

---

---

# ТЕХНОЛОГІЯ СИРНОГО ПРОДУКТУ, ЗАМОРОЖЕНОГО З ДОДАВАННЯМ КОНЦЕНТРАТУ ЯДРА АРАХІСУ

М о н о г р а ф і я

За ред. П. В. Гурського, Ф. В. Перцевого

м. Суми-Харків  
Україна

м. Вроцлав  
Польща

м. Брашов  
Румунія



Суми  
Університетська книга  
2016

УДК 637.3:634.58  
ББК 36.95  
Т 38

Рецензенти:

**Сирохман І.В.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри товарознавства продтоварів Львівської комерційної академії;

**Кравченко М.Ф.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри технології і організації ресторанного господарства Київського національного торговельно-економічного університету;

**Оболкіна В.І.**, д.т.н., професор, професор кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів Національного університету харчових технологій

**Автори:** **Обозна М.В.**, к.т.н., доцент, СНАУ, Україна (підрозділи 2.2, 3.1, 3.6, 4.1); **Бідюк Д. О.**, к.т.н., доцент, СНАУ, Україна (підрозділи 3.3, 4.2); **Перцевой М. Ф.**, к.т.н., Україна (2.1, 3.4); **Гурський П. В.**, к.т.н., професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна (2.4, 3.5); **Шильман Л. З.**, к.т.н., професор, СНАУ, Україна (2.5, 3.2); **Гарнцарек Б. Ч.**, к.т.н., старший викладач, Економічний університет у Вроцлаві, Польща (1.1, 1.2); **Гарнцарек З. Е.**, д.с.-г.н., професор, Економічний університет у Вроцлаві, Польща (1.3, 1.5); **Бірка Адріана**, к.т.н., професор, Університет «Георге Баріциу» в Брашові, Румунія (1.4, 2.3); **Перцевой Ф. В.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри технології харчування, СНАУ, Україна (вступ і головна редакція розділів)

**Технологія сирного продукту, замороженого з додаванням концентрату ядра арахісу :** монографія / **Обозна М. В., Бідюк Д. О., Перцевой М. Ф.** та ін. ; за ред. **П. В. Гурського, Ф. В. Перцевого.** — Суми : Університетська книга, 2016. — 158 с.

ISBN 978-966-680-780-2

У монографії висвітлено новий спосіб отримання комбінованого молочно-рослинного виробу – м'якого сичужного сирного продукту, виготовленого за традиційною технологією та із застосуванням заморожування. Новий сирний продукт володіє покращеними органолептичними характеристиками, сталими фізико-хімічними властивостями, високою біологічною цінністю, зниженою собівартістю виробництва, безперервністю знаходження на споживчому ринку, що досягається інноваційним рішенням – сумісним використанням низки властивостей сухого знежиреного молока, концентрату ядра арахісу, борошна кукурудзяного та заморожування.

Призначено для викладачів, аспірантів і студентів, які займаються науковою роботою та розробкою новітніх технологій у галузі харчових технологій.

**УДК 637.3:634.58**  
**ББК 36.95**

- © **Обозна М.В., Бідюк Д.О., Перцевой М.Ф.** та ін., 2016
- © Сумський національний аграрний університет (Україна), 2016
- © Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка (Україна), 2016
- © Економічний університет (Вроцлав, Польща), 2016
- © Університет «Георге Баріциу» (Брашов, Румунія), 2016
- © ТОВ «ВТД «Університетська книга», оформлення, 2016

