

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ  
ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙ КРІОСТАБІЛІЗУЮЧОЇ ДІЇ  
В ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ  
ПОСІЧЕНИХ ЗАМОРОЖЕНИХ**

Монографія

Харків  
ХДУХТ  
2018

УДК 637.5.037:637.521

ББК 36.813.7+36.924

Т-34

Автори:

М. О. Янчева, О. О. Гринченко, В. О. Потапов, О. Б. Дроменко, Т. С. Желева

Рецензенти:

завідувач кафедри фізико-математичних та інженерно-технічних дисциплін ХДУХТ, д-р техн. наук, проф. М. І. Погожих,  
завідувач кафедри технології харчування Сумського НАУ, д-р техн. наук, проф. Ф. В. Перцевий

Рекомендовано до друку вченою радою Харківського державного університету харчування та торгівлі, протокол № 6 від 28 грудня 2017 р.

**Теоретичне** та експериментальне обґрунтування використання Т-34 композицій кріостабілізуючої дії в технології напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених : монографія / М. О. Янчева, О. О. Гринченко, В. О. Потапов, О. Б. Дроменко, Т. С. Желева. – Х. : ХДУХТ, 2018. – Ч. 1 – 116 с.

ISBN.....

У монографії узагальнено результати багаторічних досліджень щодо наукового обґрунтування використання композицій кріостабілізуючої дії в технології напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених, що дозволить одержати продукцію зі стабільними показниками якості та безпечності за умови реалізації циклу «замороження-зберігання-розмороження».

Видання пропонується для викладачів, аспірантів, студентів, які навчаються за спеціальністю «Харчові технології», а також для фахівців м'ясопереробної галузі та закладів ресторанного господарства.

УДК 637.5.037:637.521

ББК 36.813.7+36.924

© Янчева М. О., Гринченко О. О.,  
Потапов В. О., Дроменко О. Б.,  
Желева Т. С., 2018

© Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, 2018

ISBN.....

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ ОБРОБКИ В ТЕХНОЛОГІЇ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ .....	7
1.1. Фізико-хімічні основи холодильної обробки м'ясної сировини .....	7
1.2. Теоретичні уявлення про процеси тепло- та масопереносу під час заморожування – розморожування харчових продуктів .....	14
2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙ КРІОСТАБІЛІЗУЮЧОЇ ДІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ ПОСІЧЕНИХ ЗАМОРОЖЕНИХ.....	20
2.1. Інноваційний задум напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених з використанням композицій кріостабілізуючої дії.....	20
2.2. Теоретичні передумови використання композицій кріостабілізуючої дії в технології напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених, наукова концепція дослідження.....	24
2.3. Фізико-математична модель процесу кристалізації в м'ясних системах під час заморожування – розморожування.....	28
3. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙ КРІОСТАБІЛІЗУЮЧОЇ ДІЇ ДЛЯ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ ПОСІЧЕНИХ ЗАМОРОЖЕНИХ.....	39
3.1. Дослідження впливу заморожування – розморожування на теплофізичні показники та функціонально-технологічні властивості м'ясних систем, визначення стратегії забезпечення їх стабільності.....	39
3.2. Обґрунтування складу та дослідження впливу заморожування- розморожування на функціонально-технологічні властивості композицій кріостабілізуючої дії на основі харчових емульгаторів.....	52
3.2.1. Обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання композицій кріостабілізуючої дії на основі високомолекулярних поверхнево-активних речовин (емульгаторів білкової природи).....	52
3.2.2. Обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання композицій кріостабілізуючої дії на основі низькомолекулярних поверхнево-активних речовин (емульгатори ацилгліцеринної природи)..	63
3.3. Обґрунтування складу та технологічних параметрів одержаних сухих композицій кріостабілізуючої дії на основі харчових гідроколоїдів полісахаридної природи.....	75
ВИСНОВКИ.....	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101
ДОДАТКИ.....	112
Додаток А Органолептичні та фізико-хімічні показники, амінокислотний склад та біологічна цінність БТ.....	113
Додаток Б Показники якості та безпечності ХІКД.....	115

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БЖЕ	– білково-жирові емульсії
БТ	– білок тваринний
ВЖЕ	– водо-жирові емульсії
ВЗЗ	– вологозв'язуюча здатність
ВМС	– високомолекулярні сполуки
ВПЗ	– вологопоглинаюча здатність
ВУЗ	– вологоутримуюча здатність
ГЛБ	– гідрофільно-ліпофільний баланс
ГМЦ	– геміцелюлоза
ГНЗ	– граничне напруження зсуву
ЕАГП	– емульгатори ацилгліцеринної природи
ЕЗ	– емульгуюча здатність
ЖУЗ	– жирутримуюча здатність
ККД	– композиції кріостабілізуючої дії
ККД(Е1. Е2)	– композиції кріостабілізуючої дії емульсійного типу
ККПТ	– колоїдне капілярно-пористе тіло
КМЦ	– карбоксиметилцелюлоза
КРД	– камедь ріжкового дерева
МАГ, ДАГ, ТАГ	– моно-, ді-, триацилгліцерини
МАФАМ	– мезофільні аеробні та факультативно анаеробні мікроорганізми
МБВ	– медіко-біологічні вимоги
МЕ	– м'ясна емульсія
ММР	– молекулярно-масовий розподіл
ММС	– м'ясні модельні системи
МНЖК	– мононенасичені жирні кислоти
МФ	– масляна фаза
МФ <sub>МАГ-ДАГ</sub>	– масляна фаза з підвищеним вмістом МАГ, ДАГ
МЦ	– метилцелюлоза
НЖК	– насичені жирні кислоти
НМПЗ	– напівфабрикати м'ясні посічені заморожені
ПАР	– поверхнево-активні речовини
ПНЖК	– поліненасичені жирні кислоти
СЕ	– стійкість емульсії
СККД	– сухі композиції кріостабілізуючої дії
СН	– санітарні норми
ТО	– теплова обробка
ФТВ	– функціонально-технологічні властивості
ФЯЗ	– фарш яловичий заморожений
ХГПП	– харчові гідроколоїди полісахаридної природи
В2В	– сегмент Business to Business
В2С	– сегмент Business to Consumer
HoReCa	– Hotel, Restaurant, Cafe/Catering

## ВСТУП

Сьогодні в зв'язку з прискореним ритмом життя населення на українському продовольчому ринку все більше підвищується попит на заморожені харчові продукти. Використання холоду у виробництві м'яса та м'ясопродуктів є одним з найбільш ефективних методів консервування, що дозволяє максимально зберегти якість, харчову та біологічну цінність продуктів протягом тривалого часу.

Теорія і практика вітчизняного виробництва м'ясної продукції масового споживання є недостатньо розвиненою як для м'ясопереробної галузі, так і для ресторанної індустрії. В умовах існуючої кооперації закладів ресторанного господарства з м'ясопереробними підприємствами набувають значення питання щодо законодавчого, матеріально-технічного, ресурсного, технологічного забезпечення підприємств галузі. Виконанню цих завдань сприяє розвиток теоретичних уявлень щодо формування якісних характеристик м'ясної сировини та вивчення процесів, які відбуваються у ній впродовж зберігання та технологічної обробки.

Не дивлячись на суттєві техніко-технологічні можливості холодильної обробки, під час заморожування незворотно відбуваються небажані зміни, викликані кристалоутворенням. Наявність в харчових продуктах великої кількості води впливає на теплофізичні процеси під час холодильної обробки та зберігання продуктів. Для такої багатокомпонентної системи, якою є тканинна рідина м'яса, цей процес досить складний. Це обумовлено особливостями зв'язку з іншими компонентами продуктів, великої її теплоємності та теплового фазового переходу під час кристалізації та випаровування.

З метою вдосконалення процесів заморожування необхідно знати їх динаміку. Під час аналітичних досліджень цих процесів біологічної сировини тваринного походження існують труднощі, обумовлені її гетерогенністю за хімічним, фізичним та колоїдним станом, функціонально-технологічними властивостями, які можуть змінюватися залежно від умов обробки, особливостей вирощування тварини тощо. Проблема ще більше ускладнюється під час заморожування багатокомпонентних м'ясних систем.

Останнім часом у світовій практиці виробництва замороженої харчової продукції широкого розповсюдження набули інгредієнти кріостабілізуючої дії, здатні впливати на кристалоутворення вологи та, як наслідок, функціонально-технологічні властивості м'яса та м'ясної продукції. Аналітично доведено доцільність їх використання у вигляді композицій кріостабілізуючої дії (ККД) для підвищення ефективності дії. Науковцями доведено позитивний вплив деяких з них на перебіг фізичних, фізико-хімічних та інших процесів у м'ясній сировині, але існуючі дослідження не мають системного характеру й не охоплюють усього кола питань щодо наукового обґрунтування їх використання. Відсутні системні дослідження, що мають за мету визначення технологічних параметрів виробництва НМПЗ із використанням ККД.

Незважаючи на наявність в літературі великої кількості відомостей стосовно впливу заморожування – розморожування на м'ясу сировину, у тому

числі посічену, абсолютні значення фізико-хімічних, теплофізичних та інших показників коливаються в широких межах; тому без експериментального визначення не можуть бути використані для визначення стратегії забезпечення стабільності м'ясних заморожених систем.

З огляду на вищезазначене теоретичне та експериментальне обґрунтування використання композицій кріостабілізуючої дії в технології напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених є актуальним завданням, вирішення якого дозволить науково обґрунтувати технологічні принципи забезпечення стабільності м'ясних систем у циклі «заморожування – зберігання – розморожування».

У першому розділі монографії наведено теоретичні основи застосування холодильної обробки в технології м'ясних продуктів, визначено основні шляхи забезпечення їх технологічної стабільності за умови реалізації ланцюга «заморожування – зберігання – розморожування».

У другому розділі висвітлено інноваційний задум нової продукції та теоретичні передумови використання ККД в технології НМПЗ, сформульовано наукову концепцію дослідження, розроблено фізико-математичну модель процесу кристалізації в м'ясних системах під час заморожування – розморожування.

Третій розділ базується на результатах дослідження впливу заморожування – розморожування на теплофізичні показники та функціонально-технологічні властивості м'ясних систем, визначені стратегії забезпечення їх стабільності. У розділі подано наукове обґрунтування складу та технологічних параметрів виробництва ККД на основі харчових емульгаторів та харчових гідроколоїдів полісахаридної природи для використання у технології НМПЗ.

В основу першої частини монографії покладено матеріали докторської дисертаційної роботи М.О. Янчевої, виконаної на базі науково-дослідних лабораторій кафедр технології м'яса; технології харчування; товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки; енергетики та фізики; хімії, мікробіології та гігієни харчування Харківського державного університету харчування та торгівлі під керівництвом наукового консультанта доктора технічних наук, професора О.О. Гринченко.

Дослідження морфологічної картини емульсійних і м'ясних систем здійснювали в лабораторії матеріалознавства і технології тонкоплівкових процесів на кафедрі матеріалознавства Національної металургійної академії України. Вміст загального білка досліджували у лабораторії ДП «Харківський регіональний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації». Дослідження молекулярно-масового розподілу та середньовагових мас білків м'ясних систем здійснювали в інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Визначення змін температур фазових переходів в м'ясних модельних системах визначали за допомогою диференціальної скануючої калориметрії у Харківському національному університеті будівництва та архітектури.

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ ОБРОБКИ В ТЕХНОЛОГІЇ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ

## 1.1. Фізико-хімічні основи холодильної обробки м'ясної сировини

Заморожування забезпечує тривале низькотемпературне зберігання м'яса та м'ясних продуктів завдяки запобіганню розвитку мікробіологічних процесів, різкого зменшення швидкості ферментативних та фізико-хімічних процесів.

Особливості зміни стану та структури м'ясних систем під час заморожування визначаються фазовим переходом води в лід та підвищенням концентрації розчинених в рідкій фазі речовин, тобто вплив заморожування на якість м'яса обумовлено характером процесу кристалізації [1].

Дослідження вітчизняних та закордонних вчених [2-7] доводять, що утворення кристалів льоду може знижувати якість м'ясних продуктів з наступних причин:

- механічне пошкодження структури продукту. Питомий об'єм льоду приблизно на 10% більше, ніж води. Об'ємне розширення кристалів льоду призводить до стиснення харчового матриксу. На макроскопічному рівні термічний стрес, що виникає у швидкому кріогенному заморожуванні, може призводити до розтріскування продукту;

- перехресне зшивання білків. Зменшення під час заморожування кількості вільної вологи в рідкій фазі та підвищення концентрації електролітів обумовлює агрегацію та денатурацію м'язових білків;

- часткова реабсорбція води під час розморожування відбувається за наявності перехресного зшивання білків. У заморожених тваринних тканинах м'язові білки позбавлені оболонки та поперечно зшиваються. Розморожена тканина не здатна до повної повторної абсорбції води, що утворилася в результаті танення льоду, та відновлення попереднього вмісту вологи. Це призводить до небажаного виділення ексудату (втрати м'ясного соку), формуванню більш жорсткої текстури розмороженої м'язової тканини – показників, що визначають якість м'яса [8, 9].

Деякі науковці [3, 8] вважають, що основними причинами погіршення якості заморожених харчових продуктів є останні дві причини, тобто зниження якості викликано, в основному, процесами, що відбуваються під час зберігання продукту в замороженому стані.

Таким чином, під час заморожування м'яса та його зберігання за низьких температур в ньому відбуваються фізико-хімічні явища (кристалоутворення, виморожування води, структурні зміни в тканинах) [2, 3, 10-14], які супроводжуються руйнуванням цілісності м'язових волокон, окислюванням та розпадом жирів та білків, знебарвленням м'яса та втратами м'ясного соку, що впливає на якість готової продукції. Негативні процеси, що відбуваються у м'ясній сировині за реалізації ланцюга «заморожування – зберігання – розморожування» надано у вигляді табл. 1.1.

**Таблиця 1.1 – Негативні процеси, що відбуваються у м'ясній сировині за реалізації ланцюга «заморожування – зберігання – розморожування»**

Етап технологічного процесу	Характеристика негативного впливу	Наслідок впливу
Заморожування	формування та розширення кристалів льоду в об'ємі, що призводить до стискання м'ясного матриксу	механічне пошкодження структури м'язового волокна
	збільшення концентрації електролітів внаслідок зменшення кількості вільної води в рідкій фазі	агрегація та денатурація м'язових білків (особливо білків міофібрил)
	випаровування води з поверхні продукту	усушка (втрата маси), зміна кольору
Низькотемпературне холодильне зберігання	рекристалізація – зміна кількості, розміру, форми та орієнтації кристалів льоду за рахунок термодинамічної нестабільності та надлишку вільної поверхні енергії (особливо під час коливання температур)	зниження розчинності білків, зменшення їх здатності до утримання та зв'язування води, гелеутворення
	ферментативна дія ліпази	окислення ліпідів
	довготривале зберігання та додатковий механічний вплив на сировину перед заморожуванням	зниження термінів зберігання, зниження функціонально-технологічних властивостей м'ясних систем
Розморожування	нездатність структурних елементів тканини до повної повторної абсорбції води, що утворюється під час танення кристалів льоду, з відновленням попереднього вмісту води та структури м'ясного матрикса	небажане виділення ексудату (втрата «м'ясного соку»)
		втрати маси під час теплової обробки
		низькі функціонально-технологічні властивості сировини

Для такої багатокомпонентної системи, якою є тканинна рідина, цей процес досить складний. Доведено [2], що тканинний м'ясний сік являє собою розчин мінеральних солей та органічних речовин, у тому числі екстрактивних та білкових.

На відміну від чистої води температура початку замерзання (кріоскопічна точка) такого розчину нижче 0°C і відповідає його іонній та молекулярній концентрації. Кріоскопічна температура залежить від концентрації розчину, ступеня дисоціації розчинених речовин тощо. Для продуктів тваринного походження вона нижче 0°C: м'ясного соку мінус (1...1,5)°C, крові мінус (0,55...0,56)°C, яєчного білка мінус 0,45°C, яєчного жовтка мінус 0,65°C [15, 16].

Виморожування води з міжклітинної рідини призводить до утворення гіпертонічних розчинів, концентрація яких весь час збільшується у міру зниження температури [17].



За температур нижче початкової точки замерзання рідина зветься переохолодженою. Такий стан рідини є метастабільним – в цьому стані рідина може залишатися досить довго, до початку нуклеації (зародження) першого кристала льоду [3, 8, 16]. За даними [2, 3], кристали льоду виникають у вигляді ядер (зародків) деякого критичного розміру і потім збільшуються («ростуть»). Такими зародками можуть бути тверді та колоїдні речовини, коагуляти білків тощо. Центри кристалізації виникають, перш за все, в міжклітинних просторах, оскільки там концентрація тканинного соку менша, ніж усередині волокна. Критичний розмір – це такий розмір, за якого зростання ядра внаслідок збільшення обсягу призводить до зменшення поверхової енергії та збільшення вільної енергії Гіббса.

Нуклеація може бути гомогенною чи гетерогенною. Гомогенна нуклеація відбувається тільки в гомогенних, вільних від зважених часток рідинах внаслідок випадкових коливань молекул (випадкові кластери молекул миттєво приймають конфігурацію льоду та виконують функцію зародків). У твердих харчових продуктах нуклеація має гетерогенний характер, при цьому центром зародкоутворення є поверхня клітин. Імовірність нуклеації в тому чи іншому місці зростає, якщо молекулярна структура поверхні має схожість зі структурою льоду, тобто відповідає розміру кристалічної решітки льоду та діє як свого роду шаблон.

Характер льодоутворення у тканинах м'яса за безперервного відводу теплоти визначається двома чинниками: швидкістю росту кількості центрів кристалізації та швидкістю зростання самих кристалів.

За середніх і високих швидкостей охолодження відзначають поєднання швидкого зростання кількості центрів кристалізації і високої швидкості збільшення їх розмірів. Кристали льоду утворюються невеликих розмірів (5...20) мкм. За надшвидкого заморожування (температура -93...-194 °С) до 90 % кристалів утворюється всередині волокон. Вони мають розміри (0,2...0,3) мкм і надають не такий сильний деформуєчий вплив на тканини м'яса, як великі кристали, що позитивно впливає на якість заморожування м'ясної сировини. За високих швидкостей відведення теплоти кристали рівномірно розподілені як безпосередньо у волокнах, так і в міжволоконних просторах, що зменшує втрати соку під час розморожування [8, 18, 19].

Відомо, що вода є переважаючим компонентом м'яса, який суттєво впливає на стан білків, структуру м'ясних продуктів та є середовищем для протікання процесів біохімічного псування харчових продуктів. Тому, консервуючу дію заморожування засновано на зниженні активності води ( $a_w$ -показник) [20-23]. Незважаючи на те, що кристали льоду залишаються у продукті, залишкова волога, що контактує з харчовим матриксом, насичується розчиненими речовинами, її значення  $a_w$  знижується. У цьому сенсі заморожування подібно сушці, що є логічним обґрунтуванням консервування харчових продуктів методами заморожування. Життєдіяльність більшості мікроорганізмів припиняється за значень  $a_w$  нижче 0,7 [24, 25].

Структурний стан води має безпосередній вплив на процеси льодоутворення, які, в свою чергу, визначають найбільш важливі якісні

характеристики м'ясних заморожених продуктів. Вимерзання розчинної фази м'ясної сировини призводить до збільшення концентрації розчинених речовин, а, значить, збільшує ймовірність небажаних реакцій. Зниження кількості вимороженої води відповідно має знижувати інтенсивність необоротних реакцій [26-28].

Аналізуючи динаміку виморожування води в тканинах м'яса, можна обґрунтувати температури його заморожування. Так, за температури мінус (18...20) °С близько 85 % вільної води, що міститься в м'ясі, переходить в лід, при цьому, в основному, інактивуються протеолітичні ферменти. Зниження температури до мінус 30°С забезпечує перехід в стан льоду ще близько 1,5 % води, що значно знижує активність ліполітичних ферментів. Більш глибоким заморожуванням можна досягти і виморожування зв'язаної води. Однак таке заморожування технічно складно та економічно не вигідно. Тому для низькотемпературної обробки нежирної сировини достатня температура мінус (18...20)°С, жирної – мінус (25...30)°С [29].

Більш низька концентрація розчинених речовин в міжклітинному просторі обумовлює різницю в значеннях криоскопічних температур структурних елементів. З цих причин формування кристалів льоду в першу чергу спостерігається в міжклітинному просторі та супроводжується міграцією води з клітин. Наскільки інтенсивно будуть протікати ці процеси, залежить від умов відведення тепла [30].

Автори [14, 31, 32] вважають, що у фазовому переході води в лід кожна молекула води з'єднується з чотирма сусідніми диполями, утворюючи регулярну кристалічну решітку. Зараз є досить чіткі уявлення про особливості взаєморозташування молекул води у структурі льоду, які зумовлено наявністю водневих зв'язків.

Науковцями [33, 34] доведено, що ступінь зниження гідрофільності білків залежить від швидкості заморожування та глибини автолізу м'яса перед заморожуванням, умов та тривалості зберігання. Нативні властивості білків м'яса зберігаються за швидкого заморожування парного м'яса. Найбільші руйнування морфологічної структури мають місце у випадку заморожування м'яса у стані повного посмертного залякання.

У роботі [35, 36] наведено результати дослідження впливу температури заморожування на оборотність властивостей білків м'яса. Встановлено, що зменшення оборотності білків за низьких температур спостерігається цілком виразно, однак з пониженням температури зменшується швидкість їх денатурації. Навіть за значного зменшення кількості розчину, що залишився, поверхня дотику (реакційна поверхня) стає значно меншою. Завдяки наявності цих двох протилежних чинників необоротні реакції будуть проходити найбільш інтенсивно за тих температур, коли клітинна волога внаслідок вимерзання води стане вже досить концентрованою, а швидкість реакції буде ще недостатньо низькою. Експериментально доведено, що такий стан спостерігається в температурному діапазоні від мінус 1 °С до мінус 5 °С. Тому важливо, щоб заморожування в цьому діапазоні температур проходило якнайшвидше та проміжок часу, коли могли б проходити незворотні реакції, значно скоротився.

У такій складній гетерогенній системі, якою є м'ясо, ступінь дисперсності льоду і характер розподілу кристалів залежать не тільки від умов охолодження, але і визначаються ступенем гідратації макромолекул білка, станом мембранних структур. Процес кристалоутворення і пов'язане з ним збільшення концентрації електролітів у системі сприяє зміні властивостей білків за рахунок розвитку денатураційних і агрегаційних процесів, порушення внутрішньо молекулярних гідрофобних взаємодій, розриву водневих зв'язків [25, 37-39].

За допомогою електронної мікроскопії експериментально підтверджено зміни клітинних мембранних структур м'язової тканини, що виникають внаслідок змін стану білків та білково-ліпідних комплексів [5]. Саме у білковій фракції продуктів найбільш виражено негативні зміни за холодильної обробки. Збільшення концентрації тканинного соку під час заморожування обумовлює денатурацію і коагуляцію м'язових білків. У більшому ступеню цим змінам піддаються міофібрилярні білки, в першу чергу міозин, фракція саркоплазматичних білків більш стійка до дії низьких температур [40]. Проведені дослідження [35, 41], спрямовані на виявлення впливу заморожування на зміни специфічних властивостей фібрилярних та глобулярних білків, дозволили виявити велику ступінь конформаційних змін першої групи білків. На підставі одержаних даних висловлено припущення, згідно з яким ступінь кріопошкоджень молекул білка визначається особливостями його гідратної оболонки: чим менша поверхня дотику зі стабілізуючим шаром води, тим менше конформаційні зміни білків під час заморожування. Проведена Л.І. Абцедарською за допомогою рентгенографічного метода і метода парамагнітного резонансу кількісна оцінка вмісту вологи показала, що молекули міофібрилярних білків оточено двома-трьома шарами води (на відміну від одношарової оболонки саркоплазматичних білків) [42].

Пошкодження нативної структури білків під час заморожування багато дослідників пов'язує з пошкоджуючою дією концентрованих розчинів солей. При цьому можливий як прямий вплив електролітів шляхом нейтралізації функціональних груп білка, модифікації іондіпольних взаємодій між полярними амінокислотними залишками, так і порушення стабілізаційного шару діполей навколо макромолекули [36]. Порушення просторової структури макрочасток білків пов'язані з денатурацією, а її зовнішнім проявом є виділення тканинного соку під час розморожування. Розвиток цих процесів сприяє підвищенню концентрації електролітів в рідкій фазі. Зона максимального розвитку денатураційних змін збігається з температурною зоною максимальної кристалізації тканинного розчину [12, 43, 44].

Зближення білкових молекул з наступним утворенням міжмолекулярних дисульфідних зв'язків проходить шляхом окислення двох суміжних SH-груп шляхом сульфіддисульфідного обміну [45, 46]. J. Connel [47], навпаки, не знайшов змін у кількісному вмісті вільних SH-груп при заморожуванні монодисперсного міозину і прийшов до висновку про можливість агрегації макромолекул без утворення дисульфідних зв'язків. Б.А. Поглазов, А. Holtzer [48] та інші дослідники вважають, що макромолекулярні взаємодії білків в умовах низьких температур здійснюються способом «кінець до кінця» або

«пліч-о-пліч» в результаті виникнення водневих зв'язків та зв'язків між іоногенними групами білків. Н.А. Головкін, А.А. Соколов [3, 49] вважають, що міжмолекулярні взаємодії білків в умовах низьких температур здійснюються в результаті виникнення водневих зв'язків і взаємодією іоногенних груп білків. Під час заморожування можливо механічне пошкодження білкових ланцюгів за рахунок напруг, які виникають у тканинах під час утворення і росту кристалів, перевищуючих енергію ковалентного зв'язку.

Процес агрегування міофібрилярних білків, що супроводжується утворенням нерозчинних комплексів, приводить до зниження гідрофільних властивостей м'яса, зниження вологозв'язуючої здатності і підвищення жорсткості, підвищує стійкість білків до дії протеолітичних ферментів [50].

Результати, які одержано Журавською Н.К. [51], зі заморожування зразків м'яса сферичної форми в діапазоні швидкостей заморожування від 0,01 см/хв до 2,74 см/хв і кінцевих температур заморожування від мінус 5 °С до мінус 120°С свідчить про наявність складної залежності між швидкістю заморожування і вологозв'язуючою здатністю.

Важливе значення для стану білків має величина рН. Зберігання м'яса з високим значенням рН обумовлює значно менш виражені зміни стану білків [52]. У період найбільших структурних змін білків виявляється міцніше зв'язування водневих іонів і зменшення їх у середовищі, що особливо чітко спостерігається в процесі зберігання замороженого м'яса [25].

Узагальнення даних, наведених в роботах [52, 43, 53], дозволяє стверджувати, що зміна якості білків у продукті відбувається також у результаті їх гідролізу під дією тканинних ферментів, які вивільняються у разі пошкодження клітин у процесі кристалоутворення.

До фізичних змін належать зміни кольору і маси. Забарвлення мороженого м'яса блідо-червоне менш інтенсивне, ніж охолодженого м'яса. Це обумовлено розсіюванням світла кристалами льоду. Колір мороженого м'яса залежить від стану і концентрації пігментів м'яса. Потемніння поверхні м'яса викликано підвищенням концентрації його пігментів внаслідок підсушування поверхні, а також внаслідок окиснення міоглобіну і оксиміоглобіну та утворення метміоглобіну та метгемоглобіну [2, 54, 55].

Відомо, що у різних шарах м'язів кристали льоду утворюються по-різному, оскільки темп тепловідведення і швидкість заморожування неоднакові. Під час заморожування м'яса відбувається відведення тепла з внутрішніх шарів і випаровування води з поверхні, що призводить до ущільнення поверхневого шару та усушки, яка є причиною втрат маси. Втрати маси продукту під час заморожування можуть коливатися в широких межах – від 0,3 до 3,5 % [32, 33, 53, 56, 57].

Гістологічні зміни під час заморожування м'яса пов'язані з порушенням структури м'язових волокон у зв'язку з утворенням кристалів льоду [2, 58]. Утворення великих кристалів призводить до зміни загального вигляду та товщини м'язових волокон, розпушення, спресовування окремих пучківміофібрил, наближуючи їх до сарколеми, зникнення поперечної смугастості [27, 59].

Під час тривалого зберігання замороженого м'яса у жировій тканині розвиваються процеси окислювального псування і накопичуються продукти окислення жиру, що відіграє вирішальну роль для термінів зберігання м'яса [60]. Стабільність ліпідів м'яса і м'ясопродуктів обумовлена безліччю чинників, в тому числі видом тварини, кількістю і властивостями жирів у раціоні худоби, вгодованістю його перед забоєм, наявністю захворювань і, перш за все, способами обробки м'яса після забою [61]. Органолептичні показники жирової тканини свинини починають змінюватися раніше, ніж яловичини [25]. Згідно з даними [52, 53, 62, 63] зміни ліпідної фракції можуть призвести до зниження харчової цінності та погіршення органолептичних показників м'ясних продуктів. Сьогодні чіткої залежності між розвитком окислювальних процесів і температурою зберігання не встановлено.

Окислювальні перетворення ліпідів призводять не тільки до зниження біологічної цінності за рахунок зменшення вмісту біологічно активних поліненасичених жирних кислот, вітамінів, але і негативно впливають на стан білкових компонентів. У досліджах на модельних системах і конкретних об'єктах [64-67] доведено можливість виникнення білково-ліпідних взаємодій з утворенням макромолекулярних сполук, які не гідролізуються під дією трипсина [68].

Згідно з результатами робіт [62-66] найбільшу схильність до асоціації з вільними жирними кислотами і вторинними продуктами окислення ліпідів проявляють міофібрилярні білки. Утворення білково-ліпідних комплексів каталізується гемовими пігментами м'язової тканини [68] і пришвидшується в інтервалі температур від точки замерзання до евтектичної точки [65]. Найбільш реакційно здатні до взаємодії з продуктами окислення ліпідів є амінокислоти, що містять сірку, аміногрупи лізіну та фенольні кільця тирозину [67].

Тривале зберігання замороженого м'яса призводить до зниження вмісту водорозчинних (тіаміну, рибофлавіну, пантотенової і нікотинової кислот) і до значних втрат жиророзчинних вітамінів, що позначається на харчовій цінності продукту [52, 62]. Кількість водорозчинних вітамінів під час зберігання мороженого м'яса залежить від температури зберігання. Жиророзчинні вітаміни менш стійкі. Вітамін Е, зокрема, руйнується майже повністю, що зменшує опірність жиру під час окислення; вітамін А зберігається тривалий час [25, 69].

Кристалізація вологи є однією з причин загибелі мікроорганізмів під час заморожування, однак заморожування не забезпечує стерильності продукту, тому що деякі мікроорганізми «прилаштовуються» до низьких температур, переходячи в стан анабіозу [70].

Під час заморожування і наступного зберігання відбувається відмирання (90...99) % мікроорганізмів [52, 71-76]. Найбільш згубно діють температури в інтервалі від мінус (6...12) °С [77]. За температури мінус 20 °С швидкість відмирання зменшується. Більшість плісняви витримують температуру мінус 8 °С впродовж (10...12) місяців, хоча більшість клітин гине вже за температури мінус 8 °С [78]. Проте, авторами [52, 58, 62] встановлено, що в процесі зберігання м'яса і м'ясопродуктів за досить низьких температур більша частина

мікрофлори поступово відмирає. Кількість мікробів на поверхні м'яса, що зберігалось за температури мінус 18 °С, через 3 місяці зменшилося на 50 %, через 6 місяців на 80 %, а через 9 місяців – їх залишалось (1...2) % до початкового числа клітин.

Відомо, що крім негативної дії мікроорганізмів, небезпеку являє дія ферментів, що зберігаються в продукті після загибелі мікроорганізмів, які синтезують їх. За зниження температури заморожування активність ферментів зменшується. Після розморожування активність більшості ферментів відновлюється [25, 63].

Неминучі під час зберігання коливання температур призводять до рекристалізації льоду (зміна кристалізаційної структури льоду в заморожених м'ясних продуктах). Сублімація дрібних кристалів льоду і міграція водяної пари в напрямку до більш великих кристалів відбувається під впливом різниці парціальних тисків. Однією з причин рекристалізації є неминучі відмінності у швидкостях заморожування за обсягом продукту, що викликають утворення кристалів різноманітної величини. Ще однією причиною є коливання температури в камерах зберігання, які викликають зміни тиску водяної пари над кристалами льоду, що й обумовлює міграцію води в продукті. Наслідком рекристалізації є структурні зміни, які виражені тим більше, чим вище температура зберігання та її коливання. За даними [54, 72, 79, 80] після розморожування м'ясних продуктів ці зміни проявляються в погіршенні консистенції м'ясних виробів і збільшенні втрат м'ясного соку.

Слід також враховувати ступінь технологічного впливу на м'ясопродукти до їх холодильної обробки. Багаточисельні дослідження вітчизняних та закордонних вчених враховують, як правило, лише вплив температури та термін зберігання заморожених м'ясопродуктів. Однак існують дані [81], що припустимі терміни зберігання заморожених продуктів за певної температури визначаються як природою сировини, так і ступенем її переробки. Тобто, чим більше технологічних операцій виконано з сировиною до холодильної обробки, тим менше термін придатності замороженого продукту за певної температури.

Таким чином, під час заморожування і зберігання в замороженому стані м'ясних продуктів, протікають фізичні, біохімічні, хімічні, структурні та мікробіологічні процеси, що призводять до погіршення функціонально-технологічних властивостей та якісних показників м'ясних продуктів. Інтенсивність та характер їх змін залежить від умов заморожування, вихідних якісних характеристик, будови тканин та складу м'ясних систем.

## 1.2. Теоретичні уявлення про процеси тепло- та масопереносу під час заморожування – розморожування харчових продуктів

Теплофізичні властивості продукту обумовлюють характер та швидкість протікання в ньому процесу нагрівання або охолодження. До таких властивостей відносять теплоємність, теплопровідність, температури плавлення, затвердіння, замерзання. Теплофізичні характеристики

враховуються під час різних технологічних операцій. Особливу роль відіграють теплофізичні процеси саме під час заморожування продуктів. Вони залежать від складу сировини, але можуть змінюватись у широких межах у продуктів одного і того ж виду. Слід відмітити, що внаслідок утворення льоду при заморожуванні продуктів їх щільність зменшується через збільшення кількості води, що вимерзає. Вимерзання води відображається не лише на щільності продукту, але й на інших теплофізичних характеристиках [82, 83].

Температурне поле продукту залежить від розміру, конфігурації й теплофізичних властивостей об'єкта, від умов відводу теплоти. За параболічного закону розподілу температури товщиною об'єкта температура будь-якої точки ( $t_x$ ) визначається рівнянням

$$t_x = t_y - (t_y - t_n)(x/l)^n, \quad (1.1)$$

де  $t_y, t_n$  – температури центра й поверхні об'єкта відповідно;  
 $x$  – відстань від точки до центра об'єкта;  
 $n$  – коефіцієнт, що залежить від методу охолодження;  
 $l$  – половина визначального розміру тіла.

Під час заморожування харчових продуктів відбуваються значні зміни їх теплофізичних властивостей за рахунок того, що теплофізичні властивості води та льоду значно відрізняються. Так, теплоємність льоду приблизно вдвічі менше води, теплопровідність – відповідно приблизно в 4 рази більше, а температуропровідність льоду – приблизно в 8 разів більше, ніж води [82]. У харчових матеріалах сольовий розчин концентрується за певного осмотичного тиску. Робота осмотичних сил, витрачених на відрив 1 кг зв'язаної вологи за даної температури  $t$ , дорівнює енергії зв'язку вологи з сухим каркасом речовини за цієї температури.

Д.Г. Рютов [84, 85, 86] запропонував енергію зв'язку вологи, що знаходиться в рівновазі з концентрованим розчином продукту і льодом за температури  $t$ , обчислювати за формулою

$$E = r_n(-t/273), \quad (1.2)$$

де  $t$  – температура системи °С,  
 $r_n$  – питома прихована теплота плавлення льоду за температури  $t$ , кДж/кг,  
 $r_n = 79,82 + 0,46t + 0,00165t^2$ .

Таким чином, за цієї температури кристалізується тільки та зв'язана волога, енергія зв'язку якої менше  $E$ . Поверхня біомолекули перестає робити вплив на рухливість молекул води на відстані ( $1 \cdot 10^{-9} \dots 1,5 \cdot 10^{-9}$ ) м, що відповідає (4...5) моношарам.

Кристалізація вологи у харчових продуктах супроводжується дифузійними процесами. Якщо інтенсивність заморожування більше швидкості дифузійного переміщення розчинених речовин, то зберігається однорідний

состав продукту. Коли інтенсивність тепловідведення мала, то процес заморожування супроводжується значною дифузійною розчинених речовин і концентрація їх поблизу термічного центра буде максимальною.

Зміна швидкості заморожування залежить від теплофізичних властивостей матеріалу, його форми й умов заморожування. За малих коефіцієнтів тепловіддачі вплив термічного опору замороженого шару незначний, за великих – вплив стає визначальним.

Вчені вважають, що інтенсифікувати процес заморожування доцільно тільки для тіл малого розміру. Якщо товщина об'єкта значна, то збільшення коефіцієнта тепловіддачі (наприклад заморожуванням в рідкому азоті) не інтенсифікує процес, тому тепловідведення лімітується коефіцієнтом теплопровідності матеріалу тіла. Середня інтенсивність процесу заморожування виражається відношенням загальної кількості відведеної теплоти до тривалості процесу і є величиною постійною [85].

У роботах [26, 87, 88] доведено, що прискорення процесу заморожування може бути досягнуто шляхом зменшення товщини продукту, зниження температури охолоджуючого середовища, збільшенням коефіцієнта тепловіддачі від продукту до середовища.

Зв'язана вода має властивості, відмінні від вільної. Вона замерзає за нижчих температур, має меншу здатність розчинення, меншу теплоємність, підвищену густину. Кількість зв'язаної вологи в матеріалі визначається його дисперсністю. Чим більше дисперсність матеріалу, тим більше міцно зв'язаної вологи в ньому. Чим менше радіус капілярів, тим більше енергія зв'язку води в матеріалі [86]. Доведено, що виморожування води з розчинів відбувається за зовсім іншими закономірностями, ніж виморожування чистої води. Оскільки у воді, що присутня в продуктах, містяться розчинені речовини, то явища, які спостерігаються під час замерзання розчинів, можуть бути деякою мірою перенесені і на харчові продукти.

Якщо розчин містить якусь розчинену речовину, то з даного обсягу може бути виморожено меншу кількість води. Крім того, молекули розчиненої речовини ускладнюють рух молекул води, підвищують в'язкість розчину і зменшують швидкість дифузії останніх. Завдяки цьому розчинена речовина знижує тиск парів води, а отже, зменшує й температуру її замерзання. Зниження температури замерзання розчинів визначається законом Рауля [82, 86]. Згідно з цим законом, зниження температури замерзання рідких розчинів у відношенні до чистої води пропорційно концентрації розчинених речовини. Якщо одну грам-молекулу будь-якої речовини розчинено в 1 л води, то температура замерзання розчину зменшується на 1,85 °С. Клітинний сік продуктів тваринного походження містить органічні та неорганічні речовини, тому температура його замерзання знаходиться в межах мінус (0,4 ... 4,0) °С.

За температури замерзання з водного розчину починає вимерзати вода. У міру виморожування води залишкова концентрація розчину зростає і температура замерзання ще більш знижується. Цей процес буде продовжуватися до тих пір, поки система не досягне евтектичної або кріоскопічної точки, де утворюється так звана тверда евтектика та триває



виділення тепла в міру замерзання розчину, який вимерзає за незмінного складу. За цих умов його температура залишається постійною і не знижується, поки не вимерзне вся рідина. У міру подальшого відбору тепла температура евтектики починає зменшуватися. Розчин, що містить кілька розчинених речовин, може мати кілька евтектичних точок.

Кожна така евтектика має певну кількість води та розчиненої речовини або декількох розчинених речовин. Оскільки замерзання кожної евтектики супроводжується зменшенням кількості води в розчині, концентрація залишкового розчину постійно зростає, поки не досягне концентрації самої низькотемпературної точки евтектики, яка для м'язової тканини лежить в інтервалі мінус (59...64) °С [89-91]. Після цього залишкова вода вимерзає повністю.

У міру замерзання розчин підвищеної концентрації, стикаючись з колоїдними речовинами, може викликати в них незворотні зміни. Найбільш сприятливі умови збереження початкових властивостей колоїдних речовин реалізуються в тому випадку, коли евтектики виникають в мінімальних обсягах. Цьому сприяє дуже низька температура замерзання, оскільки внаслідок швидкого відбору тепла евтектичні частинки оточуються кристалами льоду й вимерзають ще до того, як вони могли б зібратися великими краплями [82].

Вміст води у м'ясній сировині коливається в широкому діапазоні: від 50 % для жирної свинини до 78 % для яловичини. Утримується вода здебільшого за рахунок осмотичного тиску та адсорбції структурами клітин – сіткою білкових мембран та білкових волокон, а також деякими іншими хімічними компонентами клітин (вуглеводи, ліпіди). У м'ясі 70 % води тканини зв'язана з білками міофібрил. Наявність в харчових продуктах великої кількості води впливає на теплофізичні процеси під час холодильної обробки та зберігання продуктів, що обумовлено особливостями її зв'язку з іншими компонентами продуктів, великої її теплоємності та теплового фазового переходу під час кристалізації та випаровування [24, 61, 92].

Структура води тканин м'яса має суттєвий вплив на їх властивості. Відомо, що в технології харчових продуктів вологу поділяють на 2 основних види: вільну та зв'язану, які відрізняються між собою, в першу чергу, рухливістю їх молекул. Співвідношення між вільною та зв'язаною вологою, а також ступінь її структурування є вирішальним чинником у формуванні реологічних параметрів харчових продуктів. При цьому на органолептичні, функціонально-технологічні та фізико-хімічні властивості м'ясних продуктів впливає не стільки їх сумарна вологість, скільки структура вологи [26-28, 57, 93].

