таблиця 5.6

## Інноваційний задум оливки структурованої

Найменування показника	Характеристика показника	Шляхи реалізації
1	2	3
Зовнішній вигляд	Продукт за зовнішнім виглядом, кольором, розміром відповідає традиційній оливці: колір чорний або зелений; розмірні характеристики – продукт овальної форми з поздовжнім діаметром до 1,0...1,5 см, який характеризується наявністю характерної шкірки. Структуровані продукти занурені у рідке середовище розсолу або іншої технологічної рідини	Досягається шляхом реалізації принципів іонотропного гелеутворення на оригінальних (у тому числі авторських) пристроях. Колір продукту забезпечується використанням відповідної сировини. Чорний колір забезпечується реалізацією принципу утворення нерозчинного пігменту чорного кольору на основі тапінів
Текстура	Капсула з чітко вираженою текстурою «шкірки» оливки. Внутрішній уміст – загущене пюре оливки, з умістом капсул з олією. Консистенція продукту пружна, резистентна	Досягається шляхом обґрунтування рецептурного складу та прийомного середовища, а також реалізацією параметрів технологічного процесу
Вид сировини	Пюре оливки, розсіл оливки, AlgNa, термотропні гелеутворювачі, кальційвмістна сіль, розчинна у воді	Досягається шляхом обґрунтованого відбору сировини згідно вимог технологічного процесу
Термостійкість	Готовий продукт проявляє термостабільність за температури $t = 0...100^{\circ}\text{C}$ без обмеження у часі, за умов гідротермообробки, темперування, пастеризації. Заморожування не є доцільним	Досягається реалізацією принципу іонотропного гелеутворення AlgNa, обґрунтованим підбором рецептурних компонентів та параметрів термічного впливу
Механічна міцність	Продукт витримує режими пакування, перемішування, транспортування у тарі, у середовищі розсолів	Досягається параметруванням чинників технологічного впливу та підбором відповідного інвентаря

Продовження таблиці 5.6

1	2	3
Обмеження по застосуванню	Продукт без обмежень для споживання	Досягається контрольованим складом технологічних систем та параметрів ТП
Традиційність харчової системи	Продукт здатний до утворення традиційних харчових сумішей за умови збереження текстури та цілісності	Досягається підбором харчових композицій із виконанням умов використання продукту
Конкурентні переваги	Структуровані оливки об'єднують переваги традиційних оливок	Відрізняються приємною структурою, новим смаком, не мають кісточки, характеризуються заданими властивостями, харчовою цінністю
Пакування	$m = 0,1 \dots 5,0$ кг	Досягається шляхом використання відповідних пакувальних матеріалів та організації реалізації
Терміни зберігання	$\tau = 12$ місяців за температури $t = 2 \dots 6^\circ\text{C}$	Досягається шляхом використання пакувальних матеріалів та організації зберігання

З урахування інноваційного задуму, визначення стану науково-технічного забезпечення розроблено блох-схему реалізації проекту (рис. 5.11).

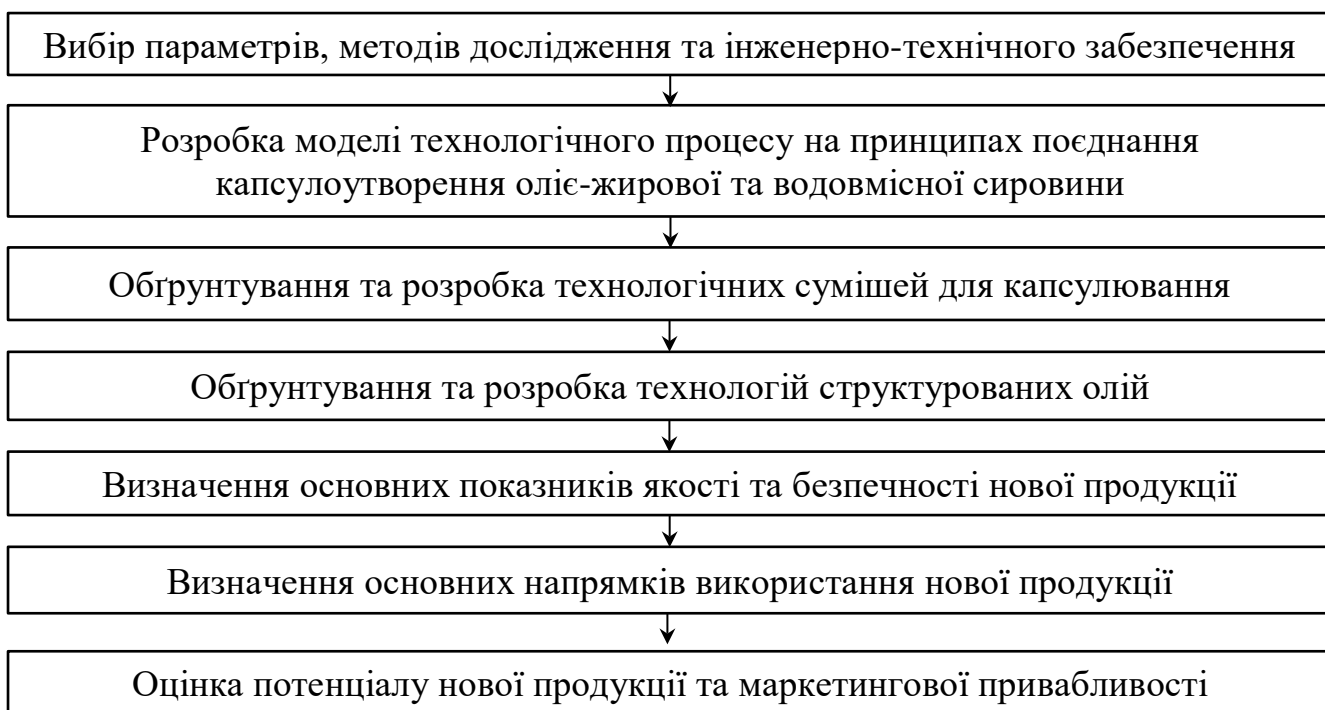


Рис. 5.11. Схема організації дослідження технології оливки структурованої

### 5.3.2. Розробка моделі технологічного процесу формування оливки структурованої з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої

Розробка моделі технологічного процесу одержання оливки структурованої базується на поєднанні двох паралельних процесів капсулоутворення, а саме:

- капсулоутворення олії оливкової (або технологічних сумішей, екстрактів на її основі) шляхом екструзійного формування системи «олія – розчин AlgNa» коаксіальною екструзією за принципом «труба в трубі» у капсулу в квазістабільному стані з наступною її обробкою в розчині зшиваючої солі (розділ 3...). На цій стадії одержується олія оливкова капсульована, яка є складовою та напівфабрикатом технологічної суміші в технології оливки структурованої;

- капсулювання технологічної суміші, до складу якої входять напівфабрикат олії оливкової капсульованої, рецептурні компоненти, у тому числі пюре оливки, розсіл оливки, термотропні полісахариди, водорозчинна сіль кальцію у середовище AlgNa з одержанням напівфабрикату оливки структурованої;

- додаткові операції, спрямовані на одержання готової продукції з показниками якості, визначеними інноваційним задумом нового продукту.

Сутність моделі процесу одержання оливки структурованої наведено на рис. 5.12. Складність моделі технологічного процесу одержання оливки структурованої пояснюється та обґрунтовується декількома можливими збурюючими факторами, що впливають на якість продукції в технологічному потоці та під час зберігання:

- необхідність використання олії оливкової капсульованої запобігає її емульгуванню у внутрішньому умісті оливи. Емульгування порушує унікальну структуру продукту, ускладнює дифузію  $\text{Ca}^{2+}$  під час утворення оболонки капсули («шкірки» оливки). Олія у складі емульсії здатна до гравітаційного розширення, результатом чого може бути втрата структури продуктом. Безпосередній контакт олії з кислотами та солями технологічної суміші призводить до її

трансформації під час виконання технологічного процесу та зберігання, що може знизити харчову цінність кінцевої продукції;

– реалізація технології з утворенням продукту за типом «капсула (олія) в капсулі (оливка)» дозволить створити колоїдну систему з унікальною текстурою та надати кожній з цих капсул індивідуального гармонічного смаку. За такого підходу виникає можливість розширення асортименту продукцію за поняттям «смак» та харчовою цінністю.

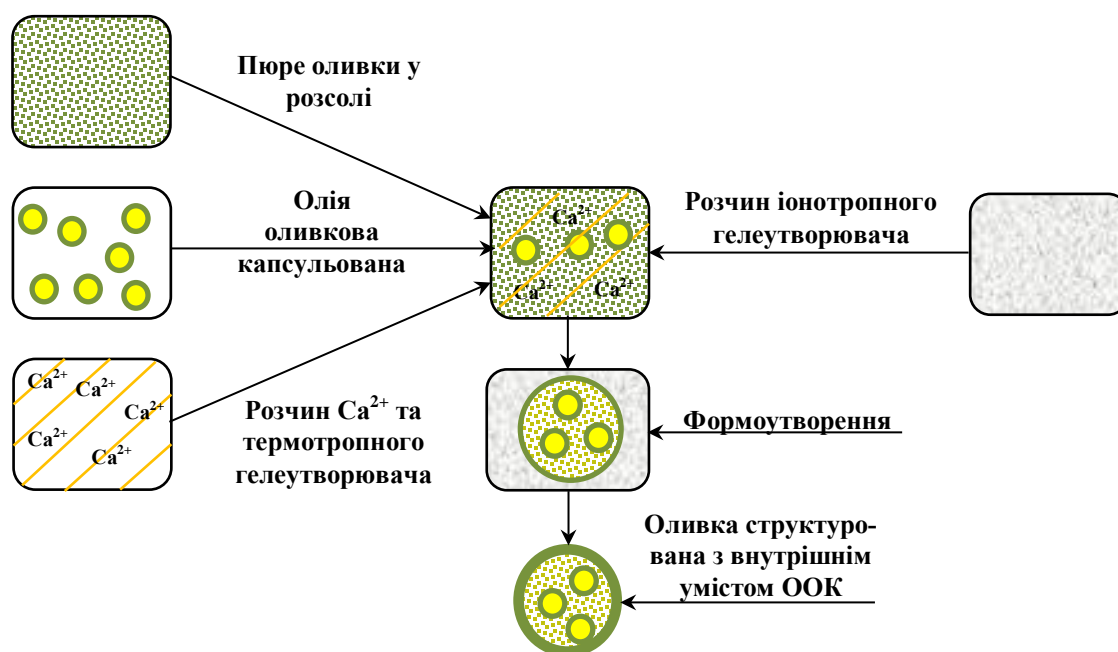


Рис. 5.12. Модель процесу утворення інноваційного продукту «Оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої»

Згідно з інноваційним задумом (табл. 5.6), як результат реалізації технології, передбачається одержання оливки структурованої, яка за текстурної характеристики має, як мінімум, три індивідуальні реологічні структури: поверхнева складова капсули, яка імітує «шкірку» оливки, внутрішній уміст на основі пюре оливки у розсолі та агару, у якому з певною рівномірністю розміщені міні-капсули з внутрішнім умістом олії оливкової. Є очевидним, що це дуже складна структура продукту, але, одночасно, таку текстурну систему необхідно піддавати транспортуванню по продуктопроводах пристрою для одержання доз-крапель з контрольованим розривом струї з ламінарною течією. За цих передумов, техно-

логічна система для екструдування повинна характеризуватися структурно-механічними та реологічними властивостями, що забезпечують ці вимоги.

Основними компонентами рецептурної суміші є пюре оливки, яке одержують шляхом механічного подрібнення ( $N = < 3000 \text{ об.}^{-1}$ ) до одержання гомогенної маси. На рис. 5.13 наведено фотографічне зображення розподілення розмірних частинок пюре оливки за різного вмісту сухих речовин, а у табл. 5.7 представлено результати розподілу фракцій твердих часточок пюре оливок ( $R_{ef.}$ ). Встановлено, що розмірні характеристики укладаються у типоряд згідно з закономірностями, що наведені у табл. 5.7.

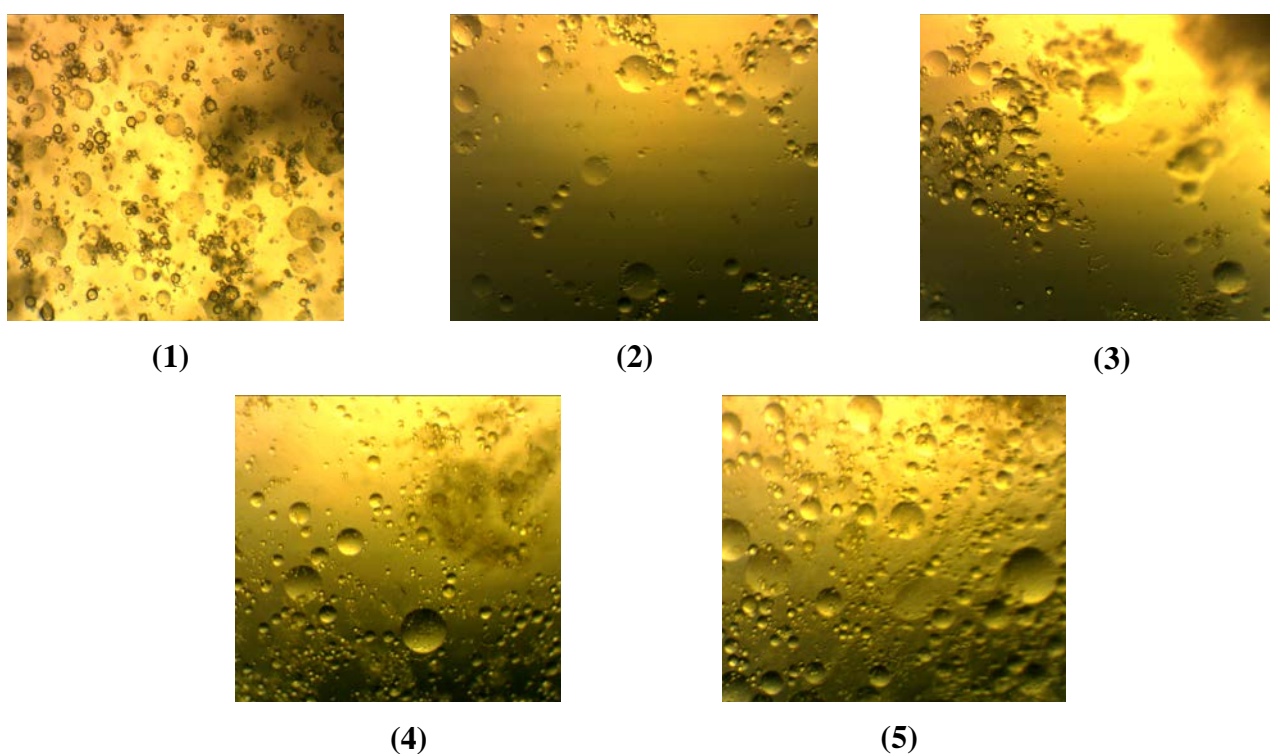


Рис. 5.13. Фотографічне зображення пюре на основі оливки залежно від гідромодулю пюре оливки : розсіл оливки за швидкості обертів  $N = < 3000 \text{ об.}^{-1}$ , температури  $t = 18 \pm 2^\circ\text{C}$ , мас.%/мас.‰: 1 – 100:0; 2 – 95:5; 3 – 85:15; 4 – 75:25; 5 – 50:50

Слідє відмітити, що з технологічної точки зору така дисперсія повністю задовільняє режим екструзії для одержання оливки структурованої: є раціональною для забезпечення текстурних характеристик нового продукту.

Таблиця 5.7

**Фракційний склад пюре на основі оливки залежно від вмісту сухих речовин**

R <sub>эф.</sub> фракції, м	Уміст сухих речовин, %			
	15,0		20,0	
	R <sub>эф.</sub> , м	Вміст, %	R <sub>эф.</sub> , м	Вміст, %
R <sub>эф.</sub> > 40 × 10 <sup>-5</sup>	-	0,2	-	3,5
20 × 10 <sup>-5</sup> < R <sub>эф.</sub> < 40 × 10 <sup>-5</sup>	40 × 10 <sup>-5</sup>	7,1	40 × 10 <sup>-5</sup>	12,8
10 × 10 <sup>-5</sup> < R <sub>эф.</sub> < 20 × 10 <sup>-5</sup>	20 × 10 <sup>-5</sup>	68,9	20 × 10 <sup>-5</sup>	67,3
5 × 10 <sup>-5</sup> < R <sub>эф.</sub> < 10 × 10 <sup>-5</sup>	10 × 10 <sup>-5</sup>	13,8	10 × 10 <sup>-5</sup>	10,8
2,5 × 10 <sup>-5</sup> < R <sub>эф.</sub> < 5 × 10 <sup>-5</sup>	5 × 10 <sup>-5</sup>	7,4	5 × 10 <sup>-5</sup>	5,3
R <sub>эф.</sub> < 2,5 × 10 <sup>-5</sup>	2,5 × 10 <sup>-5</sup>	2,8	2,5 × 10 <sup>-5</sup>	0,3
R <sub>эф. сер.</sub>	21,5	100	27,8	100

Але, одночасно, технологічно слід враховувати, що зі збільшенням ступеня подрібненості, виходячи із формули константи Гамакера-Лондона, сила ван-дервальсової взаємодії між частинками прямо пропорційна кількості частинок, які вступають у взаємодію [296].

Згідно з класифікацією академіка Ребіндера П.А. [333, 334] за видом взаємодії частинок дисперсійних систем, пюре на основі оливки відноситься до коагуляційних систем. Згідно ж класифікації Ніколаєва Б.О. [335], в основу якої покладена ознака поведінки технологічних систем під дією зовнішніх сил, пюре оливки відноситься до твердо-рідких структур, для яких поведінка у технологічному потоці визначається співвідношенням твердої та рідкої фаз. Збільшення частки твердої фази (наприклад сухих речовин) призводить до явища «setting» («схоплювання»), результатом чого є наростання пружних властивостей у пасоподібних системах під час зберігання.

Структурно-механічні властивості пюре на основі оливки оцінювали в режимі зсуву за постійно прикладеної напруги зсуву. На рис. 5.14 наведено динаміку піддатливості пюре на основі оливки, тобто зміни деформації у часі з напруги 30,0 Н/м<sup>2</sup>. Видно, що в інтервалі сухих речовин 16,3...25,1 % спостерігається незворотна деформація течії, яка характеризується лінійними ділянками піддатливості та в'язкістю  $\eta = 10^2 \dots 10^3$  Па×с. Характер кривих не змінюється за

контрольованого зниження прикладеної напруги. Характерним є наявність ділянок максимальної напруги зсуву, що характерно для пружно-пластичних тіл, а з точки зору класифікації Ніколаєва Б.О. – для твердо-рідких тіл. При цьому, самочинної течії систем не відбувається. Зростання куту нахилу лінійних ділянок кривих деформації за зниження вмісту сухих речовин свідчить про падіння частки зворотної деформації у загальній, тобто зростає пластичність (табл. 5.8).

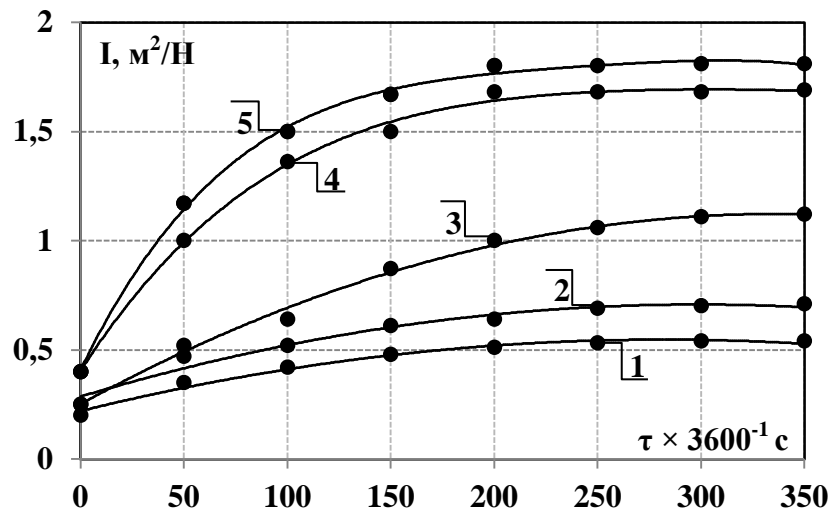


Рис. 5.14. Динаміка піддатливості поре на основі оливки у режимі пласто-паралельного зсуву ( $\tau = 30,0 \text{ Н/м}^2$ ;  $t = 18 \pm 2^\circ\text{C}$ ) за вмісту сухих речовин, %: 1, 2, 3, 4, 5 – 25,1; 23,0; 18,7; 16,9; 16,3 відповідно

Таблиця 5.8

#### Розділення зворотної та незворотної деформації у процесі повзучості поре

Концентрація сухих речовин	Загальна деформація (піддатливість $\text{м}^2/\text{Н}$ )	Зворотна деформація (піддатливість), $\text{м}^2/\text{М}$	Незворотна деформація (піддатливість), $\text{м}^2/\text{Ж}$	Відношення зворотної до загальної
16,3	$2,19 \pm 0,05$	$1,15 \pm 0,05$	$1,04 \pm 0,02$	0,526
18,7	$1,25 \pm 0,05$	$0,73 \pm 0,03$	$0,52 \pm 0,02$	0,584
23,0	$0,78 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,01$	0,706
25,1	$0,58 \pm 0,02$	$0,45 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,01$	0,776

Це значить, що за певного контрольованого розведення технологічної системи вона буде здатна до самочинного плину, а значить – і до розпаду на краплі, що важливо для реалізації інноваційного задуму.

Аналітичним є зрозумілим, що з розбавленням системи в 1,54 разів (25,1/16,3) пластичність системи зростає в 1,48 разів. Але й за цих умов поре на основі оливки характеризується високим значенням граничної напруги зсуву, не розтікається по поверхні, зберігає форму, що свідчить про виражену взаємодію частинок поре у системі.

Виходячи з рівняння Гамакера-Лондона єдиною можливим технологічним підходом є заміна взаємодії твердих частинок поре на основі оливки між собою на взаємодію «тверда частинка – рідина дисперсійного середовища». При цьому, сама рідина може мати підвищену (відносно води) в'язкість, але не більшу за критичну, яка забезпечує монодисперсний контрольований розпад рідини. Згідно [336] для забезпечення кулеутворення з коефіцієнтом форми  $K = 1$ , в'язкість технологічної системи повинна бути в інтервалі  $0,1 < \eta < 0,35 \text{ Па} \times \text{с}$ . Є очевидним, що для досягнення таких значень в'язкості необхідне розведення технологічного рідинного поре на основі оливки до стану самочинної та примусової течії, із забезпеченням розпаду на краплі з  $K_{\phi} = 1$  (рис. 5.15).

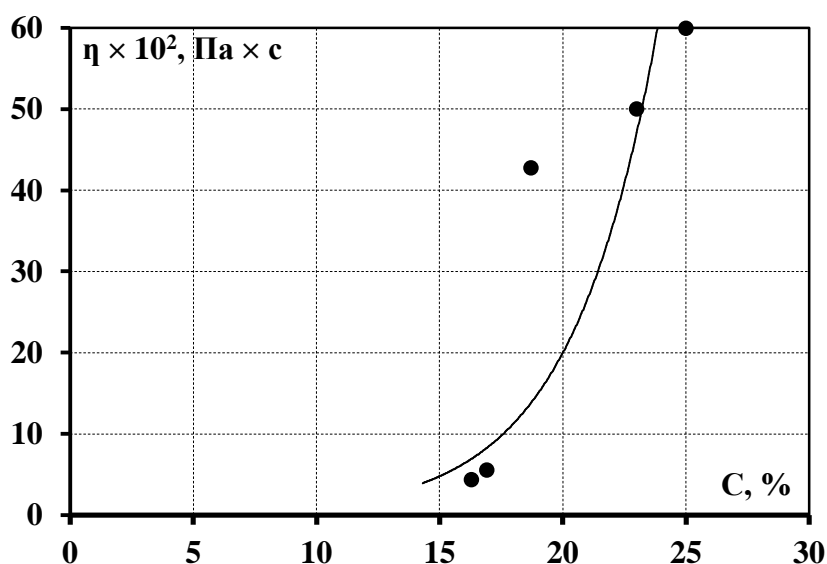


Рис. 5.15. Залежність в'язкості поре на основі оливок від концентрації сухих речовин

За вмісту сухих речовин менше 16,0 % спостерігається самочинне розширення поре на рідку та тверду фазу.



У науково-технічній літературі наведено достатньо інформації про формування структурно-механічних показників водних розчинів, у тому числі в'язкості для рідких полісахаридів. Нами перевірено використання у якості загусників дослідних систем ксантану (ксантанової камеді), крохмалю модифікованого, метилцелюлози, камеді гуару за температури  $t = 20 \pm 1^\circ\text{C}$  (рис. 5.16).

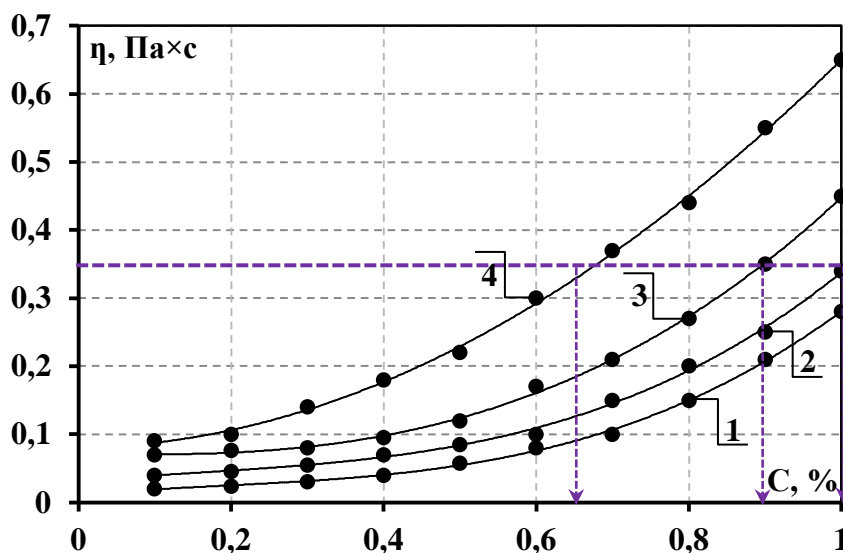


Рис. 5.16. Ефективна в'язкість водних розчинів полісахаридів ( $j = 100^{-1}\text{c}$ ;  $t = 20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) залежно від виду та концентрації, %: 1 – камідь ксантану; 2 – крохмаль модифікований; 3 – метилцелюлоза; 4 – камідь гуару

Аналіз графічних даних свідчить, що ліотропний ряд загусників за верхньою межею концентрацій під час виготовлення оливки структурованої має наступний вигляд: камідь ксантану ( $C = 0,65\%$ )  $\rightarrow$  крохмаль модифікований ( $C \approx 0,9\%$ )  $\rightarrow$  метилцелюлоза ( $C \approx 1,0\%$ )  $\rightarrow$  камідь гуару ( $> 1,0\%$ ). Вибір загусника повинен виконуватися за додатковими вимогами.