ISBN 978-966-680-780-2

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

БК – борошно кукурудзяне

ВУЗ – вологоутримуюча здатність

ЖУЗ – жирутримуюча здатність

ККФК – казеїнаткальційфосфатний комплекс

КЯА – концентрат ядра арахісу

СЗМ – сухе знежирене молоко

СПМ – сирний продукт м'який

ФАО/ВООЗ – всесвітня організація охорони здоров'я

ФТВ – функціонально-технологічні властивості

ЯМР – ядерно-магнітний резонанс

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА СИРНИХ ПРОДУКТІВ З РОСЛИННИМИ ДОБАВКАМИ.....	9
1.1. Сучасний стан молочної галузі.....	9
1.2. Аналіз технологічних і фізико-хімічних аспектів виробництва сирів і сирних продуктів.....	10
1.2.1. Перспективи використання сухого знежиреного молока в технології сирних продуктів.....	11
1.2.2. Аналіз обсягів виробництва та фізико-хімічних основ технологічного процесу виробництва сирних продуктів.....	12
1.3. Аналіз напрямків і сучасних технологій розробки сирних продуктів.....	17
1.4. Актуальність залучення рослинних компонентів до технологій сирних продуктів.....	18
1.4.1. Особливості використання рослинних білків.....	19
1.4.2. Використання зернових компонентів і крохмалевмісної сировини.....	24
1.4.3. Перспективи залучення олійрослинної.....	27
1.5. Вплив режимів заморожування на якість сирних продуктів.....	28
РОЗДІЛ 2. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СИРНОГО ПРОДУКТУ М'ЯКОГО З РОСЛИННИМИ ДОБАВКАМИ.....	32
2.1. Вивчення функціонально-технологічних властивостей основних видів рослинної сировини.....	32
2.2. Дослідження органолептичних показників модельної системи сирного продукту м'якого та засади розробки рецептури.....	35
2.3. Вивчення зміни поверхневих явищ модельної системи сирного продукту м'якого.....	42
2.4. Дослідження структурно-механічних властивостей модельної системи сирного продукту м'якого.....	46
2.5. Дослідження змін зв'язку вологи модельної системи сирного продукту м'якого.....	55
2.5.1. Дослідження ВУЗ.....	56
2.5.2. Дослідження зміни вологості залежно від тривалості дії високої температури.....	62
2.5.3. Визначення кінетичних параметрів ендотермічних процесів.....	65
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ СИРНОГО ПРОДУКТУ М'ЯКОГО ТА ВИВЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЙОГО ЯКОСТІ.....	69
3.1. Розробка рецептури та технології сирного продукту м'якого.....	69
3.2. Визначення хімічного складу сирного продукту м'якого.....	75

3.3. Дослідження білкового складу сирного продукту м'якого.....	80
3.4. Вивчення біологічної цінності сирного продукту м'якого.....	84
3.4.1. Визначення амінокислотного скору.....	84
3.4.2. Дослідження перетравлювання білків в умовах <i>in vitro</i> .....	85
3.5. Дослідження структурно-механічних властивостей сирного продукту м'якого.....	86
3.6. Вивчення впливу термічної обробки на технологічні властивості сирного продукту м'якого.....	93
3.6.1. Зміна термостійкості.....	93
3.6.2. Зміна температури плавлення.....	98
<b>РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИРНОГОПРОДУКТУ М'ЯКОГО ПРОТЯГОМ ЗБЕРІГАННЯ ТА ЗАМОРОЖУВАННЯ.....</b>	<b>101</b>
4.1. Дослідження змін властивостей сирного продукту м'якого протягом зберігання.....	101
4.1.1. Вивчення мікробіологічних показників.....	101
4.1.2. Дослідження фізико-хімічних змін.....	102
4.1.3. Дослідження текстурних властивостей.....	106
4.1.4. Дослідження ВУЗ.....	108
4.1.5. Визначення зміни ЯМР.....	111
4.1.6. Дослідження впливу низьких температур на вміст вільної та зв'язаної вологи.....	113
4.1.7. Динаміка втрати маси сирним продуктом м'яким у процесі зберігання.....	116
4.2. Дослідження впливу заморожування на зміну властивостей сирного продукту м'якого.....	119
4.2.1. Вивчення мікробіологічних показників у процесі низькотемпературного зберігання сирного продукту м'якого.....	119
4.2.2. Дослідження фізико-хімічних змін сирного продукту м'якого в процесі низькотемпературного зберігання.....	121
4.2.3. Дослідження текстурних властивостей сирного продукту м'якого після низькотемпературного зберігання.....	122
4.2.4. Дослідження ВУЗ сирного продукту м'якого після низькотемпературного зберігання.....	124
4.2.5. Дослідження хімічного складу сирного продукту м'якого після низькотемпературного зберігання.....	126
4.2.6. ІЧ-спектроскопійний аналіз сирного продукту.....	128
4.2.7. Дослідження мікроструктури сирного продукту.....	131
Висновки.....	138
Список літератури.....	140

## ВСТУП

Сьогодні споживання традиційних харчових ресурсів у світі досягло великих масштабів і продовжує зростати. Отже, виникає загроза нестачі окремих видів харчової сировини внаслідок, з одного боку, нерационального використання сировинних ресурсів, а з іншого – їх дефіциту через фізичне виснаження природних рослинних родовищ, скорочення поголів'я тварин, тощо. Особливо гостро в світовій практиці відчутний дефіцит білків. Тому, перед виробниками, наразі, стоїть проблема забезпечення населення новітньою харчовою сировиною, різноманітними напівфабрикатами та готовою продукцією в контексті вимог здорового харчування та існуючого білкового дефіциту.

Сучасні споживачі все більш активно вживають здорову їжу або дотримуються альтернативних видів харчування. Внаслідок цього ринок харчових продуктів відрізняється значною різноманітністю та сталим прагненням до розширення асортименту вже існуючих харчових продуктів і створення нових шляхом опанування нетрадиційної сировини та новітніх технологій. Сьогодні перспективним напрямком розвитку міжнародного харчового ринку є виробництво комбінованих молочно-рослинних харчових продуктів – важливої ланки здорового харчування. Серед них особливою популярністю користуються сичужні сирні продукти, виробництво яких ще не набуло визнаної популярності в країнах СНД.