Зміни в клітинах під час їх охолодження починають відбуватися вже поблизу точки замерзання. В'язкість клітинної протоплазми зростає, утворюється гель, а ліпіди, що містяться в клітинах, вимерзають. Однак, істотні зміни починаються після замерзання деякої кількості води клітинної вологи. Замерзання клітинного колоїду зазвичай починається так само, як і замерзання істинного розчину. Тут теж виникає явище зниження температури замерзання, а з колоїдного розчину вимерзає тільки чиста вода. Внаслідок вимерзання води

залишкова концентрація розчину зростає, температура його замерзання подібно істинному розчину зменшується. Чим нижче температура клітин, тим більше з них вимерзає води, але завдяки колоїдному стану системи зв'язана вода зазвичай не замерзає. Так, за даними Морана, в 2 % розчині желатину приблизно 35 % води не виморожується навіть за температури рідкого азоту (мінус 196 °С).

У роботі [82] всебічно висвітлено зміни води під час заморожування харчових продуктів в інтервалі температур мінус (60...1) °С. На рис. 1.1 температура  $t_1$  відповідає точці замерзання клітин. Її значення залежить від концентрації розчинених в клітинній волозі речовин. Зі зниженням температури та подальшим відбором тепла деяка частина води клітинної вологи вимерзає, але життєздатність організму поки не змінюється і не зникає. Це явище справедливо навіть для самих загальних випадків. Такий стан триває до температури  $t_2$ .

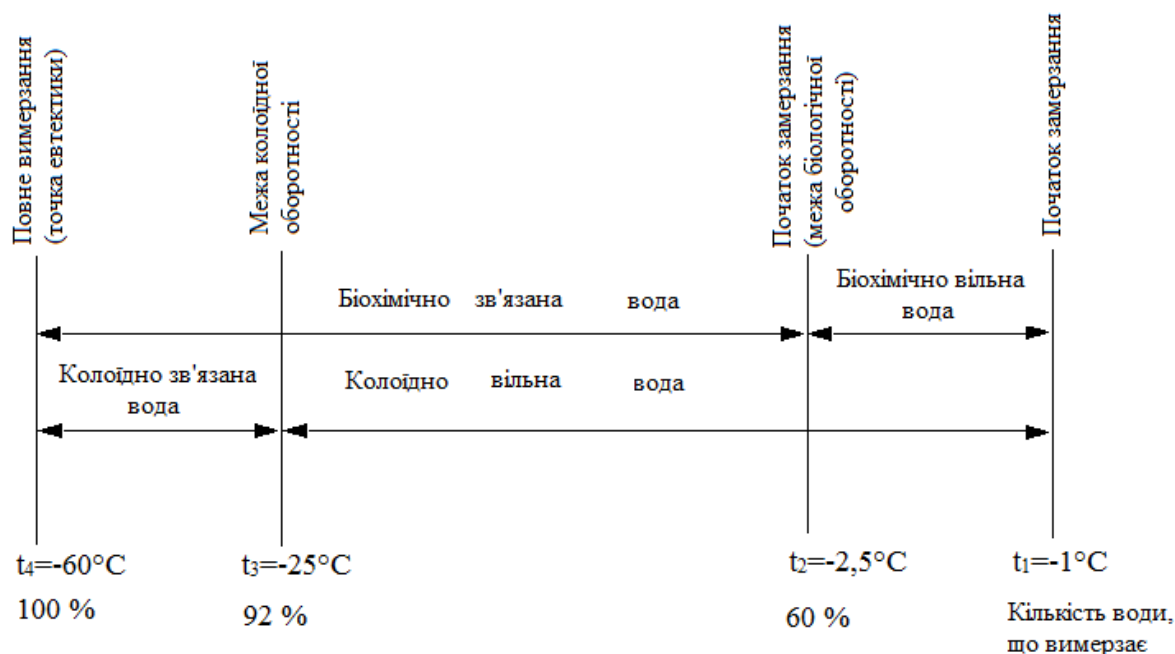


Рисунок 1.1 – Стадії замерзання матеріалу за Планком

Говорячи про вимерзання води на ділянці  $t_1$ - $t_2$ , мається на увазі біохімічно (й навіть біологічно) вільна вода. На цій ділянці швидкість замерзання не відіграє особливої ролі. З повільним замерзанням біологічна оборотність виявляється кращою, і більша кількість клітин залишається в живому стані. Після відтавання клітинний обмін речовин знову поновлюється. Тут, однак, стає важливим чинник часу, протягом якого клітини перебували за температур від  $t_1$  до  $t_2$ , й те, яким чином відбувалося відтавання. Значення температури  $t_2$ , або межі біологічної оборотності, неоднаково для різних клітин і клітинних структур.

З охолодженням нижче температури  $t_2$  процес вимерзання води продовжується і, хоча клітини та клітинні структури відмирають, вода вимерзає

з колоїдного розчину оборотним чином. Кількість води, що вимерзла до температури  $t_3$ , повністю подано колоїдно вільною водою.

Нижче температури  $t_3$  починає замерзати зв'язана колоїдна вода. Колоїдні частинки, які до цього були надійно відокремлені одна від одної оболонкою гідратів, тепер можуть зближуватися настільки, що різні сили тяжіння склеюють міцели. Вивільнені зв'язки, на яких раніше перебували молекули води, діють один на одного так, що у взаємодії деяких головних з'єднань колоїдних частинок можуть відбутися хімічні зміни і колоїд може денатурувати. Якщо пізніше до місць цих зв'язків підійдуть молекули води, то вони не зможуть взаємодіяти з ними. Дослідження Риделя показали, що навіть якщо температура клітин знизиться нижче температури  $t_3$ , то і тоді вся вода не вимерзне з розчинів, тобто воду, що міститься в клітинах, неможливо виморозити повністю.

Отже, процес кристалоутворення відбувається наступним чином. Зі зниженням температури збільшується в'язкість рідини та зменшується швидкість руху частин. У тих частинах рідини, де досягається переохолодження нижче криоскопічної точки, утворюються зародки кристалів. Це перша фаза кристалоутворення. У цей момент виділяється прихована теплота кристалізації, тому температура переохолодженої рідини підвищується та утворення нових зародків стає неможливим. Починається друга фаза кристалоутворення – зростання кристалів, що утворилися. Кристалічний розмір зародків за температури мінус  $25,5^{\circ}\text{C}$  становить 500 нм, а за мінус  $50^{\circ}\text{C}$  – 50 нм. Для того, щоб почалось кристалоутворення, розмір зародків має бути більший за кристалічний розмір.

Швидкість зростання кристалу після утворення кристалічного зародку залежить від швидкості дифузії молекул води до його поверхні та швидкості відводу з поверхні тепла кристалізації. Якщо температура наближена до  $0^{\circ}\text{C}$ , то швидкість зростання кристала головним чином регулюється дифузією молекул води. З подальшим зниженням температури починає домінувати вплив швидкості віддачі, швидкість зростання кристалів збільшується, досягає максимуму, а потім знову падає.

## **2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙ КРІОСТАБІЛІЗУЮЧОЇ ДІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ ПОСІЧЕНИХ ЗАМОРОЖЕНИХ**

### **2.1. Інноваційний задум напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених з використанням композицій кріостабілізуючої дії**

Світові тенденції розвитку харчової промисловості свідчать, що виробництво заморожених м'ясних напівфабрикатів є одним з найбільш ефективних методів консервування, який дозволяє зберегти якість, безпечність, харчову та біологічну цінність харчової продукції протягом тривалого часу. Аналітично доведено, що основними чинниками, які впливають на споживання напівфабрикатів м'ясних заморожених, є зміна раціону харчування споживачів, підвищення попиту на продукти швидкого приготування та вимог до їх якості, прискорення ритму життя українців та збільшення кількості працюючих жінок, розширення географії збуту замороженої продукції. Розширення торговельної мережі та підприємств ресторанного господарства, завдяки зручності у використанні та зниженню трудомісткості технологічних процесів, є ще одним з чинників формування попиту на напівфабрикати м'ясні заморожені в межах реалізації бізнес-процесів «Business to Consumer» (B2C) (кінцевий споживач через роздрібну торговельну мережу) та «Business to Business» (B2B) (заклади ресторанного господарства різних форматів). В сегменті HoReCa (як необхідність підвищення ефективності функціонування) особливо існує затребуваність в заморожених напівфабрикатах, використання яких дозволить зменшити виробничі та збільшити торговельні площі, здійснити виробництво продукції за скороченим технологічним циклом, забезпечити сталі показники якості та безпечності готової продукції.

У сучасному високотехнологічному суспільстві розробка нового продукту – це складний багатогранний процес, який здійснюється шляхом проведення послідовних заходів в різній організаційній формі. Важливим є забезпечити не тільки конкурентоспроможність нової продукції на споживчому ринку, а й підвищити ефективність функціонування підприємства-виробника. Щодо останнього, то вона лежить в площині раціонального використання науково-технічного потенціалу, удосконалення існуючих та освоєння нових процесів (виробничих, управлінських, маркетингових та ін.), підвищення рівня науково-дослідної та інформаційної бази.

Проблема розробки нових та вдосконалення існуючих технологій напівфабрикатів м'ясних заморожених багатогранна, що вимагає запровадження певних інновацій. Незважаючи на існуючі техніко-технологічні досягнення в галузі холодильної обробки, під час заморожування харчової продукції незворотно відбуваються негативні зміни, які пов'язано з фазовими перетвореннями внаслідок кристалоутворення вологи. Під час заморожування та зберігання м'ясної сировини відбуваються негативні процеси, які супроводжуються руйнуванням цілісності м'язових волокон, окисленням та

розпадом жирів та білків, знебарвленням м'яса та втратами м'ясного соку, що впливає на якість готової продукції. На наш погляд, наукова та практична реалізація нової технології можлива за реалізації сукупності інновацій (табл. 2.1) в межах створення єдиного технологічного циклу «одержання ККД – одержання НМПЗ» з обов'язковою умовою сумісності організаційних принципів їх виробництва за традиційними схемами у м'ясопереробних підприємствах та закладах ресторанного господарства.

**Таблиця 2.1 – Інновації, прийняті до впровадження в технології НМПЗ з використанням ККД**

<b>Інновація</b>	<b>Інноваційні вимоги</b>	<b>Шляхи реалізації інновацій</b>
Маркетингова	Задоволення потреб широких верств населення з урахуванням їх психо-географічної, поведінкової та інших характеристик Нові харчові продукти Широкий асортимент продукції Інтеграція продукції та сервісу	Виробництво замороженої продукції у вигляді напівфабрикатів, які характеризуються високою харчовою та біологічною цінністю
Технологічна	Створення єдиного циклу «одержання ККД – одержання НМПЗ» Високі споживні властивості продукції Використання сировини з низькими функціонально-технологічними властивостями Тривалий термін зберігання	Одержання продукції у вигляді нових харчових форм Забезпечення стабільності показників якості та безпечності впродовж нормативного терміну зберігання
Еколого-гігієнічна	Натуральність продукції Безпечність продукції Надання продукції лікувально-профілактичних властивостей	Використання натуральних, безпечних інгредієнтів Збагачення продукції ПНЖК, харчовими волокнами, біфідокорегуючими речовинами
Технічна	Традиційне та нове технологічне устаткування, що забезпечить стабільність технологічного процесу	Застосування традиційних та сучасних способів заморожування
Організаційна	Виробництво – м'ясопереробні підприємства, заклади ресторанного господарства Реалізація – заклади ресторанного господарства, супермаркети, гіпермаркети	Запровадження організаційно-технологічних принципів виробництва відповідно до поставлених завдань

З огляду на зазначене зрозуміло, що наукового обґрунтування та розробки потребують як ККД (техніко-економічні показники, які визначаються складом та комплексом властивостей цільових продуктів, технологією їх виробництва, умовами зберігання та реалізації), так і продукти з їх використанням, а саме – НМПЗ. При цьому на першому етапі доцільним є розробка інноваційної ідеї ККД (яка може бути як самостійним продуктом, так і проміжним напівфабрикатом технологічного процесу) для цільового продукту, на другому – реалізація властивостей ККД в конкретному технологічному

процесі. Такий поділ є досить умовним, оскільки створення ККД схематично можна подати таким чином: «модель кулінарної продукції на основі НМПЗ – модель ККД – модель НМПЗ з використанням ККД».

Основоположними під час розробки ККД є їх склад, властивості, спосіб одержання, харчова цінність, економічна чи інша ефективність використання. Обґрунтування складу ККД здійснювали з урахуванням їх властивостей та функцій, які вони будуть виявляти в цільовому продукті. У їх створенні ключове значення має комплекс прогнозованих характеристик та функціонально-технологічних властивостей, а також сумісність та специфіка взаємодії з іншими компонентами рецептурних сумішей та готової продукції. З точки зору складу ККД, харчові інгредієнти, що прогноуються до використання, мають забезпечувати перебіг необхідних процесів як в межах окремих етапів, так і технології в цілому – розчинення, емульгування, стабілізація харчових систем в циклі «заморожування – розморожування» та інші. Окремо слід зупинитися на здатності ККД регулювати органолептичні, структурно-механічні та функціонально-технологічні властивості продукту, витримувати у складі харчової продукції різні способи технологічного впливу – змішування за необхідних температур, теплову обробку (охолодження, заморожування, розморожування, варіння, припускання, смаження, запікання).

Під час обґрунтування та вибору способів одержання ККД й апаратурного оформлення цих процесів першорядне значення має створення умов для формування необхідних структури та властивостей ККД, що досягається в результаті конкретного технологічного впливу. Загальною вимогою є «технологічність» процесів, можливість їх перебігу з контрольованими показниками, використання традиційного технологічного устаткування. Питання щодо харчової цінності ККД як компонентів НМПЗ вважаємо доцільним розглянути з позицій корисності та безпечності. Важливим є використання харчових інгредієнтів, яким притаманні функціональні властивості, а саме – поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), харчові волокна та інші. Необхідною умовою є відсутність токсичності або алергічної дії, трансформації речовин під час технологічної обробки та подальшого зберігання.

Під час створення ККД важливими є економічні аспекти, основними з яких є наявність природних ресурсів, вартість виробничого циклу, інтенсифікація технологічних процесів, витрати на виробництво готової харчової продукції.

Вищезазначене стало передумовою визначення інноваційного задуму нового продукту – напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених з використанням ККД, деталізацію якого за окремими показниками наведено в табл. 2.2.

**Таблиця 2.2 – Інноваційний задум нового продукту – НМПЗ  
з використанням ККД**

<b>Інноваційні показники</b>	<b>Характеристика</b>
Концепція продукту	НМПЗ відрізняються високою стабільністю під час зберігання, низькими втратами під час заморожування – розморожування та теплової обробки. Готовий продукт характеризується соковитістю та ніжною консистенцією Технологічний процес виробництва готової продукції на основі НМПЗ є ресурсозберігаючим, відсутні трудомісткі технологічні операції з підготовки сировини та виготовлення напівфабрикатів Напівфабрикат має доступну ціну для споживачів
Органолептичні властивості	НМПЗ характеризуються заданими геометричними формою та розміром, в розмороженому вигляді мазкою консистенцією без відшарування вологи. Колір – червоний різної інтенсивності, смак та запах – властиві доброякісній м'ясній сировині та прянощам
Маса продукту	Від 0,08 кг до 1,0 кг залежно від асортименту та технологічного призначення
Асортимент	Формування асортименту досягається шляхом варіювання рецептурного складу, використання спецій, прянощів, додаткових рецептурних компонентів та надання НМПЗ певних форм та розмірів
Сегмент користувачів	B2B: HoReCa (заклади ресторанного господарства різних форматів, в тому числі мережеві; ресторани при готелях та ін.); пункти харчування в навчальних закладах, промислових підприємствах, організація харчування зосереджених контингентів, в тому числі військових B2C: широкі верстви населення через підприємства оптової та роздрібної торгівлі
Конкурентні переваги	Розроблений продукт являє собою напівфабрикат м'ясний посічений заморожений з високими функціонально-технологічними властивостями Використання ККД дозволяє запропонувати продукцію з новими споживними властивостями НМПЗ дозволить скоротити тривалість приготування їжі, знизити трудомісткість технологічного процесу, що особливо актуально в закладах ресторанного господарства зі скороченим технологічним циклом
Терміни та умови зберігання	Не менше 30 діб
Прогнозована собівартість	(40,0...45,0) грн. за 1 кг
Прогнозована роздрібна ціна	(75,0...85,0) грн. за 1 кг

Згідно з інноваційним задумом спрогнозовано, що забезпечення якості та безпечності за реалізації циклу «заморожування – зберігання – розморожування» можливо досягти шляхом використання ККД, які мають високу стійкість до низькотемпературної обробки. За передбаченості їх поведінки у складі м'ясних систем процес заморожування – розморожування може бути керованим, а новоутворену систему буде скореговано як за складом окремих елементів, так і

за їх впливом на формування функціонально-технологічних властивостей. Використання ККД у складі м'ясної продукції дозволить зменшити втрати м'ясної сировини під час холодильної обробки та зберігання, знизити інтенсивність перебігу фізико-хімічних та біохімічних процесів, одержати широкий асортимент продукції з високими органолептичними властивостями, збільшити терміни та знизити температуру зберігання. Це дозволить наступне:

- з наукової точки зору – розробити обґрунтовані принципи забезпечення стабільності м'ясних посічених систем за реалізації циклу «заморожування – зберігання – розморожування», розробити технологію НМПЗ з використання ККД, дослідити, визначити та узагальнити технологічні параметри виробництва нової продукції (характеризується новизною одержаних результатів; кількістю та якістю наукової продукції);

- з практичної точки зору – одержати широкий асортимент НМПЗ для різних верств населення України, забезпечити високі показники якості, харчової цінності замороженої продукції, підвищити ефективність та глибину переробки м'ясної сировини, підвищити науково-технічний рівень виробництва НМПЗ, поглибити кооперацію між окремими ланками харчопереробного комплексу (м'ясна промисловість – заклади ресторанного господарства);

- з соціальної точки зору – задовольнити потреби населення доступними за ціною НМПЗ через упровадження нового асортименту харчової продукції, створити нові робочі місця на існуючих виробничих потужностях, підвищення якості життя населення та ін.;

- з економічної точки зору – перевищити доходи від впровадження результатів наукової роботи над витратами на їх здійснення.

## 2.2. Теоретичні передумови використання композицій кріостабілізуючої дії в технології напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених; наукова концепція дослідження

В умовах сьогодення виникнення та розвиток нових наукових напрямів, в тому числі в харчовій промисловості та ресторанному бізнесі, визначаються основними тенденціями науково-технічного та соціально-економічного розвитку суспільства й є відгуком на зростаючі запити споживачів. Не є виключенням і науково-практичний напрям з виробництва замороженої харчової продукції, який ґрунтується на фундаментальних та прикладних дослідженнях. Передумовою подальшого розвитку цього напрямку, а, значить, і інновацій в технології замороженої харчової продукції, є, з одного боку, сучасний рівень наукових досліджень, нові технологічні та технічні рішення в галузі виробництва заморожених продуктів, обмеженість сировинних ресурсів та поява нових харчових інгредієнтів, а, з іншого, – розвиток нових сегментів харчової продукції, психологічні та соціальні чинники, які впливають на моделі поведінки споживачів.

Як відзначено у розділі 1 (п. 1.2), під час заморожування та низькотемпературного зберігання м'ясної сировини та продукції на її основі



має місце кріпошкодження тканин внаслідок кристалоутворення, що негативно впливає на функціонально-технологічні властивості розмороженого м'яса і проявляється, в першу чергу, в значних втратах м'ясного соку та зниженні якості готових продуктів. Негативний вплив заморожування ще більшою мірою виявляється під час низькотемпературної обробки напівфабрикатів з посіченого м'яса, оскільки під час подрібнення в результаті механічного руйнування клітинної структури м'яса м'язова тканина втрачає цілісність, руйнується система клітинних мембран, виділяється додаткова кількість вологи за рахунок зменшення осмотично- та капілярно-зв'язаної вологи. Кількість, розміри, форма та локалізація кристалів льоду, що утворюються під час заморожування, залежать від багатьох чинників – способу заморожування, фізико-хімічних та структурно-механічних властивостей м'ясної системи (ступеня гідратації білків, іонної та молекулярної концентрації розчинів у складі окремих морфологічних утворень м'язового волокна, співвідношення м'язової, жирової та сполучної тканин), розмірних характеристик продукту та ін.

Безумовним є той факт, що стабільність м'ясного фаршу як системи в технологічному потоці визначається стабільністю стану окремих елементів системи в цілому. М'ясний фарш (як основа для виготовлення НМПЗ) є складною за складом, станом та структурою харчовою полідисперсною системою коагуляційного типу, в межах якої дисперсні часточки зв'язані одна з одною нестійкими коагуляційними зв'язками в єдину просторову сітку. Дисперсійне середовище м'ясного фаршу являє собою водний розчин екстрагованих з м'ясної сировини мінеральних солей (Na, K, Ca та ін.), органічних (білки, пептиди, амінокислоти, екстрактивні речовини) сполук та інших речовин. Дисперсною фазою є тонкоподрібнені часточки м'язової, жирової та сполучної тканин.

Грунтуючись на основних теоретичних положеннях заморожування харчових систем [3, 5, 15, 26, 78, 82, 94], спрогнозовано, що під час заморожування НМПЗ процес кристалоутворення буде розвиватися наступним чином. Охолодження систем нижче кріоскопічної температури буде сприяти виникненню центрів кристалізації (спочатку у міжклітинному просторі внаслідок меншої концентрації водорозчинних речовин, потім – у внутрішньоклітинному) й, надалі, – утворенню дрібнодисперсних кристалів льоду, наслідком чого стане збільшення концентрації розчинених речовин та осмотичного тиску. За визначених умов молекули води почнуть рухатися з клітини в міжклітинний простір, а молекули розчинених речовин – дифундувати у зворотному напрямку, що збільшує ймовірність негативних процесів (висолювання білків, окислення ліпідів, неферментативне побуріння та ін.). Вищезначені процеси призведуть, з одного боку, до подальшого зростання розмірів кристалів льоду, які будуть тиснути на клітини, викликаючи часткове пошкодження та руйнування їх структури, а, з іншого, – до взаємодії активних груп білкових макромолекул з утворенням міцних зв'язків між ними внаслідок утворення так званих гіпертонічних розчинів, в яких збільшується концентрація сухих речовин за рахунок виморожування вологи. У подрібненій

м'ясній системі, де значна кількість міофібрилярних і саркоплазматичних білків уже вивільнено із м'язового волокна, міжмолекулярні взаємодії відбуватимуться ще інтенсивніше.

З огляду на вищезазначене, важливим є забезпечити під час заморожування такий розвиток процесу, в результаті якого швидкість переміщення вологи буде менша, а процес кристалоутворення – керованим. Згідно з інформаційними джерелами вищезначені умови частково можна забезпечити технічними (шокове заморожування – IQF, заморожування у швидкоморозильних апаратах та ін.) та технологічними (використання парного м'яса, застосування попередньої обробки м'ясної сировини, використання кріостабілізуючих речовин, здатних впливати на структуру розчинника та характер кристалоутворення) засобами. З урахування зазначеного, в технологічному потоці виробництва НМПЗ важливим є наступне:

- уповільнити утворення нерозчинних комплексів білків, що призводить до зниження функціонально-технологічних властивостей м'ясних систем;
- зменшити рухливість дисперсійного середовища шляхом утворення додаткових поверхонь розділу фаз;
- зменшити тиск кристалів льоду на морфологічні утворення (переважно м'язову тканину) м'ясної системи;
- забезпечити формування дрібних кристалів льоду;
- підвищити гідратаційні властивості м'ясної системи під час розморожування та забезпечити максимальне відновлення її первинних властивостей.

На основі аналізу перетворень, що мають місце у м'ясних системах під час заморожування, стає зрозумілим, що використання композицій (систем, речовин), які здатні впливати на процес кристалоутворення вологи та дифузійні процеси, забезпечать формування нових функціонально-технологічних властивостей, реалізація яких в технологічному потоці дозволить одержати принципово нові НМПЗ та готову кулінарну продукцію на їх основі.

Аналітично доведено, що вищезазначене може бути досягнуто шляхом регулювання функціонально-технологічних властивостей м'ясних систем за рахунок наступних дій:

- регулювання властивостей дисперсійного середовища м'ясних посічених систем, що забезпечить зменшення її рухливості;
- формування додаткових поверхонь розділу, які будуть виконувати роль «механічних перешкод» стосовно рушійному фронту заморожування;
- формування дрібних кристалів льоду внаслідок регулювання функціонально-технологічних властивостей.

Вищенаведені передумови дозволяють сформулювати *наукову концепцію дослідження*, яка полягає в тому, що використання ККД стабілізує властивості напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених у технологічному циклі «заморожування – зберігання – розморожування» за рахунок забезпечення колоїдної стабільності білків м'яса як результат зменшення рухливості вологи, забезпечує формування дрібних кристалів льоду на етапі заморожування, а після зберігання та розморожування – відновлює первинні властивості м'ясної

сировини, що в цілому дозволяє інтенсифікувати технологічний процес їх виробництва, розширити асортимент і сформувати нові споживні властивості продукції.

Згідно з проведеним аналізом перетворень, що мають місце у подрібнених м'ясних системах під час заморожування, та відповідно сформульованої наукової концепції спрогнозовано, що найбільш повно технологічним вимогам відповідають харчові інгредієнти та композиції на їх основі у вигляді емульсій, розчинів чи суспензій, яким притаманні кріостабілізуючої властивості, що проявляється в збільшенні частки зв'язаної вологи, зменшенні її рухливості, перешкоджаючи їх організації у лід, зменшенні розмірних характеристик кристалів льоду.

Критерії вибору харчових інгредієнтів для розробки ККД наведено в табл. 2.3.

*Таблиця 2.3 – Критерії вибору харчових інгредієнтів для розробки ККД*

<b>Критерій вибору</b>	<b>Очікуваний результат</b>
Вплив на фізико-хімічні процеси під час заморожування	Зниження рухливості дисперсійного середовища Утворення водневих зв'язків з молекулами води, що перешкоджає їх організації у лід з утворенням переважно аморфної структури, зміна характеру кристалізації Зменшення розмірів кристалів льоду Збільшення кріоскопічного інтервалу температур Зменшення швидкості концентрування солей та пов'язаних з цим осмотичних ефектів Перешкоджання агрегації макромолекул білкових речовин
Розчинність (гідратація)	Відповідний розмір та форма часток, значна питома поверхня, гранулометричний склад Утворення комплексів з іншими речовинами (білковими, мінеральними речовинами та ін.) Незначна температура та тривалість підготовчого етапу
Вміст в рецептурі	Невеликі норми вмісту у використанні за рахунок реалізації функціонально-технологічних властивостей та синергетичного ефекту
Зручність у використанні	Можливість рівномірного розподілення в системі за умови використання традиційного обладнання
Органолептичні характеристики	Нейтральні запах, смак та колір
Економічні показники	Невисока собівартість, скорочення технологічного циклу та зниження трудоемності технологічного процесу
Дозвіл на використання	Відповідає вимогам чинного законодавства України

На підставі вищезначеного сформульовано наукові та технологічні завдання, які потребують такого вирішення:

– розробка фізико-математичної моделі процесу кристалізації в м'ясних системах як інструментарію об'єктивної оцінки перебігу фізичних, фізико-хімічних, теплофізичних процесів під час заморожування – розморожування;

- обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання композицій, яким притаманні кріостабілізуючі властивості;
- визначення закономірностей зміни функціонально-технологічних, структурно-механічних, теплофізичних, мікроструктурних характеристик, стану вологи м'ясних систем на основі подрібненого м'яса з ККД під час заморожування – розморожування;
- обґрунтування параметрів технологічного процесу одержання кінцевого (цільового) продукту – НМПЗ з використанням ККД;
- формування ключових технічних та технологічних характеристик нового продукту;
- якісна та кількісна оцінка інновацій, реалізованих в технології нового продукту.

### 2.3. Фізико - математична модель процесу кристалізації в м'ясних системах під час заморожування – розморожування

Про дослідження впливу заморожування – розморожування на властивості біологічних об'єктів та харчових систем опубліковано велику кількість експериментальних робіт та аналітичних оглядів. Теоретичні положення низькотемпературної обробки знайшли відображення у працях Чижова Г.Б. [95], Рогова І.О. [86], Алмаши Є. [82], Чумака І.Г. [96], Онищенко В.П. [97], Лебедєва В.Ф. [98], Руцкого А.В. [99] та ін.

Разом з тим, слід зазначити, що використання в технології заморожених м'ясних продуктів речовин чи композицій кріостабілізуючої дії знаходиться в стадії розвитку й в науковій літературі відсутні систематизовані дані щодо їх впливу на властивості м'ясних систем.

Оскільки під час досліджень необхідно отримати науково обґрунтовану систему оцінювання впливу заморожування – розморожування на властивості м'ясних систем, важливим є застосування фізико-математичних моделей для вирішення поставлених завдань. З урахуванням того, що під час заморожування важливим є максимальне збереження функціонально-технологічних властивостей та харчової цінності продукту, термодинамічним критерієм процесу заморожування – розморожування обрано ступінь його оборотності. Ці процеси в харчових продуктах надзвичайно складні для математичного моделювання, оскільки включають в себе процеси тепло-масопереносу, зміни структурно-механічних властивостей, фізико-хімічних та біохімічних реакцій. Тому будь-які технологічні операції, які передують заморожуванню, будуть впливати на кінетику протікання внутрішніх явищ переносу.

Як відомо, найбільш простим експериментом, що дозволяє оцінити ступінь термодинамічної незворотності продукту під час заморожування, є визначення динаміки температури за термограмами процесу заморожування – розморожування. У той же час математичний опис такого процесу, як зазначалося, набагато складніше, ніж сам експеримент. Професором Онищенко В.П. [97] показано, що за математичного моделювання процесів

заморожування – розморожування слід відмовитися від використання відомої граничної умови Стефана, яка включає наявність джерела теплоти на рухомій межі контакту двох температурних полів для охолодженого та замороженого шару продукту, оскільки реально такої межі під час заморожування продуктів не існує. Не існує і значень істинної теплоємності продуктів, у яких би не враховувалася теплота фазового переходу. Тому, ґрунтуючись на цій концепції, нами як основний теплофізичний параметр, що описує процеси заморожування – розморожування, обрано питому теплоємність, яка визначається за формулою:

$$c = \frac{dH}{dT}, \quad (2.1)$$

де  $c$  – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

$dH$  – зміна ентальпії в даному процесі, Дж;

$dT$  – нескінченно мала зміна температури в даному процесі, К.

Як відомо, питома теплоємність величина адитивна, тому будь-які зміни в складі м'ясних систем під час заморожування впливають на неї безпосередньо лінійно. Крім того, перебіг фізико-хімічних та біохімічних реакцій, як правило, мають тепловий ефект і, таким чином, також безпосередньо позначаються на величині питомої теплоємності.

Для аналізу термограм заморожування – розморожування отримаємо модель кінетики даного процесу з урахуванням питомої теплоємності. Скористаємося методом аналізу кінетики явищ переносу в нерівноважних термодинамічних системах [100] й запишемо рівняння теплового балансу для тіла довільної форми в процесі конвективного заморожування – розморожування:

$$R_V \frac{d}{d\tau} (\rho c t) = -\alpha (t_s - t_\infty) - R_V L_\omega \frac{d}{d\tau} (\rho w_0 \omega), \quad (2.2)$$

де  $t$  – середня за обсягом тіла температура, °С;

$t_s$  – температура поверхні тіла, °С;

$t_\infty$  – температура охолоджуючого середовища, °С;

$R_V$  – відношення об'єму тіла до його поверхні, м;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – питома теплоємність, Дж/(кг·К);

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$L_\omega$  – питома теплота фазового переходу вода-лід,  $L_\omega = 3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг;

$w_0$  – початкова вологість у частках від загальної маси, %;

$\omega$  – частка вимороженої (або розплавленої) вологи у відношенні до загальної маси вологи;

$\tau$  – поточний час, с.

Запишемо рівняння (2.2) у визначеннях «ефективна ентальпія – ефективна теплоємність». Вважаючи, що щільність харчових систем під час заморожування – розморожування практично не змінюється [86], перетворимо рівняння (2.2):

$$\rho R_V \left[ \frac{d}{d\tau}(ct) + L_\omega \frac{d}{d\tau}(w_0 \omega) \right] = -\alpha(t_s - t_\infty), \quad (2.3)$$

звідки

$$\rho R_V \frac{d}{d\tau} H_e = -\alpha(t_s - t_\infty), \quad (2.4)$$

де  $H_e = ct + L_\omega w_0 \omega$  – ефективна ентальпія системи, Дж/кг (включає в себе теплоту фазового переходу).

Питома теплоємність харчового продукту під час заморожування записують наступним чином [86]:

$$c(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0 \omega(t), \quad (\text{при } t < t_{кр}) \quad (2.5)$$

$$c = c_0, \quad (\text{при } t > t_{кр})$$

де  $c_0$  – питома теплоємність за температур (t) вище криоскопічної ( $t_{кр}$ ), Дж/(кг·К),

$c_w$  – питома теплоємність води,  $c_w = 4190$  Дж/(кг·К);

$c_i$  – питома теплоємність льоду,  $c_i = 2100$  Дж/(кг·К).

На підставі рівняння (2.1) й з урахуванням рівняння (2.5) ефективна питома теплоємність  $c_e$  дорівнює:

$$c_e(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0 \omega(t) + L_w w_0 \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.6)$$

$$c_e = c_0. \quad (\text{при } t > t_{кр})$$

Визначена таким чином ефективна питома теплоємність враховує всі види теплових ефектів, які мають місце під час заморожування – розморожування системи. Тому, визначивши її, можна проводити аналіз впливу технології підготовки м'ясних систем на оборотність процесу заморожування – розморожування. Для її практичного використання необхідно знати температурну залежність величини  $\omega(t)$ .

У теплофізичних розрахунках процесів, які мають місце під час заморожування, використовують дві моделі для визначення частки вимороженої вологи: модель, заснована на рівнянні Рауля для істинних розчинів:

$$\omega(t) = 1 - \frac{t_{кр}}{t}, \quad (2.7)$$

та емпірична модель Чижова-Латишева:

$$\omega(t) = \frac{1,105}{1 + \frac{0,714}{\ln(t + 1 - t_{кр})}} \quad (2.8)$$

Диференціюючи останні два рівняння, одержуємо вирази для швидкості кристалізації в моделі Рауля:

$$\left| \frac{d\omega}{dt} \right| = \frac{t_{кр}}{t^2} \quad (2.9)$$

та в моделі Чижова-Латишева

$$\left| \frac{d\omega}{dt} \right| = \frac{0,789/(t + 1 - t_{кр})}{[\ln(t + 1 - t_{кр}) + 0,714]^2}. \quad (2.10)$$

Підставляючи вирази для швидкості кристалізації (2.9), (2.10) та частки вимороженої вологи (2.7), (2.8) в рівняння (2.6), одержуємо наступний вираз для розрахунку ефективної питомої теплоємності в моделі Рауля:

$$c_e(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0 \left( 1 - \frac{t_{кр}}{t} \right) + L_w w_0 \frac{t_{кр}}{t^2}, \quad (\text{за } t < t_{кр}) \quad (2.11)$$

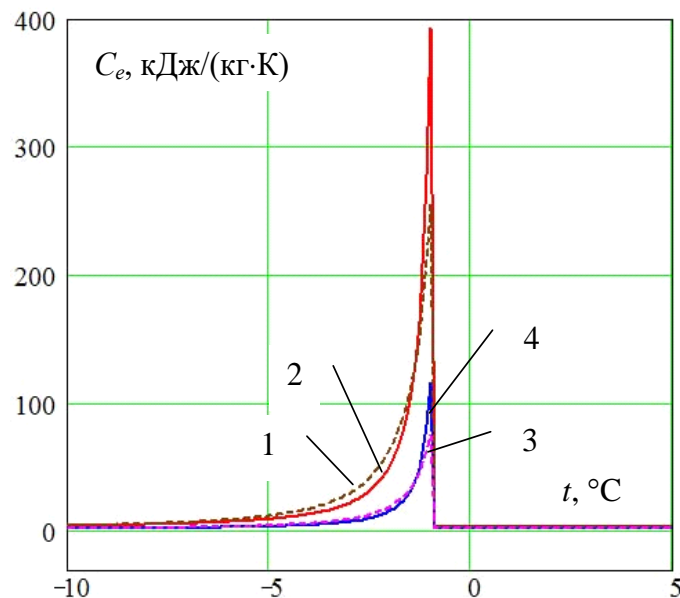
$$c_e = c_0 \quad (\text{за } t > t_{кр})$$

та в моделі Чижова-Латишева за  $t < t_{кр}$ :

$$c_e(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0 \left[ \frac{1,105}{1 + \frac{0,714}{\ln(t + 1 - t_{кр})}} \right] + L_w w_0 \frac{0,789/(t + 1 - t_{кр})}{[\ln(t + 1 - t_{кр}) + 0,714]^2}. \quad (2.12)$$

$$\text{за } t > t_{кр} \quad c_e = c_0.$$

Грунтуючись на результатах визначення ефективної питомої теплоємності за рівняннями (2.11), (2.12) для м'яса яловичини та експериментальних даних калориметричних вимірів ефективної питомої теплоємності яловичини за різного вмісту води, отримані Ріделем [59], встановлено істотну відмінність теоретичних розрахунків за рівняннями (2.11), (2.12) від експериментальних даних (рис. 2.1). Характерною відмінністю експериментальних даних є більш широкий криоскопічний інтервал, в якому спостерігається фазовий перехід, зміщення максимуму швидкості кристалізації вологи та криоскопічної температури зі зменшенням вологості зразка в зону більш низьких температур, менша швидкість зміни питомої теплоємності в криоскопічній зоні. На нашу думку, істотну відмінність температурної залежності ефективної питомої теплоємності викликано достатньо грубою моделлю харчового продукту, яка витікає з рівняння Рауля. У моделях ефективної питомої теплоємності (2.11), (2.12) продукт ототожнюється з істинним розчином, який під час заморожування поступово концентрується аж до евтектичної температури.

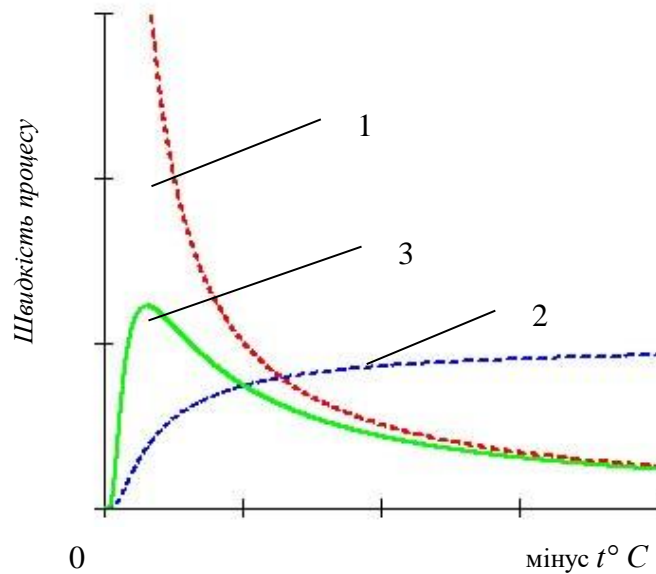


**Рисунок 2.1 – Розрахункові значення питомої теплоємності яловичини згідно з класичними моделями 1,3 – модель Рауля, 2,4 – модель Чижова-Латишева, за різного вмісту води: 1, 2 – ( $w_0=0,75$ ); 3, 4 – ( $w_0=0,22$ )**

Однак загальноприйнятою моделлю харчових продуктів є колоїдне капілярно-пористе тіло (ККПТ), характерною особливістю якого є гетерогенність за структурно-механічними властивостями, хімічним складом, енергією зв'язку. Волога в харчових продуктах знаходиться в динамічній взаємодії з дисперсною фазою і може змінювати енергію зв'язку в результаті не тільки зміни температури, але й процесів денатурації білків, перетворення полісахаридів, ферментативних реакцій [100]. Комплекс цих процесів не може бути описаний в рамках теорії виморожування істинних розчинів, що і є причиною описаних вище розбіжностей теоретичних та експериментальних даних.



Згідно з існуючими теоріями [101] процес кристалізації в складних термодинамічних системах, до яких відносяться й м'ясні, слід розглядати як накладення кількох конкуруючих процесів. Для ККПТ це як мінімум два основних процеси – виморожування вільної вологи (основний процес) та конкуруючий процес збільшення енергії зв'язку для зв'язаної вологи, який проявляється у збільшенні в'язкості системи та гелеутворенні. Встановлено, що вищезазначені процеси по-різному залежать від температури, а саме: швидкість виморожування вологи зі зниженням температури зменшується, а швидкість конкуруючого процесу, навпаки, збільшується. Графічно це ілюструє рис. 2.2.



**Рисунок 2.2 – Модель процесу кристалізації під час заморожування колоїдних капілярно-пористих тіл: 1 – швидкість виморожування вільної вологи; 2 – швидкість зв'язування вологи; 3 – швидкість кристалізації**

Виходячи з цієї фізичної моделі процесу заморожування харчових систем, нами запропоновано математичну модель для швидкості кристалізації у вигляді добутку двох експонент:

$$\left| \frac{d\omega}{dt} \right| = A \cdot e^{-k_1 t} \cdot e^{-\frac{1}{k_2 t}}, \quad (2.13)$$

де  $A$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  – емпіричні константи;  
 $k_1$  задає швидкість виморожування вільної вологи,  
 $k_2$  – швидкість зв'язування вологи;  
 $t$  – температура (за модулем), °C.