У якості загусника нами обрано крохмаль модифікований за концентрації  $C = 0,5\%$ , тому що цей параметр входить в інтервал в'язкості  $\eta = (0,10 \dots 0,35)$  Па·с, із врахуванням того, що під час наповнення водними розчинами цього загусника поре на основі оливки в'язкість системи буде зростати.

На рис. 5.17 наведено експериментальні дослідження залежності ефективної в'язкості загусника під час введення у нього різних масових часток поре на

основі оливки. Такий підхід обрано з метою запобігання седиментації пюре у різних середовищах.

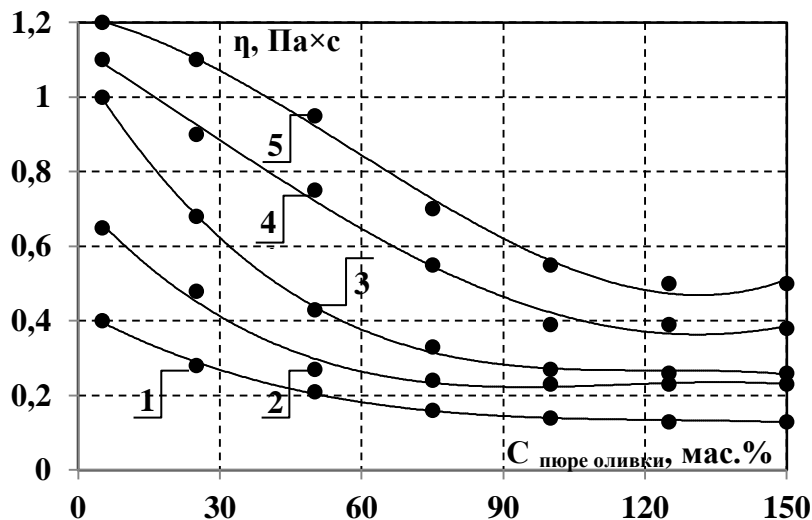


Рис. 5.17. Залежність ефективної в'язкості суміші «водний розчин крохмалю – пюре на основі оливки» за концентрації крохмалю  $C = 0,5\%$  від концентрації пюре на основі оливки, мас. %: 1 – контроль; 2 – 7,0; 3 – 14,0; 4 – 21,0; 5 – 28,0 відповідно

Встановлено, що додавання до водного середовища згущувача пюре на основі оливки приводить до монотонного зростання в'язкості технологічної суміші. Аналіз даних рис. 5.18 свідчить, що на робочу концентрацію пюре на основі оливки у рецептурній суміші оливки структурованої за значення критичної в'язкості  $\eta = 0,35 \text{ Па}\cdot\text{с}$  приймається масова частка 23,0...25,0 мас.%, яку фіксуємо як параметр технологічного процесу. Додавання ж до рецептурної суміші олії оливкової капсульованої та порошкоподібного агару ( $C_{\text{агару}} = 0,8\%$ ), який під час пастеризації виконує роль додаткового згущувача, та  $\text{CaCl}_2$  не впливають на текучість технологічної суміші. Тому, масову частку олії оливкової капсульованої обирають за органолептичними ознаками, а також із врахуванням формування харчової цінності готового продукту.

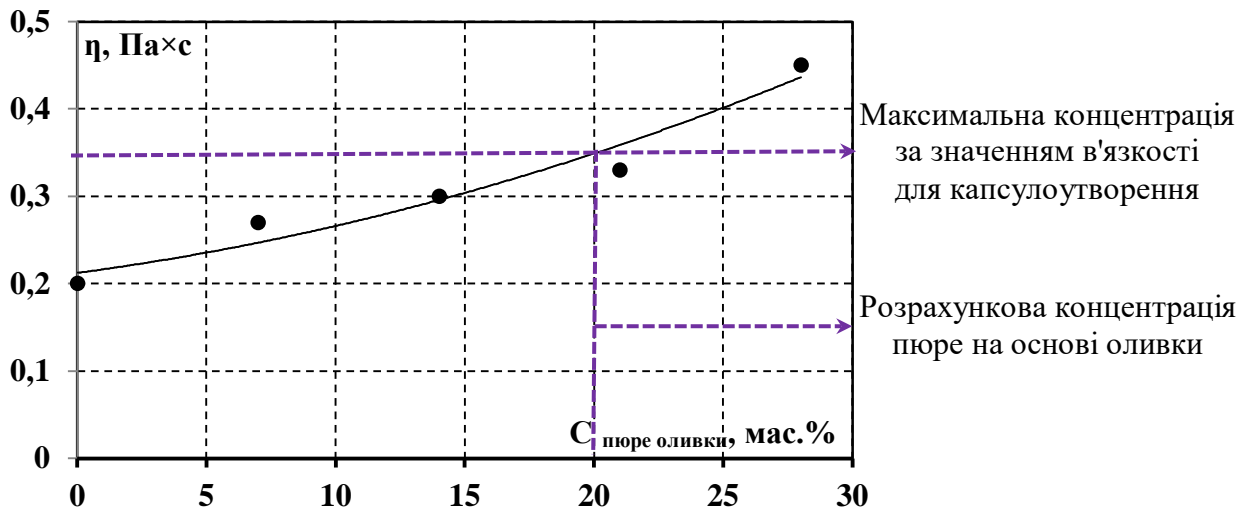


Рис. 5.18. В'язкість технологічної суміші ( $j = 100^{-1}\text{с}$ ) «рідке середовище – пюре на основі оливки» від концентрації пюре оливки

На рис. 5.19 наведено динаміку розшарування (мутності) модельної системи «пюре на основі оливки – рідке середовище» за умов використання різних за густиною рідких середовищ.

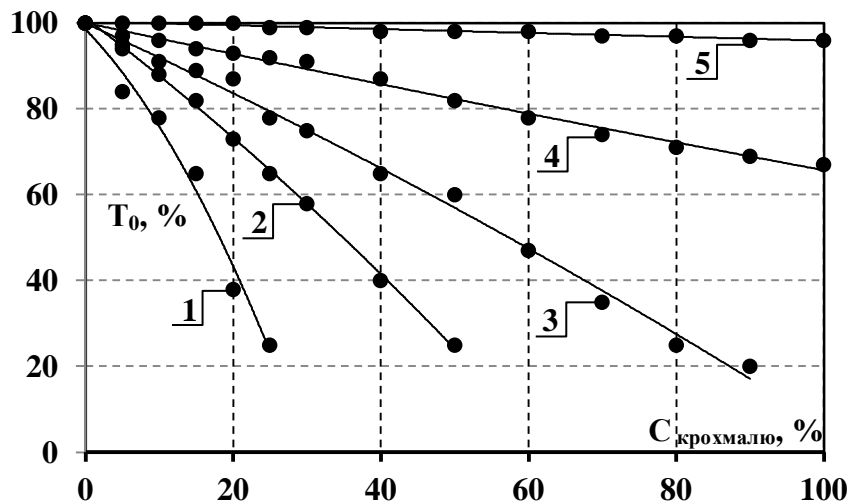


Рис. 5.19. Мутність модельних сумішей «рідке середовище – пюре на основі оливки» залежно від концентрації крохмалю модифікованого, %: 1 – 0; 2 – 0,2; 3 – 0,3; 4 – 0,4; 5 – 0,5 відповідно

Видно, що за концентрації крохмалю  $C = 0,5\%$  система характеризується гравітаційною стабільністю у дослідних проміжках часу, який відповідає умовам організації технологічного циклу.

На підставі проведених аналітичних та експериментальних досліджень в рамках дисертаційного дослідження (розділ 4) нами обґрунтовано та розроблено технологію виробництва оливки структурованої. Головною особливістю технологічного процесу виробництва даної продукції полягає у забезпеченні необхідної в'язкості сумішей для забезпечення процесу співвісної екструзії у середовищі повітря та одночасного структурування харчових систем (рис. 5.20).

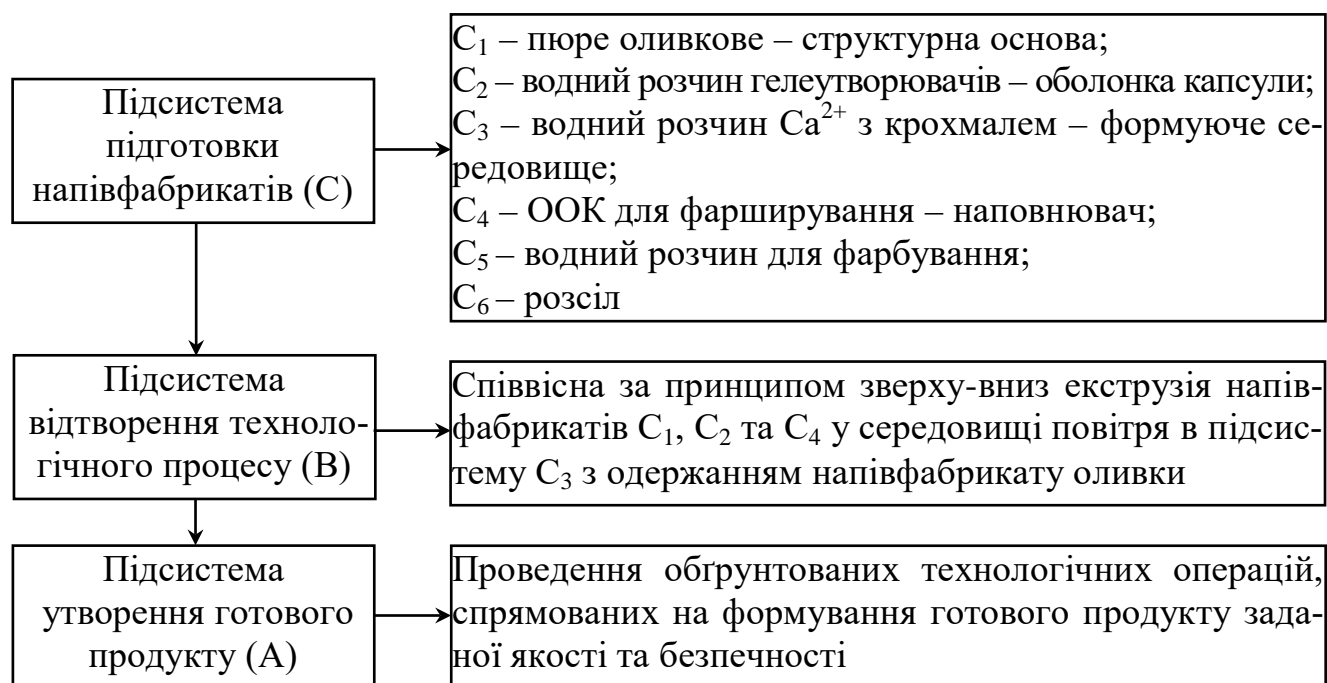


Рис. 5.20. Структурна модель технологічного процесу виробництва оливки структурованої

В межах функціонування підсистеми  $C_1$  «Утворення напівфабрикату «Пюре оливкове» (структурна основа) оливку консервовану подрібнюють до однорідної маси до розміру часток  $d = (0,5 \dots 1,0) \times 10^{-3}$  м.

Підсистема  $C_2$  «Утворення напівфабрикату «Водний розчин гелеутворювачів» (оболонка капсули) передбачає підготовку агару та AlgNa. AlgNa розчиняють у воді питній підготовленій за температури  $t = 80 \dots 85^\circ C$  та витримують

протягом  $\tau = (1 \dots 1,5) \times 60^2$  с. В свою чергу, агар диспергують у воді питній підготовленій за температури  $t = 80 \dots 85^\circ\text{C}$  з подальшим нагріванням до температури  $t = 98 \dots 100^\circ\text{C}$  та витримуванням протягом  $\tau = (2,0 \dots 2,5) \times 60^2$  с для повного розчинення сухих речовин та набуття стаціонарних властивостей. Обидва розчини нагрівають до температури  $t = 65 \dots 65^\circ\text{C}$  та перемішують до набуття однорідної консистенції протягом  $\tau = (3 \dots 7) \times 60$  с.

Функціонування підсистеми  $C_3$  «Утворення напівфабрикату «Водний розчин  $\text{Ca}^{2+}$  такрохмаль» спрямоване на одержання формуючого середовища. Для цього  $\text{CaCl}_2$  та крохмаль модифікований просівають та розчиняють у воді питній підготовленій шляхом диспергування за температури  $t = 18 \dots 20^\circ\text{C}$  та витримуванням протягом  $\tau = (1 \dots 1,5) \times 60^2$  с для повного розчинення. Одержаний розчин проціджують.

Технологічні операції, які задекларовано в межах підготовки підсистеми  $C_4$  «Утворення напівфабрикату «Олія оливкова капсульована» для фарширування», наведено у підрозділі 4.1.

Мета функціонування підсистеми  $C_5$  «Утворення напівфабрикату «Водний розчин для фарбування» спрямована на відтворення у структурованих оливках чорного кольору, що притаманний маслинам. Для цього напівфабрикат оливки структурованої спочатку витримують у чайному розчині ( $C = 10,0 \%$ ) за температури  $t = 4 \dots 8^\circ\text{C}$ , протягом  $\tau = (10 \dots 15) \times 60$  с, а потім – у дигідроскид хлориді заліза (III) протягом  $\tau = (1,0 \dots 1,5) \times 60$  с.

Підсистема  $C_6$  «Утворення напівфабрикату «Розсіл» передбачає утворення водного розчину солі кухонної ( $C_{\text{солі кухонної}} = 12,0 \%$ ), який перемішують з оцтом столовим харчовим  $9,0 \%$  ( $C_{\text{оцту}} = 24,0 \%$ ). Готовий розчин проціджують.

В межах функціонування підсистеми В «Одержання напівфабрикату оливки структурованої» технологічні операції здійснюються у наступній послідовності: напівфабрикат «Пюре оливкове» нагрівають до температури  $t = 60 \dots 65^\circ\text{C}$  та перемішують з напівфабрикатами «Водний розчин гелеутворювачів» та «Олія оливкова капсульована» з наступним екструдуванням суміші крапельним шляхом у формуюче середовище (напівфабрикат «Водний розчин

Ca<sup>2+</sup> такрохмаль») з одночасним утворенням кулястих форм. Сформовані капсули витримують у формуючому середовищі протягом  $\tau = (1,5 \dots 2,0) \times 60$  с. Напівфабрикат «Оливка структурована» поміщають у водний розчин Ca<sup>2+</sup> та витримують протягом  $\tau = (4,5 \dots 5,0) \times 60^2$  с до завершення процесу зовнішнього гелеутворення, після чого піддаються фарбуванню – спочатку у чайному (дубильному) розчині, а потім у FeCl<sub>3</sub> × 6H<sub>2</sub>O до моменту забезпечення заданого кольору та відтінку. Занурення оливок структурованих у напівфабрикат «Розсіл» необхідне для надання продукції заданого смаку та аромату. Для цього їх промивають після фарбування та поміщають у розсіл за температури  $t = 2 \dots 6^\circ\text{C}$ , протягом  $\tau = (11 \dots 12) \times 60^2$  с.

В рамках підсистеми А «Утворення готового продукту» здійснюються операції спрямовані на одержання кінцевого продукту, а саме фасування у споживчу тару з наступною пастеризацією за температури  $t = 80 \dots 85^\circ\text{C}$  протягом  $\tau = (30 \dots 35) \times 60$  с, охолодженням до температури  $t = 2 \dots 6^\circ\text{C}$ , маркуванням та укладанням у вторинну упаковку для наступного транспортування та реалізації.

На рис. 5.21 та у табл. 5.9 наведено технологічну схему виробництва та рецептурний склад оливки структурованої за співвідношення олія оливкова капсульована : структурна основа як 20 : 80.

Таблиця 5.9

### Рецептурний склад одержання готового продукту

#### «Оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої»

Найменування сировини	Витрати на 1000 кг, кг	
	брутто	нетто
1	2	3
Оливка зелена столова без кісточки	220,00	200,00
<b>Вихід н/ф «Пюре оливкове»</b>	<b>220,00</b>	<b>200,00</b>
Альгінат натрію (AlgNa)	20,10	20,00
Агар вищого сорту	8,10	8,00
В-каротин натуральний	0,21	0,21
Вода питна підготовлена	600,0	600,0
<b>Вихід н/ф «Водний розчин гелеутворювачів з β-каротином»</b>	<b>628,41</b>	<b>628,21</b>

Продовження таблиці 5.9

1	2	3
Хлорид кальцію ( $\text{CaCl}_2$ )	1,00	1,00
Вода питна підготовлена	202,00	202,00
Крохмаль модифікований (Hiflo)	1,25	1,24
Консервант (бензоат натрію)	0,10	0,10
<b>Вихід н/ф «Водний розчин <math>\text{CaCl}_2</math> з крохмалем» (формує середовище)</b>	<b>204,35</b>	<b>204,34</b>
Дигідроскид хлориду заліза (III) ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	5,05	5,00
Чайник порошок	10,10	10,00
Вода питна підготовлена	202,00	202,00
<b>Вихід н/ф «Водний розчин для фарбування»</b>	<b>217,15</b>	<b>217,00</b>
Олія оливкова капсульована (ООК)	215,00	200,00
<b>Вихід н/ф «ООК для фарширування»</b>	<b>215,00</b>	<b>200,00</b>
Оцет столовий харчовий 9,0 %	24,00	24,00
Сіль кухонна	12,09	12,00
Вода питна підготовлена	300,00	300,00
<b>Вихід н/ф «Розсіл»</b>	<b>336,09</b>	<b>336,00</b>
Усього:	1821,00	1785,55
<b>Вихід готового продукту:</b>	-	<b>1000,00</b>

Реалізація в межах нової технології інновацій, які визначено в підрозділі 3.1 (контрольоване гелеутворення систем на основі AlgNa та інших полісахаридів, комплексна переробка цінної харчової сировини, індустриальне виробництво продукції, формування заданих технологічних властивостей та ін.) й спрямовано на отримання конкурентоспроможної продукції, потребує ретельного дослідження її показників якості (органолептичних, фізико-хімічних, харчової цінності) та безпечності (мікробіологічних, токсикологічних тощо).

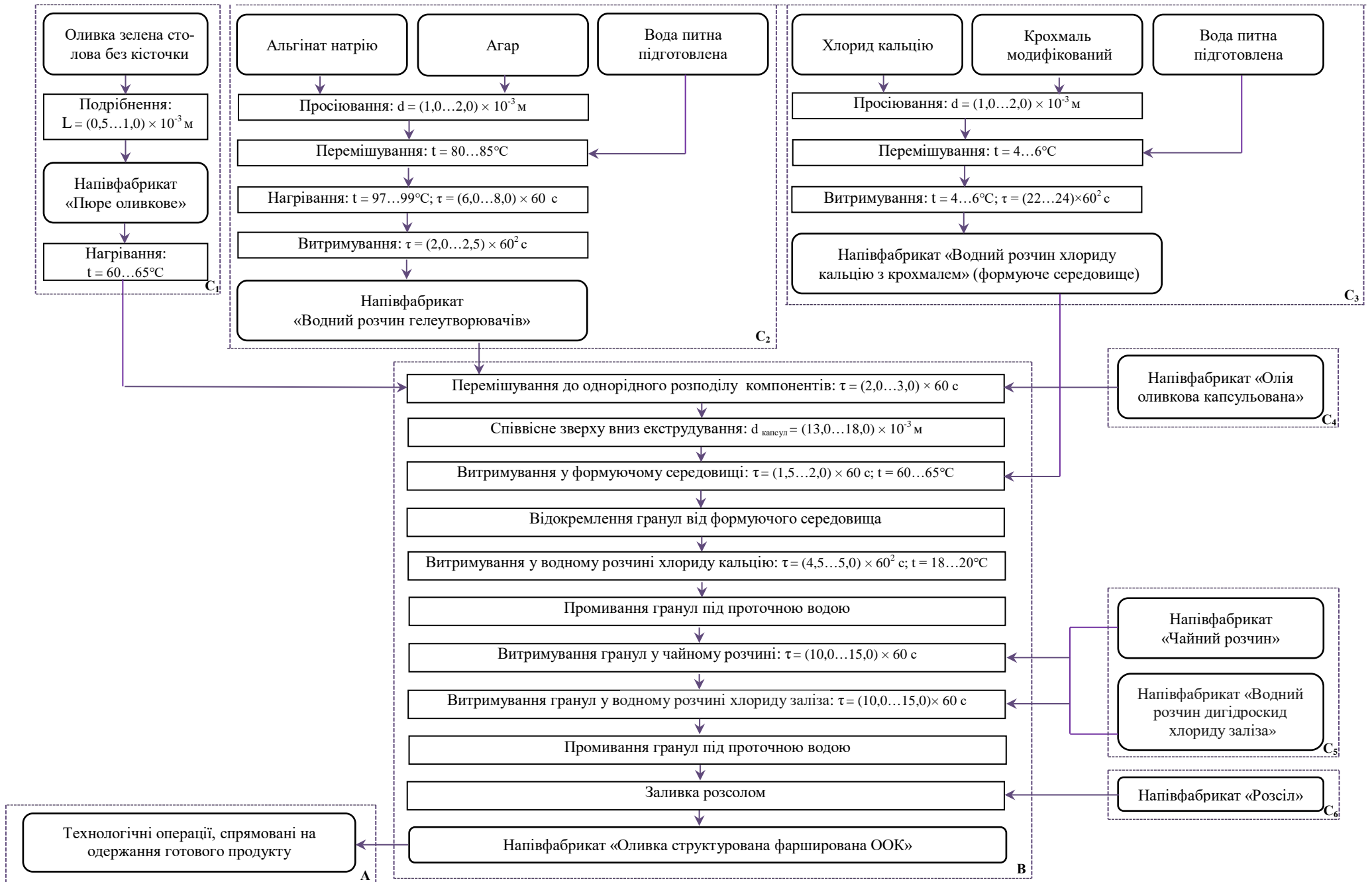


Рис. 5.21. Технологічна схема виробництва оливки структурованої



Зовнішній вигляд та органолептичні показники оливки структурованої наведено на рис. 5.22 та у табл. 5.10.



(a)

(б)

Рис. 5.22. Зовнішній вигляд оливки структурованої: а – оливка зелена столова; б – маслина чорна

**Результати органолептичної оцінки оливки структурованої**

Найменування показника	№ дескриптора	Коефіцієнт вагомості дескриптора	Характеристика	Оцінка в балах	
				0 діб зберігання	180 діб зберігання
1	2	3	4	5	6
Зовнішній вигляд	1	0,2	Відповідність формі, наданій під час структурування (продовгувата, кулеподібна, овальна)	5,0	5,0
	2	0,4	Цілісність структури, відсутність пор та розривів	4,9	4,9
	3	0,1	Рівномірність розподілу ООК	4,7	4,7
	4	0,1	Відсутність сторонніх плям на поверхні	4,9	4,9
	5	0,2	Рівномірність розмірних характеристик	4,5	4,5
Сумарна оцінка				4,82	4,82
Коефіцієнт вагомості показника				0,2	0,2
Підсумкова оцінка за показником				0,964	0,964
Текстура	1	0,3	Пружність	5,0	4,9
	2	0,3	Відсутність пастоподібності	4,8	4,9
	3	0,2	Однорідність	4,9	4,9
	4	0,1	Відсутність ламкості	4,7	4,7
	5	0,1	Соковитість	5,0	4,9
Сумарна оцінка				4,89	4,86
Коефіцієнт вагомості показника				0,3	0,3
Підсумкова оцінка за показником				1,467	1,458
Колір	1	0,2	Однорідність забарвлення	4,9	4,9
	2	0,4	Натуральність кольору	4,9	4,9
	3	0,2	Різне забарвлення структурної основи та ООК	4,9	4,9
	4	0,1	Інтенсивність забарвлення	4,8	4,8
	5	0,1	Насиченість забарвлення	4,8	4,8
Сумарна оцінка				4,88	4,88
Коефіцієнт вагомості показника				0,1	0,1
Підсумкова оцінка за показником				0,488	0,488
Запах	1	0,3	Чистий, без сторонніх	4,9	4,9
	2	0,2	Натуральний	5,0	5,0
	3	0,2	Збалансований	4,8	4,8

Продовження таблиці 5.10

1	2	3	4	5	6
	4	0,2	Виразність оливкового аромату	4,8	4,7
	5	0,1	Швидкість вивільнення	4,7	4,6
Сумарна оцінка				4,86	4,80
Коефіцієнт вагомості показника				0,1	0,1
Підсумкова оцінка за показником				0,486	0,480
Смак	1	0,2	Чистий, без сторонніх, без гіркої присмаку	5,0	5,0
	2	0,3	Натуральний	4,8	4,8
	3	0,2	Збалансований	4,9	4,9
	4	0,2	Виразний	4,8	4,7
	5	0,1	Швидкість вивільнення	4,7	4,6
Сумарна оцінка				4,85	4,8
Коефіцієнт вагомості показника				0,3	0,3
Підсумкова оцінка за показником				1,455	1,440
Взагалі				4,86	4,83

Аналізуючи дані табл. 5.10, слід зазначити, що оливка структурована відповідають вимогам інноваційного задуму нового продукту: мають продовговату, кулеподібну, овальну форму (оцінка 5 балів), характеризуються цілісністю структури (4,9 бали), без пор та розривів, сторонні плями на поверхні відсутні (оцінка 4,9 та 4,9 бали відповідно). Відзначено рівномірність розподілу однакової за розміром ООК усередині оливки (оцінка 4,9 та 4,7 балів відповідно). За текстурою ОС характеризується пружністю та відсутністю пастоподібності (оцінка 5,0 та 4,8 балів відповідно), соковитістю та відсутністю ламкості (оцінка 4,7 та 5,0 балів відповідно). Колір, запах та смак оливки структурованої оцінені як натуральні (оцінка 4,9; 5,0 та 4,8 балів відповідно), чисті, без сторонніх запаху та смаку (оцінка 4,9 та 5,0 балів відповідно). Збалансованість і виразність смаку (оцінка 4,9 та 4,8 балів відповідно) відповідає характеристикам натуральної оливки зеленої консервованої. Враховуючи коефіцієнти вагомості окремих дескрипторів та органолептичних показників, сумарна оцінка нового продукту склала 4,86 бали.