В Україні скорочення обсягів товарного молока, що спостерігається останнім часом, призвело до зниження темпів росту та рентабельності виробництва молочної продукції. Тому, в умовах відчутного дефіциту сиропридатного молока в Україні, особливо актуальним напрямком є забезпечення стабільної якості продуктів сироваріння в умовах наявної та доступної сировинної бази. Перш за все, використання сухого знежиреного молока, як молочної основи сирних продуктів, дозволить стабілізувати їх якість та уникнути негативного впливу сезонності внаслідок сталого хімічного складу сухого молока. По-друге, логічним шляхом вирішення проблеми нестачі білку є опанування нових джерел білкових ресурсів. У зв'язку з цим перспективною сировиною є горіхоплідні – джерело повноцінного рослинного білка.

Особливе місце займає арахіс, який відрізняється значним вмістом білка, мінеральних речовин, вітамінів. В арахісі містяться поліфеноли (ресвератрол та ін.), які відіграють суттєву роль в профілактиці низки захворювань. Тому використання арахісу як складника харчових продуктів надає їм лікувально-профілактичної спрямованості. З огляду підвищення вмісту білка та застосування нетрудомістких методів виробництва (холодного пресування) доцільною є переробка ядра арахісу на концентрат, вміст білків в якому досягає 65...70%. Білки арахісу переважно гідрофобні та у разі введення білкового концентрату ядра арахісу до сирного продукту, система стає рихлою, що ускладнює

подальший процес формування продукту. Крім того відновлене молоко містить певну частку денатурованих нерекційноздатних білків. Перспективним вирішенням цієї проблеми є залучення до технології сирного продукту борошна кукурудзяного, яке, внаслідок наявності гідрофільних складових, виступає стабілізуючим чинником. Борошно кукурудзяне містить вуглеводи, білки, включаючи повноцінні, харчові волокна, мінеральні речовини, каротиноїди; внаслідок комбінації цих нутрієнтів, борошно кукурудзяне являє собою цінний дієтичний продукт, що має позитивний лікувально-профілактичний вплив. Перспективною сировиною при нормалізації молока в якості замітника молочного жиру є рослинні олії, які збагачують сирний продукт ненасиченими жирними кислотами. Зокрема використання соняшникової олії насичує сирний продукт поліненасиченими жирними кислотами лінолево-олеїнової групи.

Термін придатності м'яких сирів і сирних продуктів нетривалий та складає в середньому 14 діб, що ускладнює товарообіг, особливо при використанні сирних продуктів як напівфабрикатів. Одним із актуальних шляхів вирішення цієї проблеми є заморожування, яке дозволить зберегти якість сирних продуктів на міжсезонний період, створюючи достатні резерви для виробництва та торгівлі. В Україні практично не має досвіду консервування сирів і сирних продуктів методом заморожування. За кордоном проводились роботи з виявлення впливу заморожування на якість сирів і сирних продуктів, які знайшли практичну реалізацію. У зв'язку з цим актуальним став пошук технологічних рішень з вивчення впливу низькотемпературної обробки на якість комбінованого сирного продукту. Рациональним є швидке заморожування, що сприяє максимальному підтриманню вихідної якості сирного продукту.

Доцільність розробки комбінованих молочних продуктів, зокрема у формі сичужних сирних продуктів із рослинними білковими та полісахаридними добавками, а також заморожених комбінованих молочних продуктів тривалого зберігання склалася завдяки роботам таких вітчизняних і закордонних вчених, як: Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Д'яконова А.К., Безусов А.Т., Тележенко Л.М., Перцевой Ф.В., Рудавська Г.Б., Гуляев-Зайцев С.С., Тутельян В.А. та ін.

Спираючись на світові тенденції розвитку харчового ринку, запропоновано, науково-обґрунтовано та розроблено новий спосіб отримання сирного продукту м'якого на основі сухого знежиреного молока та збагаченого рослинними добавками – концентратом ядра арахісу та борошном кукурудзяним, виготовленого за традиційною технологією та із застосуванням заморожування. Сумісне використання низки властивостей сухого знежиреного молока, концентрату ядра арахісу, борошна кукурудзяного та заморожування, як інноваційної складової наукової розробки, зумовлює появу нового комбінованого сирного продукту м'якого з високою біологічною цінністю, високими органолептичними характеристиками, сталими фізико-хімічними

властивостями, зниженою собівартістю виробництва, безперервністю знаходження на споживчому ринку та який можливо виробляти на харчових переробних і малих підприємствах.

Монографія містить матеріали, в яких науково-обґрунтовано технологічні процеси, технологічні параметри, режими виробництва та зберігання сичужного сирного продукту м'якого за традиційних умов і в замороженому стані, висока якість якого зумовлюється синергетичним ефектом від сумісного використання сухого молока, рослинних добавок і заморожування. Представлено результати наукових досліджень щодо закономірностей впливу заморожування на характер зміни текстурних, фізико-хімічних властивостей продукту; з урахуванням впливу рослинних добавок обґрунтовано термін зберігання в замороженому стані з огляду збереження вихідної якості сирного продукту.