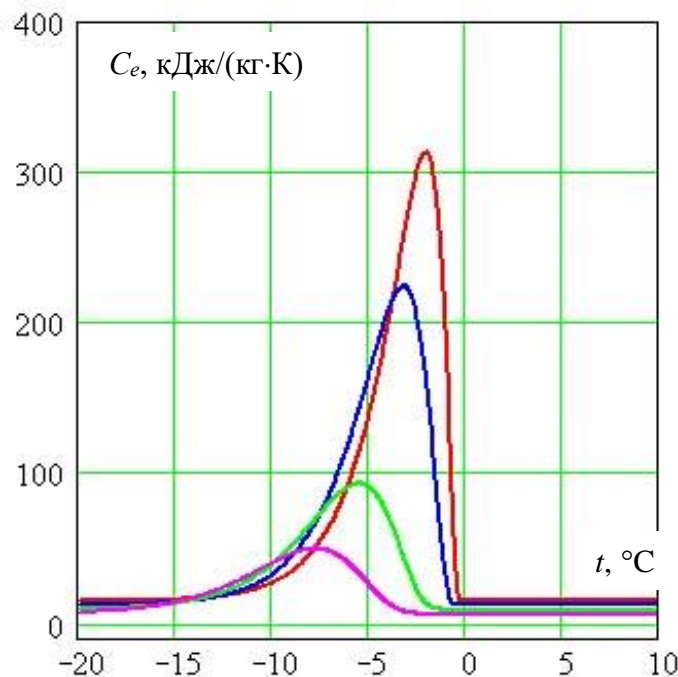
Величина  $k_1$  задає швидкість основного процесу (швидкість виморожування вільної вологи), величина  $k_2$  – швидкість конкуруючого процесу (швидкість зростання зв'язування вологи).

З урахуванням виразу (2.13) для швидкості кристалізації, ефективна питома теплоємність під час заморожування записується в наступному вигляді:

$$c_e(t) = c_0 - (c_w - c_i)w_0(1 - e^{-k_1t}) + L_w w_0 A \cdot e^{-k_1t} \cdot e^{-\frac{1}{k_2t}}, \quad (\text{за } t < t_{\text{кр}}) \quad (2.14)$$

$$c_e = c_0. \quad (\text{за } t > t_{\text{кр}})$$

У рівнянні (2.14) враховано, що ефективна питома теплоємність під час виморожування вільної вологи також змінюється за законом експоненти. Характер температурної залежності ефективної питомої теплоємності  $c_e(t)$  деяких м'ясних систем, що описується рівнянням (2.14), наведено на рис. 2.3.



**Рисунок 2.3 – Характер теоретичної температурної залежності ефективної питомої теплоємності м'ясних систем з різним складом та властивостями, що описується рівнянням (3.14)**

Як видно з рис. 2.3, запропонована модель температурної залежності ефективної питомої теплоємності набагато ближче відображає експериментальний характер кривих, наведених у [59], ніж класичні моделі Рауля та Чижова-Латишева.

Визначимо характерні точки швидкості кристалізації, що описується рівнянням (2.13). Прирівнявши похідну від швидкості кристалізації (2.13) за температури до нуля, знаходимо положення максимуму швидкості кристалізації (центр кріоскопічного інтервалу температур):

$$\frac{d}{dt} \left( A \cdot e^{-k_1t} \cdot e^{-\frac{1}{k_2t}} \right) = 0, \quad (2.15)$$

$$t_{кр} = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}} \quad (2.16)$$

та максимальну швидкість кристалізації

$$\left| \frac{d\omega}{dt} \right|_{\max} = A \cdot \exp\left(-\frac{2k_1}{\sqrt{k_1 k_2}}\right). \quad (2.17)$$

Підставляючи рівняння (2.16) в рівняння (2.14), знаходимо максимальну ефективну питому теплоємність

$$C_{e\max} = c_0 - (c_w - c_i)w_0 \left(1 - e^{-\frac{k_1}{\sqrt{k_1 k_2}}}\right) + L_w w_0 A \cdot e^{-\frac{2k_1}{\sqrt{k_1 k_2}}}. \quad (2.18)$$

Таким чином, розроблена та запропонована модель процесу кристалізації дозволить здійснювати об'єктивну оцінку перебігу фізичних, фізико-хімічних, теплофізичних процесів у м'ясних системах під час заморожування – розморожування.

На основі запропонованої моделі кристалізації м'ясних систем уперше розроблено метод визначення ефективної питомої теплоємності за термограмами заморожування – розморожування, що одержані під час дослідження. Згідно з визначенням питомої теплоємності (2.1) і на підставі рівняння (2.4) отримуємо вираз для визначення ефективної питомої теплоємності системи:

$$C_e(t) = -k \frac{d}{dt} \left[ \int_0^{\tau(t)} (t_s - t_\infty) d\tau \right], \quad (2.19)$$

Коефіцієнт  $k$  визначається за рівнянням (2.20):

$$k = \alpha / (R_V \rho), \quad (2.20)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$R_V$  – відношення об'єму зразка до площі його поверхні, м;

$\rho$  – густина зразка, кг/м<sup>3</sup>.

Запишемо рівняння (2.19) в кінцевих різницях з урахуванням зручності обробки експериментальних термограм, оскільки температура зразків вимірюється з певною дискретністю (у нашій експериментальній установці  $\Delta\tau=60$  с):

$$C_e(t_j) = k \left[ -\frac{\Delta\tau}{\bar{t}_{j+1} - \bar{t}_j} (t_{sj} - t_{\infty i}) - \tau_j \right], \quad (2.21)$$

де  $t_j$  – значення середньої поточної температури зразка, °С;

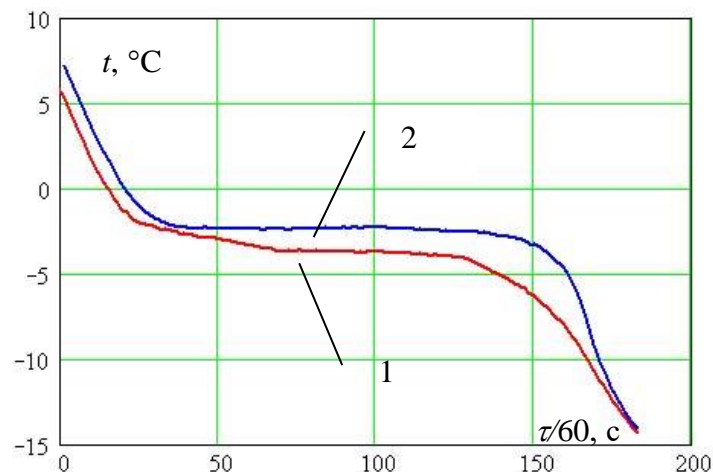
$t_{sj}$  – значення поточної температури поверхні зразка, °С;

$t_{\infty i}$  – значення поточної температури навколишнього середовища (температура повітря в камері), °С;

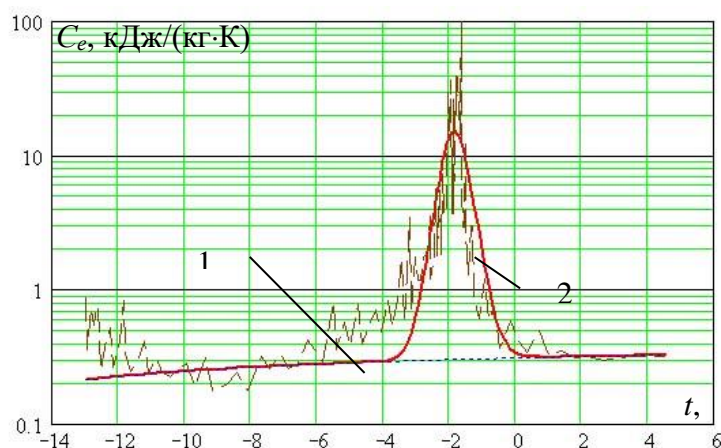
$\Delta\tau$  – дискретність вимірювання температури, с.

Отримані таким чином дискретні залежності  $C_e(t_j)$  апроксимуються рівнянням (2.14) з використанням стандартних процедур програми Mathcad. Величина коефіцієнта  $k$  визначається або розрахунковим шляхом, для чого використовуються стандартні формули для розрахунку коефіцієнта теплообміну  $\alpha$  та виміряні величини  $R_V$  й  $\rho$  для кожного зразка, або експериментальним шляхом за еталонним зразком з відомими теплофізичними характеристиками й такою ж геометрією, як і зразок, що досліджується. У цьому випадку, знаючи ефективну питому теплоємність еталонного зразка  $C_e(t)$ , величина коефіцієнта  $k$  визначається із рівняння (2.21).

На рис. 2.4 наведено типовий експериментальний графік термограми заморожування, на рис 2.5 – графік ефективної питомої теплоємності та його апроксимація рівнянням (2.14).



**Рисунок 2.4 – Термограми заморожування яловичини:  
1 – поверхня зразка, 2 – центр зразка**



**Рисунок 2.5 – Ефективна питома теплоємність яловичини:  
1 – експериментальні дані, 2 – апроксимація рівнянням (2.14)**

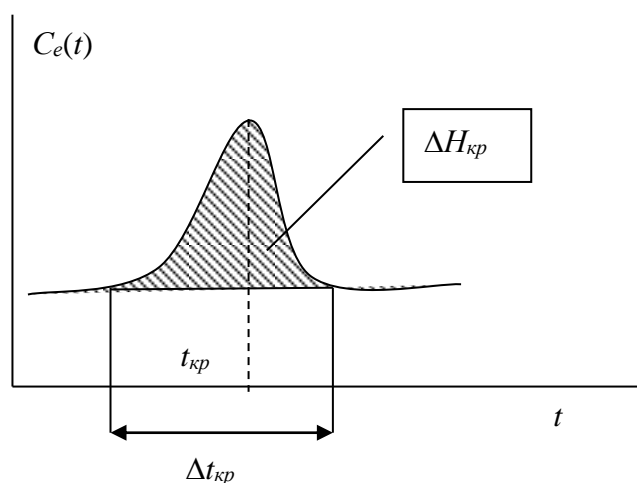
Інформаційними параметрами, які одержано за температурною залежністю ефективної питомої теплоємності,  $\epsilon$  (рис. 2.6):

$t_{кр (пл)}$  – температура максимальної швидкості кристалоутворення (плавлення),  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t_{кр}$  – криоскопічний інтервал температур,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta H_{кр}$  – питома теплота фазового переходу в криоскопічному інтервалі температур, Дж/К.

$\Delta \omega$  – частка вологи, яка змінює свій агрегатний стан в криоскопічному інтервалі температур (кількість вільної вимороженої або розплавленої вологи).



**Рисунок 2.6 – Інформаційні параметри температурної залежності  
ефективної питомої теплоємності**

Характерний пік ефективної питомої теплоємності відповідає фазовому переходу вода-лід, положення його максимуму відповідає криоскопічній температурі системи. Ширина піка біля підніжжя визначає криоскопічний інтервал температур, в якому відбувається виморожування вільної вологи.

Площа під піком фазового переходу визначає питому теплоту фазового переходу в кріоскопічному інтервалі температур.

Враховуючи, що зміна ентальпії, викликана фазовим переходом, дорівнює:

$$\Delta H_{кр} = L_{\omega} \Delta \omega \cdot W_0, \quad (2.22)$$

можна розрахувати частку вологи, яка змінює свій агрегатний стан в кріоскопічному інтервалі температур

$$\Delta \omega = \Delta H_{кр} / (L_{\omega} \cdot W_0). \quad (2.23)$$

Загальна зміна ентальпії  $\Delta H$  продукту під час охолодження та подальшого заморожування визначається за площею під всією кривою ефективної питомої теплоємності в температурному діапазоні, що досліджується, і є показником енерговитрат на процес холодильної обробки.

Зміна інформаційних параметрів ефективної питомої теплоємності під час заморожування – розморожування є критерієм оборотності процесу холодильної обробки. Таким чином, розроблені фізико-математична модель процесу кристалізації та метод визначення комплексу інформаційних параметрів залежності ефективної питомої теплоємності відкривають можливості для виявлення та зіставлення термодинамічних змін у м'ясних системах і є підґрунтям для обґрунтування рецептурного складу та технологічних параметрів виробництва ККД та НМПЗ з їх використанням.

### **3. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙ КРІОСТАБІЛІЗУЮЧОЇ ДІЇ ДЛЯ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ ПОСІЧЕНИХ ЗАМОРОЖЕНИХ**

3.1. Дослідження впливу заморожування – розморожування на теплофізичні показники та функціонально-технологічні властивості м'ясних систем, визначення стратегії забезпечення їх стабільності

Стратегія (як інструментарій прогнозування та пошуку найкращого рішення з існуючих) забезпечення сталих показників якості НМПЗ під час заморожування – розморожування, перш за все, має ґрунтуватися на об'єктивній оцінці перебігу фізичних, фізико-хімічних та інших процесів.

Незважаючи на наявність в літературі великої кількості відомостей стосовно впливу заморожування – розморожування на м'ясу сировину, у тому числі посічену, абсолютні значення її фізико-хімічних, теплофізичних та інших показників коливаються в широких межах (внаслідок використання сировини з індивідуальним хімічним складом та різних способів заморожування) і без експериментального визначення не можуть бути використані для визначення стратегії забезпечення їх стабільності.

Відбір проб та підготовку зразків до дослідження здійснювали за ГОСТ 4288 [102], ГОСТ 26929 [103], ГОСТ 26668 [104], ГОСТ 26669 [105], ГОСТ 26670 [106].

Під час проведення досліджень керувалися методами системного підходу, які дозволили подати технологію НМПЗ у вигляді цілісної технологічної системи, всебічно її розглянути та деталізувати, визначити проблемні елементи функціонування системи, встановити взаємозв'язки між ними в межах єдиної системи [107].

Для об'єктивного судження про ступінь вірогідності одержаних даних проводили математичну обробку результатів дослідження [108]. Оцінку похибки експериментальних даних і вимірюваних величин здійснювали за методиками [109]. Із зіставленням результатів експериментальних даних враховували стандартні помилки дослідів (коефіцієнти варіації). При цьому проводили не менш трьох паралельних дослідів, з яких знаходили середнє арифметичне і середнє квадратичне відхилення [110].

Обробку експериментальних даних здійснювали у програмному пакеті Matchad 2001 Proffesional [111].

Надійність одержаних результатів визначали шляхом розрахунку коефіцієнтів Стюдента  $t_{ST}$  для прийнятого рівня залежності  $P=0,05$  і відповідного  $(n-1)$  числу ступенів свободи.

Експериментально досліджено вплив заморожування – розморожування на загальний хімічний склад, теплофізичні та функціонально-технологічні властивості м'ясних посічених систем, які за хімічним складом моделюють НМПЗ згідно з інноваційним задумом. Дослідження загального хімічного

складу м'ясних систем визначали за методиками [112-115], отримані результати наведено в табл. 3.1.

*Таблиця 3.1 – Загальний хімічний склад м'ясних модельних систем, що досліджувались*

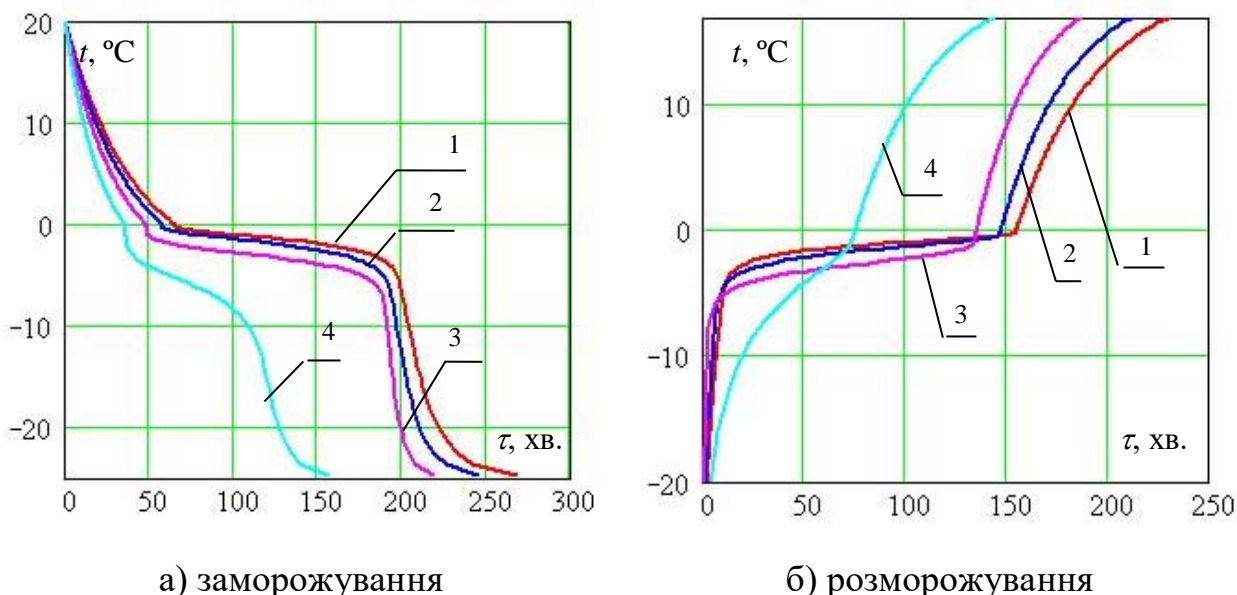
Показник	Зразок		
	1	2	3
ММС до заморожування			
Масова частка вологи, %	73,4±0,2	71,0±0,2	68,9±0,2
Масова частка білка, %	19,8±0,2	18,7±0,2	17,3±0,2
Масова частка жиру, %	5,8±0,1	9,5±0,1	13,2±0,1
Масова частка мінеральних речовин, %	1,00±0,02	0,80±0,04	0,60±0,03
pH	5,9±0,1	5,9±0,1	5,9±0,1
ММС після заморожування – розморожування			
Масова частка вологи, %	71,9±0,2	69,9±0,2	68,2±0,2
Масова частка білка, %	20,3±0,2	19,0±0,2	17,5±0,2
Масова частка жиру, %	6,6±0,1	10,2±0,1	13,6±0,1
Масова частка мінеральних речовин, %	1,20±0,02	0,90±0,04	0,70±0,03
pH	5,9±0,1	5,9±0,1	5,9±0,1

Порівняльний аналіз загального хімічного складу м'ясних модельних систем, що досліджувались (табл. 3.1), дозволяє констатувати (у ряді зразок 1 → зразок 3) незначне зменшення масової частки вологи з 73,4±0,2 % до 68,9±0,2 % та білків з 19,8±0,2 % до 17,3±0,2 %, суттєве збільшення (~ 2,3рази) масової частки жиру – з 5,8±0,1 % до 13,2±0,1 %. Після заморожування – розморожування спостерігається зменшення масової частки вологи у зразках (1...3) внаслідок її виморожування; однак, виявлено тенденцію, що відсоток зменшення масової частки вологи знижується зі збільшенням в системах масової частки жиру. Так, масова частка вологи у зразках 1, 2, 3 зменшилась на ~1,5 %, 1,1 %, й 0,7 % відповідно.

З урахуванням запропонованої фізико-математичної моделі процесу кристалізації та розробленого методу визначення ефективної питомої теплоємності (п. 2.3) одержано термограми процесу заморожування – розморожування зразків м'ясних систем на основі подрібненого м'яса яловичини та жиру-сирця (рис. 3.1); заморожування здійснювали на лабораторному експериментальному стенді, який оснащено вимірювачем-регулятором багатофункціональним вісьмиканальним ОВЕН ТРМ 138-Р з автоматичним перетворювачем інтерфейсів ОВЕН АС 4 до досягнення температури в центрі зразка мінус 20 °С; температура зразків вимірювалася автоматично з дискретністю  $\Delta\tau = 1 \times 60$  с.

За даними рис. 3.1, видно, що криві заморожування – розморожування зразків (1...3) мають однаковий загальний вигляд, але різні абсолютні значення. Так, незалежно від вмісту жиру-сирця у м'ясній системі, процес їх охолодження до кріоскопічної температури (криві 1, 2, 3) описується практично однаковими кривими. Під час заморожування можна виділити три етапи.





а) заморожування  
 б) розморожування  
**Рисунок 3.1 – Термограма процесу заморожування – розморожування м'ясних систем (криві 1, 2, 3, 4 відповідають зразкам табл. 3.1)**

На першому етапі охолодження зразків від  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  зниження температури зразків відбувається пропорційно кількості роботи з відбору тепла. На другому етапі температура зразків знижується від  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  до мінус  $(1,2\dots4,4)\text{ }^{\circ}\text{C}$ , настає переохолодження системи та відбувається кристалізація приблизно 70 % рідкої фази продукту. На третьому етапі має місце доморожування зразків до температури мінус  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при цьому утворення нових кристалів не відбувається, розпочинається зростання кристалів, що вже утворились. Зниження температури відбувається пропорційно роботі з відбору тепла.

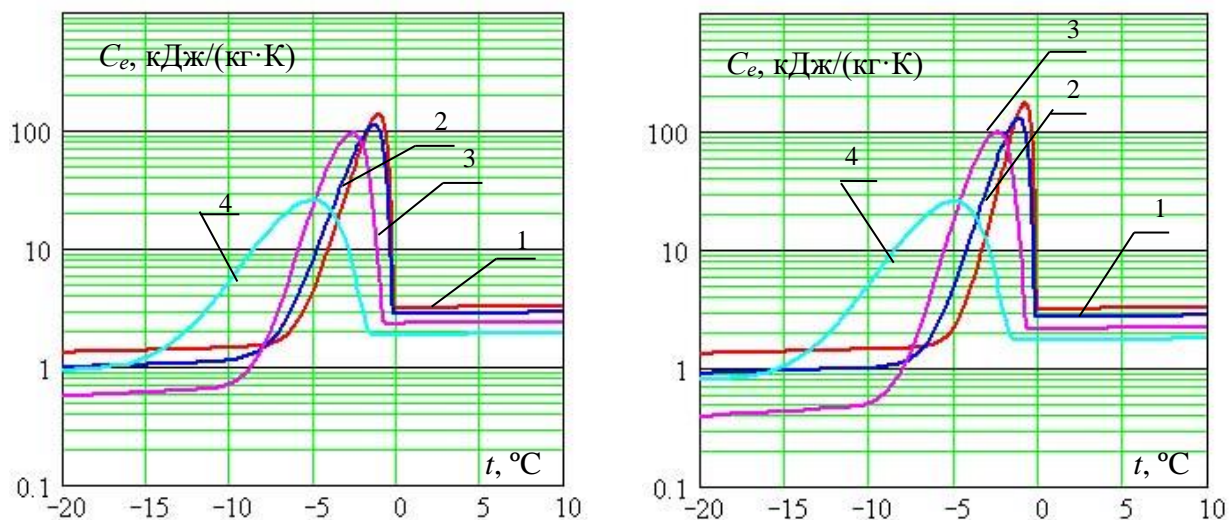
На рис. 3.2 наведено температурні залежності ефективної питомої теплоємності трьох зразків м'ясних систем та жира-сирця під час заморожування-розморожування, у табл. 3.2 наведено їх інформаційні параметри. Аналіз одержаних даних (рис. 3.2 та табл. 3.2) дозволяє констатувати, що процес заморожування – розморожування є незворотнім. Всі параметри температурної залежності ефективної теплоємності змінюються, однак характер вищевказаних змін має індивідуальний характер.

Встановлено, що температури максимальної швидкості кристалоутворення систем на основі подрібненого м'яса яловичини (під час заморожування) знаходяться в інтервалі мінус  $(1,1\dots2,7)\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для всіх м'ясних систем з підвищенням вмісту жирової складової спостерігається збільшення криоскопічного інтервалу температур ( $\Delta T_{кр}$ ).

Характер зміни криоскопічного інтервалу температур дозволяє визначити, що наявність жиру суттєво впливає на процес заморожування – розморожування.

Мінімальне значення криоскопічного інтервалу температур ( $\Delta T_{кр}=3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) зафіксовано для зразка 1, найбільше значення ( $\Delta T_{кр}=4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) – характерно для систем з подрібненого м'яса яловичини за вмісту жиру  $13,2\pm 0,1\%$  (зразок 3). Зі збільшенням частки жирової складової для всіх досліджуваних м'ясних систем характерним є збільшення значення криоскопічного інтервалу температур та

зменшення питомої теплоти фазового переходу, що повною мірою співвідноситься з існуючим літературними даними про вплив жиру на процес заморожування.



а) заморожування

б) розморожування

**Рисунок 3.2 – Температурні залежності ефективної питомої теплоємності м'ясних посічених систем за вмісту жиру, %: 1 – 5,8; 2 – 9,5; 3 – 13,2; 4 – 94,0 (жир-сирець подрібнений); а) – до заморожування; б) – після заморожування – розморожування**

**Таблиця 3.2 – Параметри температурної залежності ефективної питомої теплоємності м'ясних модельних систем (n=5, P≥0,95)**

Показник	Зразок		
	1	2	3
під час заморожування			
Температура максимальної швидкості кристалотворення, $T_{кр}$ , °C	-1,1	-1,4	-2,7
Кріоскопічний інтервал температур, $\Delta T_{кр}$ , °C	3,2	3,9	4,4
Питома теплота фазового переходу в кріоскопічному інтервалі температур, $\Delta H_{кр}$ , кДж/К	142	126	105
Частка вологи, що змінює свій агрегатний стан в кріоскопічному інтервалі температур, $\Delta \omega$	0,27	0,24	0,20
під час розморожування			
Температура максимальної швидкості плавлення, $T_{пл}$ , °C	-0,8	-1,2	-2,5
Кріоскопічний інтервал температур, $\Delta T_{кр}$ , °C	2,5	3,4	4,2
Питома теплота фазового переходу в кріоскопічному інтервалі температур, $\Delta H_{кр}$ , кДж/К	172	147	117
Частка вологи, що змінює свій агрегатний стан в кріоскопічному інтервалі температур, $\Delta \omega$	0,35	0,30	0,24
Примітка: зразки 1, 2, 3, відповідають зразкам в табл. 3.4			

Порівняльний аналіз теплофізичних характеристик м'ясних систем на основі подрібненого м'яса яловичини та жиру-сирця в циклі заморожування – розморожування дозволяє зробити наступні висновки. Під час розморожування у всіх зразків збільшується температура максимальної швидкості

кристалоутворення, зменшується кріоскопічний інтервал температур. При чому зі збільшенням кількості жиру ці показники змінюються у меншій мірі. Так, у зразках 2 і 3  $T_{кр}$  підвищується на 14 % та 7 % відповідно (для контролю на 27 %);  $\Delta T_{кр}$  – знижується на 13 % та 15 % відповідно (для контролю на 22 %). Кількість питомої теплоти фазового переходу в кріоскопічному інтервалі температур має таку ж тенденцію: зменшення в (1,4...1,6) рази зі збільшенням жирової складової в системі. З розморожуванням поряд зі збільшенням частки вологи ( $\Delta\omega$ ), що змінює агрегатний стан в кріоскопічному інтервалі температур, підвищується питома теплота фазового переходу. При цьому зі збільшенням частки жирової складової в м'ясній системі від  $5,8\pm 0,1$  % до  $13,2\pm 0,1$  % цей показник збільшується на (17...20) % відповідно (для контролю – на 23 %).

Характер температурної залежності ефективної питомої теплоємності жиру-сирця (рис. 3.2) свідчить про відсутність чітко вираженого фазового переходу. Структурні зміни в жирі спостерігаються у всьому досліджуваному діапазоні температур, що свідчить про переважну частку зв'язаної вологи в ньому. Це підтверджується низьким значенням температури, за якою спостерігається максимум теплового ефекту під час заморожування жиру-сирця (мінус  $5,1$  °C) та під час розморожування (мінус  $3,5$ ).

У цілому виявлено, що за умов реалізації циклу заморожування – розморожування з підвищенням масової частки жиру у м'ясній системі спостерігається підвищення температури максимальної швидкості кристалоутворення на (7...14) %, зменшення кріоскопічного інтервалу температур на (13...15) %, збільшення частки вологи, що змінює агрегатний стан у кріоскопічному інтервалі температур, на (20...25) %, підвищення питомої теплоти фазового переходу в кріоскопічному інтервалі температур на (17...20) %.

Поряд з дослідженням теплофізичних характеристик визначено функціонально-технологічні властивості м'ясних систем у взаємозв'язку з оцінкою негативного впливу низькотемпературної обробки. Вологозв'язуючу здатність ММС з підвищеним вмістом жиру визначали ваговим методом у модифікації [116]. Для дослідження зразки зважували масою  $0,3$  г з абсолютною похибкою  $0,001$ г поміщали на поліетиленову плівку, яку переносили на фільтрувальний папір, розташований на скляній пластині так, щоб зразок фаршу знаходився на фільтрувальному папері. Зверху поліетиленову плівку накривали пластиною, на яку ставили вантаж масою  $1$  кг. Тривалість пресування складала ( $10\times 60$ ) с. Із закінченням пресування масу знімали з фільтрувального паперу; папір зважували і поміщали в сушильну шафу з температурою  $105$  °C для висушування до постійної маси.

Вологозв'язуючу здатність (ВЗЗ) систем обчислювали за формулою:

$$ВЗЗ = 100 - (b - c) \times \frac{100}{a \times M} \times 100, \quad (3.1)$$

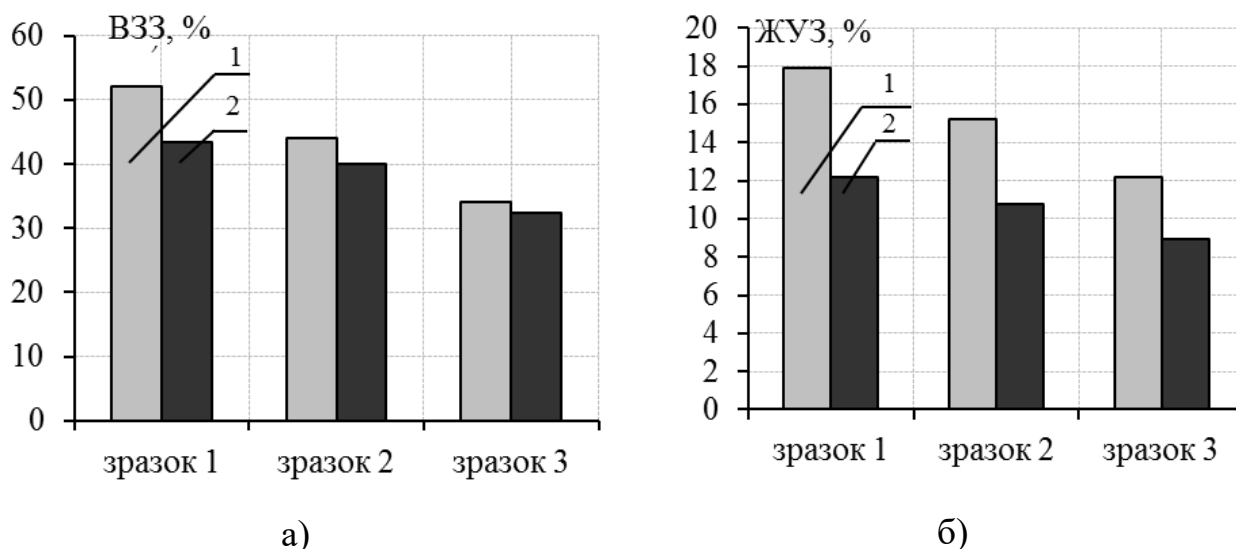
де  $a$  – маса наважки, г;

$v$  – маса фільтрувального паперу після пресування і зняття з нього фаршу, г;

$c$  – маса фільтрувального паперу після пресування, зняття з нього фаршу і висушування, г;

$M$  – масова частка вологи в наважці, %.

Визначення ЖУЗ м'ясних систем проводили за методикою Р.М. Салаватуліної [117]. На рис. 3.3 наведено результати дослідження ВЗЗ та ЖУЗ м'ясних систем під час заморожування – розморожування.

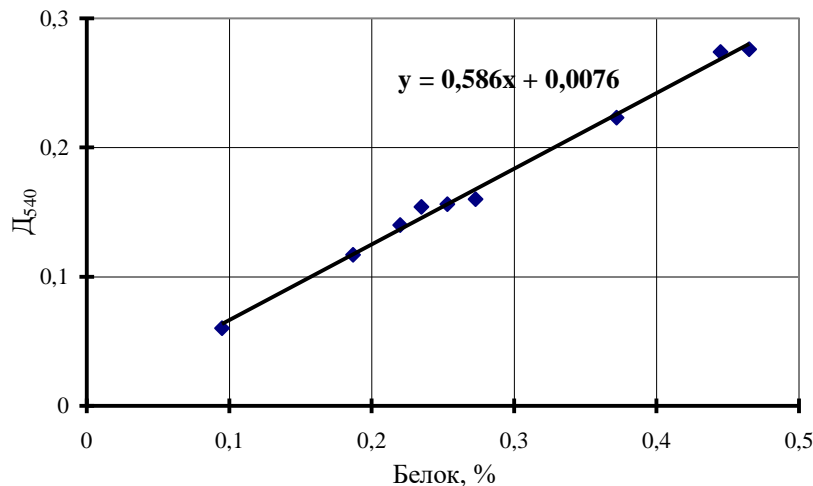


**Рисунок 3.3 – Вплив заморожування – розморожування на ВЗЗ (а) та ЖУЗ (б) м'ясних систем (характеристика зразків 1, 2, 3 відповідає даним табл. 3.4):  
1 – до заморожування, 2 – після заморожування – розморожування**

Аналіз отриманих даних свідчить, що зі збільшенням масової частки жиру в м'ясній системі до заморожування спостерігається зменшення ВЗЗ в (1,1...1,2) рази та ЖУЗ в (1,1...1,4) рази, що, вірогідно, пов'язано з меншим вмістом білкової складової, яка визначає вологозв'язуючі та жирутримуючі властивості м'ясної системи. Ця ж тенденція зберігається і після заморожування – розморожування. Незалежно від хімічного складу та вмісту жирової складової процес заморожування – розморожування сприяє погіршенню властивостей м'ясних систем (зниженням ВЗЗ та ЖУЗ), однак у меншому ступені зі збільшенням масової частки жиру в системі.

Зміни функціонально-технологічних властивостей м'ясних систем після заморожування – розморожування, перш за все, пов'язані зі змінами хімічного складу, й зокрема, білкової складової.

Вміст загального білка визначали за стандартною методикою [113], фракційний склад білків ММС на основі їх розчинності – фотометричним методом з використанням фотоелектроколориметру [118]. Для побудови калібрувального графіка готували декілька послідовних розведень стандартного розчину сухого яєчного білка (рис. 3.4).



**Рисунок 3.4 – Калібрувальний графік відповідності концентрації білка оптичній густині його розчину**

Для визначення розчинності білкових речовин м'ясних систем наважку масою 10 г заливали 40 см<sup>3</sup> розчину NaOH (рН=10...11), перемішували протягом (10×60) с до утворення суспензії, титрували розчином НСl до досягнення рН 6 та центрифугували за частоти обертів 83 с<sup>-1</sup> протягом (5×60) с.

Для проведення кольорової реакції до 1 см<sup>3</sup> досліджуваних розчинів білків додавали 4 см<sup>3</sup> біуретового реактиву, витримували за температури 20,0±0,5 °С протягом (30×60) с. Оптичну густину розчину вимірювали на фотоелектроколориметрі з зеленим світлофільтром з довжиною хвилі (540...590) мкм. Масову частку білка (X, %) визначали за формулою 3.2.

$$X=100(c \cdot V)/m, \quad (3.2)$$

де  $c$  – концентрація білка, що визначена за калібрувальним графіком (рис. 3.4), мг/см<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм проби після екстрагування відповідної білкової фракції, см<sup>3</sup>;

$m$  – маса наважки м'язової тканини, мг.

Аналіз даних дослідження фракційного складу білків м'ясних систем (табл. 3.3) показав, що вони є гетерогенними за складом і подано декількома фракціями. Основною фракцією білків м'ясних модельних систем є солерозчинні, вміст яких складає ~52 % від загальної кількості білків, на частку водорозчинної фракції припадає в середньому 32,9 %, решта – білки строми та нерозчинний осад.

Експериментально встановлено, що заморожування – розморожування не суттєво впливає на кількість водорозчинних білків саркоплазми, їх відсоткове співвідношення залишилось практично незмінним ((32,4...32,7) %). Після заморожування – розморожування спостерігається зниження частки солерозчинних білків на (2,6...3,6) %, що, вірогідно, пояснюється високою лабільністю міофібрилярних білків до впливу низькотемпературної обробки.

Таблиця 3.3 – Вплив заморожування – розморожування на фракційний склад білків м'ясних модельних систем (n=5, P≥0,95)

Показник	До заморожування			Після заморожування – розморожування		
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
Масова частка загального білка, %, в т.ч.	$\frac{19,8 \pm 0,2}{100}$	$\frac{18,7 \pm 0,2}{100}$	$\frac{17,3 \pm 0,2}{100}$	$\frac{20,8 \pm 0,2}{100}$	$\frac{19,4 \pm 0,2}{100}$	$\frac{17,7 \pm 0,2}{100}$
Масова частка водорозчинної фракції, %	$\frac{6,5 \pm 0,3}{32,9}$	$\frac{6,2 \pm 0,3}{33,1}$	$\frac{5,7 \pm 0,3}{33,0}$	$\frac{6,7 \pm 0,3}{32,4}$	$\frac{6,3 \pm 0,3}{32,7}$	$\frac{5,8 \pm 0,2}{32,7}$
Масова частка солерозчинної фракції, %	$\frac{10,4 \pm 0,5}{52,0}$	$\frac{9,7 \pm 0,4}{51,9}$	$\frac{9,0 \pm 0,4}{52,0}$	$\frac{10,1 \pm 0,5}{48,4}$	$\frac{9,5 \pm 0,4}{48,8}$	$\frac{8,7 \pm 0,4}{49,4}$
Масова частка лужнорозчинної фракції, %	$\frac{2,9 \pm 0,1}{15,1}$	$\frac{2,8 \pm 0,1}{15,0}$	$\frac{2,6 \pm 0,1}{15,0}$	$\frac{4,0 \pm 0,1}{19,2}$	$\frac{3,6 \pm 0,1}{18,5}$	$\frac{3,2 \pm 0,1}{17,9}$

Примітка: 1) над рискою наведено вміст білка у складі ММС; під рискою – відсоток до загальної кількості білка; 2) зразки 1, 2, 3, відповідають зразкам в табл. 3.4

Зменшення частки фракції солерозчинних білків свідчить про часткову денатурацію міофібрилярних білків з агрегуванням їх у складні комплекси, зниженням розчинності та випадінням у осад. Про це свідчить і підвищення після розморожування частки лужнорозчинної фракції (у (1,2...1,3) рази). Денатураційні процеси мають менш виражену тенденцію зі збільшенням кількості жирової складової в м'ясних системах.

Дані щодо фракційного складу білків м'ясних модельних систем корелюють з результатами моніторингу молекулярно-масового розподілу (ММР) саркоплазматичних та міофібрилярних білків (табл. 3.4), який вивчали шляхом розділення речовин центрифугуванням в комбінованому градієнті густини солей NaCl ( $\rho = 1,03 \dots 2$  г/см<sup>3</sup>) і CsCl ( $\rho = 1,03 \dots 2$  та  $1,4 \dots 6$  г/см<sup>3</sup>) [119]. Використовували центрифугу "SpincoL-5" за умов:  $n = 30000$  об/хв, бакет-ротор з пробірками об'ємом 5мл та 13,5 мл; 4...19 год. Як стандарти використовували декстрини фірми Fluka з молекулярними масами 20000, 40000, 70000, 110000, 500000, 1000000, 2000000. Після центрифугування відбирали проби (об'єм фракції – 1 мл), в яких визначали вміст білка за методом Bradford [120], вуглеводів – фенол-сірчанним методом [121]. Це дозволило одержати значення молекулярних мас окремих фракцій та побудувати криві ММР. По осі X відкладали номер фракції, а по осі Y – інтенсивність поглинання світла з  $\lambda = 590$  нм за визначенням у пробі білка та за  $\lambda = 490$  нм – вуглеводів [121].

Середньовагову молекулярну масу ( $\bar{M}_m$ ) розраховували за формулою:

$$\bar{M}_m = \frac{\sum M_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (3.3)$$

де  $n_i$  – масова частка речовини з даною молекулярною масою  $M_i$ , %;  
 $M_i$  – величина молекулярної маси.

Одержані результати ММР підтверджують, що після заморожування – розморожування середньовагова молекулярна маса саркоплазматичних білків збільшується в 1,04 рази, міофібрилярних – в 1,34 рази, що є наслідком денатурації та агрегації білкових макромолекул.

Дослідження мікроструктури м'ясних посічених систем підтвердили розрихлювання та склеювання м'язових волокон, збільшення їх діаметра, механічне пошкодження поверхні м'язового волокна кристалами льоду. Виявлено перерозподіл окремих фракцій, зокрема збільшення високомолекулярних з молекулярною масою > 1 млн. і більше з 0,2 % до 8,3 % для міофібрилярних білків.

**Таблиця 3.4 – Молекулярно-масовий розподіл білків м'ясних модельних систем до та після заморожування – розморожування (n=5, P≥0,95)**

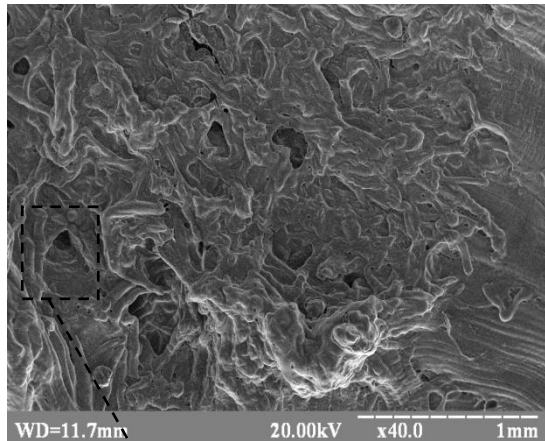
Фракції, м.м*	Вміст фракцій, %			
	Білки м'яса саркоплазматичні		Білки м'яса міофібрилярні	
	до заморожування	після заморожування – розморожування	до заморожування	після заморожування – розморожування
15000	8,2	7,9	-	-
20000	14,6	12,3	3,6	1,2
40000	16,8	16,7	8,9	4,6
70000	26,9	29,1	15,1	12,3
110000	29,7	29,9	25,0	28,4
500000	3,8	4,1	47,2	45,0
1000000	-	-	0,2	5,7
2000000	-	-	-	2,6
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0
Середньовагова молекулярна маса, Mw	81370	84085	280350	375930
Збільшення Mw, в n рази	-	1,04	-	1,34
Примітка: * наведено молекулярні маси маркерів				

Морфометрію проводили на оглядових препаратах за допомогою окуляра-мікрометра МОВ-1-15<sup>X</sup>. У кожному з препаратів брали (40...60) точок вимірювання. За допомогою об'єкт-мікрометра визначали ціну ділення для даного збільшення та здійснювали перерахунок відносних значень у абсолютні.