З метою визначення харчової цінності досліджено загальний хімічний склад (табл. 5.11), мінеральний склад зольного залишку (табл. 5.12) та вітамінний склад (табл. 5.13) оливки структурованої та їх зміни під час зберігання.

Таблиця 5.11

### Загальний хімічний склад оливки структурованої

Найменування показника	Термін зберігання, діб			
	0	30	90	180
Масова частка сухих речовин, %	26,3±0,3	26,4±0,4	26,7±0,3	26,8±0,4
Масова частка білку, %	1,1±0,01	1,1±0,01	1,1±0,01	1,1±0,01
Масова частка жиру, %	18,7±0,3	18,7±0,3	18,7±0,3	18,7±0,3
Масова частка вуглеводів, %	5,0±0,03	5,0±0,03	5,1±0,03	5,2±0,03
Харчові волокна, %	0,66±0,01	0,68±0,01	0,71±0,01	0,72±0,01
Масова частка золи, %	0,86±0,01	0,88±0,01	0,91±0,01	0,94±0,01
Калорійність (ккал)	192,3	192,3	193,1	193,5

Методом газорідинної хроматографії визначено жирнокислотний склад ліпідів оливки структурованої, який представлено насиченими і ненасиченими жирними кислотами.

Таблиця 5.14

### Жирнокислотний склад ліпідів оливки структурованої

Найменування жирної кислоти	Індекс кислоти	ОСК протягом зберігання, діб			
		0	30	90	180
Пальмітинова	C <sub>16:0</sub>	3,40±0,1	3,48±0,1	3,56±0,1	3,70±0,1
Стеаринова	C <sub>18:0</sub>	1,47±0,1	1,47±0,1	1,48±0,1	1,49±0,1
Арахінова	C <sub>20:0</sub>	1,14±0,1	1,17±0,1	1,20±0,1	1,24±0,1
Лігноцерінова	C <sub>24:0</sub>	1,12±0,1	1,13±0,1	1,15±0,1	1,16±0,1
<b>Всього насичених жирних кислот:</b>		<b>7,13±0,3</b>	<b>7,25±0,3</b>	<b>7,39±0,3</b>	<b>7,59±0,3</b>
Пальмітолеїнова	C <sub>16:1</sub>	1,26±0,1	1,23±0,1	1,20±0,1	1,17±0,1
Олеїнова	C <sub>18:1</sub>	85,44±3,0	85,25±3,0	85,01±3,0	84,72±2,0
Гадолеїнова	C <sub>20:5</sub>	0,90±0,02	0,88±0,1	0,84±0,1	0,80±0,02
<b>Всього мононенасичених жирних кислот:</b>		<b>87,60±3,0</b>	<b>87,36±3,0</b>	<b>87,05±3,0</b>	<b>86,69±3,0</b>
Лінолева	C <sub>18:2</sub>	3,16±0,4	3,28±0,5	3,45±0,5	3,59±0,5
Ліноленова	C <sub>18:3</sub>	1,02±0,01	1,02±0,01	1,02±0,01	1,03±0,01
Ейкозатрієнова	C <sub>20:3</sub>	1,09±0,01	1,09±0,01	1,09±0,01	1,1±0,01
<b>Всього поліненасичених жирних кислот:</b>		<b>5,27±0,1</b>	<b>5,39±0,1</b>	<b>5,56±0,1</b>	<b>5,72±0,1</b>
<b>Всього жирних кислот:</b>		<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Загальний вміст насичених жирних кислот складає 7,13 %, домінуючими серед них є пальмітинова кислота, масова частка якої складає 47,68 % від загального вмісту насичених жирних кислот. Як видно з табл. 5.12, вміст мононенасичених жирних кислот складає 87,60 %, в цій групі домінує олеїнова кислота (85,44 %); вміст поліненасичених жирних кислот складає 5,27 %, серед яких домінуючою є лінолева кислота (3,16 %) відповідно.

Слід зазначити, що олія оливкова є джерелом жирних кислот, які відносяться до класів омега-3 ( $\omega$ -3 – 1,93 %) та омега-6 кислот ( $\omega$ -6 – 0,24 %), які мають важливе фізіологічне значення для організму людини в аспекті регулювання захисних функцій організму, профілактиці атеросклерозу, попередженню розвитку захворювань серця, опорно-рухового апарату, центральної нервової системи та ін. Нова продукція не містить транс-ізомерів жирних кислот.

Таблиця 5.13

### Мінеральний та вітамінний склад оливки структурованої

Найменування показника	Термін зберігання, днів			
	0	30	90	180
<b>Мінеральний склад, мг%</b>				
Калій (K)	8,4±0,2	8,38±0,2	8,34±0,2	8,30±0,2
Кальцій (Ca)	10,4±1,0	10,3±1,0	10,2±1,0	10,0±1,0
Магній (Mn)	2,2±0,2	2,2±0,2	2,2±0,2	2,2±0,2
Натрій (Na)	406,2±2,5	406,4±2,5	406,7±2,5	407,0±2,5
Фосфор (P)	1,12±0,2	1,12±0,2	1,12±0,2	1,12±0,2
Залізо (Fe)	0,86±0,06	0,86±0,06	0,86±0,06	0,86±0,06
<b>Вітамінний склад, мг</b>				
Вітамін B <sub>4</sub> (холін)	2,84±0,2	2,84±0,2	2,85±0,2	2,86±0,2
Вітамін B <sub>9</sub> (фолієва кислота)	0,60±0,02	0,61±0,02	0,63±0,02	0,65±0,02
Вітамін E (токоферол)	2,69±0,2	2,69±0,2	2,70±0,2	2,71±0,2
Вітамін K (філлохінон)	0,29±0,01	0,28±0,01	0,28±0,01	0,27±0,01

Встановлено, що розроблена продукція являється джерелом калію (8,4 мг%), кальцію (10,4 мг%) та натрію (406,2 мг%), жиророзчинних вітамінів групи B (до 4,0 мг), E – 2,69 мг та K – 0,29 мг відповідно.

Протягом зберігання оливки структурованої вміст сухих речовин дещо збільшується (до 2,0 %) за рахунок виділення незначної кількості вологи струк-

турованою системою. Спостерігаються зміни титруємої кислотності, яка збільшується у 1,16 рази, що, вірогідно, пов'язано з руйнуванням частини органічних кислот, які містяться у продукті (табл. 5.14).

Таблиця 5.14

### Фізико-хімічні показники оливки структурованої

Найменування показника	Термін зберігання, днів			
	0	30	90	180
Масова частка сухих речовин, %	26,3±0,3	26,4±0,4	26,7±0,3	26,8±0,4
Масова частка хлориду натрію, %	1,20±0,01	1,22±0,01	1,24±0,01	1,26±0,01
Титруєма кислотність (у перерахунку на оцтову кислоту), %	0,25	0,26	0,28	0,29
Мінеральні домішки, %	не виявлено			
Сторонні домішки, %	не виявлено			

Результати дослідження токсикологічних показників та вмісту радіонуклідів нової продукції наведено у табл. 5.15 та 5.16.

Таблиця 5.15

### Результати токсикологічних досліджень оливки структурованої

Найменування показника	Допустимі рівні, мг/кг, не більше	Фактичний вміст в олівці, мг/кг
Токсичні елементи:		
– свинець	0,5	0,25
– миш'як	0,5	0,15
– кадмій	0,05	0,02
– ртуть	0,05	0,01
– мідь	1,0	0,5
– залізо	5,00	2,00
– цинк	5,00	1,00
Мікотоксини:		
– афлатоксин В <sub>1</sub>	0,005	0,002

Таблиця 5.16

### Результати дослідження вмісту радіонуклідів оливки структурованої

Найменування показника	Допустимі рівні, Бк/кг	Фактичний вміст, Бк/кг
<sup>137</sup> Cs	40	10
<sup>90</sup> Sr	20	4

Оскільки оливка структурована за умов використання консервуючих середовищ є продуктом тривалого зберігання, необхідним є контроль його мікробіологічних показників (табл. 5.17). Встановлено повна відсутність бактерій групи кишкової палички, пліснявих грибів та патогенних мікроорганізмів, кількість аеробних та факультативно- анаеробних мікроорганізмів та дріжджів значно нижче показників допустимого вмісту.

Таблиця 5.17

**Результати дослідження мікробіологічних показників  
оливки структурованої**

Найменування показника	Допустимі рівні, не більше	Термін зберігання, діб			
		0	30	90	180
Кількість аеробних та факультативно- анаеробних мікроорганізмів, КУО/г	$1 \times 10^4$	$2 \times 10^2$	$4 \times 10^2$	$1 \times 10^3$	$3 \times 10^3$
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), у 0,1 г	не допуск.	Не виявлено			
<i>S.aureus</i> , у 1 г	не допуск.	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду <i>Salmonella</i> , у 25 г	не допуск.	Не виявлено		не виявлено	
Дріжджі, КУО/г	25	не виявлено		10	10
Плісняві гриби, КУО/г	$1 \times 10^2$	не виявлено			

Таким чином, проведені експериментальні дослідження з обґрунтування та розробки технології оливки структурованої, дослідження показників якості та безпечності нової продукції покладено в основу нормативної документації ТУ 10.8-38128375-005:2018 «Напівфабрикати структуровані на основі оливкової консервованої сировини» (Додаток 3 2) та ТІ до ТУ 10.8-38128375-005:2018 з виробництва кулінарної продукції із використанням напівфабрикатів олієжирових капсульованих (Додаток 3 5).

#### **5.4 Обґрунтування та розробка технологій бісквітних виробів із використанням жирових сумішей капсульованих**

Принципово на виробничих підприємствах за вмістом жирової складової випускають три види бісквітів – бісквіт основний, масляний та буше [337]. Вони суттєво відрізняються як за складом, так і за фізико-хімічними, органолептичними показниками. Один із основних показників якості бісквіту є вміст повітряної фази, який характеризує збитість продукту. Жири є вираженими піногасниками під час збивання, тому для забезпечення контролюємого процесу збивання тістової маси для бісквіту основного не допускають її контакту з жирами [338].

За таких передумов використання напівфабрикатів ЛХСК за умови їх механічної цілісності можуть забезпечити збагачення бісквітного напівфабрикату цінними оліями, або їх сумішшю з жирами за збереження традиційної збитості тіста. За інших умов збереження балансу збагачення жирами і збитості не є можливим без додаткових технологічних заходів.

В межах цієї стадії дослідження нами висунуто робочу гіпотезу, що використання в технологічному процесі виробництва основного бісквіту капсульованих ЛХС дозволить за збереження організаційно-технологічних принципів виробництва розробити новий вид (різновидність) бісквіту з високою збитістю та з обґрунтованим вмістом жирів різного складу та органолептичних показників, що дозволить вплинути на його харчову цінність та розширити асортимент продукції.

Розвиток технології виробництва борошняних кондитерських виробів із використанням ЛХСК, з точки зору концептуального рішення, нами розглядався у двох напрямках:

- перший напрямок – капсульована продукція з внутрішнім жировим вмістом, яка введена до рецептури борошняних кондитерських виробів, у складі готових виробів залишається у вигляді капсул;
- другий напрямок – одержання борошняних кондитерських виробів з традиційними показниками якості та хімічним складом, але технологічний про-



цес виробництва яких інтенсифіковано (пришвидшено) за рахунок тимчасового забезпечення інтактності жирової складової.

Виготовлення борошняних кондитерських виробів з внутрішнім умістом ЛХСК дозволяє запропонувати споживчому ринку принципово новий асортимент продукції, якій характерні нові органолептичні показники та збалансований хімічний склад. Модель розвитку технології виробництва бісквітних виробів наведено на рис. 5.23.



Рис. 5.23. Модель розвитку технології виробництва бісквітних виробів із використанням жиру капсульованого

В першу чергу, такий спосіб дозволяє вносити у систему тіста жирову складову з регульованим жирнокислотним складом, збагачену на жиророзчинні вітаміни, ПНЖК, фосфоліпіди та ін. При цьому капсули у середині м'якшувиробу можуть бути різного розміру, кольору, ступеня розподілення за об'ємом, різноманітного смакового асортименту та ін.

Принциповим є те, що інтактність жирів у складі капсул до структури тіста має певні але принципові та ключові переваги:

- жири не впливають на структуру тіста та практично не є учасниками тістоутворення;
- жири не впливають на технологічну активність рецептурних компонентів тіста, не здатні їх пригнічувати, активувати у технологічному потоці, у тому числі під час бродіння (патент тесто);
- такий підхід дозволяє вносити у технологічну систему жири, які будуть інтактні до зовнішнього середовища, а значить будуть знаходитися у зоні меншого впливу збурюючих факторів;
- внесення жирів в рецептуру в капсульованому стані дозволяє створити технологічні суміші капсул з індивідуальними складом жирів кожної капсули, тим самим забезпечити склад жирів у розрахункованому керованому, або індивідуальному за вимогами складі у борошняному виробі;
- внесення жирів у рецептуру в капсульованому стані дозволяє їх вносити з індивідуальними органолептичними характеристиками за кольором, розмірами, смаком, складом консистенцією, що є дуже важливим під час формування органолептичних показників виробу.

Метою забезпечення тимчасової інтактності жирової складової у технологіях борошняних кондитерських виробів, де жир виступає як пригнічувальний фактор, є пришвидшення перебігу фізико-хімічних, біохімічних, біотехнологічних, кінетичних процесів формування структури тіста (піноутворююча здатність, густина, стійкість збитої маси, дисперсність повітря та ін.). В даному випадку вивільнення внутрішнього жирового умісту відбувається на етапі випікання тістових виробів з одночасним утворенням структурного каркасу та формуванням заданих структурно-механічних показників та харчової цінності. Руйнування оболонки капсули відбувається внаслідок нагрівання з наступним плавленням термотропної складової змішаного гелю оболонки під дією високих температур. При цьому, вивільнення внутрішнього жирового умісту у середовище тіста відбувається шляхом дифузії через проникну оболонку

капсули зі швидкістю, що залежить від її товщини та пористості. Слід відмітити, що підбором концентрації та температури плавлення, втрата цілісності змішаного гелю оболонки проходить після формування каркасу тіста, що є важливим та не впливає на структуру тіста до термообробки. Для бісквітного та дріжджового тіста такий підхід є дуже важливим, оскільки структура тіста та інтенсивність технологічного процесу відчутно залежні від наявності жирів.

Залежно від інноваційного задуму та технологічної мети виробництва борошняних кондитерських виробів обґрунтовано доцільність використання жиру капсульованого, оболонка якого представлена гелем  $\text{Alg}_2\text{Ca}$ , одержаних методом іонотропного гелеутворення, для збереження форми капсули у первинному вигляді у складі готової продукції (підрозділ 4.1) та з модифікованою агар-альгіновою оболонкою – для забезпечення ефекту «руйнування» оболонки під час випікання, одержаної шляхом термотропно-іонотропного гелеутворення (підрозділ 4.3). Використання капсул з різною термостійкістю є доцільним, оскільки усі вони витримують механічний вплив під час перемішування, тобто не впливають на тістоутворення на етапі приготування технологічних сумішей, але контрольовано здатні до термодекструкції.

Враховуючи той факт, що за свою суттю бісквітне тісто – це високонцентрована дисперсія повітря у середовищі, то важливим було дослідження впливу жирової складової, введеного у рідкому (пластифікованому) вигляді ( $C = 25\%$ ) на показники піноутворюючої здатності бісквітного тіста (рис. 5.24).

Встановлено, що жирова складова у процесі виготовлення бісквітного тіста являється пригнічувачем процесу утворення пінної структури. Так, максимальне значення ПЗ у контрольному зразку досягається на 29 хвилині збивання та досягає 196,4 %, в той час ПЗ тіста, у рецептуру якого введено жир, досягає свого максимуму на 40 хвилині та складає 158,3 % відповідно.

Досліджено стійкість пінної структури бісквітного тіста через  $\tau = 30$  хв. за умов замішування зі збитою масою тіста жиру у капсульованому вигляді (рис. 5.25).

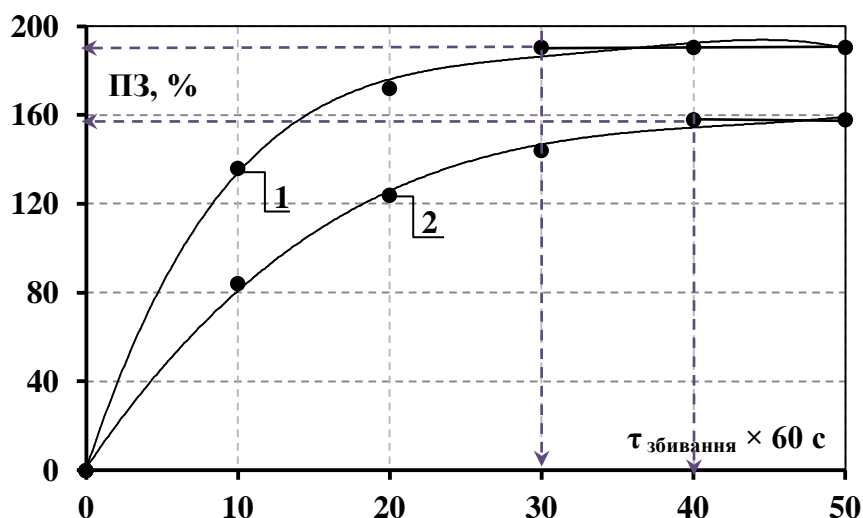


Рис. 5.24. Піноутворююча здатність бісквітного тіста залежно від тривалості збивання за швидкості збивання  $N = 300 \text{ с}^{-1}$ : 1 – без жиру; 2 – з жиром

Встановлено, що введення жиру у капсульованому вигляді у пінну структуру бісквітного тіста значно не впливає на її стійкість та через 30 хв. та 60 хв. складає  $180,8 \pm 5,0\%$  та  $172,9 \pm 5,0\%$  відповідно. В той же час, зразки тіста, до рецептури якого введено жир пластифікований, піддавались миттєвому зниженню об'єму тіста та через 30 хв. й 60 хв. складали  $105,3 \pm 5,0\%$  % й  $80,2 \pm 5,0\%$  тощо.



Рис. 5.25. Стійкість пінної структури бісквітного тіста у часі,  $\times 60 \text{ с}$ : 1 – 0; 2 – 30; 3 – 60 відповідно

З метою обґрунтування впливу жиру капсульованого на фізико-хімічні показники бісквітного тіста досліджено густину тіста та вміст повітря у його складі за різних умов введення жирової складової (табл. 5.18).

Таблиця 5.18

### Фізико-хімічні показники бісквітного тіста

Найменування показника	Фактичні значення		
	Бісквіт основний	Бісквіт із використанням жиру пластифікованого	Бісквіт із використанням жиру капсульованого
Густина тіста, $\times 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	8,01 $\pm$ 5,0	7,2 $\pm$ 5,0	7,7 $\pm$ 5,0
Вологість тіста, %	36...38	32...34	37...39
Вміст повітря, %	97,2 $\pm$ 5,0	81,1 $\pm$ 5,0	94,5 $\pm$ 5,0

Бісквітні вироби, з точки зору якісних показників, повинні характеризуватися певним ступенем пористості, яку розглядали як кількісну характеристику збитості бісквітного виробу [339]. Порівняльні величини цих показників по відношенню до контрольного зразку свідчать про вплив способу введення жиру капсульованого на збитість та цілісність випеченого напівфабрикату бісквітного (рис. 5.26).

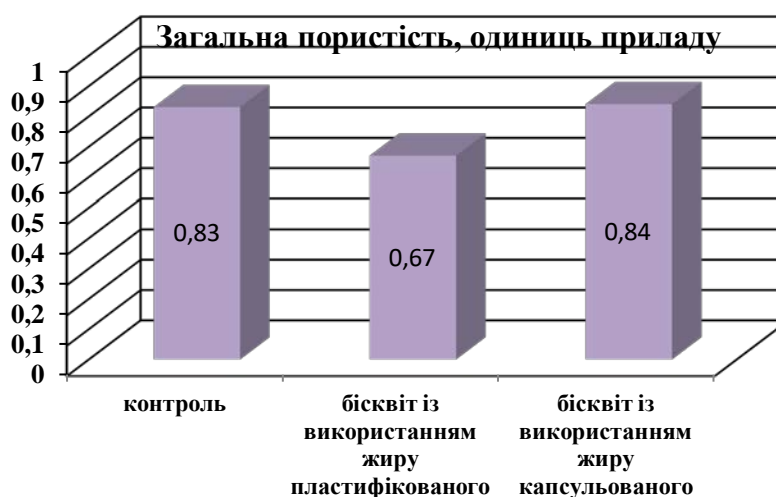


Рис. 5.26. Загальна пористість випечених напівфабрикатів бісквіту основного залежно від способу введення жирової складової

Аналіз графіку свідчить, що введення жиру у бісквітне тісто у капсульованому вигляді не впливає на показники пористості випечених напівфабрикатів, як результат – бісквітні вироби характеризуються заданою пишністю за об'ємом.

На підставі проведених аналітичних та експериментальних досліджень в рамках дисертаційного дослідження (розділ 4) обґрунтовано та розроблено технологію виробництва бісквіту основного із використанням жиру капсульованого. Головною особливістю технологічного процесу виробництва даної продукції полягає у забезпеченні інтактності жирової складової по відношенню до просторового пінного каркасу бісквітного тіста до моменту випікання та одержання готових бісквітних виробів при швидшею способом з органолептичними показниками бісквіту масляного (рис. 5.27).

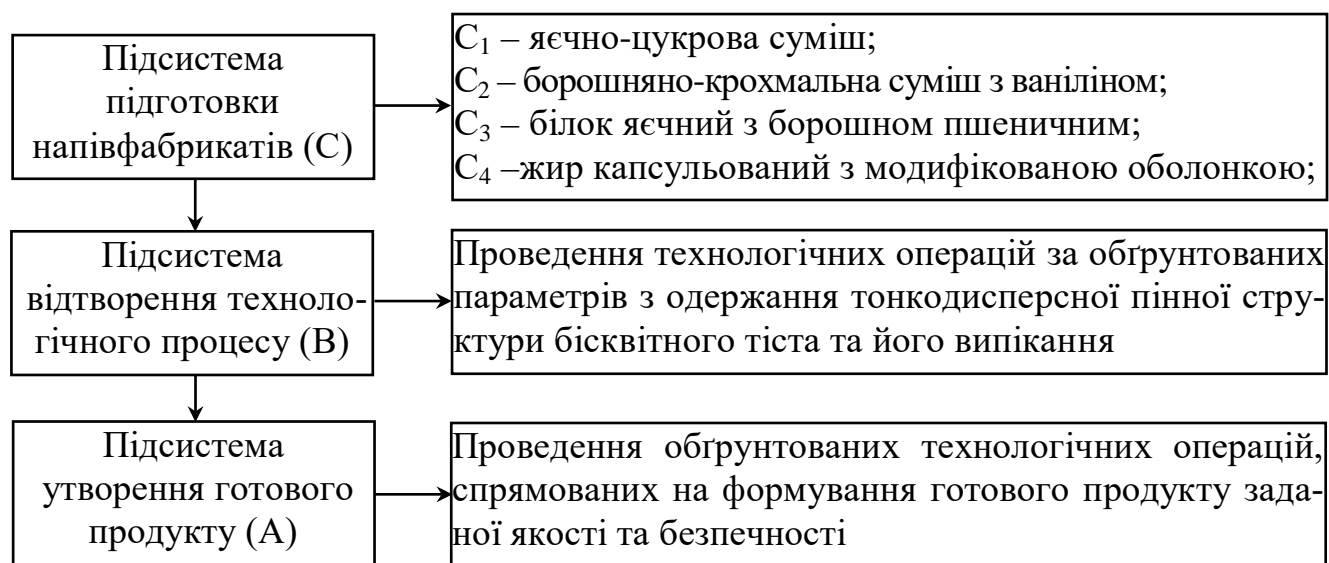


Рис. 5.27. Структурна модель технологічного процесу виробництва бісквітних виробів із використанням жиру капсульованого з модифікованою оболонкою

В рамках підсистеми  $C_1$  проводяться технологічні операції, спрямовані на одержання збитої яєчно-цукрової суміші. Для цього яєчні жовтки підготовлені та цукор білий збивають протягом  $\tau = (24 \dots 28) \times 60$  с за  $N = 300$  об./хв. до моменту

збільшення об'єму суміші у 2,5...3 рази та повного розчинення цукру білого.

Підсистема С<sub>2</sub> передбачає утворення борошняно-крохмальної суміші, яку просівають, використовуючи механічне устаткування з діаметром чарунок  $d = (0,5...1,0) \times 10^{-3}$  м. Слід зазначити, що борошно пшеничне повинно характеризуватися умістом 28...34 % слабкої або середньої клейковини за силою клейковини для запобігання одержання готових виробів з затягнутою, крихкою, твердою структурою.

Паралельно, в рамках підсистеми С<sub>3</sub>, збиванню піддається білок яєчний охолоджений протягом  $\tau = (8...12) \times 60$  с за  $N = 250$  об./хв., після чого проводиться обережне перемішування збитого білку з частиною борошна пшеничного (25,0 %) підготовленого до повного його розподілення за об'ємом збитої маси.