У **першому розділі** даної монографії наведено аналітичний огляд літератури вітчизняних та іноземних авторів щодо сучасного стану сироробної галузі, її сировинної бази, вагомих проблем, особливостей виробництва та зберігання м'яких сичужних сирів, головні аспекти формування асортименту сирних продуктів з огляду особливостей технології. Обґрунтовано актуальність розробки нової технології сирного продукту м'якого, виробленого на основі сухого знежиреного молока з залученням до технології концентрату ядра арахісу та борошна кукурудзяного та відзначено особливості зберігання продукту в замороженому стані.

У **другому розділі**, з огляду вивчення функціонально-технологічних властивостей рослинної сировини, обґрунтовано вибір рослинних добавок і досліджено низку показників модельної системи сирного продукту м'якого: органолептичні характеристики, зміни поверхневих явищ, реологічних властивостей і з'язку вологи. Першочергово, в технології сирного продукту м'якого запропоновано заміну сухого знежиреного молока на концентрат ядра арахісу та борошно кукурудзяне в різному співвідношенні. Встановлено оптимальні режими гідротермічної обробки розробленого зразка під час введення рослинних добавок до сирної маси.

**Третій розділ** монографії присвячено вивченню показників якості сирного продукту м'якого, вивченню реологічних характеристик, впливу термічної обробки на технологічні властивості розробленого продукту.

У **четвертому розділі** науково-обґрунтовано технологічні параметри зберігання готового сирного продукту м'якого за традиційних умов та особливості його заморожування і подальшого зберігання в замороженому стані з огляду дослідження комплексних показників якості: хімічного складу, мікробіологічних, фізико-хімічних і реологічних характеристик.

Зроблено **висновки**, в яких відображено основні технологічні аспекти виробництва сирного продукту в контексті результатів проведених експериментальних досліджень.



## РОЗДІЛ 1

# НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА СИРНИХ ПРОДУКТІВ З РОСЛИННИМИ ДОБАВКАМИ

### 1.1. Сучасний стан молочної галузі

У світовій практиці молочне господарство – прибутковий бізнес. В Україні ж, за сприятливих природно-кліматичних умов і наявних площ сільськогосподарських угідь, цей бізнес збитковий. Оскільки виробництво вітчизняного молока сконцентровано, переважно, в приватних господарствах, то якість такого молока нестала, що негативно відображається на рентабельності молочного тваринництва [55; 137; 157; 170; 181; 209; 216].

Унаслідок кризових явищ, які спостерігаються у вітчизняному тваринництві, особливо в молочному скотарстві, відносно стабільний показник виробництва молока, що відзначався в 1997–2005 роках, почав стрімко падати. Однією з причин цього є те, що в 2005–2006 роках Росія заборонила імпорт молока та молочних продуктів з України у зв'язку з їх невідповідністю новим стандартам якості. Тоді це призвело до обвалу закупівельних цін на молоко та до прискорення вирізання молочного стада селянами. Немає позитивних змін і сьогодні та експортні ринки продовжують зазнавати відчутних збитків.

Додатково на нестачу молочної сировини в Україні накладається сезонний чинник, що перешкоджає ефективному розвитку ринку молока та безпосередньо впливає на ціну, рентабельність виробництва та якість. В даний час в Україні сезонний коефіцієнт – різниця між обсягом виробництва у високий (літній) і низький (зимовий) сезони – складає близько 1,6 і ринок відчуває гострий дефіцит молока, особливо в зимовий період. Організовані господарства менше залежні від сезонності, оскільки їхні фахівці регулюють процеси таким чином, щоб мати молоко цілий рік зокрема внаслідок використання сухого молока. Проте, близько 80% молока виробники закуповують у господарств населення, в яких телята народжуються взимку. Отже, з листопада по березень обсяги виробництва молока в Україні різко скорочуються [137; 157].

Поголів'я молочного стада – інший важливий показник, від якого залежить обсяг виробництва молока, який скоротився за 1990–2011 роки з 8,5 до 2,7 млн, що склало 68%. Ці зміни відбулися за рахунок великих сільгоспідприємств, де поголів'я зменшилося катастрофічно [137]. Скорочення виробництва сировини, в свою чергу, призвело до підвищення закупівельних цін на молоко в низці регіонів України, починаючи з

вересня 2009 року. Пік зниження цін на молоко та молочні продукти в Україні щорічно припадає на червень–серпень. Саме в цей період формуються найбільші обсяги реалізації молока [22; 23; 76].

Сьогодні Україна, внаслідок вступу до СОТ і переговорів про зону вільної торгівлі з ЄС, взяла на себе зобов'язання щодо підвищення стандартів якості на молоко, що на практиці означає: молоко, вироблене в підсобних господарствах, де немає можливості дотримуватися необхідних рівнів санітарних норм, не можна буде здавати на підприємства [157]. Але потенційні можливості збільшення обсягів виробництва молока сталої якості в приватних господарствах практично повністю вичерпані.