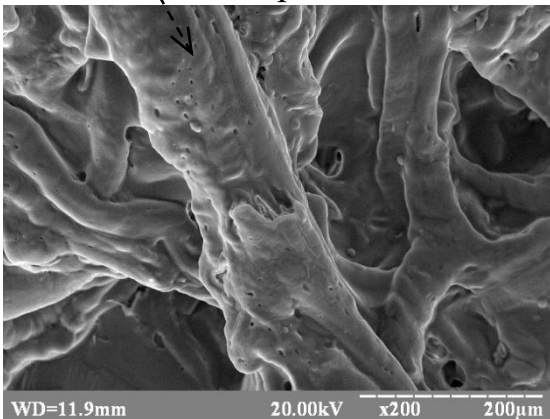
Підтвердженням негативних змін у м'ясній посіченій системі під час заморожування – розморожування стали мікроструктурні зображення м'ясної сировини, зроблені за різного збільшення (рис. 3.5).

Фотографії, зроблені за допомогою растрового електронного мікроскопа [122, 123], дозволили одержати мікроструктурні зображення дослідних зразків та охарактеризувати морфологічну картину поверхні предметів дослідження. М'ясна система з подрібненого м'яса до заморожування являє собою пухко-

розташовані розрізнені пучки м'язових і сполучнотканинних волокон різного розміру.

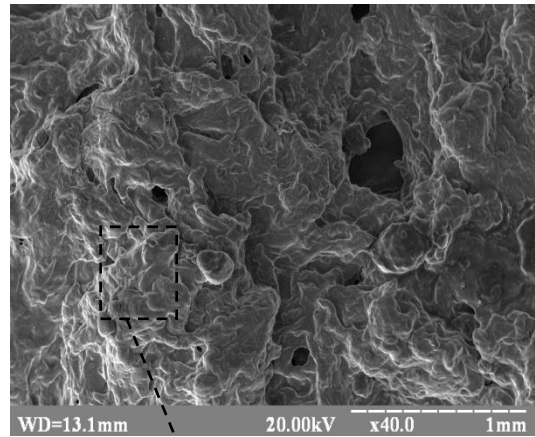


× 40 разів

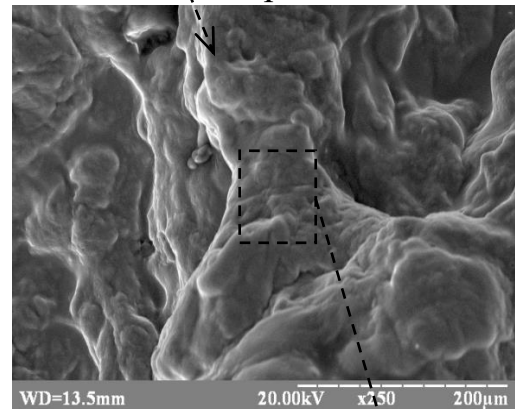


× 200 разів

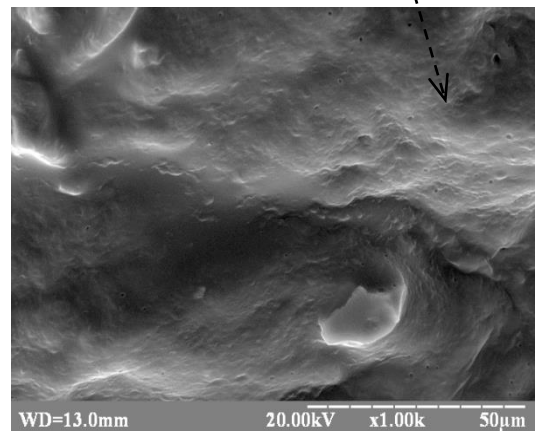
а)



× 40 разів



× 250 разів



× 1000 разів

б)

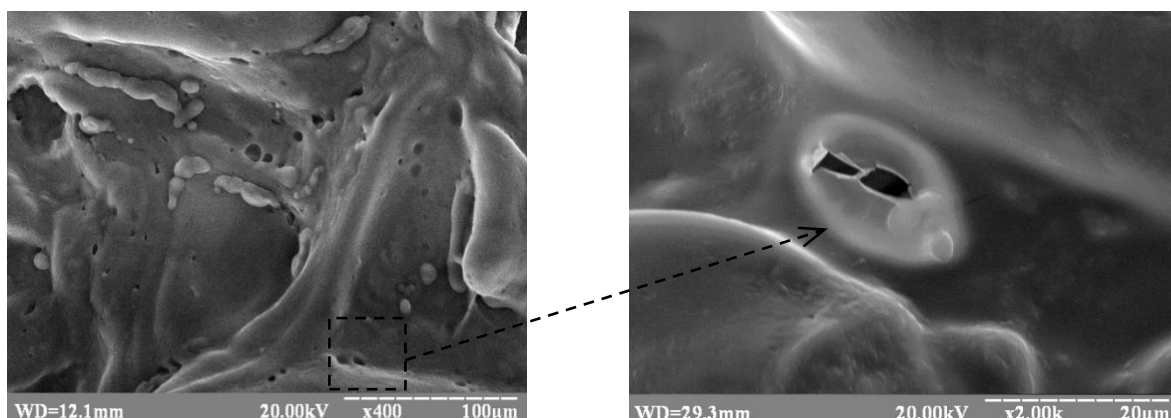
**Рисунок 3.5 – Мікроструктура м'ясної модельної системи (зразок 1) за різного збільшення: а) – до заморожування, б) – після заморожування – розморозжування**



На фотографії зразка до заморожування (рис. 3.5, а, зб×40 разів) зображено фрагменти міофібрил, їх рельєфи чітко виділені. Топографія зразків за більшого збільшення (рис. 3.5, а, зб×200 разів) показує наявність пошкоджень поверхні внаслідок прикладення механічної дії з подрібненням та перемішуванням м'ясної системи, наявність на поверхні м'язового волокна агрегатів актоміозинового комплексу.

Заморожування – розморожування призводить до розрихлювання та склеювання м'язових та сполучнотканинних волокон; складно виділити окремі волокна, межі між ними розмиті, чітко не виділяються (рис. 3.5, б, зб×40 разів), діаметр м'язових волокон збільшено (рис. 3.5, б, зб×250 разів). Поступове збільшення зображення в 400 та 2000 разів (рис. 3.6) дозволило виділити ділянки поверхні м'язового волокна з механічним пошкодженням кристалами льоду.

Таким чином, проведені дослідження показують, що процес заморожування – розморожування систем на основі подрібненого м'яса яловичини супроводжується руйнівним впливом на м'язове волокно, наслідком чого є зниження розчинності міофібрилярних білків, функціонально-технологічних властивостей (волого- та жирутримуюча здатність) системи.



×400 разів

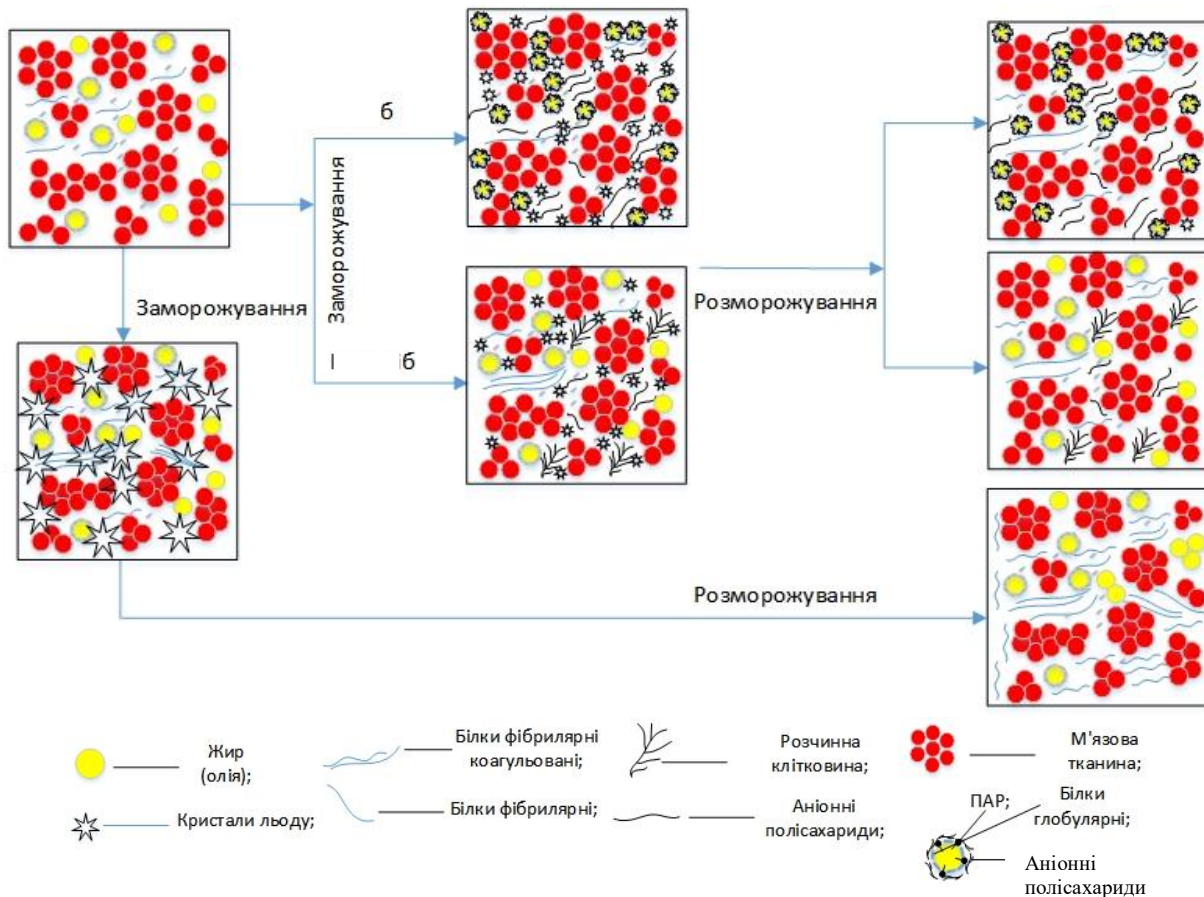
×2000 разів

**Рисунок 3.6 – Мікроструктура м'ясних модельних систем (зразок 1) після заморожування – розморожування за різного збільшення**

Ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень визначено *один з напрямів стратегії* забезпечення стабільності заморожених – розморожених м'ясних посічених систем – жир у складі систем з посіченого м'яса виявляє кріостабілізуючі властивості, ймовірно, вони будуть виражені тим більше, чим вище ступінь його дисперсності (рис. 3.7) [63, 124, 125].

Загальновідомо [126-129], що найбільш раціональним способом забезпечення високого ступеня дисперсності жирової фази є одержання емульсійних систем. Змінюючи в широкому діапазоні співвідношення жирової та водної фаз, регулюючи властивості за різних комбінацій емульгаторів та стабілізаторів, вводячи до складу дисперсної фази або дисперсійного середовища функціонально-фізіологічні інгредієнти, можна створювати

емульсійні системи із заданими характеристиками, в тому числі стійкі до впливу заморожування – розморожування. Для одержання стійких емульсійних систем емульгатори мають мати одночасно поверхневою активністю та здатністю утворювати структуровані колоїдно-адсорбційні шари. Начасі достатньо розповсюдженими є високо- (білки тваринні – казеїнат натрію, желатина та ін.) та низькомолекулярні (Твін, моно- та диефіри жирних кислот) поверхнево-активні речовини (ПАР).



**Рисунок 3.7 – Блок-схема стану м'ясних посічених систем під час заморожування – розморожування та шляхи забезпечення їх технологічної стабільності**

Заморожування – розморожування як процес може призвести до руйнування емульсії, що виявляється в інверсії фаз, гравітаційному розділенні, флокуляції та інших. Під час заморожування можуть кристалізуватися як жирова, так і водна фаза, й ці переходи будуть відігравати важливу роль у визначенні властивостей кінцевої (НМПЗ) продукції. Залежно від температури плавлення жирової фази краплі жиру можуть кристалізуватися до чи після кристалізації водної фази, що буде впливати на стабільність емульсії та продукту в цілому [63]. Фізична стабільність емульсії буде залежати від поліморфізма та ступеню кристалічності ліпідів та фазового перетворення води на лід, що, в свою чергу, визначаються такими чинниками, як вид жирової складової та вид емульгатора.

Тож, з урахуванням зазначеного та відповідно до наукової концепції в технології НМПЗ важливим є утворення м'ясних систем з високим ступенем

дисперсності жирової складової, що може бути досягнуто за використання поверхнево-активних речовин. При цьому вид ПАР, вид жирової складової, параметри утворення стійкої емульсійної системи потребує ретельного обґрунтування.

Аналітично визначено, що поряд із використанням емульсійних систем ефективним способом забезпечення стабільності м'ясних систем є регулювання властивостей дисперсійного середовища фаршу шляхом використання речовин з вираженими гідрофільними властивостями (цукри, поліцукри та ін.). Серед багатьох органічних сполук, які задовольняють вимогам, підтверджено кріостабілізуючий ефект сахарози, глюкози, сорбіту, полідекстрози за концентрацій (4...8) % [2, 10, 13, 16, 74]. Є найдешевшими та найбільш часто вживаними кріостабілізуючими речовинами, в той же час вони формують солодкий смак та погіршують колір продукту, що є обмежувальним чинником з їх використання у складі НМПЗ.

Аналітично доведено, що високотехнологічними харчовими інгредієнтами, які одержали поширення в технології замороженої харчової продукції, є камеді – ксантанова, гуарова, ріжкового дерева; карагінани, а також альгінат натрію, карбоксиметилцелюлоза та ін. Під час пошукових експериментальних досліджень встановлено, що водні розчини останніх за рахунок сольватації макромолекул та підвищенні в'язкості під час заморожування утворюють дрібнодисперсні за розміром кристали льоду порівняно з водою питною.

Ґрунтуючись на одержаних результатах експериментальних досліджень вочевидь є доцільним використання у складі напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених композицій кріостабілізуючої дії на основі гідроколоїдів чи їх сумішей, що є, *другим напрямом* стратегії забезпечення стабільності м'ясних посічених систем (рис. 3.7). Це дозволить створити продукцію з необхідними функціонально-технологічними та теплофізичними показниками, забезпечити високі показники якості та безпечності за реалізації циклу «заморожування – зберігання – розморожування».

Тож подальші дослідження спрямовано на наукове обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання ККД для напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених.

## 3.2. Обґрунтування складу та дослідження впливу заморожування – розморожування на функціонально-технологічні властивості композицій кріостабілізуючої дії на основі харчових емульгаторів

### 3.2.1. Обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання композицій кріостабілізуючої дії на основі високомолекулярних поверхнево-активних речовин (емульгаторів білкової природи).

*Обґрунтування параметрів регідратації білка тваринного.* В цей час науковці та виробники значну увагу приділяють розробці та запровадженню технологій м'ясних продуктів, до складу яких входять емульсійні системи, переваги застосування яких полягають у можливості ефективного використання м'ясної сировини, високому рівні технологічної сумісності емульсійних систем зі структурним матриксом базової м'ясної системи, позитивному впливі емульсійних систем на структурно-механічні, функціонально-технологічні показники та вихід готової продукції. Систематизація наукових даних з використання у складі м'ясної продукції емульсійних систем дозволила визначити значний технологічний потенціал високомолекулярних ПАР, зокрема, тваринних білків на основі колагенвмісткої сировини, які відповідають наступним вимогам:

- постійний хімічний склад та властивості для підтримки заявлених виробником якості та безпечності продуктів;
- відсутність інгредієнтів, які одержано з генетично модифікованих джерел;
- використання переважно фізичних та/чи гідротермічних способів обробки;
- широкий спектр функціонально-технологічних властивостей (зв'язування вологи, підвищення в'язкості, поверхнева активність, здатність до гелеутворення та інш.);
- збільшення виходу готових виробів зі зниженням витрат сировини;
- зниження собівартості готової продукції;
- використання у технологічному процесі типового технологічного устаткування.

Слід зазначити, що в технології м'ясної продукції одним із важливих чинників, що впливає на формування властивостей м'ясних систем емульсійної структури, є температура, яка під час емульгування підвищується. Локальний перегрів фаршу сприяє частковій денатурації білків і, як наслідок, погіршенню функціонально-технологічних властивостей готової продукції. Тому виділення з технологічного циклу виробництва НМПЗ окремого напівфабрикату у вигляді емульсійної системи, в межах якої буде здійснено диспергування жирової фази, є, безумовно, позитивним.

На продовольчому ринку України білки тваринні подано достатньо широким номенклатурним рядом, який формується як різними виробниками,

так і марками в межах одного виробника. Вищезазначене обумовлює необхідність ґрунтового вибору найбільш ефективного білка тваринного з огляду на його фізико-хімічні, функціонально-технологічні властивості та їх прояв в конкретному технологічному процесі. Аналіз літературних джерел показує, що властивості білків тваринних ретельно досліджено вітчизняними [126, 130, 131] та закордонними вченими [127, 132-135]. Разом з тим за існування загального масиву інформації стосовно їх використання у складі харчової продукції розробка ККД на їх основі потребує визначення абсолютних значень їх функціонально-технологічних властивостей, які будуть визначати технологічні параметри регідратації, емульгування, заморожування – розморожування та ін.

Під час пошукових технологічних досліджень з огляду на інноваційний задум нової продукції обрано білок тваринний Gelexcel A-95. Переваги обраного білка тваринного порівняно з іншими полягають у використанні органічної сировини – знежирена свиняча шкурка (виробництво сертифіковане за національним органічним стандартом USDA); способі його виробництва – гідро-, термо-, механодеструкція з подальшим подрібненням і висушуванням; широкому спектрі функціонально-технологічних властивостей; економічною доступністю та ін.

Білок тваринний Gelexcel A-95 (надалі – БТ) є різновидом желатини й являє собою суміш високофункціональних білків з визначеною молекулярною масою, які одержують внаслідок гідролітичного розпаду колагену. Гідротермічна трансформація структури колагену, яка супроводжується розривом водневих зв'язків та дезагрегацією білків (з утворенням глютина та желатоз), забезпечує вивільнення так званих «прихованих» функціональних груп, які визначають в цілому високі водозв'язуючу та гелеутворюючу здатності. Слід зазначити також позитивну роль БТ як колагенвмісної сировини з огляду на те, що за різного технологічного впливу заморожування – розморожування, термообробка зниження функціонально-технологічних властивостей м'язових білків може бути частково компенсовано білками сполучної тканини.

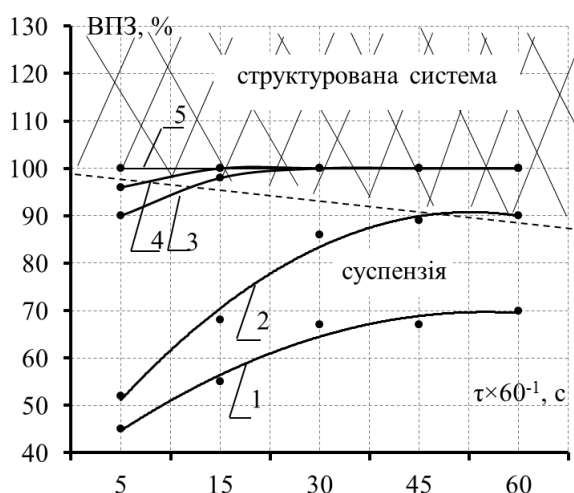
Досліджено органолептичні, фізико-хімічні показники БТ та визначено його амінокислотний склад (Додаток А). Визначення органолептичних показників проводили згідно з ДСТУ 3862 [136], ДСТУ 4437 [137], ГОСТ 4288 [138], ГОСТ 9959 [139], ДСТУ 4823.2 [140]. Амінокислотний склад БТ проводили після кислотного гідролізу [141] методом висхідної тонкошарової хроматографії на селікагелевих пластинках [142]. Наявність у складі БТ високого вмісту білка (93,8 % на суху речовину) дозволяє прогнозувати високі функціонально-технологічні властивості систем на його основі. Для обґрунтування технологічних параметрів одержання ККД експериментально досліджено умови регідратації БТ та визначено показники його вологопоглинаючої здатності (ВПЗ) за методом [143], сутність якого полягає в дослідженні розділення системи під дією сили тяжіння з утворенням надосадочного шару. З урахуванням особливостей технологічного процесу виробництва м'ясних посічених систем для регідратації використано воду

питну за температури  $11 \pm 1$  °С. Регідратацію БТ проводили протягом  $(5 \dots 60) \cdot 60$ с шляхом заливання БТ холодною водою за гідромодуля від 1:100 до 1:10, що відповідало умовному вмісту БТ в системі «БТ:вода» від 1 % до 10 %. Результати досліджень наведено на рис. 3.8.

Встановлено, що ВПЗ БТ залежить від його вмісту у системі та тривалості регідратації. Унаслідок того, що процес регідратації супроводжується набряканням часточок БТ та розчиненням низькомолекулярних сполук модифікованої колагенової сировини, ВПЗ зростає як з підвищенням вмісту БТ в системі, так й зі збільшенням часу регідратації.

З отриманих даних (рис. 3.8) видно, що в перші 30·60 с спостерігається інтенсивне підвищення ВПЗ БТ за його вмісту (1...3) %. Сталих величин ВПЗ досягає за вмісту БТ (1,0...5,0) % – через 30·60 с, при 7,0 % – через 15·60 с та (9,0...10,0) % – через 8·60 с. Максимальна величина ВПЗ за вмістом БТ 1,0 % становить  $67 \pm 1$  %; 3,0 % –  $90 \pm 2$  %; (5,0...10,0) % – 100 %.

Згідно з результатів проведених досліджень визначено критичний вміст в системі БТ, а саме 5,0 %. Системи зі вмістом БТ <5,0 % являють собою пастоподібну суспензію з різною величиною седиментаційної стійкості, понад >5,0 % утворюються структуровані системи – гелі. Аналіз впливу температури води на ВПЗ БТ показав, що зі збільшенням температури регідратації показник ВПЗ збільшується незначним чином (на (1,0...1,5) %). Загальна тенденція зберігається для всіх зразків, що досліджувались. Дослідження впливу NaCl (як рецептурного компонента НМПЗ) в інтервалі концентрацій (0,1...1,0) % показали, що її додання у воду практично не впливає на процес регідратації БТ.



**Рисунок 3.8 – Залежність ВПЗ систем на основі БТ за температури води питної ( $11 \pm 1$ ) °С від тривалості регідратації та концентрації БТ, %:**  
**1 – 1; 2 – 3; 3 – 5; 4 – 7; 5 – 10**

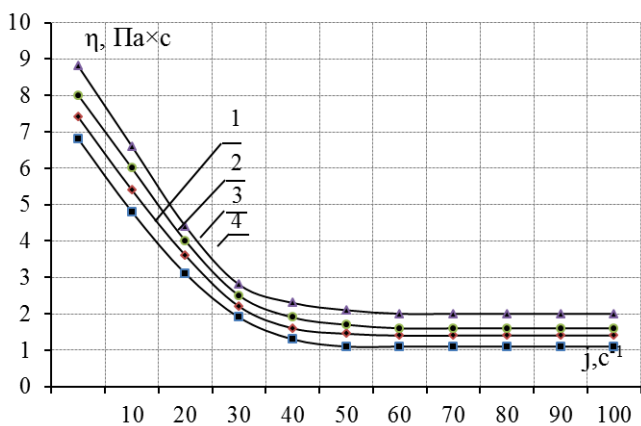
Тож з урахуванням проведених досліджень можна зазначити, що раціональними параметрами регідратації БТ є температура (10,0...12,0) °С (з огляду на термолабільність білків м'язового волокна та традиційну температуру води питної, що використовується на виробництвах), тривалість процесу –  $(30 \pm 1) \cdot 60$  с.

Використання БТ як інгредієнту для одержання емульсійних систем визначає доцільність вивчення структурно-механічних властивостей отриманих систем на його основі після регідратації залежно від технологічних чинників (вмісту БТ та температури). За результатами попередніх досліджень (рис. 3.8) встановлено, що системи за різного вмісту БТ (після регідратації) утворюють системи з вираженою плинністю з вмістом в системі БТ у кількості від 1 % до 5 % та гелі різної міцності з вмістом БТ від 5 % до 10 %.

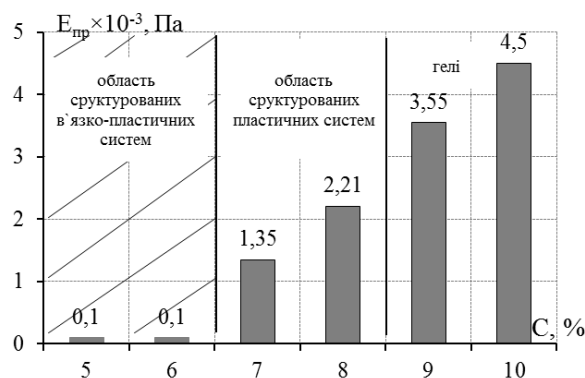
Експериментально визначено ефективну в'язкість отриманих після регідратації БТ систем (рис 3.9) за допомогою ротаційного віскозиметра сталої напруги зсуву ВПН-0,2М [116, 144] та значення модуля пружності систем від вмісту БТ за температури  $11 \pm 1^\circ\text{C}$  (рис. 3.10) згідно з [116].

Визначено, що незалежно від вмісту в системі БТ в діапазоні від 1 % до 4 % системи, що утворилися, є неньютонівськими рідинами, ефективна в'язкість яких залежить від швидкості зсуву (рис. 3.9). З характеру кривих в'язкості видно, що вони мають дві зони – поступового руйнування структури та ньютонівське плато за високих швидкостей зсуву, що, вірогідно, пов'язано з руйнуванням міжмолекулярних зчеплень між полімерами.

Відповідно до класифікації, запропонованої П.А. Ребіндером [116], визначені системи можуть бути віднесені до рідкоподібних структурованих дисперсних систем. Характеристичною величиною для систем даного типу є в'язкість, яка коливається в інтервалі  $(1,1 \dots 2,7)$  Па·с за швидкістю зсуву  $90 \text{ c}^{-1}$  та залежить від вмісту білка тваринного.



**Рисунок 3.9 – Залежність ефективної в'язкості систем на основі БТ від швидкості зсуву за температури  $20,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  за вмісту БТ, %:**  
1 – 1,0; 2 – 2,0; 3 – 3,0; 4 – 4,0 .



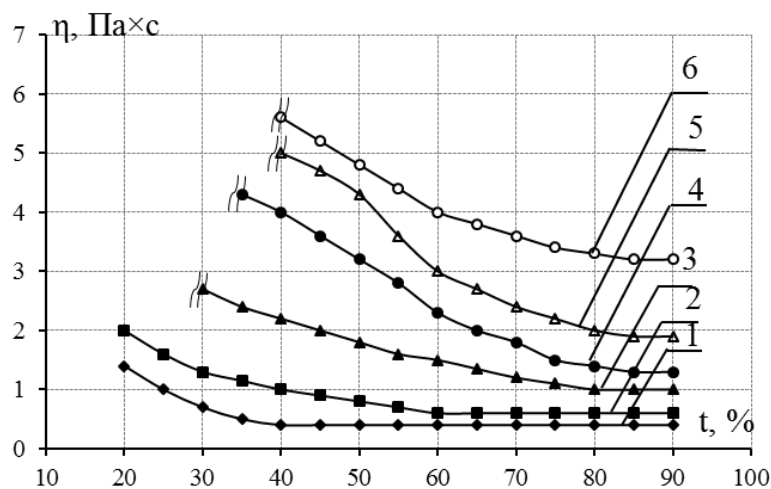
**Рисунок 3.10 – Значення модуля пружності систем від вмісту БТ за температури  $11 \pm 1^\circ\text{C}$**

Регідратований БТ в діапазоні вмісту від 5,0 % до 10,0 %, виявляє здатність до структурування з утворенням в'язко-пластичних систем і гелів із пружно-пластичними властивостями (рис. 3.10). Експериментально визначено, що системи за вмісту БТ 5,0 % та 6,0 % утворюють в'язко-пластичні системи, тому їх модуль пружності визначити неможливо, а за вмістом БТ 7 % та 8 % утворюються пластичні системи, що легко руйнуються за механічного впливу. Визначено, що системи з вмістом БТ  $< 5\%$  являють собою пастоподібні

суспензії з різною седиментаційною стійкістю (67...90) %), >5% – структуровані системи – гелі різної міцності ((0,1...4,5)·10<sup>3</sup> Па). Структуроутворення вищезазначених систем пов'язано з виникненням тривимірної сітки водневих зв'язків, донорами й акцепторами яких є желатози БТ. Кількість водневих зв'язків, що утворились, залежить від вмісту БТ, що чітко простежується за умов підвищення їх вмісту. Зі збільшенням вмісту БТ з 7,0 % до 10,0 % модуль пружності систем підвищується в ~3,3 рази і складає 1,35±0,11 Па, 2,21±0,10 Па, 3,55±0,12 Па та 4,50±0,12 Па для систем з вмістом БТ 7,0 %, 8,0 %, 9,0 % та 10,0 % відповідно.

Цікавим (з огляду на подальшу термообробку НМПЗ) є вивчення структурно-механічних показників систем на основі БТ в інтервалі температур (20...90) °С (рис. 3.11). З отриманих результатів видно, що незалежно від вмісту в системі БТ з підвищенням температури спостерігається зниження в'язкості, однак характер процесу декілька різниться.

Для систем зі вмістом БТ (1,0...3,0) % в діапазоні температур (20...90) °С вже з 20 °С спостерігається течія та поступове зниження в'язкості. Для систем зі вмістом БТ (6,0...10,0) % течія зразка починається тільки за температур більших ~ 30 °С, що свідчить про руйнування внутрішньосистемної структури за рахунок розриву водневих зв'язків. З подальшим зростанням температури системи із вмістом БТ (1,0...6,0) % набувають плинності після (50...55) °С, а системи з вмістом БТ (8,0...10,0) % – після (70...75) °С.



**Рисунок 3.11 – Залежність ефективного в'язкості систем від температури за вмістом БТ(швидкість зсуву 90 с<sup>-1</sup>), %: 1 – 1,0; 2 – 3,0; 3 – 6,0; 4 – 8,0; 5 – 9,0; 6 – 10,0.**

Узагальнюючи результати дослідження впливу технологічних чинників на структурно-механічні властивості систем на основі БТ, слід відзначити їх здатність до загущення та гелеутворення. Тож можна прогнозувати, що використання у складі м'ясних фаршів в'язко-пластичних посічених систем БТ дозволить підвищити в'язкість дисперсного середовища, знизити рухливість водної фази та цілеспрямовано впливати на процеси кристалоутворення.



Раціональний вміст БТ в м'ясних фаршах може бути визначено після оцінки його функціонально-технологічних властивостей: емульгуюча здатність, стійкість емульсій за впливу заморожування – розморожування.

*Дослідження емульгуючої здатності білка тваринного та стійкості емульсій на його основі.* Для обґрунтування технологічних параметрів одержання емульсійних систем на основі БТ досліджено емульгуючу здатність та стійкість емульсій залежно від технологічних чинників – вмісту БТ в регідратованій системі, кількості жирової фази, впливу заморожування – розморожування. Емульгуючу здатність білка тваринного оцінювали за методикою Гурова О.М. [144], визначаючи точку інверсії фаз. Стабільність емульсій (СЕ) [118] визначали шляхом нагрівання за температури (75...80) °С впродовж (30·60) с та охолодження водопровідною водою впродовж (15·60) с до температури (12...15) °С. Надалі емульсією заповнювали 4 відкалібровані центрифужні пробірки об'ємом 10 см<sup>3</sup> і центрифугували за 500 с<sup>-1</sup> впродовж (5·60) с. Після чого визначали об'єм емульгованого шару та розраховували стабільність емульсії за формулою 3.4:

$$CE = \frac{V_1}{V_{\text{н-емульсії}}} \cdot 100, \quad (3.4)$$

де  $V_1$  – об'єм емульгованої олії, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{н-емульсії}}$  – загальний об'єм незруйнованої емульсії, см<sup>3</sup>.

Для визначення емульгуючої здатності та стійкості емульсій використовували регідратовані системи з вмістом БТ (1...10) %, процес регідrataції здійснювали за обґрунтованими вище параметрами: температура – (10,0...12,0) °С, тривалість – (30±1)·60 с.

На рис. 3.12 наведено експериментальні дані дослідження залежності точки інверсії фаз від вмісту БТ в регідратованій системі. Встановлено, що емульгуюча ємність системи в досліджуваному діапазоні концентрації коливається в межах (48...91) %, що свідчить про його високі поверхнево-активні властивості. В інтервалі вмісту БТ (1,0...5,0) % спостерігається стрімке збільшення емульгуючої ємності (~ в 1,8 рази); за вмісту БТ (5,0...8,0) % емульгуюча ємність є сталою величиною ((88...91) %). Подальше підвищення вмісту БТ призводить до зниження його емульгуючої ємності, яка для систем зі вмістом БТ 9,0 % та 10,0 % складає 78±1 % та 60±1 % відповідно. Вірогідно, встановлені закономірності зміни точки інверсії фаз емульсій пояснюються, з одного боку, конкурентною адсорбцією білків на межі розподілу фаз, а, з іншого, – високою в'язкістю систем (рис. 3.12) і утворенням за вмістом БТ (8,0...10,0)% гелів з пружньо-пластичними властивостями, що ускладнює процес емульгування.

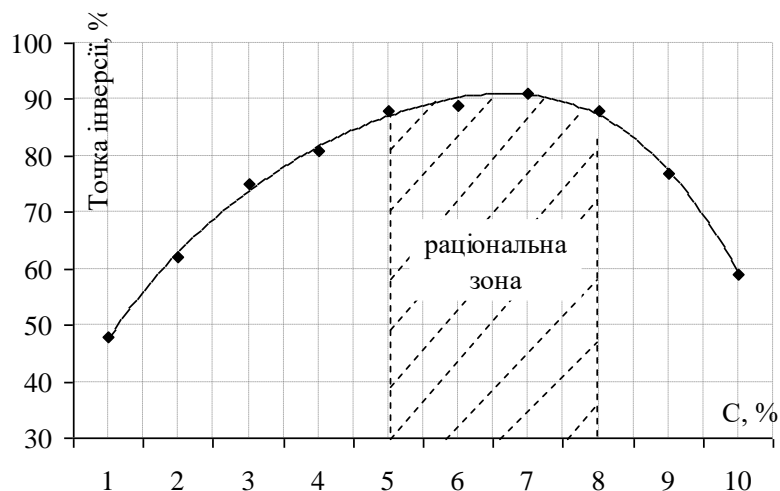


Рисунок 3.12 – Залежність точки інверсії фаз емульсії від вмісту білка тваринного

З огляду на одержані результати дослідження емульгуючої ємності, визначено раціональний вміст БТ – (5,0...8,0) %, за яких системи характеризуються максимальним значенням точки інверсії фаз – (88...91) %.

Досліджено показники кінетичної та агрегативної стабільності емульсій на основі БТ, які подано у вигляді діаграм стабільності (рис. 3.13). Величину кінетичної ( $KС$ , %) та агрегативної стабільності ( $АС$ , %) емульсійних систем визначали як відношення об'єму фаз, що відділилися, до загального об'єму емульсії за формулами 3.5, 3.6:

$$АС = 100 - \frac{V_{ж.ф.}}{V_e} \times 100, \quad (3.5)$$

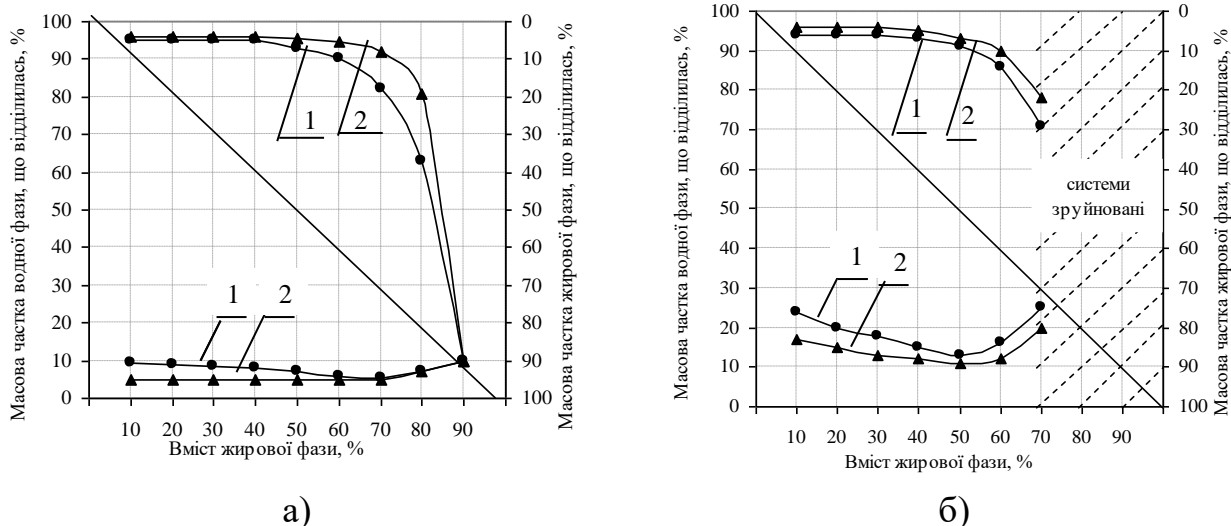
$$КС = 100 - \frac{V_{в.ф.}}{V_e} \times 100, \quad (3.6)$$

де  $V_{ж.ф.}$  – об'єм жирової фази, що відділилася з емульсії, мл;

$V_{в.ф.}$  – об'єм водної фази, що відділилася з емульсії, мл;

$V_e$  – загальний об'єм емульсії, мл.

Необхідність проведення даних досліджень визначена тим, що емульсії є термодинамічно нестійкими системами та з часом в них може відбуватися седиментація, флокуляція та коалесценція жирової фази. Аналіз проведених досліджень (рис. 3.13, а) дозволяє визначити наступні закономірності: емульсії на основі БТ з його вмістом 5,0 % у всьому діапазоні вмісту жирової фази (10...90) % характеризуються меншою стабільністю порівняно з системами з вмістом БТ 8,0 %. Так, частка незруйнованої емульсії за вмісту жирової фази 50 % для систем з вмістом БТ 5,0 % та 8,0 % становить 85 % та 90 % відповідно. Підвищення вмісту БТ позитивно впливає як на показник агрегативної, так і кінетичної стабільності, які мають тенденцію до збільшення.



**Рисунок 3.13 – Стабільність емульсій на основі білка тваринного за вмісту, %:**  
**1 – 5,0, 2 – 8,0; а) – до заморожування; б) – після заморожування – розморожування**

Слід зазначити, що на відміну від традиційних емульгаторів, які використовуються в технології харчової продукції у вигляді розчинів відповідної концентрації, суспензії БТ являють собою дисперсну гетерогенну систему типу Т-Р (тверде-рідке). За цих умов молекули білків можуть взаємодіяти як з водною, так і з жировою фазою у великій кількості точок контакту. При цьому водна фаза дисперсії являє собою розчин високомолекулярних сполук, а тверда фаза – нерозчинені часточки, що набухли й беруть участь у процесі адсорбції та гелеутворення. За цих умов нерозчинені часточки виконують роль твердих емульгаторів, адсорбуючись на поверхні розподілу фаз, забезпечують структурно-механічний чинник стабілізації, що є позитивним з погляду на стабільність емульсії.

Експериментально доведено (рис. 3.13, б), що заморожування – розморожування чинить руйнівний вплив на стабільність емульсій. Емульсії з часткою жировою фази >70 % не витримують низькотемпературної обробки: співставлення кривих агрегативної та кінетичної стабільності зразків емульсій з часткою жирової фази <70 % до заморожування (рис. 3.13, а) та після (рис. 3.13, б) заморожування – розморожування показує, що для них характерно зменшення частки незруйнованої емульсії на (10...25) %, системи характеризуються вираженою кінетичною нестабільністю.

Відомо, що одним із чинників, який сприяє підвищенню кінетичної стійкості емульсій, є використання речовин, які мають гідрофільні властивості. На основі аналізу літературних даних [74, 145-149] та проведених експериментальних робіт визначено доцільність використання інгредієнтів полісахаридної природи, зокрема, камеді ксантану, якій притаманні високі вологозв'язуюча та стабілізуюча здатності, спроможність регулювати кристалоутворення.

Обґрунтування раціональної концентрації камеді ксантану здійснювали на основі досліджень її в'язкісних характеристик та стабільності емульсій на

основі суспензій БТ під впливом заморожування – розморожування, які проводили за відповідними методиками [116, 118, 144].

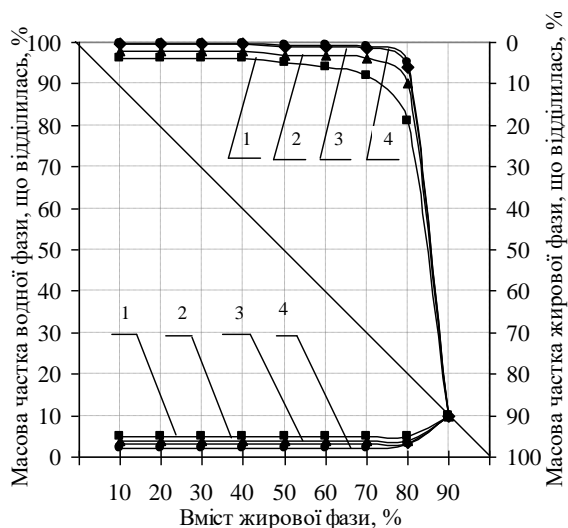
Досліджено вплив камеді ксантану в кількості (0,1...0,5) % на структурно-механічні властивості систем з вмістом БТ у кількості (5,0...8,0) %. (табл. 3.5). Встановлено, що камедь ксантану підвищує в'язкість суспензій БТ та пластифікує властивості структурованих систем (гелів), зменшуючи їх модуль пружності. З даних табл. 3.5 видно, що за концентрації (0,10...0,15) % камеді ксантану модуль пружності систем на основі БТ зменшується на (12...17) %, що є позитивним з огляду на процес емульгування.