Технологічні операції, які передбачають підготовку підсистеми С<sub>4</sub> «Утворення напівфабрикату «Жир капсульований», наведено у підрозділі 4.3.

Підсистема В передбачає проведення послідовних технологічних операцій, направлених на утворення просторової сітки каркасу тіста з пінною структурою. Для цього до збитої маси яєчно-цукрової додається збита маса яєчного білку з частиною борошна, уводиться борошняно-крохмальна суміш та жир капсульований. Одержану суміш перемішують протягом  $\tau = 15...20$  с, попереджаючи, при цьому, осідання пінної структури тіста. Приготовлено тісто направляють на формування у форми на  $\frac{3}{4}$  їх висоти та випікають протягом  $\tau = (20...25) \times 60$  с за температури  $t = 180...200^\circ\text{C}$ . Під час досягнення температури вище  $<42^\circ\text{C}$  усередині бісквітного виробу відбувається «руйнування» альгіноагарової оболонки жиру капсульованого, а внутрішній уміст розподіляється за об'ємом виробу. Випечені вироби охолоджують протягом  $\tau = (20...25) \times 60$  с, виймають з форм та відправляють на вистоювання протягом  $\tau = (6...8) \times 60^2$  с за температури  $t = 18...22^\circ\text{C}$ . Вологість випечених напівфабрикатів не повинна перевищувати 28,0 %. У табл. 5.19 наведено порівняльний аналіз параметрів технологічного процесу виготовлення бісквітних виробів залежно від форми введення жирової складової як жирового наповнювача системи.

В рамках підсистеми А «Утворення готового продукту» здійснюються операції спрямовані на одержання кінцевого продукту, а саме оздоблення (за технологічної необхідності), фасування у споживчу тару, маркуванням та укладанням у вторинну упаковку для наступного транспортування та реалізації. Терміни зберігання бісквітних виробів складають: за умов оздоблення - за температури  $t = 4...6^{\circ}\text{C}$  протягом  $\tau = (6...24) \times 60^2\text{с}$ , без оздоблення – за температури  $t = 8...18^{\circ}\text{C}$  протягом  $\tau = (6...48) \times 60^2\text{с}$  за відносної вологості повітря  $W = 75,0\pm 2\%$  тощо.

Таблиця 5.19

**Параметри виготовлення бісквітних виробів залежно від форми введення жирової складової**

Найменування технологічного параметру	Фактичні значення		
	Бісквіт масляний	Бісквіт із використанням жиру капсульованого	Бісквіт із використанням жиру капсульованого з модифікованою оболонкою
Вологість тіста, %	36...38	38...40	37...39
Температура випікання, $^{\circ}\text{C}$	195...225	180...190	180...200
Тривалість випікання, хв.	40...55	18...22	20...25
Тривалість охолодження, хв.	20...30	15...20	20...25
Тривалість вистоювання, год.	7...8	-	5...6

На рис. 5.28 та у табл. 5.20 наведено технологічну схему виробництва та рецептуру бісквіту масляного із використанням жиру капсульованого.

Таблиця 5.20

**Рецептура бісквіту масляного із використанням жиру капсульованого**

Найменування сировини	Масова частка сухих речовин, %	Витрати на 1000 кг, кг	
		брутто	нетто
1	2	3	4
Жир капсульований	78,00	268,75	250,00
<b>Вихід н/ф «Жир капсульований»</b>		<b>268,75</b>	<b>250,00</b>
Жовток яєчний	12,00	222,24	218,00
Цукор білий	99,85	329,56	327,00
<b>Вихід н/ф «Яєчно-цукрова суміш»</b>		<b>551,80</b>	<b>545,00</b>



1	2	3	4
Борошно пшеничне вищого сорту	85,50	189,80	187,50
Крохмаль кукурудзяний	80,00	51,30	50,00
Ванілін	99,55	20,8	20,00
<b>Вихід н/ф «борошняно-крохмальна суміш підготовлена з ваніліном»</b>		<b>261,90</b>	<b>257,50</b>
Білок яєчний	27,00	335,80	327,00
Борошно пшеничне вищого сорту	85,50	63,25	62,50
<b>Вихід н/ф «білок яєчний з борошном»</b>		<b>399,05</b>	<b>389,50</b>
Усього:	-	1481,50	1442,00
<b>Вихід готового продукту:</b>	-	-	<b>1000,00</b>
<b>Вміст сухих речовин, %</b>	75,00	-	

На рис. 5.29 представлено фотографічне зображення бісквітних виробів із використанням жиру у капсульованому вигляді.



Рис. 5.29. Фотографічне зображення бісквітних виробів із використанням жиру капсульованого з модифікованою оболонкою

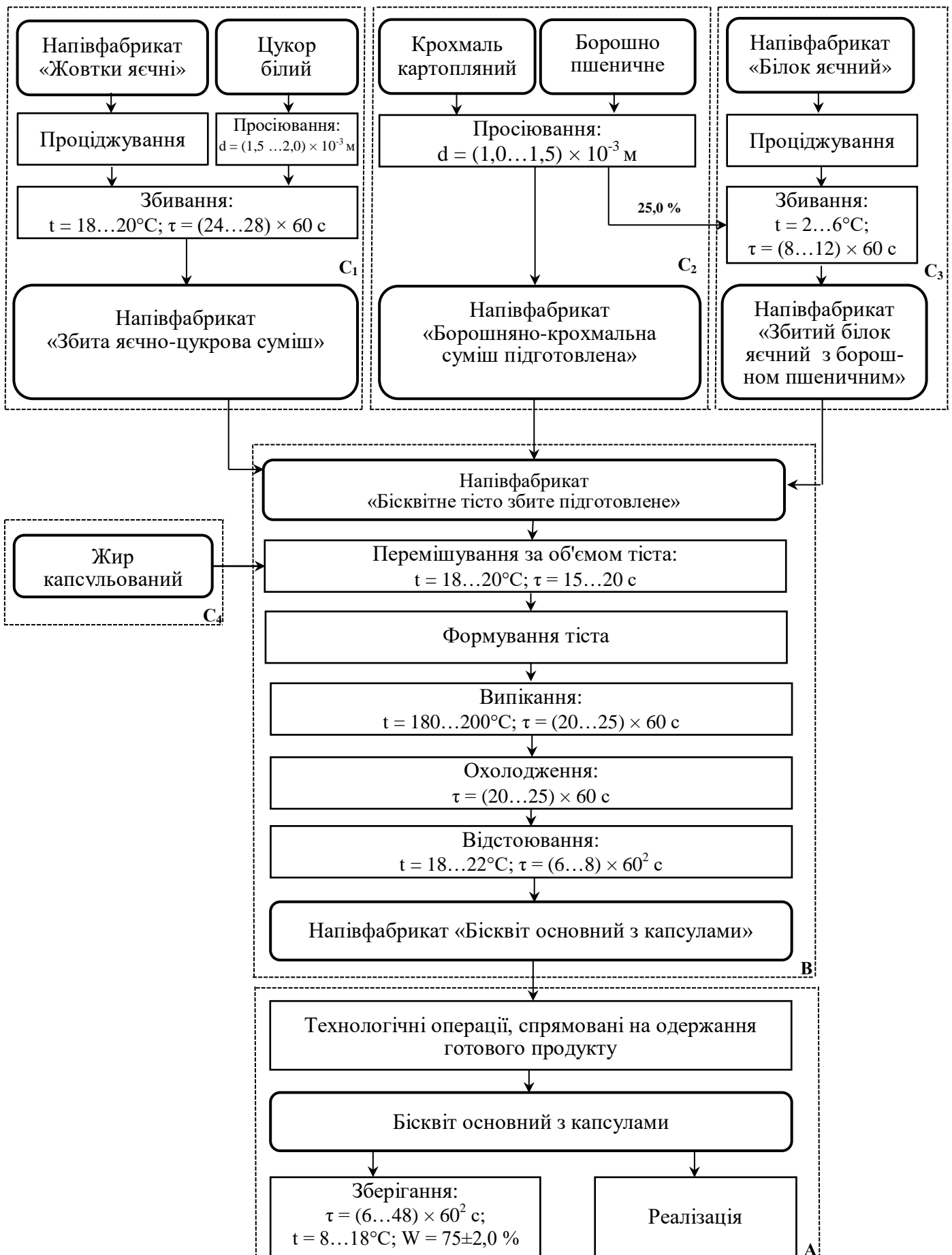


Рис. 5.28. Технологічна схема виробництва бісквіту основного з капсулами із використанням жиру капсульованого

**Результати органолептичної оцінки бісквіту із використанням жиру  
капсульованого**

Найменування показника	№ дескриптора	Коефіцієнт вагомості дескриптора	Характеристика	Оцінка в балах	
				0 днів зберігання	2 доби зберігання
1	2	3	4	5	6
Зовнішній вигляд поверхні	1	0,2	Рівномірність поверхні	5,0	5,0
	2	0,3	Відсутність підгорання	5,0	5,0
	3	0,2	Відсутність розривів	4,9	4,9
	4	0,3	Відповідність форми - округла	4,9	4,9
Сумарна оцінка				4,95	4,95
Коефіцієнт вагомості показника				0,2	0,2
Підсумкова оцінка за показником				0,99	0,99
Вигляд на зломі	1	0,3	Пропеченість	5,0	4,9
	2	0,2	Відсутність слідів непромісу	4,8	4,9
	3	0,3	Відсутність жирових плям	4,8	4,7
	4	0,2	Пористість	4,8	4,6
Сумарна оцінка				4,85	4,77
Коефіцієнт вагомості показника				0,3	0,3
Підсумкова оцінка за показником				1,45	1,43
Колір	1	0,3	Відповідність кольору скоринки – світло-коричневий	5,0	4,9
	2	0,4	Відповідність кольору м'яккішу – світло-кремовий	4,9	4,8
	3	0,3	Рівномірність кольору	4,8	4,8
Сумарна оцінка				4,9	4,83
Коефіцієнт вагомості показника				0,2	0,2
Підсумкова оцінка за показником				0,98	0,96
Смак та запах	1	0,3	Чистий, без сторонніх, без гіркого присмаку	5,0	5,0
	2	0,3	Солодкий	4,9	4,9
	3	0,2	Ароматний	4,7	4,6
	4	0,2	Виразний	4,8	4,7
Сумарна оцінка				4,85	4,8
Коефіцієнт вагомості показника				0,3	0,3
Підсумкова оцінка за показником				1,45	1,44
Взагалі				4,87	4,82

Проведений органолептичний аналіз дозволив встановити, що розроблені бісквітні вироби відповідають геометрії форми, мають гладку поверхню, без розривів та ознак підгорання (загальний бал 4,95). Вигляд на зломі відповідає вимогам, що зазначені у технологічній меті: за об'ємом виробу відсутні капсули з внутрішнім умістом жиру, жирові плями, структура характеризується високою однорідністю та заданою пористістю (5,0 та 4,8 бали відповідно). Смак та запах відповідають даному виду продукції та характеризуються як ароматні, насичені, чисті, без сторонніх смаку та аромату (4,9 та 4,85 бали відповідно). Сумарна оцінка за органолептичні показники розроблених бісквітних виробів складає 4,87 бали. Порівняльний аналіз фізико-хімічних показників якості бісквітів, одержаних за різних умов введення жирової складової наведено у табл. 5.22.

Таблиця 5.22

**Фізико-хімічні показники бісквітних виробів залежно від форми введення жирової складової**

Найменування технологічного параметру	Фактичні значення		
	Бісквіт основний	Бісквіт із використанням жиру пластифікованого	Бісквіт із використанням жиру капсульованого
Вологість тіста, %	36	38	37
Намокаємість, %	325,6	290,7	310,4
Кришкуватість, %	3,41	2,85	3,26
Стискуваність м'якшувача, од. прибору	60	45	57
Пористість, %	78,1	73,5	77,5

У результаті проведення досліджень встановлено, що як вид жирової складової, так і спосіб її введення значно впливає на органолептичні, структурно-механічні та якісні показники як самого бісквітного тіста, так й готового виробу:

- за умов введення жирової складової у рідкому стані, густина тіста значно знижується, жир виділяється зі структури тіста у окрему фазу, що спричиняє зниження ПУЗ, стійкості пінної структури тіста, пористості м'якшувача та ін.;
- за умов введення жирової складової у твердому, але пластифікованому, стані, жир, утворюючи тонкі плівки навколо колоїдних часточок борошна,

впливає на ступінь її набрякання. Як результат, тісто набуває пластичних властивостей, але концентрація жиру, за цих умов, обмежена;

– введення жиру у вигляді твердої фази, коли температура плавлення жиру вища температури бісквітного тіста, призводить до пригнічення механізмів утворення пінної структури, внаслідок чого бісквітні вироби характеризуються зниженими показниками якості, а терміни їх зберігання значно скорочуються;

– використання жиру у капсульованому вигляді дозволяє забезпечити інтактність жиру по відношенню до інших рецептурних компонентів до моменту випікання, що дозволяє регулювати піноутворюючі процеси, кінетичні процеси утворення каркасу тіста тощо. За цих умов, готові вироби характеризуються за кінцевими показниками якості як бісквітні вироби за основним способом приготування, а хімічний склад відповідає показникам масляного бісквіту відповідно. Крім того, таким чином можливо регулювати якісні показники жирової складової, оскільки в такий спосіб можливо вводити у систему суміші жирів, олій, у тому числі вітамінізовані, ароматизовані та ін.

В рамках дисертаційної роботи апробовано та підтверджено наукову гіпотезу щодо використання ЛХСК у складі хлібобулочних виробів на основі дріжджового тіста здобного [340–344]. За цих умов до рецептури безопарного дріжджового тіста вносять здобу, тобто суміш оліє-жирової сировини та цукру чи цукроподібних речовин, у капсульованому вигляді з модифікованою оболонкою, концентрація якої відповідає кількості здоби, необхідної для приготування дріжджового тіста опарним способом. У технологічному потоці здоба капсульована вводить до технологічної системи середовища тіста під час другого обминання. За рахунок того, що здоба знаходиться в інтактній, по відношенню до середовища тіста, формі, жир та цукор не впливають на інтенсивність перебігу фізико-хімічних та біохімічних процесів бродіння, що суттєво інтенсифікує процес одержання готових дріжджових виробів у порівнянні з опарним способом. Під час випікання термо-іонотропна оболонка капсули руйнується, внутрішній уміст рівномірно розтікається за об'ємом виробу. Таким чином, готовим виробам властиві характеристики здобних дріжджових виробів, одержаних опарним спосо-

бом, але тривалість технологічного процесу зменшується у 2 рази, що відповідає тривалості приготування тіста безопарним способом.

Рецептури виробництва борошняних кондитерських виробів із використанням ЛХСК наведено у технологічній інструкції ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані» (Додаток 3 б).

### **5.5 Конструювання, розробка та промислова апробація спеціалізованого обладнання для виробництва ЛХСК**

Розроблено, сконструйовано та апробовано спеціалізоване обладнання та промислові лінії для виробництва ЛХСК, які дозволяють одержувати капсульовану продукцію з різних за в'язкістю гідрофобних речовин, у тому числі жирових сумішей, емульсій, суспензій з одержанням капсул діаметром  $d = (4,3 \dots 12,0) \times 10^{-3}$  м з різною за властивостями оболонкою [345–349].

Для реалізації технологічного процесу капсулювання розроблено модель, макет та промислові зразки з різними технологічними модифікаціями головок пристрою для капсулювання рідин з різною полярністю. На рис. 5.30 представлено 3D фронтальну проекцію промислового багатоканального пристрою для капсулювання ЛХС екструзією у середовищі повітря.

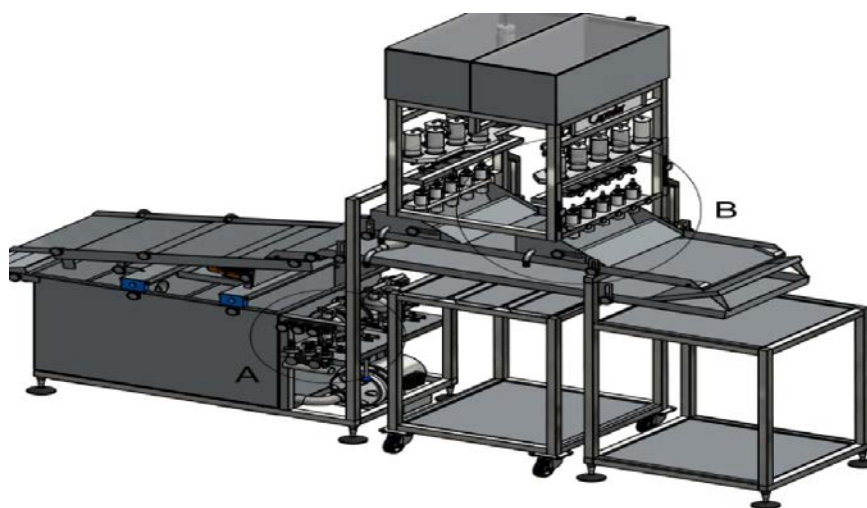


Рис. 5.30. 3D фронтальна проекція промислового багатоканального пристрою для капсулювання ЛХСК у середовищі повітря

Пристрій працює наступним чином: оболонкоутворювач завантажують у резервуар для оболонкоутворювача, внутрішній уміст капсули – у резервуар для внутрішнього умісту. Якщо у якості внутрішнього умісту використовують в'язко-текучі або нетекучі тугоплавкі жири включають нагрівальний елемент та здійснюють підігрів внутрішнього умісту до температури, що забезпечує необхідні параметри текучості для здійснення зверху-вниз коаксіального екструзійного капсулювання у середовищі повітря у прийомну рідину. Резервуар для прийомної рідини заповнюють прийомною рідиною, відкривають регулятор та вмикають насос, після чого прийомна рідина поступає у прийомний лоток, в якому утворюється ламінарний потік прийомної рідини. З прийомного лотка прийомна рідина проходить через сітку та поступає у збірний лоток засобу відокремлення капсул. Зі збірного лотка прийомна рідина надходить у резервуар для прийомної рідини, після чого відкривають регулятори, які забезпечують рух оболонкоутворювача та внутрішнього умісту до розподільних колекторів. Після відкриття регуляторів оболонкоутворювач та внутрішній уміст надходять у відповідні розгерметизовані ємності, де формується раціональний рівень рідин. Після формування рівня оболонкоутворювача у розгерметизованій ємності для оболонкоутворювача відкривають регулятор, у результаті чого оболонкоутворювач надходить у порожнину корпусу капсуляторної головки та заповнює конфузур, в той час коли внутрішній уміст подається по патрубку подання внутрішнього умісту та виходить з нього через жикльор над випускним отвором конфузору. Внутрішній уміст обволікається оболонкоутворювачем, при цьому ніякої хімічної взаємодії між складовими капсули не виникає та капсула у квазістабільному для оболонкоутворювача стані через випускний отвір у повітрі надходить у прийомний лоток, в якому сформовано ламінарний потік прийомної рідини, яке містить  $Ca^{2+}$ , де безпосередньо формується термостабільна капсула (рис. 5.31).



Рис. 5.31. Ділянка розподільних колекторів, призначених для формування раціонального рівня рецептурних сумішей

У результаті здійснення зверху-вниз коаксіального екструзійного капсулювання оболонкоутворювача та внутрішнього умісту у середовищі повітря у прийомну рідину з капсуляторної головки постійно надходять краплі капсули, яка має два шари: внутрішній шар (ядро) у вигляді внутрішнього умісту та зовнішній шар, який обволікає внутрішній шар, у вигляді оболонкоутворювача (рис. 5.32).



Рис. 5.32. Ділянка екструзії рецептурних сумішей у формуючий розчин  $\text{Ca}^{2+}$



Під час контакту краплі капсули з прийомною рідиною оболонкоутворювач вступає у хімічну взаємодію та сформовані капсули виносяться прийомною рідиною з прийомного лотка у засіб відокремлення капсул від прийомної рідини, в якому за допомогою сітки капсули відділяються від прийомної рідини та направляються у прийомну ємність для капсул. Сітка може мати одночасно різні за діаметром отвори, які дозволяють відразу калібрувати капсули за розмірними характеристиками (рис. 5.33).

Відокремлена від капсул прийомна рідина збирається у лотку, з якого прийомна рідина відводиться у резервуар для прийомної рідини. За рахунок збільшення або зменшення швидкості прийомної рідини у прийомному лотку та регулювання його кута нахилу, можливо регулювати текстуру та проникливість оболонки сформованої капсули за рахунок різної тривалості перебування капсул у прийомному середовищі. Під текстурою розуміється товщина стінки оболонки капсули.



Рис. 5.33. Ділянка калібрування капсул відповідно до розмірних характеристик

Слід зазначити, що над прийомним лотком може бути розташовано одразу декілька капсуляторних головок, які розміщено по відношенню до прийомного лотка таким чином, щоб забезпечити відсутність перехрещування траєкто-

рій капсул у прийомному лотку на протязі усього їх руху, а кут нахилу прийомного лотка та швидкість прийомної рідини у ньому також повинно забезпечити відсутність зіткнення наступної капсули з попередньою капсулою.

Одночасне використання декількох капсуляторних головок дозволяє створити багатоканальність екструдювання, що дозволяє збільшити продуктивність виготовлення капсул у  $n$ -разів (в залежності від кількості капсуляторних головок). При цьому всі капсуляторні головки працюють незалежно одна від іншої, а це забезпечує безперервність виготовлення капсул, а також дозволяє одночасно отримувати капсули з різним діаметром та співвідношенням оболонка капсули та внутрішній уміст капсули.

На рис. 5.34 представлено фотографічне зображення пристрою УЖК-20 для одержання ЛХСК.



Рис. 5.34. Фотографічне зображення пристрою УЖК-20 для одержання ЛХСК у середовищі повітря

Основними техніко-технологічними перевагами нового пристрою є:

– багатоканальність екструдювання, що дозволяє перевищувати його за продуктивністю в  $n$ -разів;

- можливість одержання термостабільних капсул з внутрішнім жировим умістом діаметром  $d = (4,3 \dots 7,6) \times 10^{-3}$  м ;
- можливість капсулювання тугоплавких жирів за високих температур (більше за температури плавлення) та низьких температур, у тому числі в області мінусових температур;
- можливість одночасного одержання капсул з різним керованим діаметром в межах заявлених розмірів, з різною товщиною оболонки та різним співвідношенням «внутрішній жировий уміст – оболонка капсули»;
- можливість незалежного по окремим каналам регулювання процесу без зупинку пристрою;
- можливість регулювання текстури та проникливості оболонки за рахунок різного терміну перебування капсул у реакційному прийомному середовищі;
- відсутність використання у якості прийомного середовища олії та зниження температури транспортної рідини;
- суттєве зниження енергоємності пристрою за рахунок відсутності операцій нагрівання гелеутворювача та зниження температури прийомного середовища;
- порівняльна простота обслуговування та наладки за рахунок відкритості та доступності усіх вузлів.

Апаратурне оформлення та промислова лінія з виробництва ЛХСК має статус «інноваційні» розробки, що підтверджується одержанням документів інтелектуальної власності – патенту на винахід Світової організації Інтелектуальної Власності згідно з договором о патентній кооперації (СРТ) № WO 2017/105378 A1 «Капсуляторная головка и устройство для получения капсул» (Додаток П 7), патенту на корисну модель України № 106622 «Капсуляторна головка для одержання капсул» (Додаток П 13).

## Висновки за розділом 5

1. Узагальнено результати експериментальних досліджень та практичних відпрацювань, спрямованих на розробку технологій ЛХСК, одержаних методами екструзійного формування та зовнішнього гелеутворення: визначено показники якості та безпечності, їх зміни під впливом технологічних чинників; наведено конструктивне забезпечення обладнанням для виробництва ЛХСК.

2. Розроблено та впроваджено у ПХП та ЗРГ наступні технології: ЛХСК у олійних середовищах (олія оливкова, соняшникова капсульовані, у тому числі вітамінізовані та ароматизовані, у заливці, салатні заправки капсульовані з різними смаковими характеристиками); ЛХСК в оцтових середовищах (олія оливкова в оцті бальзамічному, олія соняшникова у виноградному оцті); оливка структурована фарширована олією оливковою капсульованою; дресінги капсульовані; хлібобулочні, кондитерські вироби із використанням ЛХСК (вироби з бісквітного та дріжджового тіста); кулінарна продукція (холодні та гарячі закуски, другі страви, десертні вироби).

3. Досліджено органолептичні, фізико-хімічні, структурно-механічні, мікробіологічні показники нової продукції, у тому числі протягом зберігання. Доведено, що за показниками якості та безпечності розроблена продукції відповідає вимогам чинного законодавства України та ЄС.

4. Обґрунтовано умови та терміни зберігання ЛХСК та продукції на їх основі, які складають: олії капсульовані в олійних та оцтових середовищах за температури  $t = 8...20^{\circ}\text{C}$  протягом  $\tau = 6$  місяців та відносної вологості повітря  $W = 75,0\%$ ; дресінги та салатні заправки капсульовані – за тих же умов, але температура зберігання складає  $t = 8...12^{\circ}\text{C}$ ; оливка структурована за тих же умов, але температура зберігання складає  $t = 2...6^{\circ}\text{C}$ ; хлібобулочні, кондитерські вироби на основі бісквітного тіста – залежно від виду оздоблення вироби можуть зберігатися протягом  $\tau = (6...48) \times 60^2$  с, за температури  $8...18^{\circ}\text{C}$  тощо.

## РОЗДІЛ 6

### ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Важливим етапом наукового дослідження є оцінювання його економічної ефективності та ступеня їх комерціалізації. Це зумовлено значущістю науки як ключового чинника якості технологічних процесів та розвитку виробничих систем різного рівня. Відповідно до існуючих розробок оцінка наукового дослідження базується на урахуванні економічних та соціальних результатів впровадження інноваційних розробок у практичну діяльність й проводиться на основі аналізу, зіставлення сукупності показників, що характеризують науковий рівень, економічне та соціальне значення розробки, а також шляхи комерціалізації, її економічну доцільність. При цьому, важливим є урахування перспектив використання результатів наукової роботи, стадії розвитку інноваційної технології та етапу життєвого циклу продукції, що зумовлює особливість методичного інструментарію, що використовується, в частині визначення ефектів, складу критеріїв та показників оцінки ефективності наукової розробки.