Тому вітчизняні сироробні підприємства мають значні труднощі щодо забезпечення виробництва достатньою кількістю сиропридатної сировини, що гостро відчутно в зимово–весняний та навіть літній періоди, коли деякі підприємства змушені зупинятися. Все це зумовлює необхідність пошуку інноваційного рішення перспективного розвитку молочної галузі – стабілізації якості вітчизняного молока, використання нової нетрадиційної сировини та інноваційних технологій. [22; 23; 25; 57; 76; 77; 102; 121...127; 129].

## **1.2. Аналіз технологічних і фізико-хімічних аспектів виробництва сирів і сирних продуктів**

Серед білків молока виділяють дві групи: казеїни та сироваткові білки. Більшу частину білків молока складає казеїн (78...85%), який розподіляють на фракції:  $\alpha_{s1}$ –,  $\alpha_{s2}$ –,  $\beta$ –,  $\gamma$ –казеїн [33; 34; 73; 139; 149; 152; 154; 155; 218; 228]. Казеїн наявний у молоці у вигляді колоїдного розчину гелю – поєднується з кальцієвими солями та утворює казеїнаткальційфосфатний комплекс (ККФК), де має місце виражений гідрофобний зв'язок переважно за рахунок «кальцієвих містків» пара– $\gamma$ –казеїну. Гідрофобні взаємодії призводять до утворення скупчень білкових часток (міцел), що забезпечує найбільший контакт білків із водою [33; 34; 134; 175; 214; 218; 225; 228; 231; 240...242]. Важливе місце у гідратації білкових молекул займає іонна та молекулярна адсорбція, що відбувається за рахунок полярних груп, які знаходяться на поверхні, а також усередині казеїнових міцел. При цьому іонна адсорбція (її забезпечують вільні полярні групи білка: карбоксильні, амінні, гідроксильні), головним чином, впливає на стабільність колоїду білка [131]. Білкова міцела побудована таким чином, що гідрофобні ділянки сховані всередині, а гідрофільні групи  $\gamma$ –казеїну, які утворюють гідратні оболонки завтовшки з моно- або бімолекулярний шар – ззовні [167, 214; 218; 228, 240; 241]. Тому важливе практичне значення відіграє здатність казеїну зв'язувати воду, що позитивно впливає

на вологозв'язуючу та вологоутримуючу здатність, органолептичні властивості готових продуктів сироваріння [32...34; 73; 131].

**1.2.1. Перспективи використання сухого знежиреного молока в технології сирних продуктів.** У зв'язку з дефіцитом молока, придатного для виробництва сирів і сирних продуктів, із метою забезпечення стабільного хімічного складу продуктів і зниження чиннику сезонності актуальними стали дослідження, спрямовані на вивчення можливості виготовляти сирні продукти з сухого молока з повною або частковою заміною натурального молока [67]. Його можна використовувати для вироблення сиру відразу після відновлення, без витримки. За харчовою цінністю відновлене молоко практично не відрізняється від незбираного пастеризованого молока. Відомо, що за засвоюваністю білків і жирів сухе незбиране молоко трохи поступається свіжому натуральному молоку (білків – на 0,43%, жиру – на 0,03% нижче), а засвоєння вуглеводів однакове. Жир у сухому молоці перебуває у вигляді окремих включень, основна маса яких розподілена усередині часток молока. Розмір жирових включень залежить, головним чином, від способів сушіння, режимів попередньої обробки молока: в сухому продукті, отриманому з негомogenізованого молока, розмір жирових включень становить від 0,1 до 4 мкм, у сухому продукті з гомогенізованого молока – не перевищує 1 мкм. Вміст білків у сухому незбираному молоці становить у середньому 27%, у знежиреному – до 36%. Білки в сухому молоці (казеїн, лактальбумін, лактоглобулін) утворюють безперервну фазу, що являє собою пористу систему зі взаємозалежних білкових міцел. Білки молока характеризуються дуже високим ступенем гідратації, у водному середовищі утворюють колоїдні розчини [72]. Відомо, що кількість зв'язаної білками води становить 0,3...0,4 г на 1 г сухого білку [67; 194; 237]. У сухому незбираному молоці вміст лактози становить приблизно 38,5%, у сухому знежиреному – близько 50%. У свіжому сухому молоці більша частина лактози перебуває в аморфному стані, цим і пояснюється її висока гігроскопічність [29; 33; 34; 72; 76; 146; 194; 237]. Процес відновлення молока повинен забезпечити найбільш повне розчинення часток сухого молока та швидкий перехід всіх його складових компонентів у розчин: білків – у колоїдний, жиру – в емульсію, а лактози й солей – у справжній [72]. Відновлення починається з моменту контакту частки молока з водою. Одночасно вода по капілярах проникає в товщу частки, заповнюючи внутрішні порожнини й витісняючи з них повітря та взаємодіючи зі складовими компонентами молока. Поступово частка набрякає та, коли щільність її стане більшою, ніж щільність води, поринає, що характеризується переходом компонентів сухого молока в колоїдні розчини та емульсії [69; 172; 190; 192; 196].