**Таблиця 3.5 – Вплив камеді ксантану на структурно-механічні властивості суспензій БТ (n=5, P≥0,95)**

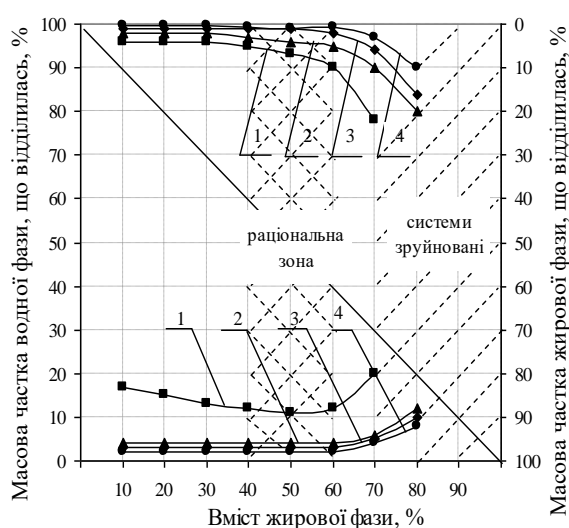
Вміст БТ, %	Вміст камеді ксантану, %	Модуль пружності, $E_{гр} \times 10^3$ , Па
5	0	0,1
	0,1	0,05
	0,3	-
	0,5	-
6	0	0,1
	0,1	0,05
	0,3	-
	0,5	-
7	0	1,35
	0,1	1,30
	0,3	1,20
	0,5	1,12
8	0	2,21
	0,1	1,90
	0,3	1,75
	0,5	1,70

Порівняння стабільності емульсій на основі суспензій БТ та камеді ксантану (рис. 3.14) до заморожування та після заморожування – розморожування дозволяє дійти висновку щодо позитивного впливу камеді ксантану як на стабільність емульсій до заморожування (спостерігається збільшення частки незруйнованої емульсії, підвищення кінетичної стабільності), так й після заморожування – розморожування. Кількість незруйнованої емульсії коливається в межах (94,0...97,7) %, показники кінетичної та агрегативної стабільності дорівнюють (98...99) %.

Експериментально встановлено, що середній розмір кристалів льоду під час заморожування емульсії зменшується в (10...25) разів в інтервалі вмісту жирової складової (10...50) %. Візуальним підтвердженням стабільності емульсій під впливом заморожування – розморожування є мікроструктурні зображення (рис. 3.15), які одержані згідно з [122, 123]. Аналіз зображень підтверджує, що низькотемпературна обробка не призводить до коалесценції жирової фази, що, вірогідно, визначається міцносними характеристиками оболонки та їх стійкістю до руйнування кристалами льоду.

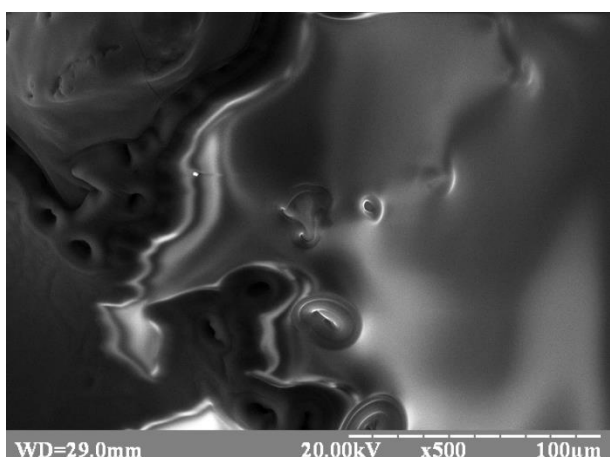


а)

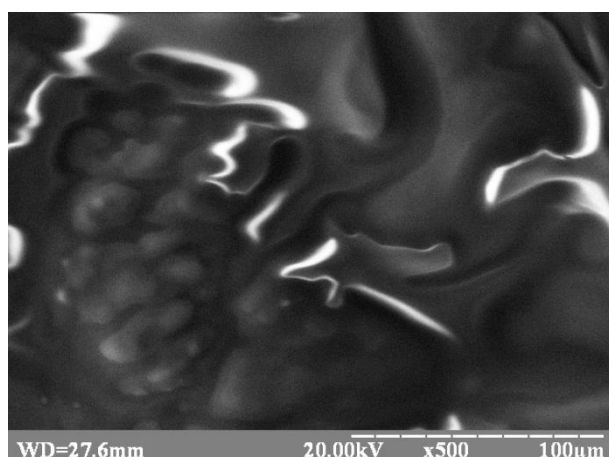


б)

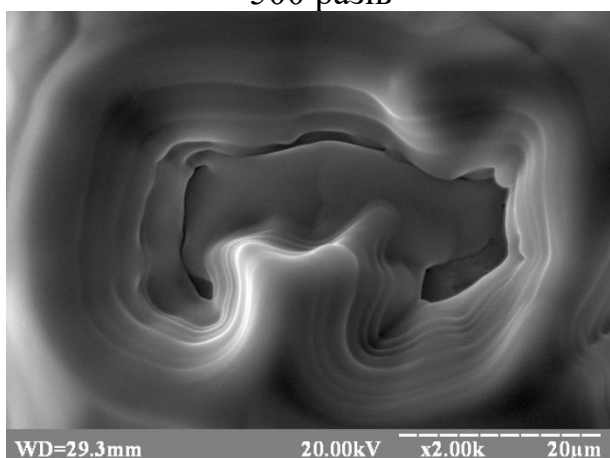
**Рисунок 3.14 – Стабільність емульсій на основі систем з БТ (8 %) залежно від вмісту камеді ксантану, %: 1 – 0; 2 – 0,1; 3 – 0,3; 4 – 0,5; а) – до заморожування; б) – після заморожування – розморожування**



×500 разів

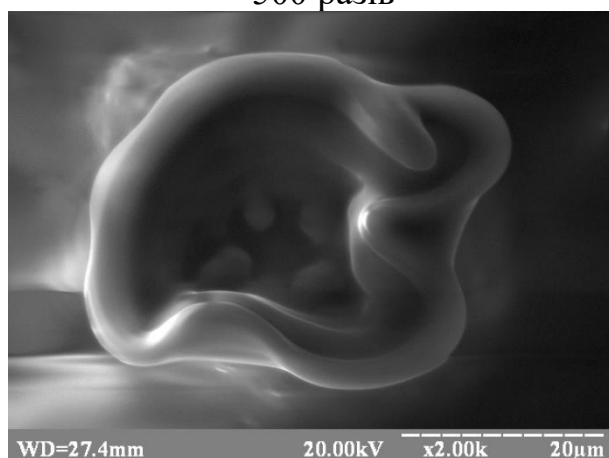


×500 разів



×2000 разів

а)



×2000 разів

б)

**Рисунок 3.15 – Мікроструктура емульсійних систем на основі білка тваринного та камеді ксантану: а) до заморожування; б) після заморожування – розморожування**

Доведено, що зі збільшенням жирової фази у емульсії під час заморожування спостерігається утворення більш дрібних кристалів льоду. Жирова фаза, вірогідно, утворює природні гідрофобні прошарки на шляху росту кристалів льоду, які інтенсивно збільшуються кількісно та за розмірами під час заморожування.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження довели можливість створення на основі БТ стійких до заморожування – розморожування композицій.

*Розробка принципової технологічної схеми виробництва ККД на основі білка тваринного.* Узагальнення аналітичних та експериментальних досліджень з обґрунтування технологічних параметрів виробництва композицій на основі БТ дозволило визначити раціональні параметри їх одержання (табл. 3.6) та розробити технологічну схему виробництва (рис. 3.16).

**Таблиця 3.6 – Раціональні параметри одержання композицій кріостабілізуючої дії на основі білка тваринного**

Параметр	Характеристика чи межові значення параметра
Марка БТ	Gelexcel A-95
Масова частка БТ, %	6,0...8,0 (у водній суспензії) 3,0...4,0 (у складі емульсії)
Параметри відновлення БТ : температура води питної, °С тривалість, с характер відновлення	10,0...12,0 (30±1)·60 динамічний (за періодичного перемішування)
Масова частка камеді ксантану, %	0,10...0,15
Масова частка жирової фази, %	40,0...60,0
Параметри емульгування: температура, °С тривалість, с частота обертання робочих органів, с <sup>-1</sup>	12...18 (10...15)·60 50

Під час технологічних відпрацювань доведено можливість виробництва ККД за двома технологічними схемами (рис. 3.16 а, б), які відрізняються способом введення камеді ксантану.

Технологічний процес одержання ККД на основі БТ (рис. 3.16, а) передбачає механічну кулінарну обробку сипучих компонентів – БТ та камеді ксантану з метою видалення сторонніх домішок та деагломерації часточок, що утворюються під час зберігання сировини. Надалі рецептурні компоненти дозують, з'єднують та перемішують до рівномірного розподілення, за інтенсивного перемішування додають воду питну за температури (10,0...12,0)°С й витримують систему для регідратації БТ та розчинення камеді ксантану протягом (30±1)·60 с за температури (11,0±1,0)°С.

У систему, що утворилась, вводять олію соняшникову та інтенсивно диспергують з метою утворення ККД за температури (12...18)°С протягом

$(10...15) \cdot 60$  с за частоти обертання ножів  $50 \text{ с}^{-1}$ . Напівфабрикат можна короткочасно зберігати  $(0,5...1) \cdot 60^2$  с або відразу використовувати для виробництва НМПЗ.

Одержання ККД за технологічною схемою, яку подано на рис. 3.16 б, відрізняється способом введення камеді ксантану. На основі експериментальних досліджень встановлено, що камідь ксантану може бути введено до вже сформованої емульсії у вигляді масляної дисперсії за  $(3...5) \cdot 60$  с до закінчення емульгування (співвідношення камедь ксантану:олія як 1:(10...20)). За цих умов набрякання камеді ксантану здійснюється безпосередньо в межах дисперсійного середовища емульсійної системи й супроводжується незначним підвищенням в'язкості.

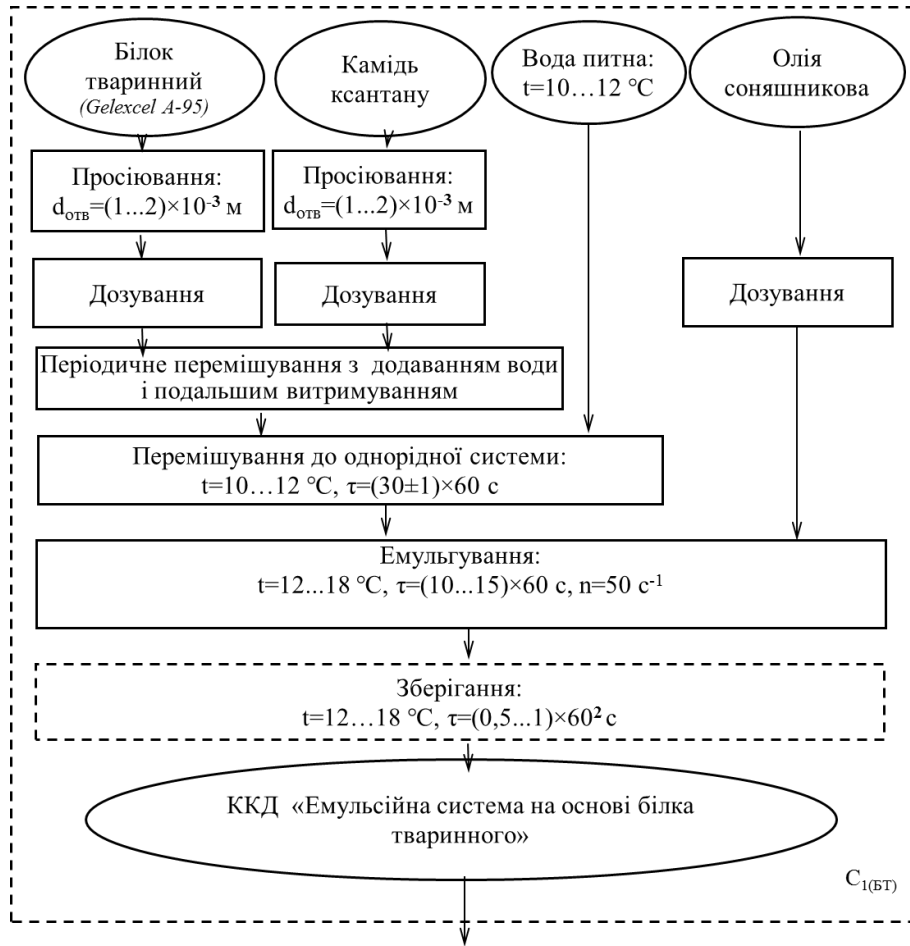
Експериментально доведено, що спосіб введення камеді ксантану не впливає на властивості ККД – в'язкість, агрегативну та кінетичну стабільність, стабільність до впливу заморожування – розморожування.

У виробничих умовах вибір технологічної схеми базується, перш за все, на інженерно-технічному забезпеченні технологічного процесу. За реалізацією технологічної схеми, яку подано на рис. 3.16 а, доцільним є попереднє створення сухої суміші, до складу якої входять БТ, камедь ксантану й використання її як відокремленого напівфабрикату.

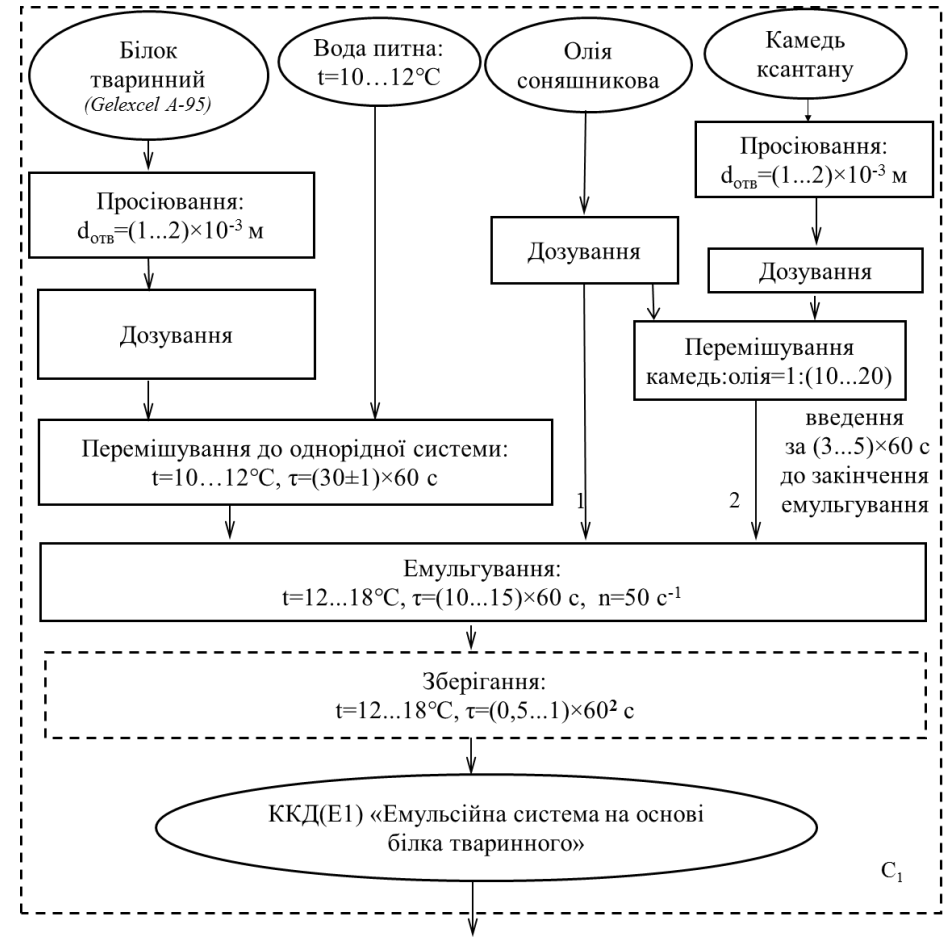
Проведені дослідження дозволили обґрунтувати технологічні параметри та режими виробництва емульсійних систем, кріостабілізуючі властивості яких та раціональні параметри використання у складі м'ясних систем потребують подальшого дослідження.

### 3.2.2. Обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання композицій кріостабілізуючої дії на основі низькомолекулярних поверхнево-активних речовин (емульгатори ацилгліцеринної природи)

*Дослідження функціонально-технологічних властивостей ЕАГП.* Відповідно стратегії збереження стабільності м'ясних систем під час заморожування – розморожування утворення емульсійної структури може бути здійснено безпосередньо під час емульгування жиру у посіченій м'ясній системі, але за умов використання емульгаторів, зокрема, низькомолекулярних, одним із представників яких є емульгатори ацилгліцеринної природи. Аналітично та експериментально доведено, що ефективність їх використання може бути підвищено за рахунок забезпечення більш високих значень гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ) –  $(5,9...6,8)$  порівняно з ГЛБ інших ліпофільних емульгаторів групи Е471, ГЛБ яких складає  $(3,3...5,9)$  з одночасним покращенням його складу завдяки збільшенню вмісту ненасичених жирних кислот. За таких передумов важливим є визначення та обґрунтування найбільш раціональних умов одержання стійких до заморожування – розморожування м'ясних емульсійних систем.



а)



б)

Рисунок 3.16 – Технологічні схеми виробництва ККД на основі білка тваринного за спільного (а) та окремого (б) введення камеді ксантану



Аналітично та експериментально встановлено, що у складі м'ясних емульсій використовуються емульгатори E471, але при цьому характеристики їх компонентного, жирнокислотного складу не надаються. Більшість емульгаторів групи E471, поширених на ринку України, виробляються переважно з пальмової олії і їх жирнокислотний склад подано, в основному, ацилгліцеридами насичених жирних кислот [150-152]. Відсутні дані щодо закономірностей зміни їх функціонально-технологічних властивостей залежно від масового співвідношення ацилгліцеринних фракцій: моно- (МАГ), ді- (ДАГ) і триацилгліцеринів (ТАГ).

Стає очевидним, що питання обґрунтованого вибору емульгаторів для м'ясних емульсійних систем суттєво ускладнено і потребує проведення досліджень та визначення механізмів, що мають місце під час формування та стабілізації емульсій.

Сировиною для одержання ЕАГП вибрано продукт переробки місцевої рослинної сировини лінолево-олеїнової групи – рафіновану дезодоровану соняшникову олію. Вона є джерелом функціонально-фізіологічних інгредієнтів – ацилгліцеринів, багатих на есенціальні жирні кислоти, особливо лінолеву (до 60 %) [153-155].

Узагальнення експериментальних досліджень [156], які здійснено під керівництвом та за безпосередньої участі здобувача, дозволило обґрунтувати технологічні параметри одержання (склад реакційної системи, тривалість, температуру переестерифікації та екстракції) та композиційний склад емульгатору ацилгліцеринної природи (ЕАГП). За результатами дослідження фракційного складу масляної фази залежно від параметрів переестерифікації, ІЧ-спектрів їх поглинання обрано до використання емульгатори ацилгліцеринної природи, які одержано в системі з бінарним розчинником гексан-ізопропанол шляхом послідовної переестерифікації та екстракції.

Для обґрунтування композиційного складу емульгатора для виробництва НМПЗ досліджено закономірності впливу їх складових (масова частка моно-, ди- та триацилгліцеринів (МАГ, ДАГ, ТАГ) на емульгуючу здатність м'ясних емульсій за різної кількості модельних композицій (МК) ацилгліцеринів (рис. 3.17). Під час дослідження наважки подрібненого м'яса масою 7 г суспензювали в 100 см<sup>3</sup> води в гомогенізаторі VSH 045 за частоти обертання 66,6 с<sup>-1</sup> впродовж 60 с. Далі додавали 100 см<sup>3</sup> рафінованої соняшникової олії або рафінованої соняшникової олії з ЕАГП і суміш емульгували у гомогенізаторі за частоти обертання 66,6 с<sup>-1</sup> впродовж (5·60) с. Після цього емульсію вносили у 4 відкалібровані центрифужні пробірки об'ємом 10 см<sup>3</sup> і центрифугували за 500 с<sup>-1</sup> впродовж (10·60) с.

За вимірними об'ємами емульгованої олії розраховували емульгуючу здатність емульсії «М'ясний фарш–вода–олія» за формулою 3.7:

$$EZ = \frac{V_1}{V_{олії}} \cdot 100 \%, \quad (3.7)$$

де  $V_1$  – об’єм емульгованої олії, см<sup>3</sup>;  
 $V_{олії}$  – загальний об’єм олії, см<sup>3</sup>.

Для модельних композицій використовували емульгатор Е471 та ТАГ стеаринової кислоти (табл. 3.7). Встановлено, що введення від 0,3 % до 1,1 % модельних композицій ацилгліцеринів загалом на (3...10) % підвищує емульгуючу здатність емульсії до (88,2...92,8) % для всіх зразків; зі збільшенням масової частки МАГ емульсійна здатність досягає  $91,0 \pm 2$  %.

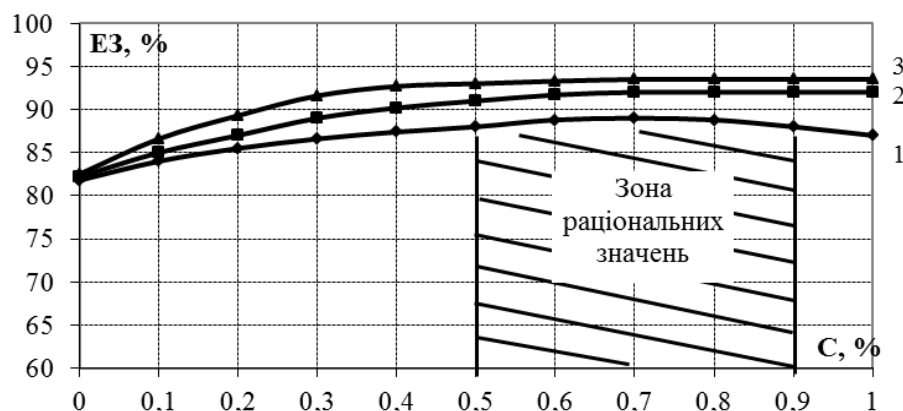


Рисунок 3.16 – Залежність емульгуючої здатності м’ясних модельних систем від масової частки триацилгліцеринів (криві 1, 2, 3 відповідають зразкам табл. 3.7)

На підставі результатів визначення емульгуючих властивостей емульсійних м’ясних систем з модельними композиціями ацилгліцеринів встановлено, що у технологіях м’ясних виробів емульсійної структури доцільно використовувати емульгатори із загальним вмістом МАГ і ДАГ (10...50) %, що містяться безпосередньо у масляній фазі, яку можна використовувати як компонент м’ясної емульсії.

Таблиця 3.7 – Композиційний склад ацилгліцеринів модельних композицій

№ зразка	Масові співвідношення Е471:ТАГ, г/г	Масова частка ацилгліцеринів, %		
		МАГ	ДАГ	ТАГ
1	10:90	-	-	100
2	50:50	10	40	50
3	100:0	90	10	0

Експериментально доведено доцільність використання ЕАГП, у складі яких масова частка МАГ і ДАГ складе  $54,2 \pm 1,2$  %, у тому числі МАГ –  $7,7 \pm 0,2$  %. Досліджено жирнокислотний склад ЕАГП (табл. 3.8) методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот на хроматографі Shimadzu 14 А з пламенево-іонізуючим детектором [118]. Встановлено, що в ацилгліцеридах міститься  $11,4 \pm 0,2$  % насичених кислот;  $83,1 \pm 0,5$  % ненасичених кислот (НЖК:ННЖК=1:7,2) порівняно з 83,6 % в соняшниковій олії;  $59,6 \pm 0,5$  % ПНЖК (лінолевої кислоти).

**Таблиця 3.8 – Загальний жирнокислотний склад емульгаторів ацилгліцеринної природи**

<b>Жирні кислоти</b>	<b>Індекс кислоти</b>	<b>Вміст жирних кислот, %</b>
Жирні кислоти (сума)		94,89±0,8
Насичені, у тому числі:		11,4±0,2
Пальмітинова	C <sub>16:0</sub>	6,2±0,1
Стеаринова	C <sub>18:0</sub>	4,2±0,1
Арахінова	C <sub>20:0</sub>	0,3±0,1
Бегенова	C <sub>22:0</sub>	0,70±0,1
Мононенасичені, у тому числі:		23,5±0,4
Пальмітолеїнова	C <sub>16:1</sub>	сліди
Олеїнова	C <sub>18:1</sub>	23,5±0,3
Гадолеїнова	C <sub>20:1</sub>	сліди
Поліненасичені, у тому числі:		59,6±0,5
Лінолева ( <i>ω</i> -6)	C <sub>18:2</sub>	59,6±0,5

Визначені за методикою [141] фізико-хімічні показники емульгаторів (табл. 3.9) також підтверджують переваги ЕАГП за величиною кислотного, йодного, пероксидного чисел, питомого поглинання порівняно з промисловими емульгаторами Е 471. Результати дослідження окисної стабільності ЕАГП підтвердили їх спроможність стабілізувати окисну деструкцію ліпідів, оскільки МАГ як інгібітори можуть виявляти активність внаслідок передачі ланцюгів і регенерації жирнокислотних ліпідних залишків [157].

**Таблиця 3.9 – Фізико-хімічні показники емульгаторів ацилгліцеринної природи (ЕАГП) та емульгатора Е 471**

<b>Показник</b>	<b>ЕАГП</b>	<b>Е471</b>
Основні параметри переестерифікації	$t = 37 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , $\tau = (10 \dots 12) \cdot 60 \text{ с}$	$t = 245 \text{ } ^\circ\text{C}$ , $\tau = (20 \dots 30) \cdot 60 \text{ с}$
Кислотне число, мг КОН	0,2	1,1...1,8
Число омилення, мг КОН	163	162...173
Йодне число, г I <sub>2</sub> /100 г	121	3...50
Пероксидне число, ммоль/2О/кг	3,34	3,42...3,67
Показник ГЛБ	6,1	3,9...5,6
Показник заломлення за 20 °С	1,4737	1,456
Питоме поглинання за 232 нм	3,84	3,98...4,11
за 268 нм	-	1,03...1,14

З урахуванням одержаних досліджень визначено, що продукт ЕАГП відноситься до класу безпечних харчових добавок, що мають статус GRAS, які використовуються у складі харчових продуктів за технологічною необхідністю без обмежень і кількісно не регламентуються [158-160].

Згідно з основною функцією емульгаторів у м'ясних виробках (вони мають знижувати міжфазний натяг між фазами м'ясної емульсії – жировою та водною) проведено оцінку поверхнево-активних властивостей ЕАГП. Оскільки ЕАГП у

воді має знижену розчинність, безпосередній вплив його на поверхневий натяг води на межі з повітрям досліджено за допомогою методу «лежачої краплі» в системі парафін – рідка фаза – повітря [161]. Розглянуто випадки рівноважного змочування рідиною (вода, олія, ЕАГП) твердої гідрофобної поверхні парафіну, а також змінної за гідрофобністю поверхні парафіну з масовою часткою ЕАГП 1...15 % або вкритою плівкою ЕАГП. Гідрофілізація поверхні парафіну з підвищенням масової частки ЕАГП суттєво погіршує змочування і створює сприятливі умови для визначення поверхневого натягу рідких фаз олії і ЕАГП на межі з повітрям.

Краплю рідини (води, олії, ЕАГП) з малими розмірами (радіусом  $0,78 \cdot 10^{-6}$  м) і об'ємом  $2 \cdot 10^{-9}$  м<sup>3</sup> на твердій поверхні було сформовано за допомогою мікрошприца HAMILTON 701N (10 мкл). За рівноважних умов (через 300 с) і температури 22 °С за допомогою окуляр-мікрометру визначали геометричні параметри краплі, за якими розраховували поверхневий натяг  $\sigma$ , мН/м за формулою 3.8:

$$\sigma = h\rho_{\text{рід}}g(r_1^{-1} + r_2^{-1}) \quad (3.8)$$

де  $h$  – висота краплі, м;  
 $r_1$  і  $r_2$  – головні радіуси кривизни, м;  
 $\rho_{\text{рід}}$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;  
 $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

а також рівноважний крайовий кут  $\theta_p$  (3.9):

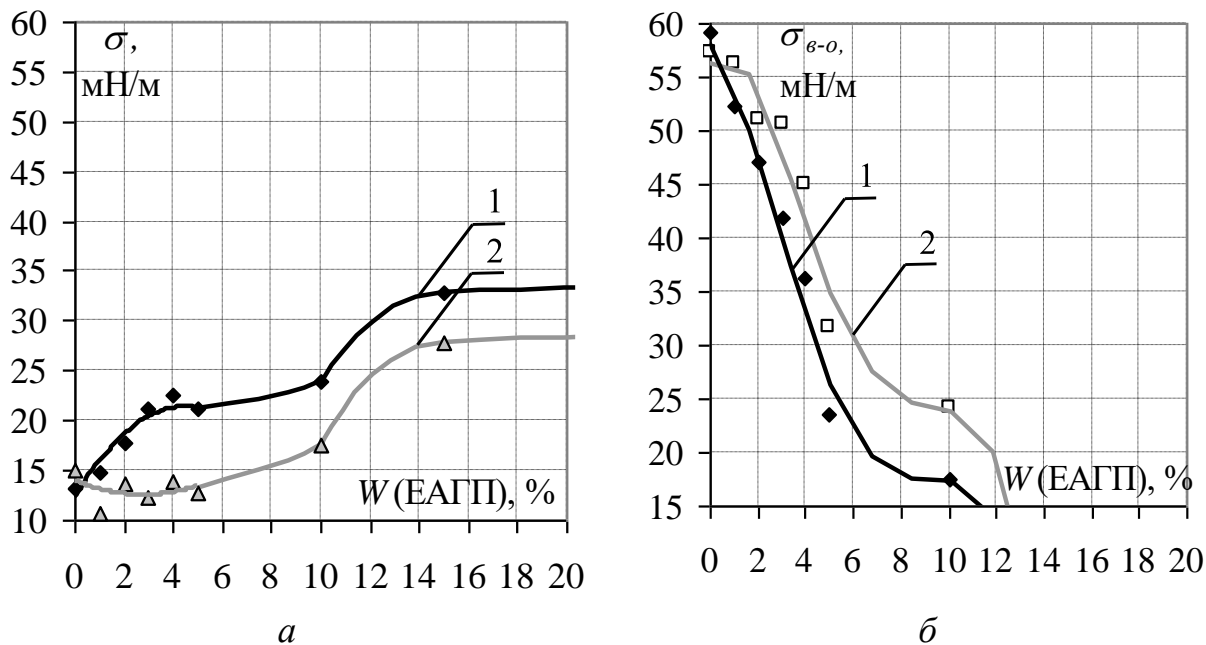
$$\cos\theta_p = (r_k^2 - h^2)/(r_k^2 + h^2) \quad (3.9)$$

де  $h$  – висота краплі, м;  
 $r_k$  – радіус площі контакту краплі з поверхнею, м.

Значення міжфазного натягу олії та ЕАГП на межі розділу з водою розраховано за даними поверхневого натягу рідких фаз води, олії та ЕАГП на межі з повітрям у системі парафін – рідка фаза – повітря згідно з правилом Антонова [162].

Встановлено, що зі збільшенням вмісту ЕАГП у парафіні спостерігається закономірне зниження поверхневого натягу води на межі з повітрям у системі парафін – вода – повітря і крайового кута змочування краплі води на парафіновій поверхні. Так, уведення ЕАГП масовою часткою до 1 % зумовлює зниження поверхневого натягу на 5,32 мН/м, рівноважного кута – на 1,46°. Збільшення ЕАГП у парафіні викликає зростання їх адсорбції на межі поділу парафін-повітря, у результаті чого відбувається гідрофілізація поверхні парафіну і поступове зменшення крайових кутів до  $93,3 \pm 1,4^\circ$  (на 13 %), а також зниження до  $41,5 \pm 0,6$  мН/м (на 43 %) величини поверхневого натягу. За вмісту 10,2 % ЕАГП у парафіні (точка інверсії) спостерігається інверсія змочування.

Парафін добре змочується олією та ЕАГП, що зумовлює низькі значення рівноважного крайового кута і поверхневого натягу (рис. 3.18, а): для олії –  $24,2 \pm 0,8^\circ$  і  $13,1 \pm 0,4$  мН/м; ЕАГП –  $20,5 \pm 0,9^\circ$  і  $15,1 \pm 0,4$  мН/м відповідно. На гідрофілізованій 15 % ЕАГП поверхні парафіну значення поверхневого натягу для олії та ЕАГП підвищуються до (30...35) мН/м.



**Рисунок 3.18 – Залежність поверхневого натягу на межі з повітрям (а) і міжфазного натягу на межі з водою (б) рідкої фази в системі парафін – рідка фаза – повітря від масової частки ЕАГП в парафіні і природи рідкої фази: 1 – олія; 2 – ЕАГП**

Оскільки активність ліпофільних ЕАГП має виявитися, насамперед, на межі поділу жиру з водою, що і визначатиме їх поверхневі властивості, побудовано залежності розрахованого міжфазного натягу від масової частки ЕАГП в парафіні (рис. 3.18, б). Підвищення частки ЕАГП у парафіні від 1 % до 5 % викликає значне зниження міжфазного натягу на межі вода – олія (1) і вода – ЕАГП (2), яке складає 35,6 мН/м і 25,6 мН/м відповідно, що свідчить про його достатньо високу поверхневу активність.

Характеристикою поверхневої активності ЕАГП в системі парафін – рідка фаза – повітря також є показники роботи змочування та адгезії, що визначали на приладі для візуального вимірювання сил прилипання, розробленому в ХДУХТ [117]. Сили прилипання між поверхнями металевого диску (матеріал – сталь; площа контакту  $S_k=0,0016$  м<sup>2</sup>) і досліджуваних зразків фаршів товщиною шару  $0,005 \pm 0,001$  м знаходили шляхом визначення нормальних зусиль відриву  $F_{від}$  за умов їх контакту впродовж  $\tau_k=10$  с, тиску контакту  $P_k=61,25$  Па (важка масою 10 г) і швидкості відриву диску від поверхні фаршу  $v_{від}=0,004$  м/с. В умовах експерименту встановлено, що розділення всіх контактуючих тіл відбувалося за варіантом адгезійного відриву – за межею розділу фарш – диск. Зусилля відриву визначали за калібрувальним графіком  $F_{від}=12185 \cdot l - 2083$  за даними вимірюваної довжини  $l$ , на яку розтягувалася пружина після опускання досліджуваних зразків до моменту розділу поверхонь.

Експериментально встановлено, що з ростом концентрації ЕАГП у парафіні, на якому формували краплі рідин різних за характером змочування – води, олії і безпосередньо ЕАГП, показники робіт змочування й адгезії для води знижуються, для олії і ЕАГП – у цілому зростають.

Значення показників відносної адгезії на рівні  $0,965 \pm 0,005$  наближуються до одиниці та інтерпретуються наступним чином: сили зчеплення між молекулами емульгатора (ЕАГП) і рідкої фази (води, олії або ЕАГП) в адсорбційному шарі парафін – ЕАГП за величиною наближаються до сил зчеплення молекул в емульгаторі. Отже, високі значення цього показника для випадків контактуючих поверхонь вода – ЕАГП, олія – ЕАГП на рівні (0,81...0,97) свідчать, що в таких системах сформовано структуру, що наближається до однорідної за відсутності значимих дефектів. У присутності МАГ-ДАГ на гідрофобних поверхнях за умов контакту з водними розчинами відбувається формування і утворення чітко виражених адсорбційних шарів з ЕАГП.

Таким чином, встановлені закономірності впливу адсорбції МАГ-ДАГ на змочування твердих поверхонь та адгезійну взаємодію з ними води, олії, ЕАГП, значне зниження поверхневого і міжфазного натягу в системі вода – олія – ЕАГП, утворення на межі поділу фаз вода – олія адсорбційного шару з ЕАГП доводять, що ЕАГП повною мірою виявляє свої функціонально-технологічні властивості як емульгатор у складі м'ясних емульсійних систем.

Сучасні погляди на природу агрегативної стійкості ліофобних колоїдних систем розрізняються своїми уявленнями щодо чинників, які регулюють коагуляційні взаємодії. Із усіх процесів, що відображають нестійкість емульсій, лише коалесценція крапель представляє характерний необоротний процес їх остаточного руйнування – розшарування, а результати щодо зміни часу життя елементарних крапель емульсії добре корелюють з даними міцності міжфазних шарів [163]. Тому вивчення коалесценції емульсій важливо для визначення функціонально-технологічних властивостей ЕАГП.

Агрегативну стійкість емульсій у присутності ЕАГП та емульгатора Е471 визначено за методикою С.С. Воюцко [164] за часом існування краплі емульсії біля міжфазної поверхні масло – вода з боку обох рідин. Враховуючи, що в діапазоні об'єму крапель  $(0,005 \dots 0,01) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  помітної залежності їх часу життя від розміру не спостерігалось, саме такий розмір крапель для дослідження було забезпечено застосуванням мікрошприца HAMILTON 701N (10 мкл). Визначення часу життя краплі емульсії у присутності ЕАГП та емульгатора Е471 біля міжфазної поверхні з боку обох рідин проводили за температури  $23 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  через 60·60 с після утворення міжфазного шару на межі розділу «вода – розчин емульгатора в олії».

Результати свідчать, що за умов одержання емульсії з ЕАГП і Е471 стійкість краплі води в стабілізованому маслі вища за стійкість краплі масла біля міжфазної поверхні у водному розчині (утворюється зворотна емульсія за типом вода – масло). Це пояснюється тим, що МАГ, ДАГ краще розчиняються в дисперсійному середовищі (олії) і знаходяться біля поверхні з зовнішнього боку краплі, перешкоджаючи коалесценції крапель. Стійкість краплі масла біля міжфазної поверхні у водному розчині вища для системи вода – розчин ЕАГП в

олії ( $9,3 \pm 0,5$  с) порівняно з системою вода – розчин Е471 в олії ( $3,2 \pm 0,2$  с), що, ймовірно, можна пояснити більш значною відштовхуючою взаємодією між частками у міжфазному адсорбційному шарі і краплі, пов'язаною з більшою розчинністю у воді ЕАГП внаслідок переважання у жирнокислотному складі ненасичених кислот, ніж емульгатора Е471, склад якого наданий насиченими кислотами.

Отримані результати агрегативної стійкості емульсії з ЕАГП свідчать про достатню поверхневу міцність адсорбційних шарів, утворених ними, і відображають міжмолекулярну взаємодію МАГ, ДАГ емульгатора, яка може приводити до певної структуризації часток у поверхневому шарі.

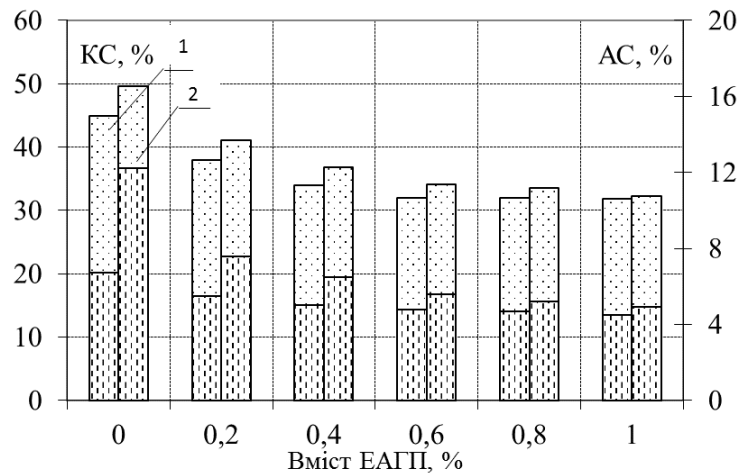
Таким чином, оцінка функціонально-технологічних властивостей ЕАГП за показниками гідрофільно-ліпофільного балансу, поверхневими та емульгуючими властивостями доводить їх спроможність утворювати стабільні м'ясні емульсійні системи.

Для вивчення впливу ЕАГП на функціонально-технологічні властивості м'ясної сировини досліджено його емульгуючі властивості за різного вмісту м'яса та емульгатора у системі (табл. 3.10, рис. 3.19). Дослідження проводили з ММС, у яких жирова складова замінялася на ЕАГП в кількості (0,2...1,0) %, згідно з методикою [118].

*Таблиця 3.10 – Емульгуючі властивості ММС з використанням ЕАГП*

Масова частка емульгатора, %	Об'ємна частка фази емульсії, що відокремлюється після центрифугування, %		
	жирова фаза	емульсія	водна фаза
до заморожування			
0 (контроль)	$6,7 \pm 0,2$	$48,4 \pm 0,3$	$44,9 \pm 0,3$
0,2	$5,5 \pm 0,2$	$56,4 \pm 0,3$	$39,4 \pm 0,3$
0,4	$5,0 \pm 0,2$	$57,0 \pm 0,2$	$38,0 \pm 0,3$
0,6	$4,8 \pm 0,1$	$57,2 \pm 0,3$	$38,0 \pm 0,2$
0,8	$4,7 \pm 0,1$	$60,7 \pm 0,3$	$34,6 \pm 0,3$
1,0	$4,5 \pm 0,1$	$63,2 \pm 0,4$	$32,3 \pm 0,2$
після заморожування – розморожування			
0 (контроль)	$12,2 \pm 0,3$	$38,2 \pm 0,3$	$49,6 \pm 0,4$
0,2	$7,6 \pm 0,3$	$51,3 \pm 0,3$	$41,1 \pm 0,4$
0,4	$6,5 \pm 0,2$	$56,7 \pm 0,3$	$36,8 \pm 0,3$
0,6	$5,6 \pm 0,2$	$60,3 \pm 0,4$	$34,1 \pm 0,3$
0,8	$5,2 \pm 0,1$	$61,2 \pm 0,4$	$33,6 \pm 0,2$
1,0	$4,9 \pm 0,1$	$62,8 \pm 0,4$	$32,3 \pm 0,3$

Отримані дані (табл. 3.10) демонструють, що зі збільшенням частки емульгатора ЕАГП від 0,2 до 1,0 % до заморожування та після заморожування – розморожування об'ємна частка фази емульсії зростає і за вмісту емульгатора 1,0 % набуває максимального значення  $63,2 \pm 0,4$  % і  $62,8 \pm 0,4$  % відповідно. Об'ємна частка водної та жирової фази зменшується після додавання і збільшення вмісту емульгатора.