З огляду на вищезазначене, слід підкреслити, що технологія виробництва ЛХСК не має аналогів на світовому ринку, що позиціонує її як новий напрям наукових знань у галузі харчових технологій. Це є підґрунтям для створення та впровадження інноваційних технологічних процесів виробництва нової харчової продукції та їх апаратного оформлення. Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень мають значні перспективи щодо подальшого їх розвитку у науковій та практичній діяльності компаній України та світу. Щодо стадії розвитку інноваційної напрямку виробництва ЛХСК, то проведені наукові дослідження доведені до рівня практичного їх впровадження та реалізовано на підприємствах України, Іспанії, США. Унікальність та оригінальність проведеного наукового дослідження, а також широке використання його результатів у багатьох сферах економіки зумовлює доцільність оцінювання

технологій виробництва ЛХСК. Системний підхід, з орієнтиром на інноваційний характер розробок, передбачає урахування взаємодіючих та взаємозв'язаних наукового, економічного та соціального ефектів упровадження інноваційних технологій, а також високого рівня їх комерціалізації. З огляду на зазначене та спираючись на існуючі напрацювання в галузі оцінки наукової діяльності й трансферу технологій, результати та ефективність наукового дослідження визначено з урахуванням методів, моделей та показників, що відображають наукову цінність розробок, їх економічне, соціальне значення, а також ринковий потенціал та перспективи розвитку (рис. 6.1).

Важливою характеристикою наукового дослідження є наукова результативність, що характеризується новизною та рівнем поширення ідей та розробок. Враховуючи чинну нормативно-правову базу України та спираючись на показники, що використовують для визначення результатів у сфері наукової діяльності, оцінювання наукової результативності технологій виробництва ЛХСК здійснено на підставі інформації щодо обсягу опублікованої наукової продукції у формі статей, тез доповідей, монографічних досліджень тощо, а також даних щодо авторських свідоцтв, патентів та обсягів виконаних науково-дослідних робіт. Показники, що характеризують рівень новизни результатів наукового дослідження, наведено у табл. 6.1.

Основним продуктом наукової роботи є кількість, обсяг та якість публікацій, які характеризують результативність наукової діяльності за певним напрямом. Щодо технологій виробництва ЛХСК, то як кількість так і структура опублікованих робіт свідчать про визнання науковим товариством результатів наукового дослідження. Результати проведених досліджень знайшли відображення у 69 роботах наукового характеру, з яких 4 монографії, 21 стаття (з яких 12 опубліковано у періодичних виданнях, які включені до наукометричних баз, у тому числі Scopus) та 24 тезах доповідей. Визнання інноваційності наукового дисертаційного дослідження підтверджено 18 документами на право інтелектуальної власності, з яких чверть (5 авторських свідоцтва та патенти) одержано на міжнародному рівні.



Рис. 6.1. Оцінювання науково-практичних результатів та ефективності наукового дослідження

## Показники новизни результатів наукового дослідження

Найменування показника	Одиниця виміру	Значення
<i>Показники наукової продукції та оприлюднення результатів наукового дослідження</i>		
Монографії, які опубліковано за темою роботи: – обсяг (усього/власні)	од. др. арк.	4 16,2
Статті в журналах, які опубліковано за темою роботи, усього, у тому числі:		
1. у наукових виданнях України – обсяг (усього/власні)	од. др. арк.	21 5 1,1
2. у наукових виданнях інших країн – обсяг (усього/власні)	од. др. арк.	4 1,2
3. у періодичних виданнях, які включені до наукометричних баз, зокрема Scopus або Web of Science Core Collection – обсяг (усього/власні);	од. др. арк.	12 3,6
h-індекс здобувача	коефіцієнт	2
Тези доповідей, які опубліковано за темою роботи, усього, у тому числі:		
1. у наукових виданнях України – обсяг (усього/власні)	од. др. арк.	24 16 1,1
2. у наукових виданнях інших країн – обсяг (усього/власні)	од. др. арк.	8 0,6
Авторські свідоцтва та патенти, усього, у тому числі:	од.	18
– одержаних за кордоном	од.	5
Участь у наукових конференціях, усього, у тому числі:		
– на міжнародному рівні	од. од.	25 8
<i>Показники щодо виконання наукових робіт за темою дослідження</i>		
Кількість виконаних науково-дослідних робіт за темою дослідження, усього	од.	12
Загальний обсяг фінансування виконаних науково-дослідних робіт за темою дослідження, у тому числі:		
1. держбюджетних – загальний обсяг фінансування	тис. грн. од. тис. грн.	73,8 3 52,9
2. бюджетних	од.	2
3. госпдоговірних – загальний обсяг фінансування	од. тис. грн.	7 20,9
4. у тому числі міжнародних – загальний обсяг фінансування	од. тис. грн.	3 48,4



Про зацікавленість широкого кола підприємців та практичну значущість результатів дослідження свідчать показники кількості виконаних науково-дослідних робіт, обсягу та структури джерел їх фінансування. Загальна сума коштів, що надійшла за результатами виконання науково-дослідних робіт за тематикою наукової розробки становила 73,8 тис. грн., з яких половина (42,8 %) складають надходження з країн дальнього зарубіжжя, а саме країн Європи та США.

Економічне та соціальне значення наукової розробки розглянуто через сукупність характеристик, що відображають зовнішні та внутрішні ефекти від впровадження технології ЛХСК у практику господарської діяльності. Для встановлення зовнішніх ефектів використано показники обсягу реалізації капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом на зовнішніх ринках, що відображають ринковий потенціал розробленої продукції. Внутрішні ефекти оцінено через тенденції економічних показників мікро- та макрорівнів, а також змінення якості життя населення та кількості робочих місць як наслідок впровадження технології у практичну діяльність.

Зазначимо, що в рамках розробки та впровадження технології ЛХСК на базі функціонування науково-виробничого кластеру ХДУХТ та ТОВ «КАПСУЛАР» було організовано промислове виробництво нової продукції. Основними ринками збуту стали країни Європейського союзу (компанія ACER CAMPESTRES, S.L., Іспанія) та США (компанія Bio-Revival LLC) (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

### Обсяги реалізації нової продукції у 2016...2017 рр.

Найменування показника	Одиниця виміру	2016 рік	2017 рік	Абсолютне відхилення	% у 2017 % до 2016 р.
Обсяг реалізації продукції :					
— до країн Європи	тис. євро	1,6	32,0	30,4	1950,6
— до США	тис. дол. США	4,0	13,9	10,0	349,8
Разом (з урахуванням, eur/usd)	тис. дол. США	5,8	49,1	43,3	848,8

Економічні дані доводять позитивну динаміку виробництва та реалізації капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом. За 2016...2017 рр. обсяги реалізації продукції зросли у 8,5 рази, що характерно для інновацій на початкових етапах виходу та освоєння споживчого ринку. Промислове виробництво та експортоорієнтованість реалізації розробленої продукції є значущим для формування позитивного іміджу Харківського регіону та України на зовнішніх ринках, а зростання обсягів реалізації свідчить про значний ринковий потенціал нового продукту.

Зростання обсягів реалізації продукції зумовлено її конкурентними перевагами, а саме якістю, асортиментом та ціною. За розрахунками ціна розробленої інноваційної продукції як під час експорту, так й у разі реалізації на внутрішньому ринку значно менша порівняно з продукцією конкурента – компанії «Caviaroli» (Іспанія) (додаток Д). Ціна реалізації капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом на внутрішньому ринку становитиме 128,0...602,60 грн/кг залежно від виду основної жирової сировини, що у 10,0...16,0 разів менше за ціни на продукти-аналоги (табл. 6.3). Щодо зовнішніх ринків, то ціна української продукції у 2,0...3,0 рази менша порівняно з аналогічною продукцією компанії-конкурента. Досліджено, що вироби ТМ «Caviaroli» реалізуються на ринках Європи та США за ціною 350,0...430,0 дол/кг, в той час коли українська продукція – 40,0...192,0 дол/кг (табл. 6.3). Крім того, асортимент продукції, яка виробляється ТМ «Caviaroli», не представлено олією соняшnikовою капсульованою, що входить до асортиментної пропозиції розробленої продукції; також відсутня інформація щодо інших виробників цієї продукції.

Більш низька ціна та ширший асортимент забезпечує значні конкурентні переваги розробленої продукції капсульованої порівняно з аналогічною продукцією, що надає компанії-виробнику можливість одержати додатковий прибуток від реалізації продукції за цінами компанії-конкурента (табл. 6.4, 6.5).

## Порівняння цін на нову продукцію та продукти-аналоги

Найменування продукції	Одиниця виміру	Нова продукція	Продукт-аналог	Співвідношення цін на продукт-аналог та нову продукцію, рази
<i>Внутрішній ринок збуту</i>				
Напівфабрикат олії оливкової капсульованої	грн/кг	587,25	6115,00	10,4
Олія оливкова капсульована у заливці	грн/кг	602,60	6115,00	10,1
Олія оливкова капсульована в оцті	грн/кг	529,40	6317,80	11,9
Напівфабрикат олії соняшnikової капсульованої	грн/кг	130,90	н/д*	–
Олія соняшnikова капсульована у заливці	грн/кг	128,00	н/д*	–
Оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	грн/кг	467,30	7468,50	16,0
<i>Зовнішній ринок збуту</i>				
Напівфабрикат олії оливкової капсульованої	дол/кг	132,00	350,00	2,7
Олія оливкова капсульована у заливці	дол/кг	135,30	350,00	2,6
Олія оливкова капсульована в оцті	дол/кг	176,00	363,00	2,1
Напівфабрикат олії соняшnikової капсульованої	дол/кг	40,00	н/д	–
Олія соняшnikова капсульована у заливці	дол/кг	40,00	н/д	–
Оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	дол/кг	192,00	430,00	2,2

Примітка\*: компанія «Caviaroli» продукцію «Олія соняшnikова капсульована» не виробляє; дані щодо інших виробників продукції «Олія соняшnikова капсульована» відсутні

**Оцінка комерційної ефективності виробництва нової продукції за розроблених технологій  
(реалізація продукції на внутрішньому ринку)**

Найменування показника	Одиниця виміру	Олія оливкова капсульована			Олія оливкова капсульована в оцті		Оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	
		продукт-аналог	нова технологія		продукт-аналог	нова технологія	продукт-аналог	нова технологія
			напівфабрикат ООК	напівфабрикат ООК у заливці				
Ціна	грн/кг	6115,00	6115,00	6115,00	6317,80	6317,80	7468,50	7468,50
Собівартість	грн/кг	5559,10	444,90	456,50	5743,50	401,00	6789,50	354,00
Прибуток	грн/кг	555,90	5670,10	5658,50	574,30	5916,80	679,00	7114,50
Приріст прибутку: – на 1 кг продукції	грн/кг	–	+5114,20	+5102,60	–	+5342,50	–	+6435,50
– на 1000 кг продукції	тис.грн/т	–	+5114,2	+5102,6	–	+5342,5	–	+6435,5
Рентабельність виробництва та реалізації продукції	%	10,0	1274,6	1239,5	10,0	1475,4	10,0	2009,6
Зростання рентабельності виробництва та реалізації продукції	рази	–	127,5	124,0	–	147,5	–	201,0

**Оцінка комерційної ефективності виробництва нової продукції за розроблених технологій  
(реалізація продукції на зовнішньому ринку)**

Найменування показника	Одиниця виміру	Олія оливкова капсульована			Олія оливкова капсульована в оцеті		Оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	
		продукт-аналог	нова технологія		продукт-аналог	нова технологія	продукт-аналог	нова технологія
			напівфабрикат ООК	напівфабрикат ООК у заливці				
Ціна	дол/кг	350,00	350,00	350,00	363,00	363,00	430,00	430,00
Собівартість	дол/кг	318,18	120,00	123,00	330,00	160,00	390,91	174,55
Прибуток	дол/кг	31,82	230,00	227,00	33,00	203,00	39,09	255,45
Приріст прибутку: – на 1 кг продукції	дол/кг	–	+198,18	+195,18	–	+170,00	–	+216,36
– на 1000 кг продукції	тис.дол/т	–	+198,2	+195,2	–	+170,0	–	+216,4
Рентабельність виробництва та реалізації продукції	%	10,0	191,7	184,6	10,0	126,7	10,0	146,4
Зростання рентабельності виробництва та реалізації продукції	рази	–	19,2	18,5	–	12,7	–	14,6

За попередніми оцінками додатковий прибуток, що може одержати компанія-виробник розробленої продукції становить 5,1...6,4 тис. грн та 195,2...216,4 дол. за 1 кг продукції у разі реалізації продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках відповідно (табл. 6.4, 6.5).

Успішність просування інноваційної продукції на ринку забезпечується її високими техніко-технологічними та економічними параметрами. Слід відзначити, що за органолептичними, фізико-хімічними, мікробіологічними показниками розроблена продукція відповідає світовим стандартам якості. Щодо асортименту та цінових характеристик, то вони значно кращі порівно з продукцією прямого конкурента – компанії «Caviaroli» (Іспанія). Значні конкурентні переваги, які надає інноваційна технологія, зумовлює активність компаній-виробників щодо придбання установки для одержання капсул та ліцензій на використання інноваційних розробок. У свою чергу, це є джерелом додаткових доходів від впровадження та використання розроблених технологій. За даними ТОВ «КАПСУЛАР» у 2016...2017 рр. було реалізовано два міжнародні контракти на поставку обладнання для одержання капсул УПК-100 на загальну суму 75,9 та 50,0 тис. дол США. Надходження від реалізації прав інтелектуальної власності складає 1,3 тис. дол США на рік (рис. 6.2).

Загальна сума доходів від впровадження інноваційних технологій на підприємстві ТОВ «КАПСУЛАР» упродовж 2016...2017 рр. наведено у табл. 6.6.

Таблиця 6.6

**Загальна сума доходів ТОВ «КАПСУЛАР» за результатами впровадження технології ЛХСК у практичну діяльність, тис. дол. США**

Найменування показника	2016	2017	Відхилення	% у 2017 р. до 2016 р.
Доходи від реалізації інноваційної продукції	5,8	49,1	43,3	848,8
Доходи від реалізації обладнання для одержання капсул	75,9	50,0	-25,9	65,9
Доходи від реалізації прав інтелектуальної власності	1,3	1,3	0,0	100,0
<b>Разом доходи:</b>	<b>83,0</b>	<b>100,4</b>	<b>17,4</b>	<b>121,0</b>

Примітка: визначено з урахуванням середнього курсу валют

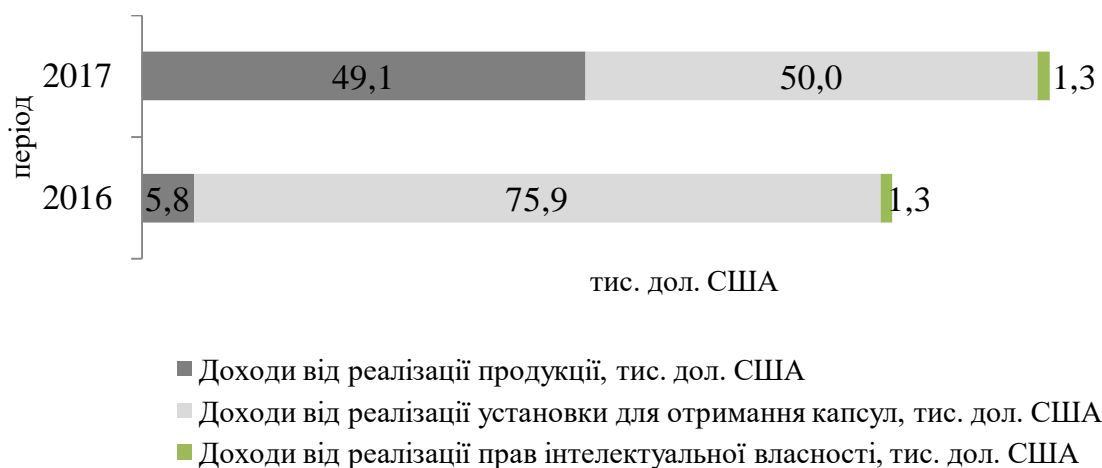


Рис. 6.2. Склад доходів ТОВ «КАПСУЛАР» за результатами впровадження розроблених технологій у практичну діяльність

Розробка та впровадження у виробництво капсульованої продукції з внутрішнім жировим умістом належить до широкомасштабних проектів, що зумовлює об'єктивність оцінювання економічного ефекту від його впровадження з огляду на грошові надходження до бюджету країни. За оцінками за 2016...2017 рр. в цілому фактична сума нарахованих й сплачених до бюджету України податків та платежів становила 1126,9 тис. грн. У динаміці відзначено зростання обсягу надходжень до бюджету, що зумовлено збільшенням обсягів виробництва й реалізації інноваційної продукції (табл. 6.7).

Таблиця 6.7

#### Економічна ефективність від впровадження інноваційних технологій

Найменування показника	2016	2017	Разом за 2016...2017 рр.	% у 2017 до 2016 р.
Дохід, тис. грн.	2241,2	2712,3	4953,5	121,0
Податки та відрахування до бюджету, усього, тис. грн., у тому числі:				
– податок на прибуток, тис. грн.	484,1	642,8	1126,9	132,8
– збори податки від суми заробітної плати, тис. грн.	49,1	59,4	108,5	121,0
– інші відрахування і платежі, тис. грн.	195,0	238,7	433,7	122,4
	240,0	344,7	584,7	143,6

Примітка : станом на 01.01.2018 р.

Уведення в дію нових виробничих потужностей, збільшення обсягів реалізації продукції за періодами часу, постійний інтерес провідних світових компаній до інноваційної продукції та технологій, значні обсяги нарахованих та сплачених до бюджету податків й платежів свідчать про високий рівень наукових розробок та є підтвердженням економічної ефективності їх впровадження у практику господарської діяльності.

Значущим для оцінювання наукової розробки є визначення соціальних ефектів впровадження у практичну діяльність результатів дослідження. Ураховуючи результати дисертаційної роботи, соціальний ефект від їх впровадження розглянуто через показники цінності продукції для населення. Для цього продукція оцінена за критеріями якості та доступності за ціною, що відповідає ключовим ознакам якості життя населення за переліком ОЕСР та складом показників, що використовуються для оцінювання якості життя населення в Україні.

У зв'язку з тим, що доступність та якість продукції як об'єкт оцінки не характеризуються однозначністю кількісних вимірів, для їх оцінювання використано метод анкетування. В анкеті якість продукції визначено за характеристиками, важливими для населення, а саме за органолептичними показниками, її харчовою цінністю та безпечністю, а також універсальністю використання та стабільністю показників якості. Для висновку щодо доступності продукції для населення використано дані щодо цін на інноваційну продукцію порівняно з продукцією прямого конкурента – компанії «Caviaroli» (Іспанія). Оцінювання якості та доступності продукції здійснено за шкалою від нуля до п'яти балів, відповідно якої високе значення характеристики відповідає 5 балам, відсутність прояву характеристики – 0 балів. В опитуванні прийняли участь фахівці та спеціалісти у галузі харчових технологій, ресторанного бізнесу, торгівлі, чисельність яких визначена з огляду на практику застосування експертних оцінок під час досліджень. Під час визначення цінності продукції застосовано методи адитивного згортання та середніх величин. Коефіцієнти якості ( $K_{яп}$ ) та цінової доступності продукції ( $K_{цдп}$ ) визначено за формулами (6.1) та (6.2).



$$K_{яп_j} = \frac{\sum_{i=1}^n B_{яп_{ij}}}{B_{яп_{max}}}, \quad (6.1)$$

$$K_{цп_j} = \frac{B_{цп_j}}{B_{цп_{max}}}, \quad (6.2)$$

де  $K_{яп_j}$  – коефіцієнт якості  $j$ -ї продукції, коефіцієнт;  $K_{цп_j}$  – коефіцієнт цінової доступності  $j$ -ї продукції, коефіцієнт;  $B_{яп_{ij}}$  – значення за  $i$ -м показником якості  $j$ -ї продукції, бал;  $B_{цп_j}$  – значення за показником доступності ціни  $j$ -ї продукції;  $B_{яп_{max}}$  – максимальне значення за показником якості продукції, бал;  $B_{цп_{max}}$  – максимальне значення за показником доступності продукції за ціною, бал

Враховуючи значення коефіцієнтів якості та доступності продукції за ціною, визначено умови для встановлення їх рівня (табл. 6.8)

Таблиця 6.8

#### Умови для визначення рівня якості продукції та доступності за ціною

Умови	Висновок
$0 < K_{яп} \leq 0,33$	якість продукції низька
$0,34 < K_{яп} \leq 0,77$	якість продукції середня
$0,78 < K_{яп} \leq 1,0$	якість продукції висока
$0 < K_{цп} \leq 0,33$	цінова доступність продукції низька
$0,34 < K_{цп} \leq 0,77$	цінова доступність продукції середня
$0,78 < K_{цп} \leq 1,0$	цінова доступність продукції висока

Анкета та відповіді експертів наведені у додатку Д (табл. 3, 4) зведені результати опитування за видами продукції – у табл. 6.9.

## Оцінка ЛХСК та аналогічної продукції за критеріями якості та цінової доступності для населення, бали

Найменування продукції	Максимальне значення, $K_{MAX}$ , бал	Якість продукції								Цінова доступність продукції		Цінність продукції, бал
		Органолептичні показники	Харчова цінність	Безпечність	Універсальність використання	Стабільність якості	Разом	у середньому	Коефіцієнт якості продукції, $K_{ЯП}$	Ціна продукції	Коефіцієнт цінової доступності продукції, $K_{ЦДП}$	
<b>Нова продукція</b>												
Напівфабрикат олії оливкової капсульованої	5,0	4,71	4,65	4,59	4,53	4,76	23,24	4,65	0,93	4,12	0,82	4,56
Олія оливкова капсульована у заливці	5,0	4,47	4,53	4,59	4,53	4,65	22,76	4,55	0,91	4,06	0,81	4,47
Олія оливкова капсульована в оцті	5,0	4,59	4,53	4,53	4,41	4,71	22,76	4,55	0,91	3,94	0,79	4,45
Напівфабрикат олії соняшникової капсульованої	5,0	4,53	4,41	4,53	4,47	4,71	22,65	4,53	0,91	4,41	0,88	4,51
Олія соняшникова капсульована у заливці	5,0	4,41	4,41	4,47	4,47	4,65	22,41	4,48	0,90	4,35	0,87	4,46
Оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої	5,0	4,47	4,35	4,53	4,41	4,71	22,47	4,49	0,90	4,24	0,85	4,45
<b>Продукти-аналоги</b>												
Олія оливкова капсульована «Caviaroli» (Іспанія)	5,0	4,76	4,41	4,53	4,47	4,71	22,88	4,58	0,92	0,71	0,14	3,93
Олія оливкова капсульована в оцті «Pedro Ximenez Caviaroli», Іспанія	5,0	4,71	4,53	4,35	4,53	4,65	22,76	4,55	0,91	0,76	0,15	3,92
Оливка структурована «Caviaroli Drops», Іспанія	5,0	4,35	4,35	4,53	4,41	4,71	22,35	4,47	0,89	0,94	0,19	3,88

Розрахунки показують високий рівень споживчих характеристик інноваційної продукції та доступність її для покупця, про що свідчать високі значення цінності за видами продукції. Середні значення за вказаними показниками становлять 4,42...4,51 бали, що вище ніж за аналогічною продукцією (4,08...4,20 бали). Спираючись на одержані результати, здійснено позиціонування розробленої продукції за критеріями якості та цінової доступності (рис.6.3), у результаті чого діагностовано більш високу цінність нової продукції для споживача порівняно з аналогічною. У розвиток питання щодо соціального ефекту слід відзначити, що результатом впровадження розроблених технологій у виробництво ТОВ «КАПСУЛАР» на підприємстві було створено 27 додаткових робочих місць, що також є підтвердженням позитивних соціальних результатів впровадження технологій капсулювання ЛХС.

Важливим етапом оцінки результатів наукових досліджень є визначення потенціалу розробок як об'єкту комерціалізації. Для цього використовують технологічний аудит, GAP-, SWOT-аналіз, методику LIFT та ін. Враховуючи впровадження наукових розробок у практичну діяльність, для визначення їх потенціалу використано методичні рекомендації системи TAME™ (Technology And Market Evaluation), що застосовується уразі системної оцінки об'єктів інтелектуальної власності та їх комерційного потенціалу. Система TAME™ базується на методі ранжування та передбачає експертне оцінювання інноваційної розробки за сукупністю показників. Система TAME™ спирається на п'ять основних критеріїв оцінки: сильні сторони та ринкове застосування розробки, сутнісні характеристики нової технології, умови комерціалізації технології, заходи щодо сприяння процесу комерціалізації технології, комерційні питання тощо. Для оцінки кожного з цих розділів розроблені питання з ранжируемими відповідями. Перелік характеристик, використаних під час оцінювання інноваційної технології за системою TAME™ та результати відповідей експертів наведені у додатку Д, таблицях Д.5-Д. 6, узагальнена оцінка наукової розробки за системи TAME™ – у табл. 6.10.