Таким чином, отримання сирного продукту м'якого на основі сухого молока сприяє: зниженню фактора сезонності; зниженню

недостатності або повної відсутності молочної сировини; регулюванню режимів зберігання сировини на підприємствах; забезпечує підвищення ступеню переходу основних компонентів молока в сирну масу; сприяє зниженню собівартості продукту та енергетичних і трудових ресурсів виробництва та підвищенню конкурентоспроможності готового продукту [27; 72].

Пріоритетним напрямком розробки нової технології сирного продукту є пошук інноваційних рішень у сфері зниження вмісту молочного жиру [27; 166; 171; 227]. Першочергово, перехід виробництв на сухе знежирене молоко пов'язаний з тим, що звичайне незбиране коров'яче молоко має обмежений термін зберігання. Максимальний термін допустимого зберігання пастеризованого молока до фасування становить не більше 6 год. Разом із тим молочний жир надто схильний до хімічних змін, що призводить до зміни структури сухого молока за найменших порушень умов зберігання. Термін зберігання сухого знежиреного молока складає приблизно 8 місяців за температури від 0 до 10<sup>0</sup> С, вологості навколишнього середовища – не більше 85% [72]. Підбиваючи підсумок, доцільно вказати, що, сухе знежирене молоко, в якості основної сировини, може бути використане при виробництві будь-якого молочного продукту. Це дозволить стабілізувати якість готових продуктів та уникнути негативного впливу сезонності.

**1.2.2. Аналіз обсягів виробництва та фізико-хімічних основ технологічного процесу виробництва сирних продуктів.** За даними каталогу Міжнародної молочної федерації у світі налічується близько 500 видів сирів. Але чітко сформованої класифікації сирів не існує [99; 77; 102; 212]. Традиційно, сири м'які відрізняються м'якою консистенцією, яка значною мірою зумовлена підвищеним вмістом вологи (50...65%). Виробляють м'які сичужні сири без дозрівання, з короткими строками дозрівання (5...10 діб) і ті, що довгостроково дозрівають (20...45 діб) [12; 41; 177; 190; 192; 194; 225; 234; 235; 239...241]. Сукупні властивості сичужних сирів м'яких, зокрема дієтичні, а також їх висока рентабельність в порівнянні з традиційними сичужними напівтвердими та твердими сирами є запорукою того, що за правильної організації їх випуску та збуту на підприємстві можна істотно підвищити загальну рентабельність виробництва [12; 41; 102; 160; 177; 190; 192; 212]. Виробництво м'яких сирів сичужним способом має наступні переваги. Сичужний фермент прискорює хімічні реакції, проте участь у них не бере. Зсідання сичужним ферментом – досить швидкий процес (6...8 хв). Сичужний фермент залишається в рідкій фракції, він не змінює смак кінцевого продукту та дозволяє проводити процес у широких діапазонах температур. Зсідання відбувається повноцінно, вміст залишкового білка в сироватці низький, а сирне зерно однорідне [12; 65; 177; 192; 225; 234; 235].

Технологія виготовлення м'яких сичужних сирів передбачає етапи: підготовка молока до вироблення сиру (приймання молока, очищення, резервування, дозрівання, нормалізація, пастеризація та охолодження до температури зсідання); підготовка молока до зсідання (внесення заквасок, хлориду кальцію та сичужного ферменту); зсідання молока та отримання сирної маси (з обробкою згустку); формування сиру, самопресування та пресування; посолка; дозрівання; підготовка до реалізації та зберігання.

Під час підготовки молока до вироблення сиру варто виділити найважливіші технологічні операції, що призводять до зміни фізико-хімічних властивостей сировини – дозрівання, нормалізація та пастеризація. Варто зазначити, що під час подальшої теплової обробки зменшується середній діаметр білкових часток. При цьому спостерігається дисоціація казеїну, яка супроводжується звільненням бічних ланцюгів в його пептидних зв'язках. Ці явища вказують на те, що вповільнення сичужової дії також пов'язане з диспергуванням казеїнаткальційфосфатного комплексу казеїну. Існує дві теорії сичужної коагуляції казеїну: фосфоамідазна (проф. П.Ф. Дяченко) та гідролітична. Як вважає П.Ф. Дяченко, на першій стадії відбувається розрив одного із двох зв'язків залишків фосфорної кислоти з казеїном, а саме фосфоамідного зв'язку. При цьому в параказеїні вивільнюються лужні гуанідинові групи аргініну та гідроксильні групи фосфорної кислоти з казеїном. На другій стадії гідроксильні групи фосфорної кислоти зв'язують іони кальцію та створюють «кальцієві містки» між міцелами параказеїну, утворюючи згусток. Згідно з механізмом гідролітичної теорії, на першій стадії під дією ферменту, який сприяє зсіданню молока, відбувається розрив пептидного ланцюга  $\alpha$ -казеїну. В результаті від міцели казеїну відщеплюється розчинний пептид, який містить у своєму складі глікомакропептид. На другій стадії дестабілізовані міцели параказеїну об'єднуються одна з одною під дією сил гідрофобної взаємодії неполярних груп (пара- $\alpha$ -казеїну), а також завдяки електростатичним зв'язкам позитивно заряджених ділянок пара- $\alpha$ -казеїну та негативно заряджених ділянок  $\alpha$ - та  $\beta$ -казеїну [12; 177; 192; 225].