**Рисунок 3.19 – Агрегативна (АС) та кінетична (КС) стійкість ММС залежно від вмісту ЕАГП, до заморожування (1) та після заморожування – розморожування (2): [ ] – водна фаза, що відокремилась; [ ] – жирова фаза, що відокремилась**

Дані рис. 3.19 свідчать, що кінетична стійкість ММС як до заморожування, так і після заморожування – розморожування за присутності навіть найменшої 0,2 % кількості емульгатора ЕАГП підвищується на 11,5 % та 11,4 % відповідно. Збільшення в емульсії частки емульгатора від 0,2 % до 1,0 % підвищує кінетичну стійкість емульсії до заморожування на 21,4 %, після заморожування – розморожування – на 16,0 %. Агрегативна стійкість за наявності емульгатора зростає: за 0,2 % ЕАГП в емульсії до заморожування вона підвищується на 17,9 %, після заморожування – розморожування – на 4,5 %. У цілому, за концентраціях ЕАГП (5...0,8) % агрегативна й кінетична стійкість м'ясних емульсій збільшується на 12 % та 16 % відповідно.

Емульгуюча здатність ММС зі вмістом ЕАГП у кількості 0,2 % зростає на 5,3 %. Аналізуючи дані табл. 3.11, видно, що заморожування – розморожування знижує емульгуючу здатність емульсій; в цілому вона змінюється на 13,4 % після заморожування – розморожування. Додавання ЕАГП у кількості (0,2...1,0) % поліпшує емульгуючі властивості м'ясних білків. Зокрема, ЕЗ ММС до заморожування підвищується на (3,0...5,0) %, після заморожування – розморожування – на (12,0...17,0) %.

Результати досліджень доводять вагому роль ліпофільних ЕАГП у поліпшенні емульгуючих властивостей ММС, в тому числі під впливом заморожування – розморожування. Встановлено раціональний вміст ЕАГП у складі м'ясної емульсії – (0,5...0,8) %.



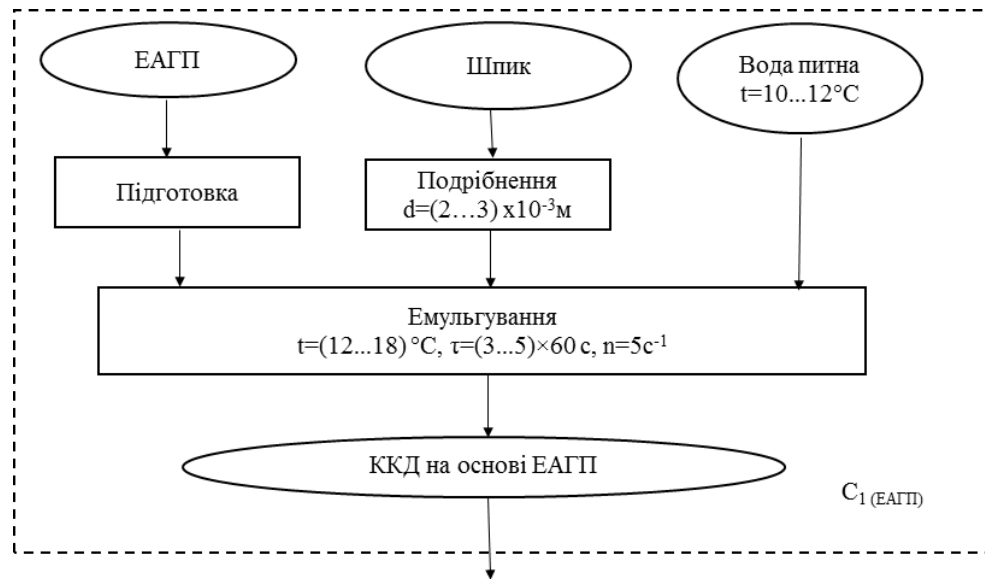
**Таблиця 3.11 – Емульгуюча здатність м'ясних модельних систем з використанням емульгаторів ацилгліцеринної природи**

Масова частка емульгатора, %	Емульгуюча здатність, %	
	до заморожування	після заморожування – розморожування
0 (контроль)	86,4±0,5	74,8±0,4
0,2	89,0±0,4	84,5±0,4
0,4	89,9±0,5	86,7±0,5
0,6	90,2±0,5	88,6±0,5
0,8	90,4±0,6	89,4±0,5
1,0	90,8±0,4	90,0±0,4

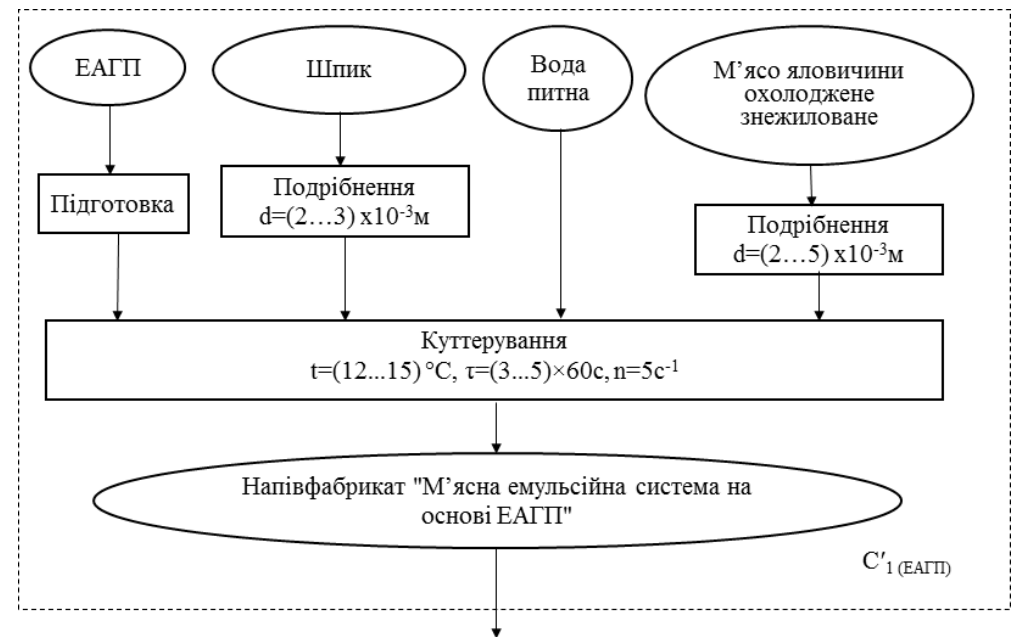
*Розробка принципової технологічної схеми виробництва ККД на основі емульгаторів ацилгліцеринної природи. Узагальнення аналітичних та експериментальних досліджень з обґрунтування технологічних параметрів виробництва водо-жирових емульсій та м'ясних емульсійних систем на основі ЕАГП дозволило визначити раціональні параметри їх одержання (табл. 3.12) та розробити принципову технологічну схему виробництва (рис. 3.20). Доведено можливість виробництва ККД за двома технологічними схемами (рис. 3.20 а, б), які відрізняються способом його введення.*

**Таблиця 3.12 – Раціональні параметри одержання композицій кріостабілізуючої дії на основі емульгаторів ацилгліцеринної природи**

Параметр	Характеристика чи межові значення параметра
Природа емульгатора	Емульгатор ацилгліцеринної природи
Вміст у складі ЕАГП, %	
МАГ+ДАГ	54,2
в тому числі МАГ	7,7
Показники ГЛБ	6,1
Масова частка ЕАГП у складі м'ясної емульсійної системи, %	0,5...0,8
Масова частка жирової фази в ККД, %	50...60
Параметри емульгування:	
температура, °С	12...18
тривалість, ×60, с	3...5
частота обертання робочих органів, с <sup>-1</sup>	50



а)



б)

**Рисунок 3.20 – Технологічні схеми виробництва: а) композицій криостабілізуючої дії на основі емульгаторів ацилгліцеринної природи; б) м'ясна емульсійна система з використанням композицій криостабілізуючої дії на основі емульгаторів ацилгліцеринної природи**

### 3.3. Обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання сухих композицій криостабілізуючої дії на основі харчових гідроколоїдів полісахаридної природи

*Дослідження впливу заморожування – розморожування на в'язкість та кристалоутворення розчинів харчових гідроколоїдів.* З огляду на сформульовану наукову концепцію дослідження розробка та використання ККД, інгредієнти яких за рахунок сольватації макромолекул здатні обмежувати рухливість молекул води та послаблювати ефект кристалізації, дозволить забезпечити технологічну стабільність НМПЗ за умов низькотемпературного холодильного зберігання. Згідно з проведеним аналізом перетворень, що мають місце у м'ясних системах під час заморожування, та відповідно до інноваційного задуму доведено, що найбільш повно технологічним вимогам відповідають харчові гідроколоїди полісахаридної природи (ХГПП) та суміші на їх основі, які характеризуються високою гідрофільністю, що в свою чергу, пов'язано з їх будовою, молекулярною структурою, ступенем полімерізації та ін.

Для визначення фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей розчинів та дисперсій ХГПП, як проблемного елементу технологічної системи, розроблено параметричну модель типу «чорний ящик», що відображає найбільш значущі параметри (рис. 3.21).

Ранжування розглянутих параметрів показує, що найбільш значущими вхідними параметрами можна вважати вид та вміст ХГПП, відсутність їх впливу на органолептичні показники продукту, умови розчинення (X1, X2, X5, X6). Вони відповідають основним вимогам (сумісності, незалежності, керованості тощо), забезпечуючи тим самим можливість проведення подальших досліджень методом активного експерименту. З поданих на рис. 3.20 даних видно, що серед вихідних параметрів найбільш вагомими є оборотність в'язкості розчинів (Y3), тривалість розчинення та/чи набрякання (Y4), діапазон льодоутворення-плавлення (Y5), кількість вимороженої вологи (Y6) та середній розмір кристалів льоду (Y7); саме вони стали критерієм вибору ХГПП з урахуванням встановлених межових значень (табл. 3.18).

Аналіз літературних джерел показує, що властивості багатьох харчових інгредієнтів, в тому числі КМЦ, МЦ, альгінату натрію, камедей ксантану, гуара, тари та камеді ріжкового дерева (КРД), к- та і-карагінанів, харчових волокон та їх розчинів ретельно досліджено вітчизняними [165-167] та закордонними [168-172] вченими. За існуванням загального масиву інформації стосовно їх властивостей розробка конкретної технології потребує визначення абсолютних значень таких показників, як в'язкість, температури льодоутворення та плавлення, кількість вимороженої вологи, швидкість набрякання тощо. Саме ці показники будуть визначати такі технологічні параметри, як спосіб введення ХГПП до м'ясної системи, тривалість витримання фаршу до заморожування, вміст та вид ХГПП та ін.

Для дослідження обрано 10 зразків ХГПП, показники якості та безпечності яких наведено в Додатку Б. Критеріями вибору стали технічні

характеристики ХГПП – гранулометричний склад, умови розчинення, а також наявність дозволу на використання (висновок державної санітарно-гігієнічної експертизи Міністерства охорони здоров'я України).

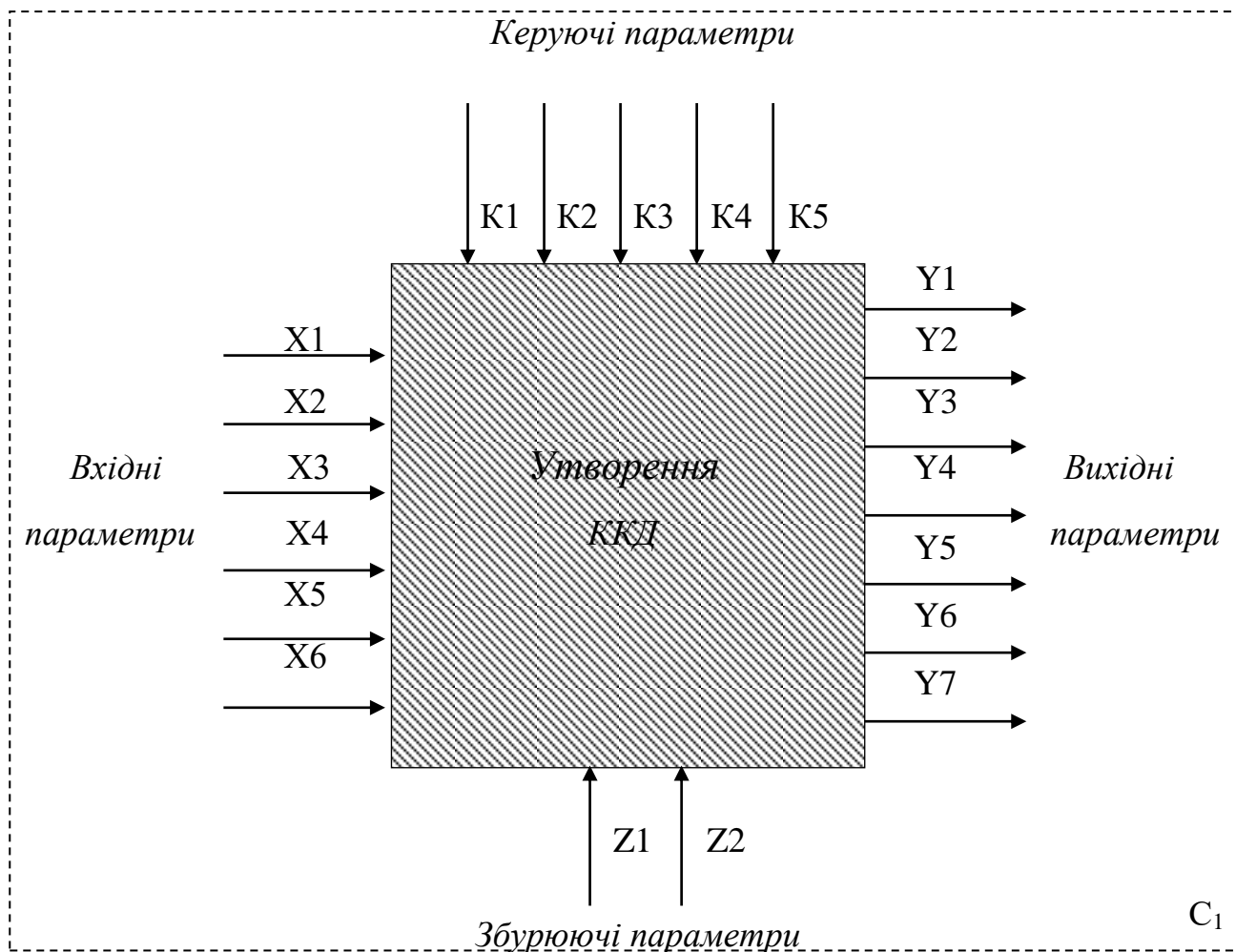


Рисунок 3.21 – Параметрична модель елемента технологічної системи (підсистема C<sub>1</sub>)

Вхідні параметри:

- X1 – вид ХГПП;
- X2 – вміст ХГПП;
- X3 – гранулометричний склад ХГПП;
- X4 – композиційне співвідношення ХГПП у складі сумішей;
- X5 – відсутність впливу на органолептичні показники продукту;
- X6 – умови розчинення

Вихідні параметри:

- Y1 – в'язкість системи до заморожування;
- Y2 – в'язкість системи після заморожування – розморожування;
- Y3 – оборотність в'язкості розчинів;
- Y4 – тривалість розчинення та/чи набрякання;
- Y5 – діапазон льодоутворення-плавлення;
- Y6 – кількість вимороженої вологи;
- Y7 – середній розмір кристалів льоду

Керуючі параметри:

K1 – якість та вид сировини;  
K2 – ступінь подрібнення м'ясної сировини та ін., механічні параметри;  
K3 – послідовність технологічних операцій;  
K4 – температура заморожування;  
K5 – швидкість заморожування;  
K6 – технічні характеристики обладнання (спосіб заморожування)

Збурюючі параметри:

Z1 – рН системи;  
Z2 – вміст NaCl

З метою розуміння поведінки ХГПП у складі НМПЗ досліджено вплив заморожування – розморожування на зовнішній вигляд 0,5 % розчинів та дисперсій ХГПП та розмір кристалів льоду (табл. 3.13). Розчини та дисперсії ХГПП готували відповідно до рекомендацій виробників. Визначення середнього розміру кристалів льоду у заморожених системах ХГПП проводили за допомогою мікроскопу з цифровою фотокамерою та персонального комп'ютера з програмним засобом для обробки одержаних фотографій. Зразок, що досліджувався, фотографували за допомогою мікроскопу й цифрової фотокамери; фотографії обробляли за допомогою персонального комп'ютера та визначали площу часток (чи кристалів льоду), підраховували кількість часток (чи кристалів льоду) і досліджували їх діаметр ( $d$ , мкм) за формулою (3.10):

$$d = 2\sqrt{S/\pi}, \quad (3.10)$$

де  $S$  – площа часточки, мкм<sup>2</sup>.

Експериментально встановлено, що процес заморожування – розморожування по-різному впливає на розчини та дисперсії ХГПП. Так, заморожені розчини та дисперсії візуально мали відносно невеликі кристали льоду (окрім к- та і-карагінанів). Дослідження розмірних характеристик кристалів дозволило визначити їх коливання у достатньо великому інтервалі – від 103 мкм до 243 мкм. Після заморожування – розморожування розчини КМЦ, МЦ, альгілату натрію, камедей ксантана, гуара та тари являли собою однорідні системи, для розчинів КРД спостерігалось незначне відокремлення водної фази, для к- та і-карагінанів – розшарування системи на дві фази та неоднорідність; для систем, що містить харчові волокна Citri-Fi 100 (надалі – харчові волокна) – також неоднорідність та розшарування. Харчові волокна всіх концентрацій не розчинилися у воді, але проявили високу набрякаючу здатність.

На даному етапі дослідження важливим з точки зору вибору ХГПП є результати дослідження середнього розміру кристалів льоду (табл. 3.13, стовпчик 5). Так, не зважаючи на існуючі рекомендації [169, 173-175], к- та і-карагінани недоцільно використовувати як функціонально-технологічні інгредієнти в технології НМПЗ, оскільки їх розчини під час заморожування мають середні розміри кристалів льоду більші за 200 мкм – 223 мкм та 243 мкм відповідно.

Таблиця 3.13 – Вплив заморожування – розморожування на зовнішній вигляд розчинів та дисперсій ХГПШ (С<sub>ХГПШ</sub> = 0,5 %) та розмір кристалів льоду (n=5, P≥0,95)

ХКД	Зовнішній вигляд розчинів і дисперсій ХКД			Середній розмір кристалів льоду, мкм
	До заморожування	Заморожені, t = -20±2°C	Після заморожування – розморожування	
КМЦ	однорідні прозорі розчини різної в'язкості, осад відсутній	відносно невеликі кристали льоду, невелика кількість наледеніння та інею на стінках ємкості, в якій заморожували	однорідні розчини	138
МЦ		відносно невеликі кристали льоду, кількість наледеніння та інею на стінках ємкості, в якій заморожували, незначна		162
Альгінат натрію		відносно невеликі кристали льоду, невелика кількість наледеніння та повна відсутність інею на стінках ємкості, в якій заморожували		143
Камедь ксантана		відносно невеликі кристали льоду, невелика кількість наледеніння та повна відсутність інею на стінках ємкості, в якій заморожували		148
Камедь гуара		візуально не видно утворених кристалів льоду, мінімальна кількість наледеніння та повна відсутність інею на стінках ємкості, в якій заморожували		156
Камедь тари		відносно невеликі кристали льоду, невелика кількість наледеніння та інею на стінках ємкості, в якій заморожували		103
КРД		незначна кількість відокремленої водної фази	157	
к-карагінан	утворення гелю	видимі великі кристали льоду, в деяких місцях заморожений розчин відходить від стінок, велика кількість наледеніння та інею на стінках ємкості, в якій заморожували	відокремлення вільної води, розшарування та наявність агрегованого осаду	223
і-карагінан			неоднорідність та розділення системи на дві фази	243
Харчові волокна	неоднорідність та розділення системи на дві фази (утворення осаду)	відносно невеликі кристали льоду, невелика кількість наледеніння та повна відсутність інею на стінках ємкості, в якій заморожували	неоднорідність та розділення системи на дві фази	173

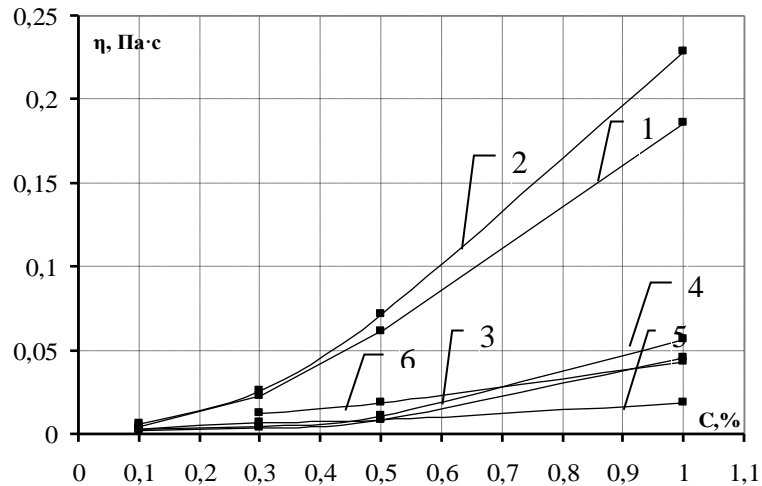
З метою моделювання поведінки ХГПП у складі НМПЗ досліджено ефективну в'язкість (0,1...1,0) % їх розчинів ХГПП до заморожування та після заморожування – розморожування (рис. 3.22-3.24) за допомогою ротаційного віскозиметра сталої напруги зсуву ВПН-0,2М [116, 144]. Після приготування розчини наливали по 100 мл у пластикові ємності з кришками об'ємом 200 мл, заморожували за температури мінус  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Заморожені зразки витримували протягом  $(24...48) \cdot 60^2$  с, розморожували за температури  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ . Температура розчинів з дослідженням показників в'язкості становила  $14,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . За одержаними даними будували криві течії  $\eta = f(\dot{\gamma})$  за швидкості зсуву  $200 \text{ c}^{-1}$ .

Встановлено, що за концентрацій (0,1...0,15) % (незалежно від виду ХГПП) розчини виявляють властивості ньютонівських рідин, в'язкість яких не залежить від швидкості зсуву. За концентрації  $> 0,15$  % всі розчини ХГПП виявляють властивості неньютоновських рідин, ефективна в'язкість яких залежить від швидкості зсуву. За результатами дослідження в'язкості розчинів КМЦ, МЦ, альгінату натрію, камедей ксантана, гуара, ріжкового дерева та тари визначено, що розчини мають різні абсолютні значення в'язкості, однак для всіх досліджуваних розчинів існує загальна тенденція – збільшення в'язкості з підвищенням концентрації ХГПП. Так, за малих концентрацій ХГПП (до 0,5 %) збільшення значення показника в'язкості не значне, а за концентрацій (0,5...1,0) % спостерігається інтенсивне її збільшення.

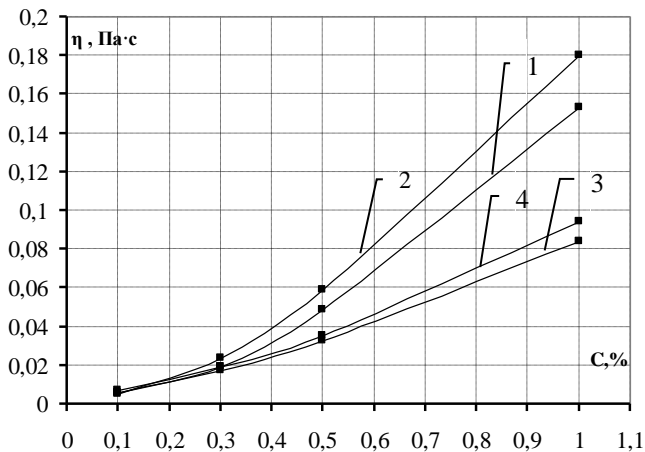
Інтенсивне збільшення в'язкості пояснюється тим, що в'язкість розчинів високомолекулярних сполук (ВМС) суттєво збільшується за деякої критичної концентрації полімеру, за якої відбувається перехід від так званої «розбавленої зони», де молекули полімеру здатні незалежно переміщуватися в розчині без взаємопроникнення, до «напіврозбавленої зони», де концентрація молекул призводить до утворення полімерних клубків за рахунок взаємного проникнення полімерних молекул.

Ґрунтуючись на результатах аналітичних та експериментальних даних можна зазначити, що окрім концентрації в'язкість розчинів ХГПП пов'язана з їх молекулярною масою, просторовою структурою та ін. Встановлено, що співвідношення в'язкості до швидкості зсуву збільшується з підвищенням молекулярної маси; швидкість зсуву, за якої руйнується структура (розрідження), зміщується в бік більш низьких значень. Крім молекулярної маси, на в'язкість розчинів впливає молекулярна структура. Так, молекули КМЦ, МЦ, альгінат натрію, камедь гуара, камедь тари, карагінани, які мають лінійну структуру, утворюють менш в'язкі розчини; розгалужені молекули камеді ксантана – більш в'язкі.

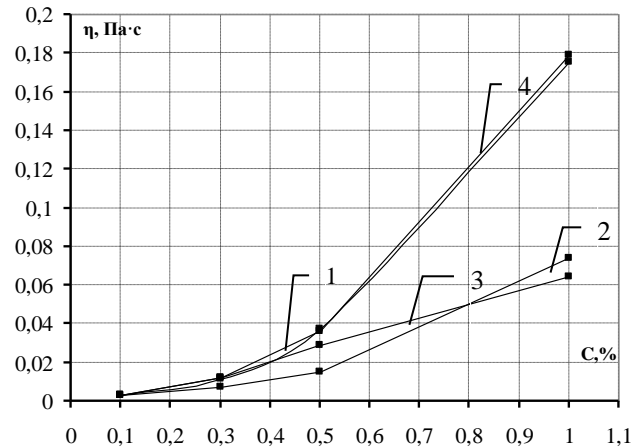
Аналіз впливу заморожування – розморожування на ефективну в'язкість даних розчинів залежно від концентрації (рис. 3.22-3.24) показав, що процес заморожування – розморожування по-різному впливає на показники в'язкості. Після заморожування – розморожування в'язкість 1,0 % розчинів КМЦ, камеді ксантана, гуара змінюється не суттєво – в (1,1...1,2) раза. Значне підвищення в'язкості в 2,3 та 2,8 разів після заморожування – розморожування характерне відповідно для альгінату натрію та камеді тари. Для розчину КРД після заморожування – розморожування спостерігається зменшення в'язкості в 2,4 раза.



**Рисунок 3.22 – Вплив заморожування – розморожування на ефективну в'язкість розчинів харчових гідроколоїдів полісахаридної природи залежно від концентрації розчинів ( $\gamma = 200 \text{ с}^{-1}$ ): 1 – КМЦ до заморожування; 2 – КМЦ після заморожування – розморожування; 3 – МЦ до заморожування; 4 – МЦ після заморожування – розморожування; 5 – альгінату натрію до заморожування; 6 – альгінату натрію після заморожування – розморожування**



**Рисунок 3.23 – Вплив заморожування – розморожування на ефективну в'язкість розчинів харчових гідроколоїдів полісахаридної природи залежно від концентрації розчинів ( $\gamma=200 \text{ с}^{-1}$ ): 1 – камеді гуара до заморожування; 2 – камеді гуара після заморожування – розморожування; 3 – камеді ксантана до заморожування; 4 – камеді ксантана після заморожування – розморожування**



**Рисунок 3.24 – Вплив заморожування – розморожування на ефективну в'язкість розчинів харчових гідроколоїдів полісахаридної природи залежно від концентрації розчинів ( $\gamma=200 \text{ с}^{-1}$ ): 1 – КРД до заморожування; 2 – КРД після заморожування – розморожування; 3 – камеді тари до заморожування; 4 – камеді тари після заморожування – розморожування**

Відомо, що молекули полісахаридів являють собою згорнуті в клубок ланцюги, які під час потрапляння у воду або в середовище, що містить вільну вологу, розкручуються, тим самим обмежуючи рухливість молекул води. Все це приводить до підвищення в'язкості розчину та доводить, що вміст добавки впливає на рухливість молекул води, що формують структурно-механічні властивості розчину.



Таким чином, можна стверджувати, що одержані розчини КМЦ, МЦ, альгілату натрію, камеді ксантана, камеді гуара, камеді тари відповідають даному положенню. Крім того, їх полімерні молекули є достатньо лінійно жорсткими, що обумовлює швидке утворення в їх розчинах міжмолекулярних переплетінь.

Аналізуючи результати дослідження в'язкості розчинів ХГПП під впливом заморожування – розморожування можна стверджувати, що в розчинах камеді ксантана, камеді тари, камеді гуара, альгілату натрію, КМЦ, МЦ під впливом низьких температур, вірогідно, відбувається ускладнення переміщення та взаємної орієнтації часток, що приводить до збільшення в'язкості системи.

Визначені закономірності зміни в'язкості розчинів ХГПП є важливими з точки зору прояву їх властивостей у складі НМПЗ: як підвищення, так і зниження в'язкості допустиме у визначеному діапазоні, тому що, по-перше, після заморожування – розморожування приведе до одержання липкої, щільної консистенції, а, по-друге, по-суті, приблизить властивості НМПЗ до контрольного зразка, який зазнає негативних змін за низькотемпературної холодильної обробки.

Під час вибору ХГПП з метою використання їх у складі ККД важливим є визначення оборотності в'язкості ( $k$ ) розчинів ХГПП, що опосередково дозволяє охарактеризувати вплив низькотемпературної обробки на стабільність властивостей розчинів ХГПП:

$$k = \frac{\eta_{\text{зам}}}{\eta_{\text{поч}}}, \quad (3.11)$$

де  $\eta_{\text{поч}}$  – в'язкість розчинів до заморожування, Па·с;

$\eta_{\text{зам}}$  – в'язкість розчинів після заморожування – розморожування, Па·с.

Показники ефективної в'язкості розчинів ХГПП до та після заморожування – розморожування та величина їх оборотності наведено в табл. 3.14.

Проведені дослідження впливу заморожування – розморожування на ефективну в'язкість розчинів ХГПП дозволяють зазначити, що оборотність в'язкості розчинів після заморожування – розморожування коливається в діапазоні (0,4...1,5) (для 0,5 % розчинів) та (0,4...2,8) (для 1,0 % розчинів). Так, для всіх розчинів, окрім розчинів КРД, характерне значення  $k > 1$ , тобто розчини поведуться необоротно (в'язкість після заморожування – розморожування більша порівняно з первинною).

Така поведінка розчинів може надавати додатковий функціонально-технологічний ефект в межах харчової системи, розчини є стійкими до впливу низьких температур, що підтверджує можливість їх використання у виробництві заморожених м'ясних напівфабрикатів. У значенні  $k \approx 1$  – розчин вважали оборотним за даною властивістю. КРД має значення  $k < 1$ , а в'язкість після заморожування – розморожування менша чим початкова. За виявленням

таких властивостей КРД використовувати у виробництві НМПЗ недоцільно через погіршення гідрофільних властивостей.

**Таблиця 3.14 – Показники ефективної в'язкості та оборотності розчинів харчових гідроколоїдів полісахаридної природи (n=5, P≥0,95)**

ХГПП	Ефективна в'язкість, Па·с				Оборотність в'язкості розчинів (k)	
	до заморожування (η <sub>поч</sub> )		після заморожування – розморожування, (η <sub>зам</sub> )		0,5 %	1,0 %
	0,5 %	1,0 %	0,5 %	1,0 %		
КМЦ	0,048	0,186	0,072	0,229	1,5	1,2
МЦ	0,009	0,046	0,011	0,057	1,2	1,2
Альгінат натрію	0,009	0,019	0,013	0,043	1,4	2,3
Камедь ксантана	0,033	0,084	0,035	0,094	1,1	1,1
Камедь гуара	0,049	0,153	0,059	0,180	1,2	1,2
Камедь тари	0,029	0,064	0,036	0,179	1,2	2,8
КРД	0,037	0,175	0,015	0,074	0,4	0,4
к-карагінан	не досліджувались у зв'язку з утворенням гелю та неоднорідністю системи					
і-карагінан						
Харчові волокна	не досліджувались у зв'язку з неоднорідністю системи					

Отже, результати дослідження свідчать, що використання к- та і-карагінану, а також КРД в технологіях НМПЗ недоцільно. Враховуючи неможливість вивчення в'язкості розчинів харчових волокон, визначення їх інших властивостей під дією низьких температур буде розглянуто далі.

Визначено діапазони температури льодоутворення-плавлення та встановлено масову частку вимороженої вологи розчинів ХГПП з концентраціями 0,5 % та 1,0 % (табл. 3.15) за методикою, заснованою на вимірюванні кількості теплоти, що виділяється під час кристалізації вільної вологи в харчовій сировині [176]. Під час визначення діапазонів температур льодоутворення одержано результати у вигляді кривих заморожування – розморожування, аналіз результатів яких дозволив визначити швидкість заморожування розчинів ХГПП.

Встановлено, найбільшу масову частку вимороженої вологи за концентрації розчину 0,5 % має КМЦ – 96,0 %; далі її частка зменшується у такій послідовності: МЦ (95,1 %) > камедь ксантана (90,6 %) > КРД (89,7 %) > альгінат натрію (87,3 %) > к-карагінан (87,0 %) > харчові волокна (86,2 %) > камедь гуара (85,7 %) > камедь тари (84,7 %) > і-карагінан (82,5 %). Найменша масова частка вимороженої вологи притаманна розчинам і-карагінану.

Закономірності зміни масової частки вимороженої вологи для розчинів ХГПП 1,0 % концентрації мають декілька інший характер. Визначено, що найбільшу масову частку вимороженої вологи за концентрації розчину 1,0% має камедь ксантана – 87,7 %; далі її частка зменшується у такій послідовності: КМЦ (86,8 %) > МЦ (86,6 %) > харчові волокна (83,8 %) > камедь тари (82,1 %) > альгінат натрію (82,0 %) > КРД (81,3 %) > камедь гуара (81,0 %) > і-карагінан (62,7 %) > к-карагінан (54,4 %). Найменша масова частка вимороженої вологи притаманна розчину к-карагінану.

Таблиця 3.15 – Кріоскопічні характеристики водних розчинів харчових гідроколоїдів полісахаридної природи (n=5, P≥0,95)

ХГПП	Оборотність в'язкості (k) розчинів за концентрації, %		Масова частка вимороженої вологи (%) з розчинів за концентрації ХГПП, %		Діапазон температур льодоутворення вологи (ΔT °C) розчинів за концентрації ХГПП, %		Діапазон температур плавлення вологи (ΔT °C) розчинів за концентрації ХГПП, %	
	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0
КМЦ	1,5	1,2	96,0	86,8	1,5	4,1	3,4	3,0
МЦ	1,2	1,2	95,1	86,6	1,3	2,6	2,0	4,7
Альгінат натрію	1,4	2,3	87,3	82,0	2,3	3,7	3,4	4,6
Камедь ксантана	1,1	1,1	90,6	87,7	3,2	4,8	3,9	5,6
Камедь гуара	1,2	0,9	85,7	81,0	1,9	4,8	2,6	5,3
Камедь тари	1,2	2,8	84,7	82,1	1,8	4,5	2,2	5,2
КРД	0,4	0,4	89,7	81,3	1,6	2,7	2,2	3,4
к-карагінан	-	-	87,0	54,4	1,6	1,8	2,2	2,4
і-карагінан	-	-	82,5	62,7	2,4	3,2	2,7	3,7
Харчові волокна	-	-	86,2	83,8	2,2	2,9	2,5	3,2

Узагальнення одержаних експериментальних даних стосовно масової частки вимороженої вологи розчинів ХГПП за концентрації 0,5 % та 1,0 %, дозволяє зробити висновки, що зі збільшенням концентрації ХГПП кількість вимороженої води зменшується. Так, масова частка вимороженої води для розчинів за концентрації 0,5 % становить (82,5...96,0) %, а 1,0 % – (54,4...87,7) %. Ці дані є підґрунтям щодо вибору виду та концентрації ХГПП у складі харчової продукції, що підлягає заморожуванню – розморожуванню, з огляду на здатність їх розчинів утримувати вологу у рідкому стані та під впливом низькотемпературної обробки.

Виходячи з аналізу одержаних експериментальних даних діапазонів температур льодоутворення та плавлення 0,5 % та 1,0 % розчинів (табл. 3.15), можна зробити висновок, що найбільший діапазон температур льодоутворення спостерігається для розчинів альгінату натрію, камеді ксантану, харчових волокон. Найбільший діапазон температур плавлення спостерігається для альгінату натрію, КМЦ, камеді ксантану, і-карагінану, камеді гуару. При цьому діапазони температур льодоутворення всіх ХГПП більші, ніж діапазони плавлення. Очевидно, це пов'язано з тим, що під час заморожування змінюються теплофізичні властивості розчинів за рахунок того, що збільшується неоднорідність розчину; утворення льоду на поверхні спричиняє рух рідини з розчином у середину зразка. За цих умов концентрація розчину у середині зразка збільшується. Такий процес й приводить до розширення

діапазону температур льодоутворення. На етапі плавлення більш широкий діапазон температур плавлення означає, що спостерігається перекристалізація або навіть плавлення льоду вже за низьких температур мінус 9 °С та нижче. Найбільш інтенсивно цей процес відбувається на поверхні зразка, тому частина вологи може рухатися до центру зразка і, в свою чергу, знову перетворюватися на лід. Такий механізм й призводить до розширення діапазону температур плавлення. Це необхідно враховувати у використанні розчинів ХГПП та прогнозуванні функціонально-технологічних властивостей м'ясних систем, що заморожуються, піддаються зберіганню за низьких температур та подальшій тепловій обробці.

Діапазон температур льодоутворення визначається теплофізичними властивостями зразка та зовнішнім теплообміном. Вважаючи, що умови для зовнішнього теплообміну сталі, то чим більше цей діапазон, тим більший тепловий опір зразка, тобто теплопровідність менша. Це означає, що розчини ХГПП мають пластифікуючу дію на процес льодоутворення.

Узагальнюючи результати дослідження, можна сказати, що найбільш суттєве розширення діапазонів температур льодоутворення та плавлення спостерігаються для розчинів КМЦ, альгілату натрію, харчових волокон, камедей ксантану та тари.

Можна зауважити, що діапазони температур льодоутворення відносно діапазонів температур плавлення за обох концентрацій дещо зміщено ліворуч, для деяких розчинів перекриваються. Однак не для всіх розчинів спостерігається перекривання діапазонів температур. Так, для 0,5 % розчинів камеді гуара, КРД, МЦ та к-карагінану та 1 % розчинів камеді гуара та тари, КРД, МЦ, альгілату натрію вищезначений ефект не спостерігається. Перекривання діапазонів температур льодоутворення та плавлення за обох концентрацій спостерігається у КМЦ, камеді ксантану, і-карагінану, харчових волокон. Вірогідно, це пояснюється зворотністю (незворотністю) властивостей розчинів.

З досліджуваних розчинів ХГПП (з точки зору досягнення технологічного ефекту) можна рекомендувати до використання альгілат натрію, камеді ксантану та тари, КМЦ, харчові волокна. Фізико-хімічний потенціал цих інгредієнтів під дією низьких температур дає змогу спрогнозувати їх використання у технологіях м'ясних заморожених виробів, що дозволить мінімізувати ступінь пошкодження тканин м'ясної сировини за умов низькотемпературної холодильної обробки.

*Дослідження умов розчинення та набрякання харчових гідроколоїдів полісахаридної природи під впливом технологічних чинників.* Відомо [169, 177], що у взаємодії ВМС (а більшість ХГПП є ВМС) з розчинником (водою чи м'ясним соком) відбувається збільшення їх об'єму та маси у часі, тобто набрякання, яке залежно від виду ХГПП може бути обмеженим (для харчових волокон) та необмеженим. Перебіг процесу набрякання ХГПП є багатофакторним і залежить від їх будови, гранулометричного складу, питомої поверхні часток, температури, механічного впливу та ін.

Під час визначення гранулометричного складу ХІКД застосовано фотомікроскопічний метод та здійснено розрахунок за формулою 3.10. Встановлено, що для ХГПП характерно різне середнє значення діаметру часток, яке коливається в межах від 186 мкм до 336 мкм, так і різне співвідношення окремих фракцій. Так, КМЦ та камедь гуару містять переважно фракції з розміром понад 250 мкм, а середнє значення діаметру часток становить 336 мкм та 335 мкм, відповідно. Інші ХГПП містять часточки з середнім розміром переважно менше 250 мкм.

З метою обґрунтування виду ХГПП та технологічних параметрів виробництва НМПЗ досліджено поведінку ХГПП у водних розчинах (для харчового волокна – шляхом визначення швидкості та максимального ступеня набрякання, для інших ХГПП – шляхом зміни в'язкості у часі). Зразки масою 50 мг клали в градуйовані пробірки ємністю 10 мл, які заповнювали до мітки водними розчинами або водою (за температури  $14,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ) та витримували протягом  $1 \cdot 60^2$  с. Розчини в пробірки наливали обережно стінками, щоб не допустити спливання окремих часточок зразка на поверхню розчину. Через певні проміжки часу вимірювали об'єм набряклого зразка в пробірках.

Ступінь набрякання ( $\alpha$ , %) визначали об'ємним методом:

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100, \quad (3.12)$$

де  $V_0$  – вихідний об'єм зразка ХІКД, розраховується виходячи з насипної щільності волокна;

$V$  – об'єм зразка ХІКД після набрякання.

Для розрахунків швидкості набрякання ХІКД використовувався графічний метод. Для цього будували залежність ступеня набрякання від часу  $\alpha-f(\tau)$  – кінетичну криву набрякання. У точці, де визначали швидкість набрякання, проводили дотичну до отриманої кривої " $\alpha-\tau$ " і визначали тангенс кута її нахилу, який чисельно дорівнював  $\frac{d\alpha}{d\tau}$ .