**Позиціонування продукції за критеріями якості та цінової доступності**

Доступність продукції	Коефіцієнт якості продукції ( $K_{ЯП}$ )		
	низький $0 < K_{ЯП} \leq 0,33$	середній $0,34 < K_{ЯП} \leq 0,77$	високий $0,78 < K_{ЯП} \leq 1,0$
низький $0 < K_{ЦДП} \leq 0,33$	–	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>– олія оливкова капсульована «Caviaroli»;</li> <li>– олія оливкова капсульована в оцті «Pedro Ximenez Caviaroli»;</li> <li>– оливка структурована «Caviaroli Drops»</li> </ul>
середній $0,34 < K_{ЦДП} \leq 0,77$	–	–	–
високий $0,78 < K_{ЦДП} \leq 1,0$	–	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>– напівфабрикат олії оливкової капсульованої;</li> <li>– олія оливкова капсульована у заливці;</li> <li>– олія оливкова капсульована в оцті;</li> <li>– напівфабрикат олії соняшникової капсульованої;</li> <li>– олія соняшникова капсульована у заливці;</li> <li>– оливка структурована з внутрішнім умістом олії оливкової капсульованої</li> </ul>

Таблиця 6.11

**Оцінка потенціалу наукових розробок як об'єкта комерціалізації**

Найменування елемента	Максимальне значення, бал	Фактичне значення, бал	Рівень відповідності максимального значення, %
Інтелектуальна власність	50,0	43,5	87,1
Інноваційність технології	25,0	22,4	89,4
Трансфер технології	35,0	29,0	82,9
Технічна підтримка	25,0	20,2	80,9
Можливості комерціалізації	65,0	55,1	84,8
Разом:	200,0	170,2	85,1

Загальний середній показник оцінки результатів наукового дослідження з обґрунтування технологій виробництва ЛХСК складає 170,2 бали, що досягає 85,1 % від максимально можливого рівня оцінки (200 балів). Це підтверджує високий потенціал щодо подальшого розвитку, використання та комерціалізації розробок за визначеним науковим напрямом. Експерти підкреслили високий рівень оцінки за такими компонентами як технологія (89,4 % до максимально можливого значення); інтелектуальна власність (87,1 %).

**Висновки за розділом 6**

За результатами проведених досліджень з визначення економічної ефективності відзначено високий рівень інноваційних розробок.

1. Узагальнення даних щодо створеної наукової продукції та оприлюднення її результатів свідчать про високий рівень проведеного дослідження та визнання його результатів науковим товариством.

2. Доведено високі зовнішні та внутрішні ефекти впровадження технологій ЛХСК у виробництво. Економічна ефективність від впровадження інноваційних технологій ЛХСК підтверджена позитивною динамікою доходів в компанії ТОВ «КАПСУЛАР». За 2016...2017 рр. доходи від реалізації нової

продукції зросли у 8,5 рази. Значні конкурентні переваги, що надає інноваційна технологія, зумовлює активність компаній-виробників щодо придбання установи для одержання ЛХСК та ліцензій на використання інноваційних розробок. Промислове виробництво та експортоорієнтованість реалізації нової продукції є чинником позитивного іміджу Харківського регіону та України на зовнішніх ринках та свідчить про значний ринковий потенціал розробленої продукції.

3. Відзначено високий рівень рентабельності інноваційної продукції, що дозволяє підприємствам-виробникам мати значний діапазон у формуванні цінової політики відносно цін, що склалися на продукти-аналоги. Додатковий прибуток, що може отримати компанія-виробник ЛХСК за рахунок встановлення цін на нову продукцію на рівні цін компаній-конкурентів становить 170,0...216,4 тис. дол. США на кожні 1000 кг реалізованої продукції в асортименті.

4. На основі фактичних даних визначено збільшення обсягів продажів у 2016...2017 рр., що забезпечило сплату податків у цілому за цей період у розмірі 1126,8 тис. грн.

5. Встановлено, що запровадження науково обґрунтованих та розроблених технологій ЛХСК дозволяє виробляти конкурентоспроможну продукцію з високими показниками якості та доступною за ціною, що у сукупності позитивно впливає на якість життя населення.

6. Оцінка потенціалу наукових розробок як об'єкту комерціалізації за критеріями інтелектуальної власності, інноваційності технології, трансферу, сприяння й можливості комерціалізації довела високий рівень ефективності. Загальний середній показник складає 170,2 бали, що досягає 85,1 % від максимально можливого рівня оцінки (200 балів).

## ВИСНОВКИ

1. Аналізом сучасного стану розвитку харчової науки, із врахуванням державної політики в області безпечності харчування населення України та необхідності забезпечення споживачів високоякісною харчовою продукцією, яке відповідає сучасним вимогам нутріціології, аналітично й експериментально доведено, що створення та реалізація наукового напрямку з одержання ЛХСК і харчової продукції на їх основі відповідає суспільним запитам та дозволяє створювати харчову продукцію з високою доданою вартістю, органолептичними показниками та харчовою цінністю.

2. Теоретичними, аналітичними та експериментальними дослідженнями обґрунтовано науково-технічні принципи технологій капсулювання ЛХС, систем на основі олій, жирів тваринного походження та гідробіонтів й харчової продукції з використанням ЛХС, розроблено промислове обладнання для випуску продукції капсульованої з внутрішнім жировим умістом, нормативні, технологічні та економічні принципи організації виробництва нової продукції.

3. Із врахуванням теоретичних положень про розрив ламінарного потоку рідин та незмішування різнополярних рідин розроблено та перевірено на адекватність теоретичні моделі формування систем капсульованих «ЛХС – оболонка капсули» у середовищі повітря та у двошаровому прийомному середовищі «олія рафінована дезодорована – водно-спиртовий розчин  $Ca^{2+}$ », які стали науковим підґрунтям для обґрунтування технологій та конструювання обладнання для одержання ЛХСК, забезпечили функціонування нового технологічного напрямку виробництва харчової продукції з використанням ЛХСК.

4. Розвинуто теоретичні положення про одержання харчової гідрофобної продукції капсульованої структурованої із використанням іонотропних полісахаридів як оболонкоутворювачів, які полягають у встановленні закономірностей фізичних, структурно-механічних, органолептичних властивостей ЛХСК з технологічними принципами формування, характеристиками прийомного середовища, параметрами технологічного процесу, складом та кількісним

вмістом учасників технологічного процесу, які забезпечують одержання ЛХСК з прогнозованою харчовою цінністю та технологічними властивостями.

5. Уперше шляхом визначення кінетики капсулоутворення у середовищі повітря визначено заходи по визначенню критичних точок контролю технологічного процесу, спрогнозовано продуктивність пристроїв під час одержання ЛХСК у процесі екструзії за вихідними рецептурними компонентами (речовинами). Теоретично показано, що основним фактором, який лімітує продуктивність пристрою є стадія формування зародка та безпосередньо краплі. Теоретично доведено, що за умов формування капсул у повітряному середовищі продуктивність процесу ( $90 \dots 160$ )  $1/60 \text{ c}^{-1}$  обмежена, як і діаметр ( $d = 4,3 \dots 6,2 \text{ мм}$ ) капсул внаслідок визначальної дії на процес формоутворення сили тяжіння. Визначено, що технологічні характеристики розчину AlgNa визначають фізичні розміри перемички, краплі, тривалість процесів формування краплі та її відриву; збільшення відносного коефіцієнта поверхневого натягу у 3 рази збільшує радіус краплі у 1,6 разів, а повна тривалість формування й відриву краплі – у 2,5 рази. Одержані дані застосовані для експериментальної перевірки запропонованої моделі утворення й відриву краплі рідини, а також під час конструювання пристроїв для одержання капсул й обґрунтування їх потужності по кінцевому продукту.

6. Уперше під час одержання ЛХСК з діаметром  $d = (6,0 \dots 12,0) \times 10^{-3}$  м на основі водного розчину AlgNa для складних рідин обґрунтовано використання у технологічному процесі двошарового технологічного прийомного середовища «олія рафінована дезодорована – водно-спиртовий розчин  $\text{Ca}^{2+}$ », що дозволило вирішити проблему керованої кінетики формування капсули шляхом заміни повітряного прийомного середовища на рідинне та скомпенсувати силу тяжіння силою Архімеда. Одержано диференційне рівняння, яке описує кінетику росту сферичної рідкої капсули у рідкому середовищі під дією доданого зовнішнього тиску, із врахуванням впливу міжфазного поверхневого натягу, розмірів ядра та оболонки, величину внутрішнього тертя. Показано, що під час росту капсули у рідкому середовищі максимальний радіус капсули значно залежить від значень відносної густини  $\Delta\rho / \rho$  (відносної різниці густин капсули та зовнішнього середо-



вища) та незначно змінюється від інших параметрів процесу: числа Бонда ( $Bo$ ), числа капілярності ( $Cr$ ), відносного поверхневого натягу ( $\sigma_\delta / \Delta\sigma_R$ ), товщини оболонки капсули тощо. Одержані дані використано при розробці технології ЛХСК з керованим складом оболонок та конструюванні пристроїв для їх одержання.

7. Аналітично обґрунтовано та експериментально підтверджено (на прикладі використання агару – 0,2...0,8 %, пектину низькоетерифікованого – 1,0...2,0 %, гліцерину – 0,5...1,0 %), що властивості оболонок ЛХСК можуть бути за властивостями модифіковані у широкому діапазоні характеристик, а рецептурний склад оболонкоутворювача суттєво впливає на технологічну стійкість ЛХСК за різних умов технологічного впливу, визначає та обґрунтовує технологічні параметри й умови використання нового продукту в технологіях харчової продукції. Розроблено рекомендації по використанню ЛХСК з різним складом оболонок в технології харчової продукції.

8. На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, реалізації наукової концепції розроблено технології та затверджено технічні умови та технологічні інструкції: ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані», ТУ У 10.4-38128375-009:2018 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані в олійних та оцтових середовищах», ТУ У 10.4-38128375-010:2018 «Дресінги капсульовані»; ТІ до ТУ У 10.4-38128375-003:2014 «Олії, жири та суміші жирові капсульовані», ТІ з виготовлення холодних і гарячих закусок, салатів, других страв, солодких страв із використанням олій, жирів та їх сумішей жирових капсульованих до ТУ У 10.4-38128375-003:2014, ТІ з виготовлення борошняних кондитерських виробів до ТУ У 10.4-38128375-009:2018.

9. Узагальненням наукових результатів дослідження розроблено наукові основи 5 нових технологій харчової продукції на принципах капсулювання гідрофобних речовин. Розроблено та серійно впроваджено у виробництво нову технологічну лінію на основі авторського пристрою УЖК-20 з виробництва ЛХСК з розмірними характеристиками капсул  $d = (3,0...12,0) \times 10^{-3}$  м. Аналіз показників якості та безпечності серійної продукції підтвердив її стабільність

протягом 6 місяців зберігання, а використання різних прийомів капсулоутворення дозволяє одержувати широкий асортимент ЛХСК з прогнозованою харчовою цінністю.

10. Доведено високі зовнішні та внутрішні ефекти впровадження технологій ЛХСК у виробництво. Промислове виробництво та експортоорієнтованість реалізації нової продукції є чинником позитивного іміджу Харківського регіону та України на зовнішніх ринках та свідчить про значний ринковий потенціал розробленої продукції. Розроблені технології ЛХСК та харчової продукції з їх використанням упроваджено у закладах ресторанного господарства та харчової промисловості України, Іспанії, США, Греції, Болгарії, Ізраїлю, доведено соціально-економічну ефективність нових розробок, визначено соціальний ефект у вигляді забезпечення нових робочих місць (ТОВ «КАПСУЛАР», Україна). Аналіз економічних даних 2016...2017 рр. компанії ТОВ «КАПСУЛАР» від реалізації ЛХСК свідчить про відрахування до бюджету країни суми податків у розмірі 1126,9 тис. грн. Крім того, загальна вартість експортованої продукції за цей період склала: готова продукція – 54,9 тис. дол.; обладнання для виробництва ЛХСК – 125,9 тис. дол., ліцензійні угоди на виробництво продукції – 2,6 тис. дол. відповідно. Оцінка потенціалу наукових розробок як об'єкту комерціалізації за критеріями інтелектуальної власності, інноваційності технології, трансферу, сприяння й можливості комерціалізації довела високий рівень ефективності. Загальний середній показник складає 170,2 бали, що досягає 85,1 % від максимально можливого рівня оцінки (200 балів).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шпичак О. С. Обґрунтування вибору гелеутворювача при розробці складу гелю для застосування в спортивній медицині // Вісник фармації. 2012. № 4. С. 7–11.
2. Толстогузов В. Б. Новые формы белковой пищи (технологические проблемы и перспективы производства) // Агропромиздат. Москва, 1987. 303 с.
3. Ребиндер П. А. Структурообразование в белковых системах // Наука, 1974. 268 с.
4. Козлов С. Г. Физико-химические основы получения гелеобразных продуктов // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки, 2004. № 2. С. 88–91.
5. Спосіб одержання структурованого продукту, що імітує солоне рибне філе: пат. на винахід 45032 Україна, МПК А 23 J 1/00 / Пивоваров П. П., Бреславець Т. В.; № 2001031598; заявл. 07.03.2001; опубл. 15.03.2002, Бюл. № 4.
6. Спосіб одержання структурованого продукту з ізольованих білків гідробіонтів: пат. на винахід 44450 Україна, МПК А 23 J 1/04 / Пивоваров П. П., Бреславець Т. В.; № 2001031597; заявл. 07.03.2001; опубл. 15.02.2002. Бюл. № 4.
7. Пивоваров Є. П. Наукове обґрунтування технології структурованої харчової продукції методом іонотропного гелеутворення // автореферат; Х. 2014. 44 с.
8. Спосіб одержання пластичної кондитерської кремово-збивної маси: пат. на винахід 106859 Україна, МПК А 23 G 3/52 (2006.01), А 21 D 13/08 (2006/01) / Неклеса О. П., Горальчук А. Б., Омельченко С. Б., Гринченко О. О.; № а201314677; заявл. 16.12.2013; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
9. Спосіб одержання харчового гранульованого продукту: пат. на винахід 103277 Україна, МПК А 23 L 1/05 (2006.01), А 23 P 1/02 (2006.01) / Неклеса О. П., Мороз О. В., Нагорний О. Ю., Пивоваров Є. П.; № а201209081; заявл. 23.07.2012; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18.
10. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Янчева М. О., Гринченко Н. Г. та ін. Актуальні проблеми використання мікроінгредієнтів в технології харчової про-

дукції // Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности: сб. материалов 1-й междунар. науч.-практ. конф. 10-13 июня 2013 г. Щелкино, 2013. С. 256–261.

11. FMC Bio Polymer [Електроний ресурс]. Режим доступу: [www.Novamatrix.biz](http://www.Novamatrix.biz).

12. Технологии и продукты здорового питания. Функциональные пищевые продукты // Обзорная информация МГУПП, 2010. 204 с.

13. Филлипс Г. О., Вильямс П.А. Справочник по гидроколлоидам. СПб.: ГИОРД, 2006. 536 с.

14. Полицук Т. С., Ткачук И. О., Скрипник Ю. В. Гелеобразователи в фармации. Альгинаты // МИУАНМ. 2011. № 2. С. 78–80.

15. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П., Пивоваров Є. П. Науково-практичні принципи капсулювання технологічних систем гідрофобного походження // Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технології, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу: колективна монографія / за ред. проф. Євлаш В. В., проф. Потапова В. О., проф. Савицької Н. Л. Х.: ХДУХТ, 2015. Ч. 2. С. 343–360.

16. Неклеса О. П., Нагорний О. Ю., Пивоваров Є. П. Закономірності одержання соусів томатних капсульованих залежно від технологічних властивостей системи // Продовольча індустрія АПК України. Київ, 2014. № 1. С. 33–37.

17. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Кондратюк Н. В., Гринченко О. О. Технологія одержання капсульних форм пробіотичних мікроорганізмів // Інститут вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Київ, 2014. № 69. С. 35–40.

18. Неклеса О. П., Мороз О. В., Міронов О. Ю. Сучасні тенденції у виробництві капсульованої продукції // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: Міжнар. наук.-практ. конф., 22 травня 2014 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2014. Ч. 1. 343 с.

19. Seamless alginate capsules: пат. на винахід 20110059165 США, МПК А1А61К35/60, А61К9/48, В01J13/20, А61Р3/02. АПК 424/451, 424/523, 264/4.3; заявл. 02.09. 2010; опубл. 10.03.2011. 15 с.
20. Пивоваров П. П., Неклеса О. П., Нагорний О. Ю. Инновационные технологии производства капсулированных продуктов // Продукты и ингредиенты / Мир пищевых ингредиентов. 2013. № 3. С. 24–25.
21. Рябець О. Ю., Пивоваров Є. П., Гринченко О. О. Наукові принципи технології аналогів ікри: монографія. Х.: ХДУХТ, 2010. 163 с.
22. Коротаєва Є. О. Технологія олії соняшnikової капсульованої та її використання у складі салатів // Автореферат. Х., 2016. 22 с.
23. Обертюхина И. А. Физико-химическая характеристика структурообразования и фазовых состояний в водных растворах полисахаридов клеточной стенки бурых водорослей // Автореферат. М., 2003. 23 с.
24. Allen, T. M. Drug Delivery System: Entering the Mainstream DOI: 10.1126 (Science 303 1818 (2004) // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Business Management, 2013. Vol.1. Issue. 1. P. 104–107.
25. Nourbehesht N., Shekarchizadeh H., Soltanizadeh N. Investigation of stability, consistency, and oil oxidation of emulsion filled gel prepared by inulin and rice bran oil using ultrasonic radiation // Ultrasonics Sonochemistry, 2018. V. 42. P. 585–593.
26. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Степанькова Г. В. та ін. Наукові основи технологій харчової продукції лікувально-профілактичного призначення, одержаної шляхом акумуляції функціональних інгредієнтів // Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2017. Т. 23. № 5(2). С. 131–141.
27. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Виробництво капсульованих рослинних олій як продукту лікувально-профілактичної дії // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. з міжнар. участю, 10–11 листопада 2015 р. Одеса: ОНАХТ, 2015. С. 174–175.

28. Неклеса О. П., Парфілова М. М., Степанькова Г. В. Прискорена технологія хлібобулочних виробів із підвищеним вмістом харчових волокон // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 07 квітня 2016 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2016. С. 70.

29. Ковалева Е. А. Научное обоснование использования водорослевого геля при производстве структурированных кондитерских изделий [Электронный ресурс]: <http://www.scienceforum.ru/2013/181/4009>.

30. Плотнікова Р. В. Розробка технологічного процесу виробництва напівфабрикатів для десертної продукції // Харчова наука і технологія, 2011. № 2 (15). С. 77–82.

31. Гринченко О. О., Неклеса О. П., Міронов О. Ю. Удосконалення технології начинок для борошняних кондитерських та кулінарних виробів // Продовольча індустрія АПК. 2015. №. 1. С. 25–32.

32. Encapsulation compositions: пат. на винахід 6652895 США, МПК А 23 L 1/22, А 23 G 3/00 / McCormick & Co., Porzio Michael A., Popplewell Levis M.; № 10/142882; заявл. 13.05.2002; опубл. 25.11.2003.

33. Способ производства пищевой зернистой икры и подобных продуктов: пат на винахід 228521 Росія, МПК А 23 L 1/212. / Несмеянов А. Н., Рогожин С. В., Слонимский Г. Л., Толстогузов В. Б., Ершова В. А.; ИНЭОС РАН. 1; заявл. 02.02.68; опубл. 08.10.68. Бюл. № 3.

34. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Степанькова Г. В. Technology of manufacture of innovative fat-and-oil products of increased nutritional value: монографія. Х.: ХДУХТ, 2016. 91 с.

35. Неклеса О. П., Нечепуренко К. Б., Пивоваров П. П. Дослідження стійкості термостабільних твердих емульсій // Сучасні напрямки технології та механізації переробних і харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Х.: ХНТУСГ, 2012. Вип. 131. С. 261–265.

36. Неклеса О. П., Пивоваров С. П., Нагорний О. Ю. Технологія соусів томатних капсульованих: монографія. Х. ХДУХТ, 2015. 120 с.
37. Способ получения твердой эмульсии и твердая эмульсия: пат. на винахід Російської Федерації 2545043 Росія, МПК А 23 D 9/00 (2006.01) // Неклеса О. П., Нечепуренко К. Б., Пивоваров П. П.; № 20123156167/13; заявл. 16.12.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 13.
38. Способ получения пищевого продукта в капсулах: пат. на винахід 2129809 Россия, МПК<sup>6</sup> А 23 L 1/325. / Захарчук А. В., Гневушев Е. Г., Арутюнян А. А.; № 98107294/13; заявл. 21.01.98; опубл. 10.05.99.
39. Рогов И. А., Антипова Л. В. Химия пищи. М.: Колос, 2000. – 384 с.
40. Tsuchida E., Takeoka S. Interpolymer complexes and the ionconductance in: Macromolecular complexes in chemistry and biology // Springer: Berlin, 2014. P. 183–213.
41. Махеева Е.Е. Амфифильные полимерные системы : переход клубок – глобула (коллапс) и абсорбционные свойства: диссер... доктора физ-мат. наук: 02.00.06.: М., 2003. 304 с.
42. Klingsberg A., Piccinini P. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering // New York: Wiley, 1985. V.7. P. 514.
43. Гросберг А. Ю., Хохлов А. Р., Филиппова О. Е. Физика в мире полимеров // Высокомолекулярные соединения, 2000. Т. 42. № 12. С. 2328– 2352.
44. Fakharian, M. H. et al. Effects of κ-carrageenan on rheological properties of dually modified sago starch: towards finding gelatin alternative for hard capsules // Carbohydrate polymers. 2015.V. 132. P. 156–163.
45. Постнова И.В., Picnecce L. Lindman B., Association and segregation in aqueous polymer /surfactant mixtures: Similarities and differences // Adv. Colloid Interface Sci, 1992. V. 41. P. 149–178.
46. Braccini I., Grasso R. P., Perez S. Conformational and configuration alfeatures of acidic polysaccharides and their interactions with calciumions: amolecular model in gin vestigation // Carbohydrate Research. 2009. Vol. 317. № 13. P. 119–130.

47. Неклеса О. П., Нагорний О. Ю., Пивоваров Є. П. Вплив ультразвукової модифікації на реологічні характеристики розчинів полісахаридів в технології капсульованої продукції // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2013. № 5/10 (65). С. 26–29.

48. Dauncey, M. J. Nutrition, genes, and neuroscience: implications for development, health, and disease // Diet and Exercise in Cognitive Function and Neurological Diseases. 2015. P. 1–13.

49. Козлов С. Г. Физико-химические основы получения гелеобразных продуктов // Пищевые ингредиенты: Сырье и добавки, 2004. № 2. С. 88–91.

50. Neklesa O., Korotayeva E., Pyvovarov P., Troshchyi T. Technological levers control the properties of two-layer environment, the formation of thermostable capsules with the fat content // Ukrainian Food Journal. 2014. Vol. 3, Iss. 4. P. 566–576.

51. Неклеса О. П., Пивоваров Е. П., Городничая А. В. Теоретические аспекты изучения полимеризационных процессов при формировании полисахаридных гидрогелей с аминокислотами // Нові рішення в сучасних технологіях / Вісник НТУ «ХПІ». Х.: НТУ «ХПІ», 2017. № 53 (1274). С. 60–64.

52. Неклеса О. П., Коротаева Е. А., Пивоваров П. П. Новые полуфабрикаты капсулированных растительных жиров на основе ионотропных полисахаридов // Наука о питании: технологии, оборудование и безопасность пищевых продуктов: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. / Саратовский гос. аграрн. ун-т им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2013. С. 92–93.

53. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П., Вовк В. С. Перспективи використання альгінату натрію в технологіях напівфабрикатів для борошняних кондитерських виробів // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2017 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2017. Ч. 1. С. 33-34.

54. Усов А. И. Альгиновые кислоты и альгинаты: методы анализа, определение состава и установления строения // Успехи химии. 1999. № 68 (11). С. 1050–1061.



55. Неклеса О. П., Коваленко А. А., Михайлов В. М., Пивоваров П. П. Технологічні аспекти створення продукції з емульсійною структурою на основі стабілізаційних систем з використанням іонотропних полісахаридів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Харків: ХДУХТ, 2010. Вип. 2 (12). С. 107–114.

56. Пивоваров Є., Пивоварова О., Гринченко О. Наукове прогнозування закономірностей структуроутворення системи натрію альгінат–кальцію сульфат–вода // Товари і ринки. 2010. №. 1. С. 52–62.

57. Preparation of caviar-like compositions: пат. На винахід 5397590 США, МПК<sup>7</sup> А 23 L 1/328. / George W. Scott; № 08/215045; заявл. 21.03.1994; опубл. 14.03.1995; НПК 426/98.

58. Salazar-López, E. I. Incorporation of Microcapsules in Pineapple Intercellular Tissue Using Osmotic Dehydration and Microencapsulation Method / E. I. Salazar-López et al. // Food and Bioprocess Technology. 2015. P. 1–8.

59. Neklesa O. Study of the permeability degree of the alginate-calcium tunic of capsule under condition of the use mixed ionotropic thermotropic gelation // Eureka: Life sciences. 2018. No. 2(14). Pp. 34–40.

60. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Пивоваров П. П., Коротаєва Є. О. Технологічні передумови виробництва олій, жирів та їх сумішей капсульованих // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: VIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. з міжнар. участю, 09 листопада 2016 р. Одеса: ОНАХТ, 2016. С.

61. Пестина Г. О. Технологія реструктурованого напівфабрикату з дині // Автореферат. Х., 2009. 22 с.

62. Гелеобразные продукты, обогащенные кальцием и методы их приготовления: пат. на винахід 6077557 США, МПК<sup>7</sup> А 23 L 1/05. / D. L. Gordon, K. S. Schwenn, A. N. Ryan et al.; General Mill Inc.; № 09/197214; заявл. 20.11.98; опубл. 20.06.00, НПК 426/573.

63. Мороз О. В., Пивоваров Е. П., Неклеса О. П. Исследование процесса гранулирования с целью создания полуфабриката для сладких блюд // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2013. Т. 25. №. 24 (167). С. 125–130.

64. Пивоварова О. П. Технологія реструктурованих напівфабрикатів на основі печериць // Автореферат.: Х. 2009. 22 с.

65. Урьев Н. Б., Талейсник М. А. Пищевые дисперсные системы (физико-химические основы интенсификации технологических процессов) / М.: Агропромиздат, 1985. 296 с.

66. Мороз О. В., Пивоваров Є. П., Трощій Т. В. Визначення закономірностей формування змішаних драглів на основі систем альгінат натрію-карагінан // Харчова наука і технологія. 2011. №. 4. С. 58–59.

67. Юдіна Т. І. Наукове обґрунтування технологій структурованої кулінарної продукції з використанням концентратів сколотин : дис. докт. техн. наук 05.18.16. К.: КНТЕУ, 2016. 359 с.

68. Пасічний В. М., Ястреба Ю. А. Дослідження структурно-механічних властивостей гелів альгінатів для виробництва м'ясних та м'ясомісних продуктів // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Їжицького, 2013. Т. 15. №. 3. С. 12–18.