Існуючі концепції не дають повного уявлення про сичужну коагуляцію, непов'язані між собою та мають вагомні недоліки. Крусъ Г.М. [65; 192] зі співробітниками пропонує свою концепцію коагуляції казеїну та дає наступне пояснення механізму дії молокозсідального ферменту. На першій (ферментативній) стадії відбувається спочатку гідроліз поліпептидного ланцюга  $\alpha$ -казеїну з утворенням пара- $\alpha$ -казеїну та глікомакропептиду. Пара- $\alpha$ -казеїн залишається у складі міцел, а глікомакропептид відділяється від міцели та переходить в сироватку. Але при цьому не відбувається коагуляція. На другій стадії (коагуляційній) гідроксильні групи фосфорної кислоти зв'язують іони кальцію та

колоїдний фосфат кальцію, утворюючи «містки» між міцелами параказеїну з утворенням згустку.

В отриманому згустку безупинно діють сили взаємодії між білковими частками, внаслідок чого відбувається його стискання та мимовільне виділення сироватки – синерезис. Ліпатов М.М. вказує, що утворення згустку та наступний синерезис є стадіями того самого коагуляційного процесу, що йде за схемою золь-гель-синерезис і викликаний силами взаємодії між білковими частками. Тому, фактори, що чинять вплив на характер гелеутворення та склеювання, впливають також на синерезис [73].

Склеювання під час виробництва сирів і сирних продуктів спостерігається під час гідромеханічних і масообмінних процесів [49; 61; 112]. Відомо, що адгезія – зчеплення різнорідних рідких або твердих тіл в місцях контакту їх поверхонь. Воюцький С.С. писав, що існуючі теорії адгезії розглядають різні випадки і різні сторони цього явища і «... єдиної теорії, що пояснює явища адгезії, немає і, ймовірно, не може бути. У різних випадках адгезія обумовлюється різними механізмами...». Існує низка теорій, що пояснюють механізм адгезії: дифузійна теорія, адсорбційна теорія, механічна теорія, хімічна теорія, теорія слабого граничного шару, електрична теорія, електронна теорія. Об'єкти та явища, що описуються в дифузійній теорії, є сумісними системами без рівноважних міжфазних кордонів, це системи, для яких характерне зникнення межі розділу. Адсорбційна теорія адгезії пояснює це явище міжмолекулярним тяжінням, що забезпечує цілісність речовини (когезія). Механічна теорія адгезії фактично розглядає системи з різного роду механічними зачепленнями, опис поведінки яких під час механічного навантаження має теоретичний і практичний сенс, але власне механічні зачеплення не мають відношення до міжмолекулярних сил. Хімічна теорія адгезії припускає, що в більшості випадків адгезія пояснюється не фізичною, а хімічною взаємодією між адгезивом і субстратом. Теорія слабого граничного шару наголошує, що поблизу кордону розділу фаз відбувається перебудова структури тіла. Протяжність цих областей може досягати декількох десятків мікрометрів, а самі області можуть характеризуватися іншим ступенем упаковки молекул, ніж тіло в обсязі. Відповідно до цієї теорії руйнування тіла відбувається за так званого слабого прошарку, який, як правило, локалізується поза кордоном розділу фаз. Утворення цього шару є наслідком дії сил міжмолекулярної взаємодії між фазами, тобто вдруге по відношенню до формування зв'язків на межі розділу несумісних фаз. В основі електричної теорії адгезії лежить уявлення про подвійний електричний шар, який утворюється при тісному контакті поверхонь; електрична теорія адгезії враховує також і роль молекулярної взаємодії. Електронна теорія розглядає адгезію як результат молекулярної взаємодії поверхонь, що різні за своєю природою. Отже,