Швидкість набрякання ( $\omega$ , кг/с) розраховували за рівнянням:

$$\omega = \frac{V_0}{100} \cdot \frac{d\alpha}{d\tau}. \quad (3.13)$$

Константу швидкості набрякання ( $k$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) – величину, що за сталої температури залежить тільки від природи полісахариду, розраховували з урахуванням кінетики набрякання полімерів, яка описується рівнянням необоротної реакції I порядку [178]:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha_\infty}{\alpha_\infty - \alpha_\tau}, \quad (3.14)$$

де  $\alpha_\tau$  – ступінь набрякання полімеру в момент часу  $\tau$ ;

$\alpha_\infty$  – максимальний ступінь набрякання полімеру.

В табл. 3.16 узагальнено кінетичні характеристики розчинення ХГПП – швидкість розчинення ХГПП на початкових стадіях процесу ( $\omega$ , кг/с), константа швидкості розчинення ( $k$ ,  $\text{с}^{-1}$ ), час досягнення повного розчинення ( $\tau_{\text{max}}$ , с). Встановлено, що розчинення ХГПП у часі супроводжується наростанням в'язкості, що є характерним для процесів гідратації ВМС. Крім того, встановлено, що характер процесу розчинення та абсолютні значення частки речовин, що розчинилися, для КМЦ та МЦ близькі.

**Таблиця 3.16 – Кінетичні характеристики процесу розчинення харчових гідроколоїдів полісахаридної природи (n=5, P≥0,95)**

Розчинник	Кінетичні характеристики		
	$\omega \cdot 10^3$ , кг/с	$k$ , $\text{с}^{-1}$	$\tau_{\text{max}} \cdot 60^{-1}$ , с
КМЦ			
Вода дистильована	0,13	6,54	60
1 % розчин NaCl	0,12	5,04	65
2 % розчин NaCl	0,11	3,18	70
МЦ			
Вода дистильована	0,13	6,52	60
1 % розчин NaCl	0,12	5,00	65
2 % розчин NaCl	0,11	3,15	70
Альгінат натрію			
Вода дистильована	0,08	4,14	40
1 % розчин NaCl	0,08	3,90	50
2 % розчин NaCl	0,07	3,48	50
Камедь ксантана			
Вода дистильована	0,10	5,88	40
1 % розчин NaCl	0,08	5,10	50
2 % розчин NaCl	0,08	3,96	50
Камедь гуара			
Вода дистильована	0,04	1,92	80
1 % розчин NaCl	0,04	1,68	85
2 % розчин NaCl	0,04	1,62	85
Камедь тари			
Вода дистильована	0,15	5,76	40
1 % розчин NaCl	0,13	4,80	50
2 % розчин NaCl	0,12	4,32	50
КРД			
Вода дистильована	0,04	1,92	80
1 % розчин NaCl	0,04	1,68	86
2 % розчин NaCl	0,03	1,56	86
к-карагінан			
Вода дистильована	0,45	20,82	30
1 % розчин NaCl	0,42	16,92	35
2 % розчин NaCl	0,40	15,30	40
і-карагінан			
Вода дистильована	0,32	34,68	8
1 % розчин NaCl	0,30	27,90	13
2 % розчин NaCl	0,28	24,90	15

На першому етапі (10...60)·60 с спостерігається швидке підвищення в'язкості, що є результатом набрякання та розчинення інгредієнтів, надалі – досягнення відносно постійних значень, що свідчить про завершення процесу набрякання та розчинення ВМС. У воді взаємне відштовхування однойменно заряджених макромолекул збільшує відстань між сегментами полімерних ланцюгів полісахаридів. При цьому утворюються відносно великі за розмірами шпари, через які молекули води можуть проникати в об'єм зразка. Об'єм зразка збільшується, і це збільшення характеризується відповідним прискоренням розчинення.

З даних табл. 3.16 видно, що для різних ХГПП характерне необмежене набрякання з утворенням розчину високомолекулярних сполук, розчинення у воді досягалося за часом від 8·60 с (і-карагінан) до 80·60 с (для камеді гуара та ріжкового дерева). Слід зазначити, що повної кореляції між гранулометричним складом (табл. 3.15) та швидкістю розчинення не спостерігалось, що, імовірно, пов'язано з особливостями просторової будови макромолекул ХГПП.

З урахуванням обмежень з виробництва НМПЗ (розчинення ХГПП має забезпечуватись в межах технологічних операцій перемішування та витримування вимог до дозування та фасування протягом не більше (30·60) с до використання рекомендовані такі ХГПП: альгінат натрію, камедь ксантана, камеді тари, КМЦ, к-карагінан та і-карагінан.

Під час дослідження впливу солі кухонної на процес розчинення ХГПП встановлено уповільнення процесу розчинення на (5...15)·60 с. Відомо, що досліджувані ХГПП мають полісахаридну природу, а, отже, містять значне число карбоксильних груп, які у водному середовищі дисоціюють, внаслідок чого макромолекули полісахаридів набувають негативного заряду [169].

Щодо харчових волокон, то процес набрякання потребує розуміння їх хімічного складу. Харчові волокна містять до 80,7 % вуглеводів, з них 33,3 % – розчинні, 34,9 % – нерозчинні, протеїни – 8,2 %, жири – 1,1 %, мінеральні речовини – 2,7 %, вологу – 7,3 %. Основну частину вуглеводів складають полісахариди целюлозної природи – нейтральні та кислі, властивості яких впливають на перебіг процесу набрякання.

Експериментально встановлено (табл. 3.17), що процес граничного набрякання харчових волокон в перші (10...15)·60 с іде інтенсивно, досягаючи максимального ступеня набрякання через (20...25)·60 с і коливається в межах (480...500) %. У розчинах солі кухонної як швидкість, так й максимальний ступінь набрякання волокон виявилися значно меншими. Швидкість набрякання зразків у водних розчинах солі кухонної в 1,2...1,4 рази менша, ніж у воді, а ступінь набрякання знижується до 375% в 1 % розчині NaCl та до 350 % у 2 % розчині. Загальновідомо, що додання у воду електролітів, які містять гідратовані іони, зменшує розчинність та набрякання у воді полярних ВМС, до складу яких входять іоногенні функціональні групи.

У розчинах електролітів має місце електростатична взаємодія іонів з іоногенними функціональними групами поліелектролітів. Так, з набряканням харчових волокон у водних розчинах солі кухонної катіони натрію взаємодіють із негативно зарядженими карбоксильними групами, що входять до складу

полігалактуронових кислот. У результаті такої взаємодії загальний заряд макромолекул полісахаридів, що входять до складу волокон, зменшується. Як відомо, макромолекули поліелектролітів в ізоелектричному стані мають більш щільне пакування, яке не сприяє їхньому набряканню.

**Таблиця 3.17 – Кінетичні характеристики процесу набрякання харчових волокон (n=5, P≥0,95)**

Розчинник	Кінетичні характеристики			
	$\omega \cdot 10^{-5}$ , кг/с	$k$ , с <sup>-1</sup>	$\tau_{max} \cdot 60^{-1}$ , с	$\alpha_{\infty}$ , %
Вода дистильована	0,15	6,84	25	500
1 % розчин NaCl	0,13	6,54	20	375
2 % розчин NaCl	0,11	8,22	20	350

Узагальнюючи одержані результати, можна стверджувати, що незалежно від складу розчинника (вода, розчин NaCl) максимальний ступінь набрякання харчових волокон досягається протягом (20...25)·60 с, що є основою для визначення технологічних параметрів виробництва НМПЗ, а саме витримки фаршу до дозування. Отже, одержані експериментальні результати дослідження є підґрунтям як для обґрунтування вибору ХГПП, так й визначення технологічних параметрів окремих операцій виробництва НМПЗ.

*Обґрунтування складу та технологічних параметрів одержання композицій кріостабілізуючої дії на основі ХГПП.* Узагальнені результати аналітичних та експериментальних досліджень щодо впливу заморожування – розморожування на властивості розчинів та дисперсій ХГПП для цілеспрямованого використання у технологіях виробництва НМПЗ подано у табл. 3.18, в якій відображено дослідження структурно-механічних та кріоскопічних показників розчинів та дисперсій, масової частки вимороженої вологи. Аналіз даних дозволяє зазначити, що вибір ХГПП необхідно здійснювати з урахуванням обмежень, які, з одного боку, визначено впливом ХГПП на функціонально-технологічні властивості м'ясних систем, а, з іншого, можливою товарною формою напівфабрикату – сухою сумішшю, що висуває додаткові вимоги щодо швидкості та повноти розчинення.

Аналіз одержаних даних із урахуванням визначених критеріїв вибору ХГПП дозволив обрати для використання у складі ККД такі інгредієнти:

– альгінат натрію, який набрякає протягом (30...40)·60 с, оборотність в'язкості розчинів якого складає 1,4, масова частка вимороженої вологи – 87,3±0,3 %, середній розмір кристалів льоду – 143±5 мкм;

– камедь ксантана, що набрякає протягом (30...40)·60 с, оборотність в'язкості розчинів якого складає 1,1, масова частка вимороженої вологи – 90,6±0,1 %, середній розмір кристалів льоду – 148±3 мкм;

– камедь тари, що набрякає протягом (25...40)·60 с, оборотність в'язкості розчинів якого складає 1,2, масова частка вимороженої вологи – 84,7±0,5 %, середній розмір кристалів льоду – 103±2 мкм;



Таблиця 3.18 – Узагальнені результати дослідження впливу заморожування – розморожування на властивості розчинів та дисперсій харчових гідроколоїдів полісахаридної природи (для розчинів 0,5% концентрації)

ХГПП	Тривалість набрякання, $\tau \cdot 60^{-1}$ , с	В'язкість, Па·с		Оборотність в'язкості ( $k$ ) розчинів, (за концентрації розчину 0,5 %)	Масова частка вимороженої вологи, %	Середній розмір кристалів льоду, мкм	Рекомендації до використання*
		до заморожування ( $\eta_{поч}$ )	після заморожування – розморожування ( $\eta_{зам}$ )				
КМЦ	40...60	0,048	0,072	1,5	96,0±0,3	138±3	±
МЦ	40...60	0,009	0,011	1,2	95,1±0,7	162±4	–
Альгінат натрію	30...40	0,009	0,013	1,4	87,3±0,3	143±5	+
Камедь ксантана	30...40	0,033	0,035	1,1	90,6±0,1	148±3	+
Камедь гуара	60...80	0,049	0,059	1,2	85,7±0,5	156±4	–
Камедь тари	25...40	0,029	0,036	1,2	84,7±0,5	103±2	+
КРД	60...80	0,037	0,015	0,4	89,7±0,2	157±5	–
к-карагінан	20...30	не досліджувалось у зв'язку з утворенням гелю чи неоднорідності системи			87,0±0,2	223±6	–
і-карагінан	8...10				82,5±0,3	243±6	–
Харчові волокна	20...25				86,2±0,4	173±4	+
<b>Критерії вибору</b>	<b>≤ 40</b>			<b>1,0 ≤ k ≤ 1,5</b>	<b>≤ 90</b>	<b>≤ 200</b>	

\*Примітка: «+» рекомендовано; «±» можливо; «–» не рекомендовано

– карбоксиметилцелюлоза, що набрякає протягом  $(40 \dots 60) \cdot 60$  с, оборотність в'язкості розчинів якого складає 1,5, масова частка вимороженої вологи –  $96,0 \pm 0,3$  %, середній розмір кристалів льоду –  $138 \pm 3$  мкм;

– харчові волокна, які набрякають протягом  $(20 \dots 25) \cdot 60$  с, масова частка вимороженої вологи –  $86,2 \pm 0,4$  %, середній розмір кристалів льоду –  $173 \pm 4$  мкм.

Під час розробки ККД для виробництва НМПЗ досліджено вплив заморожування – розморожування на в'язкість сумішей ХГПП. Ефективну в'язкість водних розчинів та дисперсій сумішей ХІКД визначали за методикою [116, 144]. Склад сумішей та вміст ХГПП обирали на основі даних інформаційних джерел та власних досліджень з урахуванням можливого синергетичного ефекту. Результати дослідження впливу заморожування – розморожування на в'язкість сумішей ХГПП наведено в табл. 3.19.

Встановлено, що зовнішній вигляд усіх розчинів у розмороженому стані не змінився – характеризуються однорідністю розчину. Розчинам на основі камеді ксантану та альгінату натрію чи камеді тари з 1,0 % вмісту за рахунок утворення гелеподібної структури виміряти в'язкість не було можливим. За результатами можна спостерігати зменшення в'язкості після заморожування – розморожування наступних розчинів: КМЦ та камедь ксантана 1,0 % (1:1) та (1:9).

Для всіх інших розчинів характерне збільшення в'язкості після заморожування – розморожування. Найбільш стрімке збільшення в'язкості після заморожування – розморожування у 1,5...1,9 рази спостерігається для розчинів КМЦ та альгінату натрію з 1,0 % вмісту (1:9) та (1:1); альгінату натрію та тари з 0,5 % вмісту (1:1) та з 1,0 % вмісту (1:1); камеді ксантана та альгінату натрію з 1,0 % вмісту (1:9).

Для інших розчинів характерне збільшення в'язкості у 1,1...1,4 рази: КМЦ та альгінату натрію, КМЦ та камеді тари, камеді ксантана та альгінату натрію, камедей ксантана та тари 0,5 % вмісту (1:1); КМЦ та камеді тари, альгінату натрію та камеді тари 1,0 % вмісту (1:9); КМЦ та альгінату натрію, КМЦ та камеді тари, альгінату натрію та камеді тари 1,0 % вмісту (9:1).

Доведено, що після заморожування – розморожування сумішей ХГПП підвищення в'язкості розчинів не є наслідком виморожування вологи та збільшення частки сухих речовин, а, вірогідно, заморожування приводить до асоціації молекул ХГПП з утворенням комплексів, наслідком чого є підвищення їх здатності до утримування вологи, що в деяких випадках приводить до гелеутворення.

Проведені дослідження впливу заморожування – розморожування на ефективну в'язкість розчинів сумішей ХГПП дозволяють стверджувати, що заморожування – розморожування впливає на всі розчини ХГПП. Тому, з урахуванням економічних міркувань раціонально обрати для рецептурного складу ККД на основі ХГПП суміш камеді ксантана та тари з 0,5 % вмісту (1:1), оскільки такий вміст ХГПП дозволить отримати систему високої в'язкості за малої кількості їх використання.

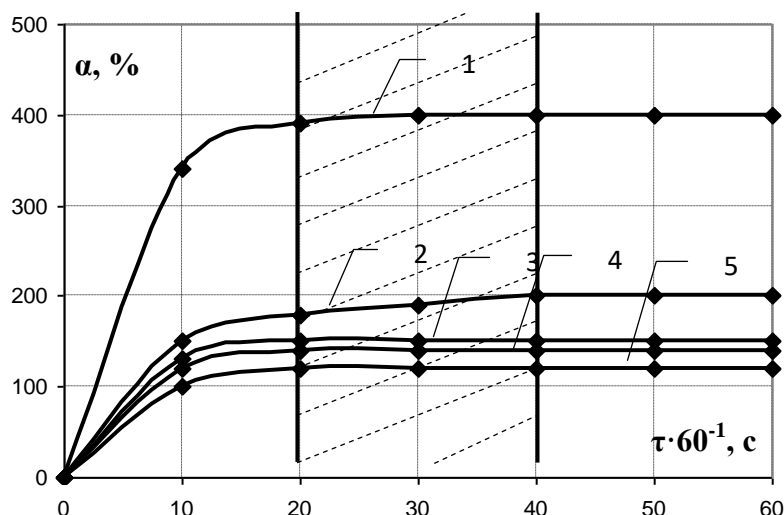
**Таблиця 3.19 – Показники в'язкості водневих розчинів сумішей ХГПП під впливом заморожування – розморожування за різного вмісту за  $\gamma=200 \text{ с}^{-1}$  ( $n=5, P \geq 0,95$ )**

Назва та вміст (%), ХГПП у складі сумішей		В'язкість, Па×с		Оборотність в'язкості розчинів ( <i>k</i> )
		до заморожування	після заморожування – розморожування	
КМЦ	Камедь ксантана			
0	1	0,084	0,094	1,1
0,1	0,9	0,114	0,110	0,9
0,25	0,25	0,034	0,036	1,1
0,5	0,5	0,107	0,105	0,9
0,9	0,1	0,139	0,149	1,1
1	0	0,186	0,229	1,2
КМЦ	Альгінат натрію			
0	1	0,019	0,043	2,3
0,1	0,9	0,021	0,040	1,9
0,25	0,25	0,026	0,037	1,4
0,5	0,5	0,059	0,082	1,5
0,9	0,1	0,141	0,148	1,0
1	0	0,186	0,229	1,2
КМЦ	Камедь тари			
0	1	0,064	0,179	2,8
0,1	0,9	0,173	0,183	1,1
0,25	0,25	0,043	0,048	1,1
0,5	0,5	0,182	0,191	1,0
0,9	0,1	0,164	0,185	1,1
1	0	0,186	0,229	1,2
Альгінат натрію	Камедь тари			
0	1	0,064	0,179	2,8
0,1	0,9	0,163	0,173	1,1
0,25	0,25	0,022	0,032	1,5
0,5	0,5	0,066	0,096	1,5
0,9	0,1	0,021	0,030	1,4
1	0	0,019	0,043	2,3
Камедь ксантана	Альгінат натрію			
0	1	0,019	0,043	2,3
0,1	0,9	0,025	0,045	1,8
0,25	0,25	0,038	0,043	1,1
0,5	0,5	-*	-	-
0,9	0,1	-	-	-
1	0	0,084	0,094	1,1
Камедь ксантана	Камедь тари			
0	1	0,064	0,179	2,8
0,1	0,9	-	-	-
0,25	0,25	0,060	0,073	1,2
0,5	0,5	-	-	-
0,9	0,1	-	-	-
1	0	0,084	0,094	1,1

\*Примітка: «-» визначення в'язкості не є можливим внаслідок гелеутворення

Враховуючи те, що до складу ККД входять декілька ХГПП, вважаємо доцільним дослідити кінетику процесів набрякання сумішей деяких ХГПП, а саме: харчових волокон, камеді тари, камеді ксантана, альгінату натрію, КМЦ. Дослідження процесів набрякання сумішей ХГПП під впливом технологічних чинників проводили згідно з методикою [178]. Вибір ХГПП робили на основі узагальнених даних та з урахуванням синергетичного ефекту. Як відомо, камедь тари з використанням в комбінації з іншими полісахаридами, зокрема, із камеддю ксантана, виявляє синергетичний ефект з утворенням еластичних драглів, які не формуються у випадку окремого застосування цих загусників.

На рис. 3.25 наведено кінетичні криві набрякання сумішей ХГПП, що містять харчові волокна з добавками камедей ксантана та тари, альгінату натрію, КМЦ. На графіках видно, що в досліджуваному інтервалі часу для даних сумішей характерним є обмежене набрякання. Криві набрякання досліджуваних ХГПП мають загальні закономірності, однак абсолютні значення кінетичних характеристик процесів набрякання різняться.



**Рисунок 3.25 – Кінетичні криві набрякання сумішей ХГПП у воді: 1 – харчові волокна + камедь ксантана; 2 – харчові волокна + камедь тари; 3 – харчові волокна + альгінат натрію; 4 – харчові волокна + камедь ксантана + камедь тари; 5 – харчові волокна + КМЦ**

Так, швидкість набрякання харчових волокон на початковій стадії процесу (протягом перших  $5 \cdot 60$  с) становить  $0,15 \cdot 10^{-5}$  кг/с, після чого вона поступово зменшується та через  $30 \cdot 60$  с досягається граничне набрякання. У процесі встановлюється стан динамічної рівноваги. Ступінь набрякання харчових волокон при цьому досягає 480...500 %. Аналогічний вид мали кінетичні криві набрякання за використання альгінату натрію, камеді ксантана та тари.

Розраховані значення швидкості набрякання сумішей мали приблизно однакові значення –  $(6,48...7,62) \text{ с}^{-1}$ , що свідчить про ідентичність природи ХГПП, що набрякають. В сумішах ХГПП рівноважний стан досягався вдвічі швидше, ніж для харчових волокон, а значення граничного набрякання були набагато нижчі. Особливо це стосувалося сумішей, що містять камедь ксантана

та альгінат натрію: їх ступінь набрякання не перевищував 150 % та 140 % відповідно, а швидкість набрякання –  $(0,04...0,05) \cdot 10^{-5}$  кг/с, тобто були в 3 рази менші, ніж у харчових волокон. З рис 3.25 видно, що обраним сумішам ХГПП для їх повного набухання достатньо 30-60 с.

Пояснити такі відмінності в кінетиці набрякання досліджуваних ХГПП лише їх природою неможливо, оскільки всі вони являють собою полісахариди целюлозної або близької до неї природи. Основним чинником, що впливає на швидкість та ступінь їх набрякання, є структура мікропорошку. У цьому випадку термін «структура» використовується для характеристики мікроструктури порошкоподібних ХГПП, яка визначається розмірами, формою й просторовим розташуванням окремих часток. Досліджувані харчові волокна завдяки своїй тривимірній капілярній структурі здатні поглинати й зв'язувати воду набагато краще, ніж баластні речовини з поверхневим розподілом часточок.

З досліджуваних ХГПП камедь ксантана характеризується найменшою питомою поверхнею –  $(9,07 \cdot 10^{-6})$  см<sup>2</sup> й найбільшою насипною густиною – 0,83 г/см<sup>3</sup>. Вона має щільно упаковану дрібнодисперсну структуру, що складається з гранул витягнутої форми з середнім значенням діаметру часток 191 мкм. Частина елементів камеді ксантана утворює вкрай щільні конгломерати. В її структурі зустрічаються мікропорожнини неправильної форми, але їх загальний об'єм не перевищує 6,5 % [179].

Встановлено, що за стаціонарних умов процес розчинення камеді ксантана відрізнявся низькою швидкістю. Це пов'язане з тим, що камедь ксантана являє собою високодисперсний порошок. Відразу ж після додання до нього води навколо порошинок камеді ксантану утворюються оболонки набряклого полімеру. Оскільки процес набрякання камеді ксантана відбувається швидше, чим процес його розчинення, то часточки, злипаючись між собою, утворюють суцільний прозорий набряклий шар, який ускладнює подальше проникнення молекул води до об'єму волокна.

Схожий ефект спостерігається й з доданням камеді ксантану до харчових волокон. Під час змішування порошків ХГПП камедь ксантану, що має більш високу дисперсність, заповнює порожнечі між харчовими волокнами, які у свою чергу відрізняються вкрай пухкою структурою (їх насипна густина становить 0,2 г/см<sup>3</sup>). Структура сумішей при цьому ущільнюється, після додання води харчові волокна вкриваються шаром набряклої камеді ксантану, що сповільнює дифузії молекул води в об'ємі волокна.

Для прискорення процесів набрякання сумішей, що містять камедь ксантану, до них не слід додавати відразу всю необхідну для цього воду. Спочатку необхідно долити таку кількість води, щоб вона тільки покрила поверхню суміші. Після утворення шару набряклої камеді ксантану систему інтенсивно перемішують, руйнуючи ці шари, та додають воду, що залишилася. Після перемішування гальмуючий ефект дії камеді ксантану зникає, і швидкість набрякання харчових волокон суттєво зростає.

Як видно з табл. 3.20, кінетичні характеристики процесу набрякання композиції, що містять камедь тари, мають більш високі значення, ніж

показники набрякання інших сумішей. У свою чергу, це пов'язане з більш високою розчинністю камеді тари порівняно з іншими ХГПП.

**Таблиця 3.20 – Кінетичні характеристики процесу набрякання сумішей харчових гідроколоїдів полісахаридної природи (n=5, P≥0,95)**

Склад сумішей ХГПП, мас. %	Кінетичні характеристики			
	$\omega \cdot 10^{-5}$ , кг/с	$k$ , с <sup>-1</sup>	$\tau_{max} \cdot 60^{-1}$ , с	$a_{\infty}$ , %
Харчові волокна : камедь ксантана – 88:12	0,04	6,84	20	125
Харчові волокна : камедь тари – 92:8	0,12	6,48	25	400
Харчові волокна : альгінат натрію – 85:15	0,04	7,08	30	140
Харчові волокна : КМЦ – 80:20	0,09	7,12	40	200
Харчові волокна : камедь ксантана : камедь тари – 80:12:8	0,05	7,62	20	150

Додання до харчових волокон камеді ксантану / камеді тари / альгінату натрію / КМЦ знижує швидкість та зменшує їх ступінь набрякання. Особливо сильно гальмуючий ефект виявляє камедь ксантану, за присутності якої ступінь граничного набрякання волокон не перевищував 125 %. Отримані дані дозволяють зробити висновки, що у водному середовищі відбувається обмежене набрякання сумішей харчових волокон з камеддю ксантана, камеддю тари, альгінатом натрію, КМЦ. Найбільш високі значення швидкості та ступеня набрякання характерні для харчових волокон:  $0,15 \cdot 10^{-5}$  кг/с та 500 % відповідно.

З урахуванням вимог до інгредієнтного складу сухих ККД (вміст та співвідношення окремих складових мають забезпечувати формування визначених функціонально-технологічних та функціонально-фізіологічних властивостей готової продукції) проведено дослідження з використання у їх складі функціональних інгредієнтів – лактози та лактулози, які узагальнено в роботі [156]. Експериментально досліджено вплив вищезначених дисахаридів на процес заморожування – розморожування розчинів та дисперсій ХГПП, в'язкість систем на їх основі та коефіцієнт оборотності, встановлено концентрації, за яких досягається позитивний вплив на властивості м'ясних посічених систем.

Доведено доцільність використання у складі сухих ККД як функціонального інгредієнту лактулози, яку відносять до пребіотиків – речовин, які здатні стимулювати накопичення та активність корисної кисломолочної мікрофлори внаслідок високої швидкості та мінімальних енергозатрат її ферментації (0,001 кг лактулози забезпечує такий же біфідогенний ефект, як (0,007...0,010) кг олігосахаридів). Встановлено раціональні концентрації її використання у складі ККД (0,5...3,0 %) на основі ХГПП з метою надання готової продукції функціональних властивостей.

Узагальнено результати дослідження впливу заморожування – розморожування на властивості сухі ККД на основі ХГПП (СККД). Доведено

(табл. 3.21), що СККД після заморожування – розморожування характеризуються наступними функціонально-технологічними властивостями:

– для СККД1 характерна тривалість набрякання протягом (15...20)·60 с, оборотність в'язкості розчинів складає 1,2, масова частка вимороженої вологи – 86,7 %, середній розмір кристалів льоду – 175 мкм;

– для СККД2 характерна тривалість набрякання протягом (20...30)·60 с, оборотність в'язкості розчинів складає 1,2, масова частка вимороженої вологи – 88,4 %, середній розмір кристалів льоду – 190 мкм;

– для СККД3 характерна тривалість набрякання протягом (30...40)·60 с, оборотність в'язкості розчинів складає 1,1, масова частка вимороженої вологи – 89,2 %, середній розмір кристалів льоду – 140 мкм.

**Таблиця 3.21 – Результати дослідження впливу заморожування – розморожування на властивості ККД на основі ХГПШ**

Склад СККД, мас. %	Тривалість набрякання, $\tau \cdot 60^{-1}$ , с	В'язкість, Па·с		Оборотність в'язкості розчинів ( $k$ )	Масова частка вимороженої вологи, %	Середній розмір кристалів льоду, мкм
		до заморожування	після заморожування – розморожування			
СККД1 – харчові волокна : камедь ксантану : камедь тари (80:12:8)	15...20	0,047	0,058	1,2	86,7	175
СККД2 – харчові волокна : альгінат натрію (85:15)	20...30	0,010	0,012	1,2	88,4	190
СККД3 – харчові волокна : карбоксиметилцелюлоза : лактулоза (78:10:12)	30...40	0,036	0,012	1,1	89,2	140
Критерії вибору	$\leq 40$	–	–	$1,0 \leq k \leq 1,5$	$\leq 90$	$\leq 200$

Одержані дані відповідають вимогам до використання СККД у складі НМПЗ.

Досліджено органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні та токсикологічні показники СККД та їх зміни під час зберігання.

Проведені дослідження дозволили обґрунтувати технологічні параметри та режими виробництва ККД, кріостабілізуючі властивості яких та раціональні параметри використання у складі м'ясних систем потребують подальшого дослідження.

Узагальнення результатів експериментальних досліджень стали підґрунтям для обґрунтування складу ККД на основі харчових гідроколоїдів полісахаридної природи та дозволяють прогнозувати виявлення їх кріостабілізуючих властивостей у складі м'ясних посічених систем під час заморожування – розморожування.

Розробка рецептурного складу та технологічної схеми виробництва композицій кріостабілізуючої дії на основі ХГПП. Аналітичні та експериментальні дослідження, спрямовані на обґрунтування технологічних параметрів одержання ККД, визначені закономірності впливу заморожування – розморожування на фізико-хімічні та функціонально-технологічні властивості ХГПП та їх зміни під впливом технологічних чинників дозволили визначити раціональні умови функціонування підсистеми С<sub>1</sub>, які закріплено як рецептурний склад (табл. 3.22) та параметри технологічного процесу виробництва СККД (рис. 3.26) (на прикладі СККД1).

**Таблиця 3.22 – Рецептурний склад композицій кріостабілізуючої дії на основі харчових гідроколоїдів полісахаридної природи**

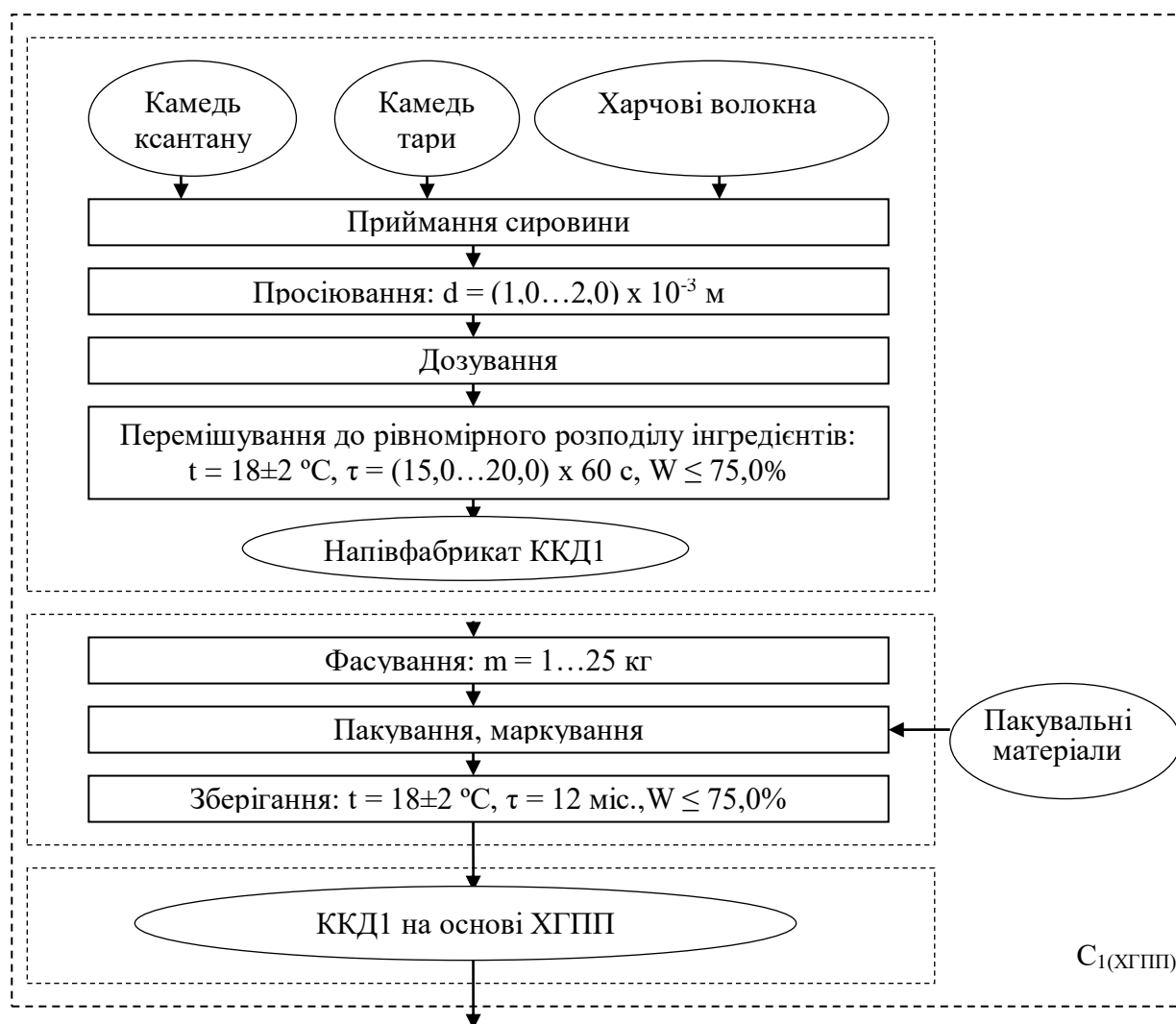
Сировина	Витрати сировини на 100 кг продукту, кг		
	СККД1	СККД2	СККД3
Камедь ксантана	12,2	–	-
Камедь тари	8,2	–	-
Альгінат натрію	–	15,3	-
КМЦ	-	-	10,6
Лактулоза	-	-	12,0
Харчові волокна	81,6	86,7	79,4
Разом	102,0	102,0	102,0
Вихід	100,0	100,0	100,0

В межах підсистеми С<sub>1</sub> (як складової системи, функціонування якої спрямовано на одержання НМПЗ) здійснюються технологічні операції з приймання сировини за якістю та кількістю; просіювання з метою видалення сторонніх домішок, дозування згідно з рецептурою. Експериментально визначено параметри перемішування інгредієнтів, за яких досягається рівномірне розподілення, – тривалість перемішування (15,0...20,0)·60 с, температура перемішування 18±2° С, вологість приміщення не більше 75,0 %. На етапі досліджень як контроль забезпечення однорідності суміші обрано в'язкість відновлених систем (за їх вмісту 2,0 %).

Відповідно до технологічної схеми надалі напівфабрикат СККД підлягає фасуванню масою від 1 кг до 25 кг залежно від потреб споживачів продукції, пакуванню у тару (4...5-шарові мішки з крафтпаперу, картонні ящики з поліетиленовими мішками-вкладишами, поліетиленові пакети), маркуванню та зберіганню (терміни та умови якого обґрунтовано на підставі дослідження змін органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних показників продукції).

Експериментально обґрунтовано технологічні параметри гідратації СККД (температура води питної, гідромодуль, тривалість гідратації за періодичного перемішування з одержанням в'язкої плинної системи). В технології НМПЗ вищеозначені системи можуть бути відокремленим напівфабрикатом (тривалість зберігання (4...6)·60 с, за температури (2...6)° С), який вводиться до м'яса подрібненого з подальшим перемішуванням до одержання однорідної системи.





**Рисунок 3.26 – Технологічна схема виробництва СККД1 на основі харчових гідроколоїдів полісахаридної природи**

За визначених технологічних параметрів, відповідно до обґрунтованого рецептурного складу, можна виробляти широкий асортимент СККД, «адресного» використання, до складу яких входить сіль кухонна, а також спеції, прянощі – перець чорний, білий, чорний духмяний, мускатний горіх та ін.

З урахуванням одержаних результатів аналітичних та експериментальних досліджень визначено шляхи використання СККД в технології НМПЗ (рис. 3.27). Запропоновано два види ККД на основі харчових емульгаторів (на основі тваринного білка тваринного та на основі ЕАГП) та сухі композиції кріостабілізуючої дії (СККД) – сухі суміші харчових гідроколоїдів полісахаридної природи:

- ККД на основі білка тваринного, які надалі позначено як ККД(Е1);
- ККД на основі ЕАГП – ККД(Е2);
- ККД на основі ХГПП (у вигляді сухих сумішей) – СККД1, СККД2, СККД3.

ККД у вигляді емульсійних систем ККД(Е) забезпечують у кінцевому продукті масову частку вологи (65...70) %, жиру (14...17) %, який залежно від виду ККД(Е) може бути олією соняшниковою рафінованою дезодорованою чи жиром тваринним (шпиком). Використання ККД у вигляді сухих сумішей (СККД) забезпечують у кінцевому продукті масову частку вологи (70...75) %, жиру (5...10) %.

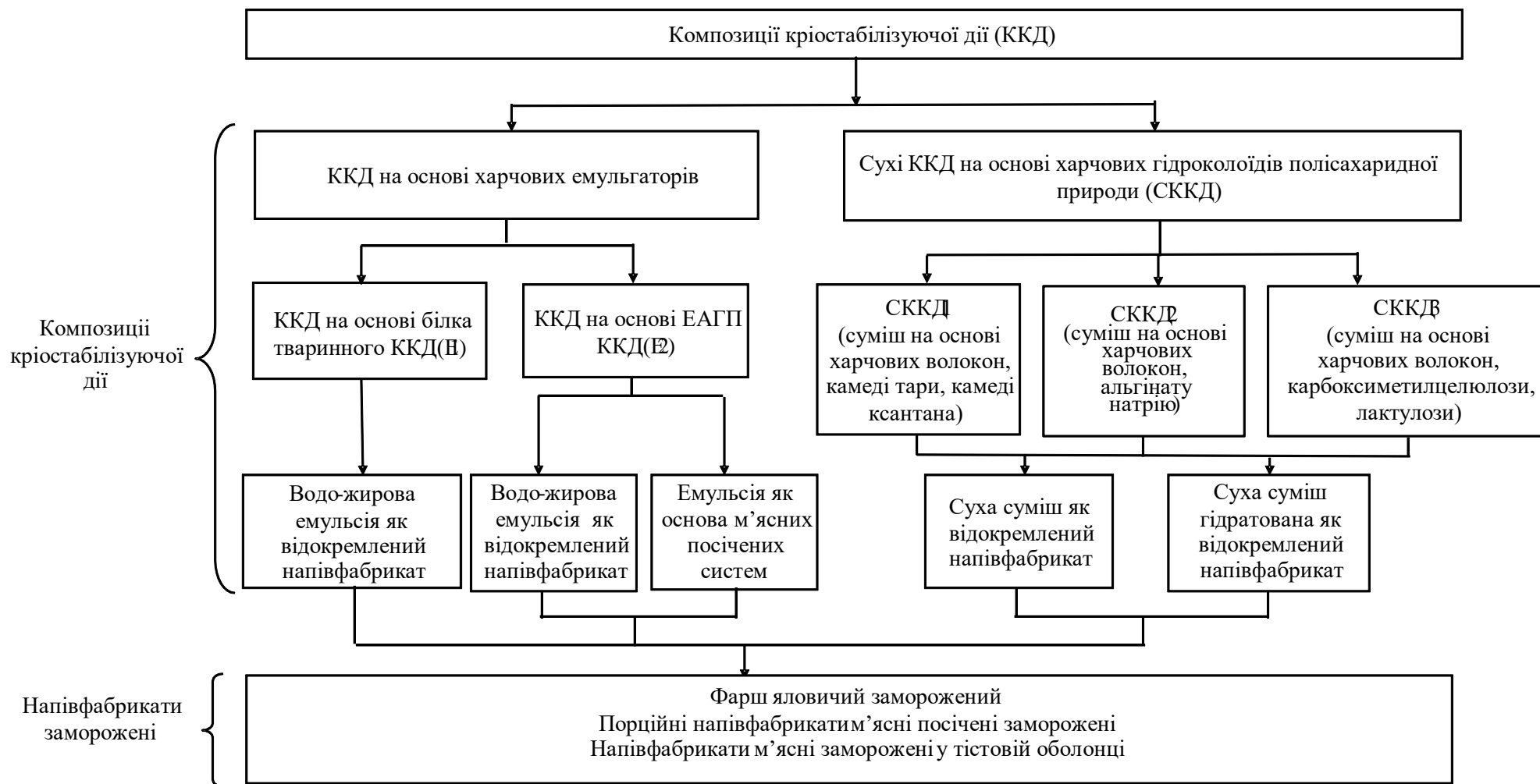


Рисунок 3.27 – Класифікаційна схема композицій кріостабілізуючої дії та шляхи їх використання в технології напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених

## ВИСНОВКИ

Визначено теоретичні передумови створення НМПЗ, сформульовано наукову концепцію та інноваційний задум нової продукції, в межах яких доведено доцільність використання ККД в технології НМПЗ в межах єдиного технологічного циклу «одержання ККД – одержання НМПЗ» з обов'язковою умовою збіжності організаційних принципів їх виробництва за традиційними схемами у м'ясопереробних підприємствах та закладах ресторанного господарства.

Доведено, що комплекс процесів, які мають місце під час заморожування – розморожування м'ясних систем, не може бути описаний в рамках теорії виморожування істинних розчинів. Розроблено фізико-математичну модель процесу кристалізації, в межах якої м'ясна система розглядається як колоїдне капілярно-пористе тіло, а процес кристалізації – як накладення двох процесів – виморожування вільної вологи (основний процес) та конкуруючий процес збільшення енергії зв'язку для зв'язаної вологи. Теоретично спрогнозовано та експериментально підтверджено, що ефективна питома теплоємність як інформаційний показник дозволить здійснювати об'єктивну оцінку перебігу теплофізичних, фізичних, фізико-хімічних, процесів у харчових системах під час заморожування – розморожування.

Узагальнено експериментальні дані з дослідження впливу заморожування – розморожування на теплофізичні, фізико-хімічні та функціонально-технологічні властивості м'ясних систем, визначено стратегію забезпечення їх стабільності, яка полягає у забезпеченні колоїдної стабільності білків м'яса, забезпеченні формування дрібних кристалів льоду на етапі заморожування, а після зберігання та розморожування – відновлення первинних властивостей м'ясної сировини.