69. Мороз О. В. Наукове обґрунтування змішаного драглеутворення в технологіях термостабільних начинок // Нові технології продуктів харчування. 2013. С. 42.

70. Пестина А.А. Научное обоснование рецептурного состава реструктурированного полуфабриката из дыни // ХГУПТ. 2006. С. 97–103.

71. Encapsulated of flavorings: пат. на винахід 6902751 США, МПК<sup>7</sup> А 23 L 1/22. / Symrise GmbH & Co., B. Schleifenbaum, J. Uhlemann, K.-H. Renz, R. Pinto, O. Safronchik, T. Sedlov, M. Selkha; № 09/707270; заявл. 06.11.2000; опубл. 07.07.2005.

72. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Городнича А. В., Коротаєва Є. О. Обґрунтування технології виробництва капсульованих рослинних жирів для борошняних кондитерських виробів // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 02 квітня 2015 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2015. С. 11.

73. Caviar alternative and method of making same: пат. на винахід 6770311 США, МПК<sup>7</sup> А 23 L 1/05. / Sarkis Alamian, Gagik Gevorgyan; № 10/196871; заявл. 15.06.2002; опубл. 03.08.2004; НПК 426/98.

74. Production of artificial caviar – like fish spawn utilizing cuttlefish ink: пат. на винахід 2000-004844 Японія, МПК<sup>6</sup> А 23 L 1/328, А 23 L 1/325. / Mikami Susumu; № 10-171487; заявл. 18.06.1998; опубл. 11.01.2000.

75. Методы приготовления гелеобразных продуктов, обогащенных кальцием: пат. на винахід 6444252 США, МПК<sup>7</sup> А 23 L 1/05. / D. L. Gordon, K. S. Schwenn, A. N. Ryan et al.; General Mill Inc.; № 09/596512; заявл. 19.06.00; опубл. 03.09.02, НПК 426/573.

76. Спосіб одержання начинок для борошняних кондитерських та кулінарних виробів: пат. на корисну модель 117737 Україна, МПК А 23 L 21/10 (2016.01), А 23 G 3/34 (2016.01) / Неклеса О. П., Вовк В. С., Пивоваров Є. П.; № u201613507; заявл. 28.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

77. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Пивоваров П. П. Обґрунтування технології капсулювання оліє-жирової сировини для харчової продукції // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: Міжнар. наук.-практ. конф., 18 травня 2017 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2017. Ч. 1. С. 16–20.

78. Спосіб одержання желатинових капсул з вмістом жирової і водної фази: пат. на винахід 94959 С2 Україна, МПК А23Р1/04, А61К9/48. // Пивоваров П. П., Гринченко О. О., Пивоваров Є. П., Нагорний О. Ю; № a200901885; заявл. 03.03.2009; опубл. 25.06.2011., Бюл. № 12.

79. Ono F., Shinkai S., Watanabe H. High internal phase water/oil and oil/water gel emulsions formed using a glucose-based low-molecular-weight gelator // *New Journal of Chemistry*. 2018. V. 9. № 18. P. 42–45.

80. Файнлейб А., Пурикова О., Григорьева О., Бардаш Л. Полимеризированные высококонцентрированные эмульсии // *Полимерный журнал*, 2012. Т. 34. № 4. С. 315–328.

81. Пивоваров С. П., Кондратюк Н. В. Перспективи використання капсульних структурованих продуктів у харчуванні // *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2009. №. 36 (2). С. 194–199.

82. Garcia E., Gutierrez S., Nolasco H., Carreon L., Arjona O. Lipid composition of shark liver oil: effects of emulsifying and microencapsulation // *Eur. Food Res. and Technol*, 2006. V. 222. № 5–6. P. 697–701.

83. Капсулированные ароматические добавки для продуктов нового поколения // *Пищевая промышленность*, 2000. № 10. С. 18.

84. Zasyrkin D., Porzio M. Glass encapsulation of flavours with chemically modified starch blends // *Journal of Microencapsulation*, 2004. V. 21, № 4. P. 385–397.

85. Перцевой Ф. В. Разработка технологии получения икры белковой красной // *Автореферат*. М., 1983., 23 с.

86. Сидоров А. И., Манаенков О. В., Клингер Е. А., Савин А. В. Инкапсулированные микронутриенты как компоненты функциональных продуктов питания // *Материалы международной научно-практической конференции «Технология и продукты здорового питания»*. Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. С. 106–109.

87. Oligosaccharide encapsulated mineral and vitamin ingredients: пат. на винахід 6468568 США, МПК<sup>7</sup> А 23 L 1/09. / Steven J. Leusner, J. Lakkis, H. Van Lengerich Bernhard, T. Jarl; General Mills Inc.; № 09/5955244; заявл. 16.06.2000; опубл. 22.10.02.

88. Баранов В. С. Исследование некоторых механических свойств пищевых студней желатина и агароида: диссертация канд. техн. наук: 05.18.02 / М., 1965. 385 с.
89. Jonsdottir R., Bragadottir M., Armanson O. Oxidatively derived volatile compounds on microencapsulated fish oil monitored by solid-phase microextraction (SPME) // *Journal of Food Sciences*, 2005. V. 70, № 7. P. 433–440.
90. Partanen R., Hakala P., Sjovallo O., Kallio H. Effect of relative humidity on the oxidative stability of microencapsulated sea buckthorn seed oil // *Journal of Food Sciences*, 2005. V. 70, № 1. P. E33–E43.
91. Sovilj Verica J. Primena mikroapsulacijeu prehrambenoj industriji // *Prehramb. ind.*, 2000. V. 11, № 3–4. P. 51.
92. Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Тютюкова Д. О., Коротаєва Є.О. Наукові основи технологій харчової продукції лікувально-профілактичного призначення, одержаної шляхом акумуляції функціональних інгредієнтів // Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: Міжнар. наук.-практ. конф., 7–8 листопада 2017 р. / НУХТ. К.: НУХТ, 2017. С. 136–137.
93. Peake, N. J. Controlled Release of C-Type Natriuretic Peptide by Microencapsulation Dampens Proinflammatory Effects Induced by IL-1 $\beta$  in Cartilage Explants // *Biomacromolecules*, 2015. Vol. 16, Issue 2. P. 104–107.
94. Pehlivanoğlu H. Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications // *Critical reviews in food science and nutrition*, 2017. P. 1–12.
95. Stable coated microcapsules: пат. на винахід 7097868 США, МПК<sup>7</sup> А 23 L 1/302. / Y. Blatt, R. Pinto, O. Safronchik, T. Sedlov, M. Selkha; Bio-Dar Ltd.; № 09/935050; заявл. 23.08.2001; опубл. 29.08.2006.
96. Неклеса О. П., Мороз О. В., Пивоваров П. П., Плотнікова Р. В., Пивоваров Є. П. Дослідження взаємодії іонотропних полісахаридів у складі драг-леподібних продуктів // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. № 6/11 (66). С. 24–27.

97. Пивоваров Є. П., Мороз О. В., Гринченко О. О. Дослідження взаємодії іонотропних і термотропних полісахаридів у складі драглеподібних продуктів // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2013. №. 6 (11). С. 24–27.

98. Юрьева М. С. Структурированные липиды в современном питании // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ». 2013. № 64 (1037). С. 175–181.

99. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Нагорний О. Ю., Гринченко Н. Г. Технологія олії соняшникової капсульованої та її використання у складі салатів: монографія. Х.: ХДУХТ, 2015. 161 с.

100. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Перспективи використання капсульованої жирової продукції в технологічних процесах // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць / Дон. нац. ун-т екон. і торг. ім. М. Туган-Барановського. Донецьк: ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2014. Вип. 32. С. 59–65.

101. Спосіб одержання капсул з внутрішнім умістом на основі жирів та отримана на його основі капсула: пат. на винахід 108807 Україна, МПК А 61 К 9/48, А 23 Р 1/04 / Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П.; № а201400713; заявл. 25.01.2014; опубл. 10.06.2015. Бюл. № 11.

102. Неклеса О. П., Пивоваров П. П., Шевцов А. В. Теоретичні аспекти використання жирових сумішей у технології капсулювання // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 26 березня 2014 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2014. С. 51.

103. Неклеса О.П., Коротаєва Є. О., Городнича А. В. Вдосконалено технології кондитерських виробів шляхом введення напівфабрикату капсульованого рослинного твердого жиру // Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности: сб. материалов 3-й междунар. науч.-практ. конф., 15–16 октября 2015 г. Щелкино, 2015. С. 256–260.

104. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П., Гринченко О. О. Технологія напівфабрикатів капсульованих рослинних олій для виробництва

борошняних кондитерських виробів // Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: Міжнар. наук.-практ. конф., 9 вересня 2015 р. / Нац. ун-т харч. технол. К.: НУХТ, 2015. С. 38–43.

105. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Жири нового покоління для кулінарної продукції // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: VII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. з міжнар. участю, 4–5 листопада 2014 р. Одеса: ОНАХТ, 2014. С. 146–147.

106. Неклеса О. П., Пивоваров П. П., Коротаєва Є. О. Функціонально-технологічні властивості капсульованих рослинних олій // Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі, проблеми, перспективи, ефективність: Міжнар. наук.-практ. конф., 14 травня 2015 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2015. Ч. 1. С. 341.

107. Здоба до тіста, спосіб одержання тіста та отриманий з нього виріб: пат. на винахід 114736 Україна, МПК А 21 D 8/02, А 21 D 2/08, А 23 Р 10/30 / Неклеса О. П.; № а201505340; заявл. 02.06.2015; опубл. 25.07.2017, Бюл. № 14.

108. Шильман Л. З., Сімакова І. В., Камсуліна Н. В., Федак Н. В., Обозна І. Т. Жири у виробництві харчової продукції: монографія. Х.: ХДУХТ, 2016. 278 с.

109. Некрасов П. О., Плахотна Ю. М. Оптимізація процесу молекулярної дистиляції при отриманні жирів, збагачених діацилгліцеридами // Масложировая отрасль: технология и рынок, 2014. С. 50–51.

110. Восканян О. С., Паронян В. Х., Валитов З. О. Вопросы микрокапсулирования пищевых эмульсионных продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья, 2013. № 8. С. 115–116.

111. Chaves K. F., Barrera-Arellano D., Ribeiro A. P. V. Potential application of lipid organogels for food industry // Food Research International, 2017. P. 62–72.

112. Степычева Н. В., Фудько А. А. Купажированные растительные масла с оптимизированным жирнокислотным составом // Химия растительного сырья, 2011. № 2. С. 27–33.

113. Неклеса О. П., Пивоваров П. П., Гринченко О. О. та ін. Організм людини і харчування. Нутриенти харчових продуктів: енциклопедія харчування / Під ред. Черевко О. І. Х.: Мир книг, 2013. Т. 1–2. 351 с.

114. Терещук Л. В., Івашина О. А. Технологічні аспекти виробництва спредов функціонального призначення // Техніка і технологія харчових виробств, 2012. № 4 (27). С. 4–9.

115. Doan C. D. Internal and external factors affecting the crystallization, gelation and applicability of wax-based oleogels in food industry // Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017. P. 42–52.

116. Бакуліна О.Н., Некрасова Т.Э. Стратегічний інструмент для новачків – функціональні інгредієнти / харчові інгредієнти // Сировина і добавки, 2008. №2. С.51–53.

117. Кричківська Л. В., Бєлінська А. П., Жилікова Е. Т. Обогащение жировых продуктов витаминами // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Медицина. Фармация, 2013. Т. 9. №. 4 (75). С. 47–55.

118. Нечаев А. П. Пищевые добавки: понятие, аспекты современного использования в пищевых технологиях, проблемы, тенденции развития // Пищевая промышленность, 1998. № 6. С. 12–15.

119. Jang A. Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods // Food chemistry, 2015. Т. 187. P. 525–529.

120. Martins A. J. Edible oleogels: an opportunity for fat replacement in foods // Food & function, 2018. V. 9. №. 2. P. 758–773.

121. Титов В. З. Біологічне обґрунтування застосування поліненасичених жирних кислот родини  $\omega$ -3 в профілактиці атеросклерозу // Проблеми харчування, 1999. № 3. С. 34–41.

122. Погожева А.В., Кондакова Н. М., Мальцев Г. Ю. Вивчення стану системи перекисного окислення ліпідів - антиокислювальної захисти при використанні соєвого масла у хворих ішемічною хворобою серця і гіпертонічною хворобою // Проблеми харчування, 2000. №6. С. 29–32.



123. Khatskevych Yu., Sherbakova T., Selytina G. Use of blended oils in mayonnaise production // НУХТ, 2016. Т. 22. № 4. С. 214–220.

124. Павлова А. А., Орловецкая Н. Ф., Орловецька Н. Ф. Новый подход к парентеральному питанию // Вид-во НФаУ, 2016. 656 с. [Электронный ресурс]: <http://dspace.nuph.edu.ua>.

125. Forest M. G. Wang Q. Zhou H. Free surface viscoelastic and liquid crystalline polymer fibers and jets // In: Advances in the flow and rheology of non-Newtonian fluids / Eds. Sijger D.A. De Kee D. Chhabra R.P.V. N.Y.: Elsevier, 2009. P. 1069–1116.

126. L.P. Kazakova, Gundyrev A. A., Abaszade M. N. Dewaxing residual stock in inhomogeneous electric field // Chemistry and Technology of Fuels and Oils August, 1999, Vol. 15. No. 8. P. 555–558.

127. Нетреба А.А. Влияние электромагнитного поля на извлечение воска и воскоподобных веществ из подсолнечного масла и аппаратурное оформление процесса // Наука и техника, 2014. № 12. С. 112–118.

128. Гюлушанян А.П. Разработка способа повышения полярных свойств сопутствующих веществ и технологии их удаления из растительных масел. : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов». Краснодар, 2007. 23 с.

129. Большакова Л. С., Литвинова Е. В. Разработка технологии печеночно-растительной кулинарной продукции функционального назначения // Автореферат. О., 2014. 20 с.

130. Martinez I., Eide O., Oftad R. Correlation of chemical Parameters in Cod Mince and Surimi with the Surimi Quality // International Symposium in Seafood Quality Determination, 1986. № 11. P. 83–97.

131. Композиция для пудинга и способ его производства: пат. на винахід 2130730 Россия, МПК<sup>6</sup> А 23 С 23/00. / Компаниец Л. А., Орлов А. С.; № 98105400/13; заявл. 26.3.98; опубл. 27.5.99, Бюл. № 15.

132. Способ производства корпусов сбивных конфет: пат. на винахід 1835244 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 236 3/00. / Иващенко В. Н., Катюкова Т. М., Висенина Е. Н.; № 4904964/13; заявл. 24.1.91; опубл. 23.8.95.

133. Семчиков Ю. Д. Высокомолекулярные соединения. М.: ИЦ «Академия», 2003. 368 с.

134. Николаева О. В., Будтова Т. В., Калюжная Л. М., Белькевич Н. Г., Власова Е. Н., Френзель С. Я. Межмолекулярные взаимодействия в смесях полуразбавленных растворов полиакриловой кислоты и эфиров целлюлозы // Высокомолекулярные соединения, 1999. Т. 41. № 7. С. 1176–1182.

135. Основы физики и химии полимеров. Под ред. В.Н. Кузнецова. М.: Высшая школа, 1977. 247 с.

136. Филиппова О. Е. Восприимчивые гели // Высокомолекулярные соединения, 2000. Т. 42. № 12. С. 2328–2352.

137. Гринченко Н. Г., Плотникова Р. В. Исследование сорбционной способности альгината натрия с целью регулирования состава солевой системы молока обезжиренного // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, 2014. Vol. 2. № 5. P. 32–35.

138. Неклеса О. П., Коротаева С. О., Пивоваров П. П. Розширення асортименту кулінарних страв шляхом використання капсульованих рослинних олій // Інноваційна технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 12-14 листопада 2014 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2014. С. 69–70.

139. James Trefil. Cassel's Laws of Nature: an A–Z of Laws and Principles Governing the Workings of Our Universe, 2002. 578 с.

140. Плодоовочева галузь України – проблеми і перспективи конкурентоспроможності [Електронний ресурс] / режим доступу: <http://ua.textreferat.com/referat-9413-2.html>

141. Калорійність оливок. Хімічний склад та харчова цінність. [Електронний ресурс]/режим доступу: [http://health-diet.ru/base\\_of\\_food/sostav/13669.php](http://health-diet.ru/base_of_food/sostav/13669.php)

142. Dr. David Harris, Pr. Stanley George Kailis, Establish protocols and guidelines for table olive processing in Australia, 2004. 04/136, <http://www.rirdc.gov.au>

143. Lanza B. and Marsilio. Olive texture during ripening // IV Multinational Congress on Electron Microscopy Veszprem (Hungary). Sep. 5–8. 1999.

144. Paterson P., Official Journal of the International Olive Council, 2016. No. 123.

145. Coimbra, M. A., Rodrigues, M. R., Garcia, E., and Catulo, L. D. Effect of lactic acid fermentation on cell wall polysaccharides of green table olives // In Proceedings of the 3rd International Symposium on Olive Growing; Acta Horticultura, 1999. 474(2), P. 595–599.

146. Coimbra, M. A., Waldron, K. W., Delgadillo, I., and Selvendran, R. R. Effect of processing on cell wall polysaccharides of green table olives // Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996. 44(88). P. 2394–2401.

147. Імпорт консервованих оливок. Дослідження компанії «Бізнес-експерт» [Електронний ресурс] / режим доступу: <http://www.foodmarket.spb.ua>.

148. Дослідження ринку маслин та оливок консервованих в Україні [Електронний ресурс] / режим доступу: <https://pro-consulting.ua/issledovanie-rynka/Issledovanie-rynka-konservirovannyh-olivok-i-maslin-Ukrainy-2013-god>.

149. ДСТУ 4492:2005. Олія соняшникова. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 22 с.

150. Постанова Ради (ЄС) № 834/2007 від 28 червня 2007 року стосовно органічного виробництва і маркування органічних продуктів та скасування Постанови (ЄЕС) № 2092/91 Рада Європейського Союзу, враховуючи умови Договору про заснування Європейської Співдружності, та, зокрема, Статті 37 даного Договору.

151. ДСТУ 4562:2008. Олія кокосова. Технічні умови постачання. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 18 с.

152. Регламент комиссии (ЕС) № 28/2012 от 11 января 2012 года устанавливающий требования к сертификации импорта и транзита через Европей-

ский союз некоторых комбинированных продуктов и вносящий изменения в Решение 2007/275/ЕС и Регламент (ЕС) № 1162/2009.

153. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. К.: Держспоживстандарт України, 2014. 15 с.

154. ГОСТ 6709:1998. Вода дистиллированная. Технические условия. К.: Госстандарт Украины, 1998. 17 с.

155. ДСТУ 3583:2017. Сіль поварена харчова. Загальні технічні умови. К.: Міждержавний технічний комітет з стандартизації МТК 239, 2017. 18 с.

156. ДСТУ 4623:2006. Цукор білий. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.

157. ДСТУ 4221:2003. Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 14 с.

158. ДСТУ ISO 972:2008. Перець стручковий червоний, цілий чи змелений (порошкоподібний). Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 1997. 10 с.

159. ГОСТ 5904:2009. Изделия кондитерские. Правила приемки, методы отбора и подготовки проб. К.: Госстандарт Украины, 2009. 9 с.

160. ДСТУ 8756.21-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения жира. М. : Изд-во стандартов, 1989. 7 с.

161. ГОСТ 26668-85. Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов. М. : Изд-во стандартов, 1985. 5 с.

162. ГОСТ 26669-85. Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов. М.: Изд-во стандартов, 1985. 9 с.

163. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Изд-во стандартов, 1994. 12 с.

164. ГОСТ 32190:2013. Масла растительные. Правила приемки и методы отбора проб. К.: Госстандарт Украины, 2013. 10 с.

165. ДСТУ 4306:2004. Олія пальмова. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 15 с.

166. ДСТУ 4492:2005. Олія соняшникова. Технічні умови К.: Держспоживстандарт України. На заміну ДСТУ 4492:2005 з наданням чинності з 01.01.2019 року.

167. ДСТУ 7125:2009. Жир харчовий з риби. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 12 с.

168. ДСТУ ISO 948:2007. Прянощі та приправи. Відбирання проб. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 8 с.

169. ДСТУ ISO 5667:2007. Якість води. Відбір проб. Частина 18. Керування по відбору проб підземних вод. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 10 с.

170. ДСТУ ISO 212-2002. Олії ефірні. Відбір проб (ISO 212:1973). К.: Держспоживстандарт України, 2003. 8 с.

171. ДСТУ ISO 5555:2003. Жири та олії тваринні та рослинні. Відбір проб (ISO 555-1991). К.: Держспоживстандарт України, 2003. 28 с.

172. ДСТУ ISO 19.458:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2015. 25 с.

173. ГОСТ 11812:66. Масла растительные. Методы определения влаги и летучих веществ. М.: Изд-во стандартов, 1966. 5 с.

174. ГОСТ 5898:87. Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности. К.: Госстандарт Украины, 1987. 22 с.

175. ДСТУ 4723:2003. Молоко та вершки сухі. Визначення масової частки сахарози. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 16 с.

176. Скурихин И. М. О методах определения содержания минеральных веществ в продуктах / И. М. Скурихин // Вопросы питания, 1981. № 2. С. 10-15.

177. ГОСТ 5900:2014. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

178. ГОСТ 5903-89. Методы определения сахара. М.: Стандартинформ, 2012. 23 с.

179. ГОСТ 28561-90. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2011. 10 с.

180. Арутюнян Н. С., Янова Л. И., Аришева Е. А. Лабораторный практикум по технологии переработки жиров / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1991. 160 с.

181. Ржехина В. П., Сергеева А. Г. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности; Ленинград, 1969. Т. V. 502 с.

182. ГОСТ 25555.4-91. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы и щелочности общей и водорастворимой золы. Введ. 01.08.2002. М. Изд-во стандартов, 1991. 6 с.

183. ГОСТ 30627.1-98. Продукты молочные для детского питания. Метод измерения массовой доли витамина А (ретинола). Введ. 01.05.2002. М. Изд-во стандартов, 2001. 10 с.

184. ГОСТ 30627.5-98. Продукты молочные для детского питания. Метод измерения массовой доли витамина В1 (тиамина). Введ. 01.05.2000. М. Изд-во стандартов, 2001. 6 с.

185. ГОСТ 30627.6-98. Продукты молочные для детского питания. Методы измерений массовой доли витамина В2 (рибофлавина). Введ. 01.05.2000. М. Изд-во стандартов, 2001. 7 с.

186. ГОСТ 30627.2-98. Продукты молочные для детского питания. Методы измерений массовой доли витамина С (аскорбиновой кислоты). Введ. 01.05.2000. М. Изд-во стандартов, 2001. 9 с.

187. ГОСТ 30627.4-98. Продукты молочные для детского питания. Метод измерения массовой доли витамина РР (ниацина). Введ. 01.05.2000. М. Изд-во стандартов, 2001. 7 с.

188. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. Введ. 01.01.90. М. Изд-во стандартов, 2003. 7 с.

189. Терябина В. И., Михеева Е. В., Слепченко Г. Б., Щукина Т. И. Совместное определение водорастворимых витаминов группы В и С // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 2.
190. ДСТУ ISO 6558-2:2004 Фрукты, овощи и продукты переработки. Определение содержания каротина. Часть 2. Стандартные методы (ISO 6558-2:1992, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
191. Jones R.C., Sh. Sugie J., Weesburger J. H. Dietary  $\beta$ -carotene in rat models of gastrointestinal cancer // Nutr., 1989. Vol. 119. N3. P. 508–514.
192. Young Andrew J., Gordon M. Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids // Arch. Biochem. AndBiophys, 2001. N1. P.20–27.
193. King F. G. Ultracentrifugal analysis of changes in the composition of miofibrillar protein extracts obtained from fresh and frozen cod muscle // Food Science, 1966. № 61. P. 649–663.
194. ДСТУ 6045:2008. Фрукты, овощи и продукты переработки, консервы мясные и мясо-растительные. Метод определения pH. К.: Держспоживстандарт Украины, 2009. 12 с.
195. ГОСТ 25555.0-82. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности. Взамен ГОСТ 8756.15-70; Введ. 01.01.83. М. Изд-во стандартов, 2002. 4 с.
196. ДСТУ 4350:2004. Олії. Методи визначання кислотного числа (ISO 660: 1996, NEQ), К.: Держспоживстандарт України, 2004. 12 с.
197. ДСТУ ISO 3596:2004 Жири тваринні і рослинні та олії. Визначання вмісту неомильних речовин. Метод з використанням екстракції діетиловим ефіром (ISO 3596:2000, IDT), К.: Держспоживстандарт України, 2006. 11 с.
198. ГОСТ 5480-59. Масла растительные и натуральные жирные кислоты. Методы определения мыла (Олії рослинні і натуральні жирні кислоти. Методи визначання мила). Введ. 01.07.60. М. Изд-во стандартов, 2001. 5 с.
199. ДСТУ ISO 5508-2001 Жири та олії тваринні і рослинні. Аналізування методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот (ISO 5508:1990, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2003. 14 с.

200. ДСТУ ISO 3960–2001. Жири та олії тваринні і рослинні. Визначення пероксидного числа. К.: Держспоживстандарт України, 2001. 11 с.
201. Авраменко В. Н., Есельсон В. Н., Заика А. А. Инфракрасные спектры пищевых продуктов // Издательство «Пищевая промышленность. М., 1974. 174 с.
202. Горальчук А.Б. Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів збивних для кулінарної та кондитерської продукції з поліфазною дисперсною структурою // Автореферат. Х.: ХДУХТ, 2016. 42 с.
203. Колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. М., 1989. 35 с.
204. Спосіб визначення кількості рідини в харчових продуктах: пат. на винахід 28618 Україна, МКИ G 0124/00. // Торяник О. І., Дьяков О. Г.; № 97073846; заявл. 29.12.1999, опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5.
205. ДСТУ ISO 2173:2007 Продукти з фруктів та овочів. Визначення розчинних сухих речовин рефрактометричним методом (ISO 2173:2003, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2010. 11 с.
206. Бабіч О.В. Розробка технології безглютенового печива для хворих на целиацію // Автореферат. К.: НУХТ, 2006, 22 с.
207. Мирошник Ю. А., Медвідь І. М., Шидловська О. Б., Доценко В.Ф. Використання порошоків калини, горобини та обліпихи в технології бісквітних напівфабрикатів. О.: ОНАХТ, 2015. Вип. 46. Т. 1. С. 166–170.
208. Горальчук А. Б., Пивоваров П. П., Гринченко О. О. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик: навчальний посібник. Х.: ХДУХТ, 2006. 63 с.
209. Ратушный А. С., Топольник В. Г. Математико-статистическая обработка опытных данных в технологии продуктов общественного питания // Метод. указания. М.: Рос. экон. Академия им. Г. В. Плеханова, 1993. 176 с.
210. Савчук В. П. Обработка результатов измерений // ОНПУ. Одесса, 2002. 54 с.