виходячи з розглянутих визначень адгезії, єдиний предмет у визначеннях адгезії – це міжфазна границя контактуючих несумісних фаз. Проте щодо опису адгезії існують різні підходи, наприклад, термодинамічний або у вигляді молекулярних теорій взаємодії між макроскопічними тілами (наприклад, теорія на основі сил Ван-дер-Ваальса, теорія на основі потенціалу Ленарда-Джонса або теорія Лившиця, яка розглядає електромагнітні хвилі, що випромінюються тілами). Спробу формального об'єднання цих теорій зробив К.В. Ален. Існуючі в літературі численні технічні умови розділені на три групи. Перша група визначає адгезію як процес (послідовну зміну станів). Друга – як властивість, що становить відмінну особливість системи. Третя група визначає адгезію як стан системи. Ребіндер П.А. вважав, що адгезія (прилипання) – виникнення зв'язку між поверхневими шарами двох різнорідних (твердих або рідких) тіл (фаз), приведених у зіткнення. Вакула В.Л., Притикіна Л.М. визначили адгезію як явище, що полягає у виникненні фізичної та (або) хімічної взаємодії між конденсованими фазами при їх молекулярному контакті, що приводить до утворення нової гетерогенної системи. Берлін А.А., Басін В.Є., Воюцький С.С. писали, що адгезія – це молекулярний зв'язок між поверхнями приведених до контакту різнорідних тіл. Дерягін Б.В. зі співробітниками зробив спробу усунути проблему, розділивши процес і властивість: «Загальноприйнято під адгезією, на відміну від когезії, мати на увазі опір руйнуванню контакта двох різнорідних тіл». Аналогічні визначення в літературі запропонували С. Wake, Л.-Х. Лі та А. Адамсон, які під адгезією розуміли міцність зв'язку двох дотичних фаз. В. Шоухенг писав, що адгезія – стан двох різнорідних тіл, за якого вони утримуються разом у тісному міжфазному контакті таким чином, що механічна сила або робота можуть бути передані через межу розділу. Отже, різниця між групами визначень наступна: в першій групі термінів акцент робиться на процесах виникнення зв'язку або переході системи в новий зв'язаний стан; у другій групі – власне на наявність зв'язку. В третій групі наголошується на стан і ігнорується процес. Отже, зчеплення поверхонь може мати хімічну, електричну, магнітну природу, обумовлюватися виключно механічною взаємодією або визначатися всіма цими факторами [1; 49; 61; 78; 82; 83; 219].

Відомо, що сироватка в сирному згустку розподілена між окремими елементами строми гелю [41; 87; 192]. Вологу сирного згустку можна умовно розділити наступним чином: вільна волога змочування, що знаходиться на поверхні сирних зерен в макропорах; механічно зв'язана волога в макрокапілярах; осмотично зв'язана волога, що знаходиться в сітці гелю; адсорбційно зв'язана волога, що утримується внаслідок дії молекулярного силового поля на поверхні розділу фаз [41; 112; 133; 134]. Сирний згусток починає ущільнюватись внаслідок зближення міцел. Коли ущільнення стає максимальним, то починає відділятися сироватка.

Сироватка виходить із сирного згустку по капілярах, тому на першому етапі – розрізання згустку – відбувається синерезис, сирні зерна виявляються зануреними в підсирну сироватку, що виділилася з них. Під час перемішування часточки згустку хаотично розподіляються і контактують, стикаючись кутами і ребрами, при цьому площа контактів сирних зерен мінімальна. Потік сироватки, що виділяється з сирних кубиків найбільш інтенсивний і спрямований зсередини до периферії. Цей потік перешкоджає зближенню сирних зерен на короткі міжмолекулярні відстані та дії різноманітних поверхневих сил, не дозволяє сирним зернам склеюватися. Далі сирні зерна дробляться на більш дрібні та триває інтенсивне виділення сироватки. По мірі механічної обробки сирні зерна набувають кулястої форми, а щільність підвищується. Створюються умови для дії міжмолекулярних сил: чим тісніше стикаються сирні зерна оболонками, тим утворюється більша площа для контакту та інтенсивніше діють сили міжмолекулярної взаємодії. Друге нагрівання виявляється необхідною запорукою видалення сироватки зі згустку, який було отримано з сухого молока, що містить денатуровані складники, які перешкоджають вивільненню сироватки. При підвищенні температури збільшується реакційна здатність сичужного ферменту (за температури близько 41<sup>0</sup> С), інтенсифікуються процеси утворення міжміцелярних зв'язків. З підвищенням температури посилюється поверхнева енергія сирних зерен, що збільшує адсорбцію розчинених у сироватці речовин, у тому числі солей, підвищення яких у поверхневому шарі зерен ще більшою мірою посилює його ущільнення [41; 112]. Оскільки гідратна оболонка навколо молекули білка порушується, окремі часточки з'єднуються між собою та не можуть триматися в розчині. Починається процес згортання білків. Комплексоутворення білків під час денатурації призводить до набування поліпептидними ланцюгами певної конфігурації, коли ланцюги розгортаються таким чином, що на їхній поверхні накопичується значна кількість гідрофобних груп. Внаслідок цього відбувається синерезис і сирне зерно зневоднюється; знижується стійкість системи та адгезія сирної маси.

Після термічної обробки сирної маси енергія молекулярного зчеплення, що залежить від площі контакту, зменшується та здатність сирних зерен до склеювання поступово знижується. Наступний етап обробки сирної маси – перемішування; існує значний ризик зменшення адгезії між сирними зернами [41; 112; 131; 133]. Далі – формування. При зіткненні між собою та під дією верхніх шарів сирної маси сирні зерна розпливаються у вигляді пластинок і легко злипаються між собою за рахунок міжмолекулярної взаємодії. При цьому полісахариди та білки рослинних компонентів системи утримують вологу та взаємодіють з білковими молекулами молочної основи, що дозволяє поліпшити структуру та полегшити подальшу роботу під час формування продукту,