Обґрунтовано технологічні параметри одержання ККД(E1) у вигляді стійких до впливу заморожування – розморожування емульсійних систем на основі білка тваринного та олії соняшникової. Встановлено раціональні параметри їх одержання – вміст БТ – (6,0...8,0) % (у водній суспензії) та (3,0...4,0) % (в емульсійній системі); умови регідратації БТ –  $t=(10,0...12,0)$  °С,  $\tau=(30\pm 1)\cdot 60$  с, вміст камеді ксантану – (0,10...0,15) %; вміст жирової фази – (40...60) %, які за впливу заморожування – розморожування характеризуються високими показниками агрегативної та кінетичної стабільності.

Обґрунтовано технологічні параметри одержання ККД(E2) у вигляді стійких до впливу заморожування – розморожування емульсійних систем на основі ЕАГП (вміст у складі яких МАГ та ДАГ дорівнює 54,2 %, ГЛБ – 6,1) та жиру тваринного. Встановлено раціональні параметри їх одержання – вміст ЕАГП у складі м'ясної емульсії – (0,5...0,8) %, масову частку жирової фази у ККД – (50...60) %.

Досліджено вплив заморожування – розморожування на фізичні та фізико-хімічні властивості розчинів та дисперсій ХГПП. На підставі визначених закономірностей зміни в'язкості ХГПП після заморожування – розморожування

встановлено, що її характер визначається оборотністю та коливається в діапазоні (0,4...1,5) (для 0,5 % розчинів) та (0,4...2,8) (для 1,0 % розчинів), доведено пластифікуючу та стабілізуючу дію ХГПП на характер кристалоутворення та зменшення масової частки вимороженої вологи в разі збільшення їх концентрації. З урахуванням визначених критеріїв вибору ХГПП обрано до використання у складі СККД такі інгредієнти: альгінат натрію, камедь ксантану, камедь тари, карбоксиметилцеллюлоза, харчові волокна. Запропоновано три варіанти СККД1, СККД2, СККД3.

Розроблено технологічні схеми та науково обґрунтовано раціональні параметри виробництва ККД у вигляді емульсійних систем на основі білка тваринного, емульгаторів ацилгліцеринної природи, сухих сумішей харчових гідроколоїдів полісахаридної природи як проміжних чи відокремлених напівфабрикатів у технології НМПЗ. Проведені дослідження покладено в основу затвердженої нормативної документації, що регламентує виробництво ККД.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вода в пищевых продуктах и для пищевых продуктов / [Н. И. Погожих та ін]. – Х. : ХДУХТ, 2013. – 177 с.
2. Эванс Дж. А. Замороженные пищевые продукты: производство и реализация [пер. с англ.] / Дж. А. Эванс. – СПб. : Профессия, 2010. – 440 с.
3. Головкин Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов / Н. А. Головкин. – М. : Легкая пищевая пром-сть, 1984. – 240 с.
4. Пак А. О. Вплив композиції криопротекторної дії на кількість вимороженої вологи у м'ясних січених напівфабрикатів / А. О. Пак, М. О. Янчева, Ю. В. Яковлева // Тематичний збірник наукових праць Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2011. – Вип. 27. – С. 281–286.
5. Пушкарь Н. С. Введение в криобиологию / Н. С. Пушкарь, А. М. Белоус. – К. : Наукова думка, 1975. – 343 с.
6. Замораживание мяса и субпродуктов является одним из наиболее совершенных методов консервирования, обеспечивающих длительное хранение продукта [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://rudocs.exdat.com>.
7. Dumont F. Influence of cooling rate on *Saccharomyces cerevisiae* destruction during freezing: unexpected viability at ultra-rapid cooling rates / F. Dumont, P. A. Marchal, P. Gervais // *Cryobiology*. – 2003. – №46 (1). – P. 33–42.
8. Влияние скорости замораживания на кристаллообразование и качество пищевых продуктов [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.coolreferat.com>
9. Масліков М. М. Способи швидкого заморожування харчових продуктів / М. М. Масліков // *Мясное дело*. – 2006. – №1. – С. 16–25.
10. Семенова А. А. Перспективы применения криопротекторов при производстве замороженных полуфабрикатов / А. А. Семенова, М. В. Трифонов, Ф. В. Холодов // *Актуальные проблемы мясной промышленности: инновации, качество, управление: сб. докл. 10-й междунар. науч. конф. памяти В. М. Горбатова*. – М., 2007. – С. 133–135.
11. Hey J. A combined DSC-optical video microscope for crystallization studies / J. Hey, P. M. Mehl, D. R. MacFarlane // *J. of Thermal Analysis*. – 1997. – № 49. – P. 991–998.
12. MacDonal G. A. Carbohydrates as cryoprotectants for meats and surimi / G. A. MacDonal, T. Lanier // *Food Technology*. – 1991. – № 45. – P. 150–155.
13. Salt, cryoprotectants and preheating temperature effects on surimi-like material from beef or pork / [S. Park, M. S. Brewer, F. K. McKeith et al.] // *Journal of Food Science*. – 1996. – № 61. – P. 790–795.
14. Krokida M. K. Heat transfer coefficient in food processing : Compilation of literature data / M. K. Krokida, N. P. Zogzas, Z. B. Maroulis // *Intern. J. of Food Properties*. – 2002. – №5 (2). – P. 435–450.

15. Большаков С. А. Холодильная техника и технология продуктов питания : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / С. А. Большаков. – М. : Издат. центр «Академия», 2003. – 304 с.
16. Hansen E. Chemical and Physical Changes in Pork during Freezing and Frozen Storage: PhD thesis / Department of Dairy and Food Science, The Royal Veterinary and Agricultural University. — Frederiksberg, Denmark, 2004 – 182 с.
17. Survival mechanisms of vertebrate ectotherms at subfreezing temperatures: applications in criomedicine / [J. P. Castazo, R. E. Lee Jr., Al. DeVries et al.] // FASEB J. – 1995. – №9 (5). – P. 351-358.
18. Поляк Е. Заморожування та охолодження харчових продуктів / Е. Поляк // Холод. – 2007. – №4. – С. 38–40.
19. Жаринов А. И. Активность воды в водных гелях пищевых гидроколлоидов / А. И. Жаринов, Л. Ф. Митасёва, К. Г. Спасский, С. Г. Юзов // Мясная индустрия. – 2009. – №12. – С. 27–29.
20. Горбатов А. В. Реология мясных и молочных продуктов. – М. : Пищевая пром-сть, 1979. – 383 с.
21. Sielaff H. Influence of temperature cooling and freezing of meat H. Sielaff, H. Schleusener // Food Technology. – 2005. – № 1–2. – P. 34–39.
22. Бараненко А. В. Холодильная технология пищевых продуктов : учеб. для вузов : в 3 частях / А. В. Бараненко, В. Е. Куцакова, Е. И. Борзенко, С. В. Фролов. – Ч. 1. Теплофизические основы. – СПб. : ГИОРД, 2007. – 224 с.
23. Water in food [Electronic resource] – Available at : <http://www.azaquar.com/en/doc/water-in-food>.
24. Заяс Ю. Ф. Качество мяса и мясопродуктов / Ю. Ф. Заяс. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 480 с.
25. Silva L. Freezing / L. Silva, J. Stojanovic [Electronic resource] – Available at : <http://silvalab.fsnhp.msstate.edu/FREEZING%20.pdf>
26. Филиппов В. И. Холодильная технология пищевых продуктов / В. И. Филиппов, М. И. Кременевская, В. Е. Куцакова. – СПб. : ГИОРД, 2008. – 576 с.
27. Баль-Прилипко Л. В. Властивості, структура та роль води у забезпеченні якості м'ясних продуктів / Л. В. Баль-Прилипко // М'ясні технології світу. – 2010. – №8–9. – С. 48–52.
28. Охлаждение мяса и мясных продуктов // Мясное дело. – 2003. – №12. – С. 5–7.
29. Винникова Л. Г. Технология мяса и мясных продуктов / Л. Г. Винникова. – Киев: Фирма «НИКОС», 2006. – 600 с.
30. Freezing Meats [Electronic resource] – Available at : <http://www.meatsandsausages.com/sausage-making/freezing-meat>.
31. Шарпе А. А. Влияние замораживания на функционально-технологические свойства мясных систем / А. А. Шарпе, Н. Г. Азарова, Е. Д. Янковая, А. А. Близнюк // Харчова наука і технологія. – 2009. – №2 (7). – С. 12–14.

32. К теории тепло- и массоотдачи при холодильной обработке мясopодуктов в бpеде влажного воздуха / В. А. Загоруйко, А. А. Голиков, Ф. П. Бедин // Сучасні проблеми холодильної техніки та технології та : зб. наук. пр. / Одеська держ. акад. холоду. – Одеса, 2001. – С. 83–84.
33. Рогов И. А. Производство быстрозамороженных пищевых продуктов [Электронный ресурс] / И. А. Рогов, Б. С. Бабакин, Ю. А. Фатыхов. – Режим доступа : <http://www.holodilshik.ru>.
34. Zayas J. F. Functionality of Proteins in Food / Joseph F. Zayas // Springer-Verlad Berlin Heidelberg. – 1997. – 177 p.
35. Hanafusa N. Cellular injury and resistants in freezing organism / N. Hanafusa // Proc. Int. conf. on low temp. Sci Supporo. – Japan, 1966. – Vol. 2. – P. 34–50.
36. Awad A. Chrmical Deterioration of Frozen Bovine Muscle at -4 °C / A. Awad, W. Powrie, I. Fennema // Food Science. – 1968. – Vol. 33, № 3. – P. 227–235.
37. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов: расчет и испытание : [пер. с англ.] / Р. Стеле. – СПб : Профессия, 2006. – 460 с.
38. Базарнова Ю. Г. Ускоренное тестирование срока хранения замороженных мясных продуктов / Ю. Г. Базарнова, К. Ю. Поляков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 2. – С. 14–19.
39. Охлаждение и замораживание [Электронный ресурс] – Режим доступа : [http://holod-delo.ru/art\\_ic\\_7\\_2002.htm](http://holod-delo.ru/art_ic_7_2002.htm)
40. Grosch W. Ablauf und Analitik des oxidation Fettverderbs / Werner Grosch // Lebensmittel – untersuch und forsch. – 1975. – Bd. 157, № 2. – S. 70–83.
41. Дузу П. Криобиохимия / П. Дузу [пер. с англ. Б. Сергеева ; под ред. Г. Сергеева]. – М. : Мир, 1980. – С. 147–157.
42. Годжиев Р. С. Рецептуры и технологии быстрозамороженных мясных рубленых полуфабрикатов с использованием соевого творога : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Годжиев Руслан Солтанбекович. – Москва, 1997. – 134 с.
43. Яблоненко Л. А. Исследование влияния глубокого замораживания на качество рубленых мясных полуфабрикатов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Яблоненко Людмила Александровна. – Улан-Удэ, 2008. – 99 с.
44. Стрингер М. Охлажденные и замороженные продукты : [пер. с англ.] / М. Стрингер, К. Денис. – СПб. : Профессия, 2004. – 496 с.
45. Kotula A. W. Evaluatong of beef patties containing soy protein, during 12-mounth trozen storage / A. W. Kotula, G. G. Twigg, E. P. Young // Food Science. – 1976. – Vol. 41, № 5. – P. 243.
46. Гунар Е. Влияние способа замораживания на саркоплазматические и миофибриллярные белки мяса / Е. Гунар, Г. Якубов, А. Каллинарская // Холодильная техника. – 1973. – № 11. – С. 28–31.
47. Connell J. Changes in amount of myosin extrable from cool flash during storage at -14 °C / J. Connell // Science Food and Agriculture. – 1962. – Vol. 13, № 11. – P. 231–233.
48. Holtzer A. On the spontaneous aggregation of myosin / A. Holtzer // Arch. Biochem. Biophys. – 1956. – Vol. 64. – P. 507.

49. Соколов А. А. Физико-химические и биохимические основы технологии мясопродуктов / А. А. Соколов. – М. : Пищевая пром-сть, 1966. – 490 с.
50. Журавская Н. К. Повышение стабильности свойств мясных полуфабрикатов при низкотемпературном воздействии за счет введения белковых добавок / Н. К. Журавская, В. В. Куликова, С. В. Осипов // Холодильная техника. – 1981. – № 6. – С. 20–22.
51. Журавская Н. К. Качество быстрозамороженных полуфабрикатов и готовых изделий из рубленого мяса / Н. К. Журавская. – М., 1994. – 125 с.
52. Замораживания мяса в полутушах [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://uash.com.ua/meat/10-freezing.html>.
53. Baranenko D. A. Changes of beef protein fraction in "freezing-storage-heat treatment" cycle / D. A. Baranenko, M. Salami // Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda. – 2014. – №4. – P. 15–18.
54. Некоторые аспекты хранения быстрозамороженных готовых блюд и полуфабрикатов в полимерных пленочных материалах / [А. М. Сивачева, Н. Т. Донцова, Л. А. Ульянова и др.] // Мороженое и быстрозамороженные продукты. – 2001. – №1. – С. 63–66.
55. Changes in the Spoilage-Related Microbiota of Beef during Refrigerated Storage under Different Packaging Conditions / [D. Ercolini, F. Russo, E. Torrieri et al.] // Appl Environ Microbiol. – 2006. – № 72 (7). – P. 4663–4671.
56. Joseph Kerry. Meat processing: Improving quality / Joseph Kerry, John Kerry, D. Ledard // CRC Press. Taylor&Francis Group. – Boca Raton ; Boston ; New York ; Washington (DC), 2002. – 440 p.
57. Янчева М. О. Фізико-хімічні та біохімічні основи технології м'яса і м'ясопродуктів / М. О. Янчева, Л. В. Пешук, О. Б. Дроменко. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 309 с.
58. Рогов И. А. Общая технология мяса и мясопродуктов / И. А. Рогов, А. Г. Забашта, Г. П. Казюлин. – М. : Колос, 2000. – 367 с.
59. Постольски Я. Замораживание пищевых продуктов / Я. Постольски, З. Груда. – М. : Пищевая промышленность. 1978. – 606 с.
60. Баль-Прилипко Л. В. Роль жирів у формуванні якісних характеристик м'ясної сировини / Л. В. Баль-Прилипко // М'ясні технології світу. – 2011. – № 1.
61. Масліков М. М. Сучасні способи холодильного оброблення м'ясопродуктів / М. М. Масліков // Мясное дело. – 2005. – №4. – С. 32–33.
62. Effect of chilling, freezing and thawing on meat quality: a review / [E. Aidani, B. Aghamohammadi, M. Akbarian et al.] // International Journal of Biosciences. – 2014. – Vol. 5, № 4. – P. 159–169.
63. Influence of lipids on ice formation in crioprotective media / [A. A. Andreev, D. G. Sadikova, C. Labbe et al.] // Biophysics. – 2008. – Vol. 53, № 4. – P. 283–285.
64. Lillford P. J. Texturisation of Proteins / P. J. Lillford ; Eds. J. Mitchel, J. Branshake // Functional properties of food macromolecules. – 1986. – P. 26–31.
65. Pearson A. M. Lipid oxidation in meat products. A review / A. M. Pearson // J. of the American Oil Chemists Society. – 1971. – Vol. 48, № 10. – P. 547–549.



66. Obanu Z. F. Lipid-protein interactions as agents of quality deterioration in intermediate moisture meats: an appraisal / Z. F. Obanu, D. A. Ledward, R. A. Lawrie // *Meat Science*. – 1980. – Vol. 4, № 2. – P.79–88.
67. Partmann W. Some aspects of protein changes in frozen foods / W. Partmann // *Ernahrungswiss.* – 1977. – Bd. 16, № 3. – P. 167–175.
68. Pokorny S. Influence of interaction of protein with oxidized lipids on nutrition and sensory value of food / S. Pokorny, J. Davidek // *Acta aliment. pol.* – 1979. – Vol. 5, № 2. – P.87–95.
69. Akhtar S. Effect of Thawing on Frozen Meat Quality : A comprehensive Review / S. Akhtar, M. I. Khan, F. Faiz // *Journal of Food Sciences*. – 2013. – №23 (4). – P. 198–211.
70. Кудряшов Л. С. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов / Л. С. Кудряшов. – М. : ДеЛи принт, 2008. – 160 с. Publishing. – 2010 . – 557 p.
71. Is there «Bound Water» in Foods? [Electronic resource] – Available at : <http://www.aqualab.com/education/is-there-bound-water-in-foods>.
72. Рогожин В. В. Биохимия животных / В. В. Рогожин. – СПб. : ГИОРД, 2009. – 552 с.
73. Frozen meat: loss of Water and Freezer Burn [Electronic resource] – Available at : [http://www.meatupdate.csiro.au/data/MEAT\\_TECHNOLOGY\\_UPDATE\\_00-6.pdf](http://www.meatupdate.csiro.au/data/MEAT_TECHNOLOGY_UPDATE_00-6.pdf)
74. Холодов Ф. В. Разработка композиций пищевых добавок криопротекторного действия для сохранения качества мясных полуфабрикатов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Холодов Федор Васильевич. – М., 2011. – 107 с.
75. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов : учеб. для вузов : в 3 частях / А. В. Бараненко, В. Е. Куцакова, Е. И. Борзенко, С. В. Фролов. – Ч. 3. Теплофизические основы. – М. : КолосС, 2004. – 249 с.
76. Актуальные проблемы длительного хранения мяса в замороженном виде [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://limited.rosreserv.ru>.
77. Handbook of Meat Processing / ed. by Fidel Toldrá // Blackwell Publishing. – 2010 . – 557 p.
78. Данилова Н. С. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов : учебное пособие / Н. С. Данилова. – М. : КолоС, 2008. – 28 с.
79. Bartkowski L. Quality changes of beef steaks stored in controlled gas atmosphere containing high or low levels of oxygen / L. Bartkowski, F. D. Dryden, J. A. Marchello // *J. Food Prot.* – 1982. – № 45. – P. 41–45.
80. Hanenian R. Effect of freezing and thawing on meat quality / R. Hanenian, G. S. Mittal // *Journal of Food, Agriculture & Environment*. – 2004. – №2 (3&4). – P. 74–80.
81. Стефановский В. М. Закономерности морозильного хранения мяса и мясопродуктов / В. М. Стефановский // *Все о мясе*. – 2011. – № 3. – С. 10–11.

82. Алмаши Э. Быстрое замораживание пищевых продуктов : [пер. с венг.] / Э. Алмаши, Л. Эрдели, Т. Шарой. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 408 с.
83. Фізичні властивості харчових продуктів. [Електронний ресурс]. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.comodity.ru/foodcommodity/general/4.html>
84. Рынок замороженных полуфабрикатов в Украине [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://rb.com.ua/rus/marketing/tendency/8676>.
85. Холодильная техника и технология : учебник / А. В. Руцкой [и др.]; под ред. А. В. Руцкого. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 296 с.
86. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы) / Рогов И. А., Куцакова В. Е., Филиппов В. И., Фролов С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1999. – 176 с.
87. Ice crystallization and its control in frozen systems / [J. M. V. Blanshard, F. Franks eds.] // Food Structure and Behavior. Academic Press. – London, 1987. – P. 51–56.
88. Холодильная технология пищевых продуктов : учебник для вузов в 3 кн. Ч. I. Теплофизические основы / [А. Н. Бараненко и др.]. – СПб. : ГИОРД, 2007. – 224 с.
89. Tornaniak A. Cryoprotectants for frozen red meats / A. Tornaniak, I. Tyszkiewicz, J. Komosa // Meat Science. – 1998. – № 50. – P. 365–371.
90. Мищанчук Н. Морозить быстро – хранить долго / Н. Мищанчук, Н. Лев // Мир продуктов. – 2005. – №6 (23). – С. 52–54.
91. Miiller G. Crystal Growth from Fundamentals to Technology / G. Miiller, J. Metois, P. Rudolph. – Amsterdam : Elsevier, 2004. – 368 p.
92. Рогов И. А. Технология мяса и мясных продуктов : в 3-х книгах / И. А. Рогов, А. Г. Забашта, Г. П. Казюлин. Книга 1. Общая технология мяса. – М. : Колос, 2009. – 565 с.
93. Глушков О. А. Исследование состояния воды в замороженных мясных системах с полисахаридными добавками / О. А. Глушков, Е. Д. Янковая, Л. Г. Винникова // Харчова наука і технологія. – 2009. – №2 (7). – С. 16–17.
94. Радешпиль Э. Техника и технология заморозки / Э. Радешпиль, Х. Шлойзенер, Х. Зилафф // Мясо-молоко. – 2003. – № 3. – С. 10-17.
95. Чижов Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г. Б. Чижов. – М. : Пищ. пром-сть, 1979, – 271 с.
96. Холодильні установки : підручник / І. Г. Чумак [та ін.]; за ред. І. Г. Чумака. – 6-е вид., перероб. та доп. – Одеса : Пальміра, 2006. – 552 с.
97. Оніщенко В. П. Наукові основи процесів та апаратів холодильної технології харчових продуктів : дис... д-ра техн. наук: 05.18.14 / Оніщенко Володимир Петрович. – Одеса, 2000.– 415 с.
98. Холодильная техника : учебник / В. Ф. Лебедев [и др.]; под ред. В. Ф. Лебедева. – М. : Агропромиздат, 1986. – 335 с.
99. Холодильная техника и технология : учебник / А. В. Руцкой [и др.] ; под ред. А. В. Руцкого. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 296 с.

100. Потапов В. А. Кінетика явищ переносу в процесі сушіння: монографія/LAPLAMBERT AcademicPublishing, Deutschland/ Германія. – 2013, 319 с.
101. Теоретическая физика : учеб. пособ. для вузов. В 10 т. Т. X. Физическая кинетика / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – 2-е изд., испр. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 536 с.
102. Изделия кулинарные и полуфабрикаты из рубленого мяса. Правила приемки и методы испытаний : ГОСТ 4288-76. – [Взамен ГОСТ 4288-62 ; введ. 1977-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 14 с.
103. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов : ГОСТ 26929-94. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1994. – 10 с.
104. Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов : ГОСТ 26668-85. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 4 с.
105. Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов : ГОСТ 26669-94. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1994. – 9 с.
106. Продукты пищевые. Методы культивирования микроорганизмов : ГОСТ 26670-91. – М. : Стандартиформ, 2005. – 7 с.
107. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / [О. Н. Сафонова и др.]. – Х. : ХГАТОП, 2000. – 200 с.
108. Ратушный А. С. Математико-статистическая обработка опытных данных в технологии продуктов общественного питания : метод. указания / А. С. Ратушный, В. Г. Топольник. – М. : Рос. экон. академия им. Г. В. Плеханова, 1993. – 176 с.
109. Румшинская Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинская. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
110. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 263 с.
111. C/C++. Программирование на языке высшего уровня. – СПб. : Питер, 2006. – 461 с.
112. Продукты мясные. Метод определения содержания влаги : ГОСТ 9793-74. – [Взамен ГОСТ 9793-61 ; введ. 1975-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
113. М'ясо та м'ясні продукти. Визначення вмісту азоту (контрольний метод) (ISO 937:1978, IDT) : ДСТУ ISO 937:2005. – [Чинний від 2007-01-07]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 10 с.
114. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення загального вмісту жиру (ISO 1443:1973, IDT) : ДСТУ ISO 1443:2005. – [Чинний від 2008-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 9 с.
115. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення масової частки золи (ISO 936:1998, IDT) : ДСТУ ISO 936:2008. – [Чинний від 2008-01-09]. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. – 10 с.

116. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик : навч. посібник / [А. Б. Горальчук та ін]. – Х. : ХДУХТ, 2006. – 63 с.
117. Антипова Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л. В. Антипова, И. А. Глотова. – М. : Колос, – 2001. – 376 с.
118. Антипова Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов : [учеб. пособие для студ, высш. учеб. заведений] / Л. В. Антипова, И. А. Глотова, И. А. Рогов. – М. : КолосС, 2004. – 571 с.
119. A method for determining the mass molecular composition of microbial exopolysaccharides / S. K. Votselko, T. P. Pirog, Y. R. Malashenko, T. A. Grinberg // J. Microbiol. Meth. – 1993. – 18. – P. 349 – 356.
120. Bradford M. A. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-gum binding / M. A. Bradford // Anal. Biochem. – 1976. – N72. – P. 248–254.
121. Захарова И. Я. Методы изучения микробных полисахаридов / И. Я. Захарова, Л. В. Косенко. – Киев : Наук. думка, 1982. – 201с.
122. Меркулов Г. А. Курс паталогистологической техники / Г. А. Меркулов. – Л. : МЕДГИЗ, 1969. – С. 275–279.
123. Тиняков Г. Г. Гистология мясопромышленных животных / Г. Г. Тиняков. – М. : Пищевая пром-сть, 1980. – 416 с.
124. Congelation of crioprotective solutions and cryopreservation of fish sperm / [A. A. Andreev, D. G. Sadikova, E. N. Gakhova et al.] // Biophysics. – 2009. – Vol. 54, № 5. – P. 612–616.
125. Юхневич М. М. Разработка технологии производства мороженого с растительным маслом : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Юхневич Мария Марьяновна. – СПб., 2004. – 92 с.
126. Салаватулина Р. М. Изменение функциональных свойств фарша вареных колбасных изделий, содержащих молочные и соевые белки / Р. М. Салаватулина, С. А. Алиев, В. Н. Любченко // Обзорная информация. Сер. Мясная промышленность. – М. : ЦНИИТЭИ мясомолпром, 1984. – С. 26–32.
127. Winter F. F. Zusatzstoffe fur die Wurstwarenproduction / F. F. Winter // Die Fleischereit. – 1982. – V. 33, – №5. – P. 305–305.
128. Krog N. Food Emulsion / N. Krog, K. Larsson, S. Friberg. – New-York : Marcel Dekker, 1990. – P. 127.
129. Пчелкина В. А. Разработка микроструктурных методов идентификации растительных компонентов в мясном сырье и готовых продуктах : автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук : спец. 05.18.04 «Технология мясных, молочных, рыбных продуктов» / В. А. Пчелкина. – М., 2010. – 16 с.
130. Салаватулина Р. М. Рациональное использование сырья в колбасном производстве / Р. М. Салаватулина. – М. : Агропромиздат. – 1985. – 256 с.
131. Коваленко В. О. Наукові основи технології переробки м'ясної сировини з використанням ферментних препаратів : дис. ... доктора техн. наук : 05.18.16 / Коваленко Валентина Олексіївна. – Х., 2009. – 327 с.

132. Kramlich C. Sausage products / C. Kramlich // The Science of meat and meat products / ed. by Price J. F. and Shaveiger B. S. – 1986. – Vol. 19. – P. 326–359.
133. Rivas R. Europe a tour through tradition and technology / R. Rivas, D. Osland // Meat Industry. – 1983. – Vol. 29, № 9. – P. 24–31.
134. Thedens P. Emylgatoren und emulgierende Kutterhcefsmittel fur die Herstellung von Bruhwurst / P. Thedens // Die Fleisherei. – 1984. – Vol. 35, № 2. – P. 118–119.
135. Jerold A. L. Collagen Biosynthesis / A. L. Jerold, Reiser M. Karen // Environmental Health Perspectives. – 1984. – Vol. 55. – P. 169–177.
136. Ресторанне господарство. Терміни та визначення : ДСТУ 3862:99. – [Чинний від 1999-01-10]. – К. : Держспоживстандарт України, 1999. – 40 с. (Національний стандарт України).
137. Напівфабрикати м'ясні та м'ясо-рослинні посічені. Технічні умови : ДСТУ 4437:2005. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 22 с. (Національний стандарт України).
138. Изделия кулинарные и полуфабрикаты из рубленого мяса. Правила приемки и методы испытаний : ГОСТ 4288-76. – [Действующий с 1977-01-01]. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 14 с.
139. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки : ГОСТ 9959-91. – М. : Стандартиформ, 2006. – 9 с.
140. Продукти м'ясні. Органолептичне оцінювання показників якості. Частина 2. Загальні вимоги : ДСТУ 4823.2:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 14 с. (Національний стандарт України).
141. Аналитические методы белковой химии / [под ред. В. Н. Ореховича]. – М. : Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – С. 648–649.
142. Шабанова Н. И. Методические указания к лабораторным занятиям спецкурса «Обмен аминокислот». Методы количественного определения белков и продуктов обмела / Н. И. Шабанова. – Х. : ХГУ, 1984. – С. 12–13.
143. Барковский В. Ф. Основы физико-химических методов анализа : учебник / В. Ф. Барковский, Т. Б. Городенцева, Н. Б. Топорова. – М. : Высш. школа, 1993. – 247 с.
144. Вискозиметр постоянного напряжения сдвига ВПМ-0,2М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации – (АЛЮ 2.842.003.ТО). – М., 1987. – 50 с.
145. Глушков О. А. Усовершенствование технологии производства быстрозамороженных мясных полуфабрикатов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / Глушков Олег Анатольевич. – Одесса, 2010. – 142 с.
146. Milani J. Hydrocolloids in Food Industry / J. Milani, G. Maleki // Food Industrial Process – methods and Equipment. – 2012. – №2. – P. 2–37.
147. Thomas R. Hydrocolloids: Fifteen Practical Tips / R. L. Tomas // Guaranteed gums. – 2007. – № 8. – P. 2–17.
148. Nishinari K. Structure and Properties of Food – Hydrocolloids – Gels, Emulsion and Foams / K. Nishinari // Food Ingredients J. Jpn. – 2008. – Vol. 213, – № 5. – P. 138–141.

149. Amit K. Ghosh. Polysaccharide-Protein Interactions and Their Relevance in Food Colloids [Electronic resource] / K. Ghosh Amit, Prasun Bandyopadhyay // The Complex World of Polysaccharides. The Complex World of Polysaccharides Edited by Desiree Nedra Karunaratne, Publisher: InTech. – 2012. – P. 395–408. – Available at : <http://cdn.intechopen.com/>.
150. Кушнир Ю. Эмульгаторы и эмульсии / Ю. Кушнир // Продукты & ингредиенты. – 2004. – № 1. – С. 16–19.
151. Питание & здоровье. Эмульгаторы Segemett. Основная информация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.him-holding.ru/pdf/sausage\\_emulsifiers\\_rus.pdf](http://www.him-holding.ru/pdf/sausage_emulsifiers_rus.pdf).
152. Шубина Г. Мировой рынок ингредиентов для мясной промышленности / Г. Шубина // Продукты & ингредиенты. – 2008. – № 1. – С. 63.
153. Олія соняшникова. Технічні умови : ДСТУ 4492:2005. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 26 с.
154. Тютюнников Б. Н. Химия жиров / Б. Н. Тютюнников. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Колос, 1992, – 448 с.
155. Осейко М. І. Технологія рослинних олій: Підручник / М. І. Осейко. – К. : Варта. – 2006. С. – 127–128, 250–251.
156. Звіт про науково-дослідну роботу № 06-09-11 (0108U009982) з теми «Наукові основи технології м'ясних заморожених напівфабрикатів з використанням функціональних систем кріопротекторної дії / Керівник теми М. О. Янчева. – Х. : ХДУХТ, 2011. – 150 с.
157. Ушкалова В. Н. Стабильность липидов пищевых продуктов / В. Н. Ушкалова. – М. : Агропромиздат, 1988. – С. 136–139.
158. Сарафанова Л. А. Пищевые добавки: Энциклопедия / Л. А. Сарафанова – СПб. : ГИОРД, 2004. – 808 с.
159. Емец В. Н. Пищевые добавки. Европейская классификация и описание / В. Н. Емец. – М. : ВАЭМ, 1998. – С. 72–73.
160. Нечаев А. П. Пищевые добавки / А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, А. Н. Зайцев. – М. : Колос, 2001. – 256 с.
161. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю. Г. Фролова и А. С. Гродского. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
162. Волков В. А. Коллоидная химия / В. А. Волков. – М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2001. – 640 с.
163. Измайлова З. Н. Структурообразование в белковых системах / З. Н. Измайлова, П. А. Ребиндер. – М. : Наука, 1974. – 268 с.
164. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – С. 371–377.
165. Алиев М. С. Разработка интенсивной технологии мясных замороженных кусковых полуфабрикатов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Алиев Микаэль Сергеевич. – М., 2009. – 196 с.
166. Винникова Л. Г. Оценка качества быстрозамороженных мясных полуфабрикатов с криопротекторными добавками / Л. Г. Винникова,

О. А. Глушков, Е. Д. Янковая // Харчова наука і технологія. – 2010. – №2 (11). – С. 47–48.

167. Ластухін Ю. О. Харчові добавки. Е-коди. Будова. Одержання. Властивості / Ю. О. Ластухін. – Львів : Центр Європи, 2009. – 836 с.

168. Ефимова И. Е. Стабилизирующие системы в мясоперерабатывающей промышленности / И. Е. Ефимова, А. С. Белодедова // Мясные технологии. – 2003. – №7. – С. 9.

169. Филлипс Г. О. Справочник по гидроколлоидам : [пер. с англ.] / Г. Филлипс, П. Вильямс. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 536 с.

170. Fonkwe L. G. Characterization of gelation time and texture of gelatin and gelatin-polysaccharide mixed gels / L. G. Fonkwe, G. Narsimhan, A. S. Cha // Food Hydrocolloid. – 2003. – Vol. 17. – P. 871–883.

171. Nishinari K. Structure and Properties of Food Hydrocolloids – Gels, Emulsions and Foams / K. Nishinari // Foods Food Ingredients J. Jpn. – 2008. – Vol. 213, № 5 – P. 138–141.

172. Sadar L. N. Rheological and textural characteristics of copolymerized hydrocolloidal solutions containaning curdlan gum / L. N. Sadar. – Department of Nutrition and Food Science. – 2004. – 111 p.

173. Kovačević D. Cryoprotective Effect of Trehalose and Maltose on Washed and Frozen Stored Beef Meat / Dragan Kovačević, Krešimir Mastanjević // Czech J. Food Sci. – 2011. – Vol. 29, № 1. – P. 15–23.

174. Семенова А. А. Криопротекторы или новые свойства «старых» пищевых добавок / А. А. Семенова, Е. К. Туниева, Ф. В. Холодов // Мясная индустрия. – 2010. – №9. – С. 14–16.

175. Hydrocolloid Gel Particles: Formation, Characterization, and Application / P. Burey, V. R. Bhandari, T. Howes, M. J. Gidley // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2008. – Vol. 48, № 5. – P. 361–377.

176. Пат. 13953 Україна, МПК А 23 L 1/00. Пристрій для визначення кількості вільної та зв'язаної вологи при температурах, близьких до температури рідкого азоту / Одарченко А. М., Одарченко Д. М., Погожих М. І. ; заявитель и патентообладатель ХДУХТ. – № 200511091 ; заявл. 23.11.05 ; опубл. 17.04.06, Бюл. №4. – 4 с.

177. Брунилина Л. Л. Химия пищевых добавок : учеб. пособие / Л. Л. Брунилина, А. И. Рахимов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2013. – 44 с.

178. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М. : Химия, 1988. – 464 с.

179. Сравнительное исследование микроструктуры и состава стабилизаторов растительного происхождения / [А. Н. Архипов и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – №4. – С. 51–57.

## **ДОДАТКИ**



## Додаток А

### Органолептичні та фізико-хімічні показники, амінокислотний склад та біологічна цінність БТ

*Таблиця А.1 – Органолептичні показники БТ*

Показник	Характеристика
Загальний вигляд та консистенція	Порошок тонкого помелу, сипучий, допускається незначне агломерування
Колір	Світло-кремовий, однорідний
Запах	Нейтральний, смаженого м'яса без стороннього запаху
Смак	Нейтральний, з присмаком смаженого м'яса без сторонніх присмаків

*Таблиця А.2 – Фізико-хімічні показники БТ*

Показник	Вміст	
	в продукті	на суху речовину
Масова частка сухих речовин, %	97,5±0,3	100,0
Масова частка білка, %	91,5±0,3	93,8
Масова частка жиру, %	4,8±0,1	4,9
Масова частка золи, %	1,2±0,1	1,3
pH 5% розчину	7,0±0,1	-

*Таблиця А.3 – Амінокислотний склад БТ*

Амінокислота (незамінні)	Вміст амінокислот		Амінокислота (замінні)	Вміст амінокислот	
	г/100 г білка тваринного	%		г/100 г білка тваринного	%
Валін	2,5	2,8	Аланін	7,3	8,1
Ізолейцин	1,5	1,7	Аргінін	6,7	7,4
Лейцин	3,3	3,7	Аспарагінова кислота	6,4	7,2
Лізін	3,6	4,0	Гістидін	1,1	1,2
Метіонін	0,8	0,9	Гліцин	18,2	20,3
Треонін	1,9	2,1	Глутамінова кислота	9,3	10,4
Триптофан	0,2	0,2	Оксипролін	9,2	10,3
Фенілаланін	2,0	2,2	Пролін	10,7	11,9
<b>Сума незамінних АК</b>	<b>15,8</b>	<b>17,6</b>	Серин	3,2	3,6
			Тирозин	1,4	1,6
			Цистин	0,4	0,4
			<b>Сума замінних АК</b>	<b>73,6</b>	<b>82,4</b>

Таблиця А.4 – Біологічна цінність БТ за амінокислотним скором

Незамінна амінокислота	Амінокислотний склад, %				
	Рекомендований вміст ФАО/ВООЗ, мг АК/1 г білка	М'ясо яловичини II сорту		БТ	
		мг/ г білка	скор, %	мг/ г білка	скор, %
Валін	50,0	55,3	110,6	27,0	54,0
Ізолейцин	40,0	42,9	107,2	16,0	40,0
Лейцин	70,0	78,5	112,1	36,0	51,4
Лізин	55,0	85,5	154,7	39,0	70,9
Метіонін+цистин	35,0	37,6	107,4	13,0	37,1
Треонін	40,0	43,0	107,5	21,0	52,5
Триптофан	10,0	10,7	107,0	2,0	20,0
Фенілаланін+тирозин	60,0	79,6	132,6	37,0	61,7

## Додаток Б

### Показники якості та безпеки ХІКД

*Таблиця Б.1 – Показники якості та безпеки ХІКД (за сертифікатами відповідності)*

Показник	Характеристика згідно сертифікату відповідності										
	КМЦ	МЦ	Альгінат натрія	Камедь ксантана	Камедь гуара	Камедь тари	КРД	к-каррагінан	і-каррагінан	Харчові волокна	
Е-індекс	E465	E461	E401	E415	E412	E417	E410	E407	E407	-	
<b>Органолептичні показники</b>											
Зовнішній вигляд, колір, запах, смак	Порошок від білого до кремового кольору, без запаху та смаку						Порошок від білого до жовтуватого кольору, без запаху та смаку		Порошок жовтуватого кольору, без запаху та смаку	Порошок, світло-жовтого кольору, без запаху та смаку	
<b>Фізико-хімічні показники</b>											
Розмір часток	200 меш	300 меш	<200 мк	200 меш	200 меш	180 меш	200 меш	120 меш	200 меш	30 мк	
рН (0,5% розчину)	7,5	7,6	7,3	6,0...8,0	5,9	4,5...7,0	6,0	8,9	10,4	4,0 ... 5,0	
Масова частка вологи, %	4,3	5,8	14,0	13,0±0,5	6,9	15,0±0,6	9,5	10,3	7,3	8,13	
Масова частка золи, %	18,0	17,4	23,0	13,0±0,5	1,2	1,5±0,1	0,7	17,9	24,6	23,6	
<b>Мікробіологічні показники</b>											
БГКП (колі-форми)	Відсутні у 5 г			Відсутні у 1 г			Відсутні у 5 г	Відсутні у 10 г	<3 MPN/г		
Бактерії роду <i>Salmonella</i>	Відсутні у 10 г			Відсутні у 25 г			Відсутні у 10 г	Відсутні у 5 г	Відсутні у 25 г		
Дріжджі і грибки	<180 кол/г	≤200 кол/г	<100 кол/г	180 кол/г	≤500 кол/г	20 кол/г	300 од/г	300 од/г	<100 кол/г		
<b>Токсичні показники</b>											
Плюмбум (свинець)	≤3,0 ppm	0,3 мг/кг, не більш	≤5,0 ppm	≤5,0 ppm	≤5,0 ppm	≤5,0 ppm	≤5,0 ppm	≤5,0 ppm	≤5,0 ppm	0,4 мг/кг, не більш	
Кадмій	≤1,0 ppm	0,05 мг/кг, не більш	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤2,0 ppm	≤2,0 ppm	0,03 мг/кг, не більш	
Арсен (миш'як)	≤3,0 ppm	0,2 мг/кг, не більш	≤3,0 ppm	≤3,0 ppm	≤3,0 ppm	≤3,0 ppm	≤3,0 ppm	≤2,0 ppm	≤2,0 ppm	0,2 мг/кг, не більш	
Меркурій (ртуть)	≤1,0 ppm	0,03 мг/кг, не більш	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	≤1,0 ppm	0,02 мг/кг, не більш	
Купрум (мідь)	≤5,0 ppm	5,0 мг/кг, не більш	≤10,0 ppm	≤10,0 ppm	≤10,0 ppm	≤10,0 ppm	≤10,0 ppm	≤5,0 ppm	≤5,0 ppm	5,0 мг/кг, не більш	
Цинкум	≤10,0 ppm	10,0 мг/кг, не більш	≤20,0 ppm	≤20,0 ppm	≤20,0 ppm	≤20,0 ppm	≤20,0 ppm	≤10,0 ppm	≤10,0 ppm	10,0 мг/кг, не більш	

Наукове видання

ЯНЧЕВА Марина Олександрівна  
ГРИНЧЕНКО Ольга Олексіївна  
ПОТАПОВ Володимир Олексійович  
ДРОМЕНКО Олена Борисівна  
ЖЕЛЄВА Тетяна Сергіївна

**ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ  
ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙ КРІОСТАБІЛІЗУЮЧОЇ ДІЇ  
В ТЕХНОЛОГІЇ НАПІВФАБРИКАТІВ М'ЯСНИХ  
ПОСІЧЕНИХ ЗАМОРОЖЕНИХ**

Монографія

Відповідальна за випуск зав. кафедри технології м'яса д-р техн. наук,  
проф. М. О. Янчева

Редактор Середенко М. О.

План 2017 р, поз. 21

---

Підп. до друку 28.12.2017 р. Формат 60x84 1/16 Папір офсет.  
Друк офсет. Ум. друк. арк. 7,3. Тираж 300 прим.

---

Видавець і виготівник  
Харківський державний університет харчування та торгівлі  
вул. Клочківська, 333, Харків, 61051  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4417 від 10.10.2012 р.