211. Вискозиметр постоянного напряжения сдвига ВПН-0,2 М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. АЛЮ 2.842.003.ТО. М.: 1987. 50 с.

212. Bourne M. C. Food Texture and viscosity. Concept and measurement. – Academic Press. New-York, 1982. P. 204.

213. De Man J. M., Voisey P. W., Rasper V. F., Stanley D. M. Rheology and Texture in Food Quality // The AVI Publishing Company, Inc., 1976. P. 588.

214. ГОСТ Р 8.681-2009. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания влаги в твердых веществах и материалах. Техническая документация фирмы «KETT ELECTRIC LABORATORY», 2016. 5 с.

215. Спосіб визначення вологоутримуючі здатності м'яса риби за різного ступеня термічної обробки: патент на винахід 109387 Україна, МПК G 01N 33/12 (2006.01) // Богатко Н.М., Букалова Н.В., Полтавченко Т.В.; № 2016 01566; заявл. 22.02.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16.

216. Продукты питания с низким содержанием насыщенных и трансизомерных ненасыщенных жиров: пат. на изобретение 2422032 Российская Федерация, МПК A23D7/02, A23D7 // Юсида Т., Вербек С., Кленевек Б., 2016.

217. Іоргачова К. Г., Макарова О. В., Гордієнко Л. В., Коркач Г. В. Технологія кондитерського виробництва. Практикум: навч. посіб. Одеса: Сімекс-прінт, 2011. 208 с.

218. Дорохович В.В. Наукове обґрунтування і розроблення технологій борошняних кондитерських виробів спеціального дієтичного споживання // Автореферат. К.: НУХТ, 2010, 39 с.

219. ГОСТ 10444.15–94. Продукты пищевые. Метод определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; К.: Госстандарт Украины, 1996. 11 с.

220. ГОСТ 30518:97 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). М.: Изд-во стандартов, 1997. 7 с.

221. ГОСТ 10444.2–94. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества *Staphylococcus aureus*. Введ. 01.01.96. Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 1995. 18 с.

222. ДСТУ ISO 6579:2006. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Методика виявлення *Salmonella* spp. Чинний від 2008-10-01. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 23 с.

223. ГОСТ 10444.12:2013. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Метод выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. Введ. 01.07. 2015. М.: Стандартиформ, 2014. 9 с.

224. ДСТУ ISO 4831:2006. Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Загальні настанови щодо підрахування кількості коліформних мікроорганізмів. Методика найвірогіднішої кількості. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 16 с.

225. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: Изд-во стандартов, 1994. 12 с.

226. ГОСТ 26927:86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения ртути. Введ. 01.12.86.м М.: Изд-во стандартов, 1986. 15 с.

227. ГОСТ 26928:86. Сырье и продукты пищевые. Методы определения железа. Введ. 01.03.86 М.: Изд-во стандартов, 1986. 5 с.

228. ГОСТ 26930:86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка. Введ. 01.01.87. М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.

229. ГОСТ 26931–86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения меди. Введ. 01.12.86. М.: Изд-во стандартов, 1986. 14 с.

230. ГОСТ 26932–86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения свинца. Введ. 1986-12-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 9 с.

231. ГОСТ 26933–86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения кадмия. Введ. 1986-12-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 9 с.

232. ГОСТ 26934–86. Сырье и продукты пищевые. Метод определения цинка. Введ. 1986-06-25. М.: Изд-во стандартов, 1986. 8 с.

233. ГОСТ 30178:96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Изд-во стандартов, 1996. 16 с.

234. МБТ и СН № 5061-89. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества производственного сырья и пищевых продуктов от 01.08.89. 26 с.

235. Наказ МОЗ України № 548 від 19.07.2012 «Про затвердження Мікробіологічних критеріїв для встановлення показників безпеки харчових продуктів».

236. Наказ МОЗ України № 368 від 13.05.2013 «Про затвердження Державних гігієнічних правил і норм «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах»».

237. ДГН 6.6.1.1-130-2006 Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  в продуктах харчування та питній воді. Державні гігієнічні нормативи. Затв. наказом МОЗ України від 03.05.2006 р. №256. Зареєстр. Мінюст України 17.07.2006 р. за № 845/12719.

238. Методические указания МУ 4.2.727–99. Гигиеническая оценка сроков годности пищевых продуктов. М., 1999. 23 с.

239. Олифирова А. П. Органолептический анализ пищевых продуктов // Улан-Эде.: изд-во ВСГТУ, 2005. 192 с.

240. Вытовтов А. А. Теоретические и практические основы органолептического анализа продуктов питания// СПб.: ГИОРД, 2010. 232 с.

241. Дослідження сенсорне. Методологія. Загальні настанови. (ISO 6658:1985, IDT) : ДСТУ ISO 6658:2005. К.: Держ-споживстандарт України, 2006. 26 с.

242. ISO 11036:1994. Сенсорный анализ. Методология. Метод профиля текстуры [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.ars\\_russia.com](http://www.ars_russia.com).

243. ДСТУ ISO 11035:2005. Дослідження сенсорне. Ідентифікація та вибирання дескрипторів для створення сенсорного спектру за багатобічного підходу (ISO 11035:1994, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2005. 32 с.

244. Сафонова О. Н., Перцевой О. А., Гринченко О. А. Системные исследования технологий переработки продуктов питания. // Харьковский государственный университет питания и торговли. Х., 2000. 200 с.

245. ГСТУ 18.39–2001 Технологічні інструкції та рецептури в харчовій промисловості. Загальні положення. Порядок розроблення, узгодження, затвердження, вимоги до змісту і оформлення.

246. ДСТУ 3946–2000. Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Продукція харчова. Основні положення. К.: Держспоживстандарт України, 2000. 26 с.

247. Лавров В. В., Спирин Н. А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента // ГОУ ВПО УГТУ-УПИ.: Наука, 2004. 255 с.

248. Ратушный А. С., Топольник В. Г. Методические указания: Математико-статистическая обработка опытных данных в технологии продуктов общественного питания // Москва: Рос. эконом. академия им. Г. В. Плеханова, 1993. 176 с.

249. Румшинская Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента // М.: Наука, 1971. 192 с.

250. C/C++. Программирование на языке высшего уровня // СПб.: Питер, 2006. 461 с.

251. Сидняев Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных // Издательство Юрайт. М.: ИД Юрайт, 2011. 399 с.

252. Переверзев М. П. Организация производства на промышленных предприятиях // М. : ИНФРА-М, 2010. 332 с.

253. Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/848-19>.

254. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво. Спільний наказ Міністерства економіки України та Міністерства фінансів України від 25.09.01 № 218/446 «Про затвердження Методики визначення ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво». – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://3umf.com/doc/5201/>.

255. Порядок розробки і затвердження технологічної документації на фірмові страви, кулінарні та борошняні кондитерські вироби в закладах ресторанного господарства. Наказ Мінекономіки України від 25.09.2000. № 120.

256. Методичні рекомендації з комерціалізації розробок, створених в результаті науково-технічної діяльності. Затверджено Наказом Державного комітету України з питань науки, інновації та інформатизації 13.09.2010 № 18. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FIN58763.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN58763.html).

257. Карпов В. А., Корольова Т. С., Підгорний А.З. Методика оцінки ефективності науково-дослідних робіт // Одеса: ОДЕУ, ротапринт, 2005. 19 с.

258. Чухрай Н. І., Стегницький А. В. Комплексне оцінювання науково-технічних розробок на ранніх етапах інноваційного процесу // Маркетинг і менеджмент інновацій, 2015. № 1. С. 11–22.

259. Офіційний сайт компанії Caviaroli [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://caviaroli.eu/en/products>.

260. Лібанова Е. М., Гладун О. М., Лісогор Л. С. Вимірювання якості життя в Україні. Аналітична доповідь [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.idss.org.ua/monografii/UNDP\\_QoL\\_2013\\_ukr.pdf](https://www.idss.org.ua/monografii/UNDP_QoL_2013_ukr.pdf).

261. OECD (2017). How's Life 2017: Measuring Well-being. OECD Publishing. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.oecd.org/statistics/how-s-life-23089679.htm>.

262. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология : учебное пособие 5-е изд., стер. М.: КНОРУС, 2013. 192 с.

263. Квашнин А. А. Практическое руководство для центров коммерциализации. Как провести экспертизу проекта коммерциализации технологий – методические материалы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <file:///C:/Users/Elena/Downloads/Gide%20V.pdf>.

264. Пристрій для виробництва капсульованих продуктів: пат. на винахід 91616 Україна, МПК (2009) А 23 Р 1/00 А 61 J 3/07 // Пивоваров П. П., Пивоваров Є. П.; № 91616; заявл. 04.12.2008; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 12.

265. Капсуляторная головка и устройство для получения капсул: пат. на изобретение в рамках Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности в соответствии с договором о Патентной кооперации (РСТ) № WO 2017/105378 A1 от 22.06.2017, № 10 A23P 1/04 (2006.01) А 61J 3/07 (2006.01) / Неклеса О. П., Нагорный А. Ю., Пивоваров П. П.; заявл. та опубл. РСТ/UA2016/000146 от 15.12.2016 г.

266. Капсуляторна головка для одержання капсул: пат. на корисну модель 106622 Україна, МПК (2016.01) B01J 13/00, B01J 13/02 (2006.01) / Неклеса О. П., Пивоваров П. П.; № u201512371; заявл. 14.12.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.

267. Спосіб одержання капсул з внутрішнім умістом на основі жирів: пат. на корисну модель 90875 Україна, МПК А 23 Р 1/00 / Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П.; заявл. 25.01.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.

268. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

269. Stewart J. J. P. Optimization of parameters for semiempirical methods V (Modification of NDDO approximations and application to 70 elements) J. Mol. Model, 2007. Vol. 13, № 12. P. 1173.

270. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Характеристика структурно-механічних властивостей розчинів альгінатів і рослинних сумішей для стабілізації сумісних потоків // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Харків: ХДУХТ, 2013. Вип. 1 (17). С. 84–89.

271. Neklesa O., Korotayeva E., Nagorniy A. The study of influence of technological factors of encapsulated oils and their shell production using sodium alginate // *Eureca: Life sciences*. 2016. No. 6(6). Pp. 11–16.

272. Неклеса О. П., Коротаева Е.А., Костигов К. В. Технологические принципы получения масложировой продукции в капсулированном виде // *Ecology and environmental in the optimizing system of relations between nature and society: materials of IV Intern. scient.-pract. confer.*, 27–28 April 2017. Ternopil: Krok, 2017. Pp. 309.

273. X. D. Shi<sup>1</sup>, Michae IP. Brenner<sup>1</sup>, Sidney R. Nagel<sup>1</sup>. A Cascade of Structure in a Drop Falling from a Faucet. *Science* 08 Jul 1994. Vol. 265, Issue 5169. P 219–222.

274. W.D. Harkins, F.E. Brown, The determination of surface tension (free surface energy), and the weight of falling drops: the surface tension of water and benzene by the capillary height method, *J. Am. Chem. Soc.* 41 (1919). P. 499–524.

275. M.C. Wilkinson, Extended use of and comments on, drop-weight (drop volume) technique for determination of surface and interfacial tensions, *J.Coll. Int. Sci.* 40. 1972. P. 14–26.

276. X. D. Shi<sup>1</sup>, Michae IP. Brenner<sup>1</sup>, Sidney R. Nagel<sup>1</sup>. A Cascade of Structure in a Drop Falling from a Faucet. *Science* 08 Jul 1994. Vol. 265, Issue 5169, P 219–222.

277. W.D. Harkins, F.E. Brown, The determination of surface tension (free surface energy), and the weight of falling drops: the surface tension of water and benzene by the capillary height method, *J. Am. Chem. Soc.* 41 (1919). P 499–524.

278. M.C. Wilkinson, Extended use of and comments on, drop-weight (drop volume) technique for determination of surface and interfacial tensions, *J.Coll. Int. Sci.* 40, 1972. P. 14–26.

279. X. Zhang, O.A. Basaran, An experimental study of dynamic of drop formation, *Phys. Fluids* 7. 1995. P. 1184–1203.

280. O.E. Yildirim, Q. Xu, O.A. Basaran, Analysis of the drop weight method, *Phys. Fluids* 17. 2005. 062107.
281. В. Е. Прохоров, Ю. Д. Чашечкин. Динамика отрыва одиночных капель в воздушной среде // *Механика жидкости и газа*, 2014. № 4. С. 109–118.
282. D.H. Peregrine, G. Shoker, A. Symon, The bifurcation of liquid bridges, *J. FluidMech.* 212, 1990. P. 25–39.
283. J.B. Keller, M.J. Miksis, Surface tension driven flows, *SIAM J. Appl. Math.* 43, 1983. P. 268–277.
284. В. Ambrahaneswaran, O.A. Basaran, Effects of insoluble surfactants on the nonlinear deformation and breakup of stretching liquid bridges, *Phys. Fluids* 11, 1999. P. 997–1015.
285. Fluid Pinch-Off Dynamics at Nanometer Length Scales/ J. C. Burton, J. E. Rutledge, and P. Taborek, *Phys. Rev. Lett.* 92, 244505 – Published 18 June 2004.
286. Тарасевич С. Э., Злобин А. В., Яковлев А. Б. Гидродинамика и теплообмен при движении однофазной жидкости в трубах с искусственной шероховатостью // *Теплофизика высоких температур*, 2015. Т. 53. № 6. С. 938–952.
287. Законы Ньютона. Второй закон. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
288. Ганкин В. В. Фундаментальная физика. Силы инерции и гравитация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fphysics.com/gravitacii>.
289. Классическая теория тяготения Ньютона. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
290. Абиев Р. Ш., Бирик Е. Е. Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия –С // СПб.: АНО НПО «Профессионал, 2004.
291. Neklesa O., Yarantseva Y., Ryvovarov E., Grinchenko O. Analytical study of the model of capsule formation of the system «food lipids – calcium algi-



nate» // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2017. № 6/11 (90). С. 35–41.

292. Neklesa O., Yarantseva Y., Pyvovarov E., Grinchenko O. Study of constructive provision of the capsule formation process of the «oil and fat raw materials – ionotropic shell-maker» system // Eureka: Life sciences. 2017. No. 6(13). Pp. 42–47.

293. Нагорний О. Ю. Технологія напівфабрикатів соусів томатних капсульованих // Автореферат: Х., 2014. 19 с.

294. Неклеса О. П., Коротаєва Є. О. Дослідження фізичних процесів стабілізації двошарового формуючого середовища // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: Міжнар. наук.-практ. конф. 19 листопада 2013 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2013. Ч. 1. С. 89–90.

295. Урьев Н. Б. Физико-химическая динамика дисперсных систем // Успехи химии, 2004. Т.73. № 1. С. 39–62.

296. McClements D. J. Theoretical analysis of factors affecting the formation and stability of multilayered colloidal dispersions // Langmuir, 2005. Т. 21. № 21. С. 9777–9785.

297. Членов В. А. Витамины. Антиоксиданты и консерванты. Наполнители // Производство премиксов. М.: Колос, 2005. С.25–75.

298. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Біленко Л. М., Погарський О. С., Какадій Ю. П., Гасанова Г. Е., Стуконоженко Т. А. Розробка нового покоління оздоровчих нанопоїв, збагачених каротиноїдами, хлорвмісними нанодобавками // Scientific Journal «ScienceRise», 2017. № 5(34). С. 45–51.

299. Кравченко С. О., Авдеєва Л. Ю. Фосфоліпіди у складі функціональних харчових продуктів // Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького, 2012. Т.14. № 2(52). Ч. 3. С. 227–230.

300. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение // СПб.: Профессия, 2007. 752 с.

301. Тарасова В. В., Николаева Ю. В., Рудакова М. Ю., Мазалова Л. М. Использование смесей растительных жиров и масел при создании функциональных продуктов питания // Технологии и продукты здорового питания. Функциональные продукты питания: IX Междунар. науч.-практ. конф., 24–25 нояб., 2011 г.: тезисы докл. Москва: ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств», 2011. С. 130–135.

302. Пивоваров Є. П., Пивоварова О. П., Гринченко О. О. Наукове прогнозування закономірностей структуроутворення системи «натрію альгінат – кальцію сульфат – вода» // Товари і ринки / Міжнародний науково-практичний журнал / КНТЕУ, Київ, 2010. № 1. С. 52–62.

303. Неклеса О. П., Костигов К. В., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Перспективи використання наповнювачів у капсульованій формі в технологіях кулінарної продукції закладів ресторанного господарства // Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 6 квітня 2017 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2017. С. 24–25.

304. Пестіна Г. О., Пивоваров Є. П. Вивчення умов розчинності компонентів системи «альгінат натрію –  $\text{CaCO}_3$  – D-глюконо- $\delta$ -лактон» // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі, Харків, 2008. Вип. 1 (7). С. 400–406.

305. Коротько Г. Ф. Желудочное пищеварение, его функциональная организация и роль в пищеварительном конвейере, Т.: Медицина, 1980. 289 с.

306. Kotz J., Beiz T. The phase behavior of polyanion polication system / Trends Polym. Science, 1997. V. 5. P. 86–90.

307. Smistad G., Boynm S., Aland S. J., Samuelsen A. B. The potential of pectin as a stabilizer for liposomal drug delivery system // Carbohydr. Polym, 2012. V. 90. № 3. P. 1337–1344.

308. Аверьянова Е. В., Митрофанов Р. Ю. Пектин. Получение и свойства. Б.: Изд-во алт. гос. ун-та, 2006. 44 с.

309. Manaenkov O. V., Sidorov A. I., Tichonov B. B. Influence of various factors on alginate matrix formation // XII International workshop bioencapsulation, 2004. P. 186–189.

310. ISP Alginate Products. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.ispcorp.com](http://www.ispcorp.com).

311. Salazar-López, E. I. Incorporation of Microcapsules in Pineapple Intercellular Tissue Using Osmotic Dehydration and Microencapsulation Method // Food and Bioprocess Technology, 2015. P. 1–8.

312. Tsuchida E., Takeoka S. Interpolymer complexes and the ionconductance in: Macromolecular complexes in chemistry and biology // Springer: Berlin, 2014. P. 183–213.

313. Огнева О. А., Пономаренко Л. В., Коваленко М. П. Пектин как полифункциональная добавка при производстве молочных продуктов // Молодой ученый, 2015. № 15. С. 144–147.

314. Оводов Ю.С. Современные представления о пектиновых веществах // Биоорган. Химия, 2009. 35(3). С. 293–310.

315. Неклеса О. П., Нечипуренко К. Б., Пивоваров П. П. Визначення вологоутримуючої здатності харчових систем на основі альгінату натрію та інших полісахаридів // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, 2017. №. 8. С. 88–93.

316. Ребиндер П.А., Поспелова К.А. Современное представление об устойчивости, образовании и разрушении эмульсий и методы их исследования. М., 1950. С. 3–84.

317. Павлоцкая Л. Ф., Дуденко Н. В., Эйдельман М. М. Физиология питания, М.: Высшая школа, 1989. 368 с.

318. Varum F. J. O., Hatton G. B., Basit A. W. Food, physiology and drug delivery // International journal of pharmaceutics, 2013. Т. 457. №. 2. С. 446–460.

319. Polenz I., Brosseau Q., Baret J. C. Monitoring reactive microencapsulation dynamics using microfluidics // Soft matter, 2015. Т. 11. №. 15. С. 2916–2923.

320. Lii J.-H., Allinger N. L. Molecular mechanics. The MM3 force field for hydrocarbons. 2. Vibrational frequencies and thermodynamics // Chem. Soc., 1989. Vol. 111. № 23. P. 8566–8575.

321. Neklesa O., Nagornyi A., Ryvovarov P., Korotayeva E., J. M. Olmo Peinado, M. A. Willarrubia. Technology capsulated vegetable oils and its usage in technological processes // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: Міжнар. наук.-практ. конф., 8–11 вересня 2015 р. / Харк. держ. ун-т харч. та торг. Х.: ХДУХТ, 2015. С. 23–24.

322. Неклеса О. П., Гринченко О. О., Горальчук А. Б. и др. Пищевые добавки: энциклопедия питания / под ред. Черевко О. И. Х.: Мир книг, 2016. Т. 4. 643 с.

323. Пивоварова О. П. Технологія реструктурованих напівфабрикатів на основі печериць // Автореферат 05.18.16: Харків, 2009. 22 с.

324. Дресинг, способ его получения и липидная составляющая к нему: пат. на изобретение в рамках Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности в соответствии с договором о Патентной кооперации (РСТ) № WO 2018/125022 A1 от 05.07.2018, № A23L 27/60 (2016.01) / Неклеса О. П., Пивоваров П. П.; заявл. та опубл. РСТ/UA2017/000129 от 27.12.2017 г.

325. Ліпідна складова дресингу: пат. на корисну модель 117002 Україна, МПК (2017.01) A23L 27/00, A23L 29/00 / Пивоваров П. П., Неклеса О. П.; № u201613637; заявл. 30.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. №11.

326. Дресинг: пат. на корисну модель 117747 Україна, МПК A23L 27/60 (2016.01) / Пивоваров П. П., Неклеса О. П.; № u201613509; заявл. 30.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. №13.

327. Імпорт консервованих оливок. Дослідження компанії «Бізнес-експерт» [Електронний ресурс] / режим доступу: <http://www.foodmarket.spb.ua>.

328. Дані отримані на основі опитування споживачів про перевагу торговій марці оливок та маслин консервованих за 2017 рік [Електронний ресурс] / режим доступу: <https://www.favor.com.ua/vote/products/olives>.

329. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс] / режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).

330. Березін О. В. Продовольчий ринок України: теоретико-методологічні засади формування та розвитку: монографія, К.: Центр учбової літератури, 2011. 184 с.
331. Короткий огляд українського ринку оливок. Дослідження компанії COMCON-SPb [Електронний ресурс] / режим доступу: <http://www.foodmarket.spb.ua/current.php?article=918>.
332. Пивоваров П. П., Неклеса О. П., Нагорний О. Ю. Инновационные технологии производства капсулированных продуктов // Продукты и ингредиенты / Мир пищевых ингредиентов, 2013. № 3 (100). С. 24–25.
333. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. М., 1958. 63 с.
334. Ребиндер П.А. Проюлемы физико-химической механики волокнистых и пористых дисперсионных структур и материалов // М.: Знание, 1967. 623 с.
335. Ніколаєв Б.О. Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов // М.: Экономика, 1964. 224 с.
336. Пивоваров Є. П., Нагорний О. Ю., Пивоваров П. П. Дослідження фізико-хімічних змін наповнених гелів на основі натрію альгінату та натрійкарбоксиметилцелюлози // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі – Харків, 2010. Вип. 1 (11). С. 75-79.
337. Лисюк Г.М., Самохвалова О.В., Олійник С.Г. Технологія борошняних кондитерських виробів // Х.: ХДУХТ, 2008. 412 с.
338. Иоргачева Е. Г., Макарова О. В., Котузаки Е. Н. Влияние нехлебопекарных видов муки на изменение качества бисквитных полуфабрикатов при хранении // Одеська національна академія харчових технологій: наукові праці, 2015. Вип. 46. Том 1. С.28–35.
339. Захаренко В. А. Усовершенствование методологии экспертизы пористых пищевых продуктов: дисс. ... д-ра техн. наук, 05.18.15 / Харьков, 2010. 342 с.
340. Здоба із дріжджового тіста: пат. на корисну модель 103249 Україна, МПК (2015.01) А 21 D 8/00, А 23 Р 1/10 (2006.01) / Неклеса О.П.; № u201505339; заявл. 02.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

341. Дріжджове тісто: пат. на корисну модель 103252 Україна, МПК (2015.01) А 21 D 8/00, А 23 Р 1/00 / Неклеса О. П.; № u201505350; заявл. 02.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

342. Спосіб одержання дріжджового тіста: пат. на корисну модель 103253 Україна, МПК (2015.01) А 21 D 8/00, С 12 N 1/18, А 23 Р 1/00, А 23 L 1/0532 (2006.01) / Неклеса О. П.; № u201505355; заявл. 02.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

343. Дріжджове тісто: пат. на корисну модель 117738 Україна, МПК (2017.01) А 21 D 8/00, А 21 D 13/00 / Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Нагорний О. Ю.; № u201613511; заявл. 28.12.2016; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

344. Дріжджовий виріб: пат. на корисну модель 118969 Україна, МПК (2017.01) А 21 D 8/00, А 21 D 2/00 / Неклеса О. П., Пивоваров Є. П., Коротаєва Є. О.; № u201613509; заявл. 28.12.2016; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17.

345. Neklesa O., Potapov V., Pyvovarov P. Analysis of kinetic pattern in the formation and separation of a drop in fluid in the form of capsule // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2017. № 2/10 (86). С. 32–40.

346. Neklesa O., Potapov V., Pyvovarov P. Investigation of the kinetic model for the process of the liquid drops formation in the form of capsule // Eureka: Life sciences. 2017. No. 2(8). Pp. 3–14.

347. Neklesa O., Korotayeva E., Nagorniy A. Foundation of technology for obtaining encapsulated oils and prescription development of shells on their basis // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2016. № 6/11 (84). С. 9–16.

348. Неклеса О. П., Нагорний О. Ю., Коротаєва Є. О., Пивоваров П. П. Дослідження технологічного процесу виробництва капсульованих рослинних олій // Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности: III Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 октября 2015 г. Щелкино, 2015. С. 167–169.