

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Енергетичне машинобудування»
Омельченко О.В.
«___» _____ 2022 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
за освітньою програмою «Холодильні машини і установки»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМНО-МОРОЗИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБОРОСЛИННИХ НАПІВФАБРИКАТІВ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____

Ларін Олексій Олегович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент Омельченко О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Кривий Ріг
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь бакалавр

Галузь знань Енергетична інженерія

Освітня програма Холодильні машини і установки

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Енергетичне
машинобудування»

Омельченко О.В.

« » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ларіну Олексію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення вакуумно-морозильної
установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів»

Керівник роботи к.т.н., доцент Омельченко О.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-
Барановського від « 19 » листопада 2021 р. № 416-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «02» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на
наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.

2. Аналіз морозильного обладнання для заморожування харчових
продуктів.

3. Удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів.

4. Охорона праці.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Схема морозильної установки для заморожування фаршевої суміші.

2. Схема установки для формування фаршевих гранул.

3. Схема охолодження фаршевої суміші в каналі змішувача.

4. Схема вакуумного заморожування рибних гранул в робочій камері морозильника.

5. Схема установка для визначення температури гранул після заморожування у вакуумі.

6. Схема установки для визначення температурної залежності питомої теплоємності харчових продуктів.

7. Схема вакуум-морозильної установки для заморожування риборослинної фаршевої суміші.

6. Дата видачі завдання «30» листопада 2021 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2022-15.02.2022
2	Аналіз морозильного обладнання для заморожування харчових продуктів	16.12.2022-10.03.2022
3	Удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів	11.03.2022-15.04.2022
4	Охорона праці	16.04.2022-30.04.2022
5	Висновки по роботі	01.05.2022-12.05.2022
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2022-05.06.2022

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Ларін О.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Омельченко О.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 44 сторінок. Робота містить 21 рисунок. Список використаних джерел складається з 16 найменувань.

Об'єкт роботи – вакуумно-морозильна установка.

Предмет роботи – заморожування риборослинних напівфабрикатів.

Мета роботи – удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів.

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів. Зазначено, що заморожування продуктів харчування для збільшення терміну зберігання часом більш ефективна, ніж їх сушіння, незважаючи на те, що зберігання сухих продуктів не вимагає додаткових витрат у порівнянні із замороженими.

Вважається доцільним проводити заморожування фаршевої суміші у вигляді тонких фаршевих гранул, що проходять у фільтрах кожухотрубного теплообмінника, які є частиною змішувача, а на далі рідким холодоагентом до криоскопічної температури в камері морозильного апарату.

Для збалансованого харчування раціонально додавати в рибний фаршевий напівфабрикат сухі рослинні інгредієнти. Сухий продукт при змішуванні з фаршем сорбує вільну вологу, яка заморозці не піддається і тому в суміші зменшується кількість вільної вологи, а значить і знижуються витрати на заморозку.

Приділено увагу основним технологічним етапам утворення фаршевої суміші, задля можливості удосконалити вакуумно-морозильний апарат. Було окреслено дві стадії у процесі формування фаршевих гранул: перша з яких пов'язана з формоутворення, а друга з фіксацією форми.

Зазначено, що подальше охолодження фаршевих гранул, досягається шляхом самозаморожування у вакуумі до температури його повного заморожування, бо при цьому вся вода перетворюється в лід і швидкість випаровування різко знижується, тому що сублімація пари з льоду є значно тривалою. Це виключає розморожування продукту протягом технологічних операцій при його транспортуванні до морозильної камери та завантаження в неї. При цьому температура фаршевого напівфабрикату знизиться до значень у морозильній камері з метою його подальшого низькотемпературного зберігання.

Удосконалено вакуумно-морозильний апарат для заморожування риборослинних напівфабрикатів, який дозволяє здійснити вакуумне самозаморожування рибних фаршевих гранул з одночасною реалізацією подрібнення та можливого пакування замороженого напівфабрикату на виході з формуючих фільтрів безпосередньо в робочій камері апарату.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: вакуумно-морозильна установка, заморожування, охолодження, риборослинні напівфабрикати, фаршеві гранули, морозильна камера, філюїдизаційний апарат, холодоагент.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	7
1.1 Технологія замороження продуктів харчування	10
1.2 Обладнання для заморожування риборослинних напівфабрикатів	18
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМНО-МОРОЗИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБОРОСЛИННИХ НАПІВФАБРИКАТІВ	18
2.1 Формування рибної фаршевої суміші	18
2.2 Охолодження та заморожування риборослинних напівфабрикатів	21
2.3 Вакуумне заморожування фаршових гранул	33
2.4 Удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування фаршевих гранул	36
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	38
3.1. Безпека експлуатації холодильного та технологічного обладнання	39
3.2. Електробезпека	40
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44
ДОДАТКИ	45

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ларін</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>			1		50
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Омельченко</i>					

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що консервуючий ефект при заморожуванні обумовлений тим, що при низьких температурах уповільнюються мікробіологічні та біохімічні перетворення, внаслідок чого зростає до декількох місяців термін зберігання продукції. В результаті відведення тепла від поверхні блоку рибного фаршу починається льдоутворення, у той час як більш глибокі шари, ще не досягли криоскопічної температури, залишаються незаморозженими.

Мета та задачі дослідження. Метою бакалаврської роботи є удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів

Практична та наукова новизна. У роботі зазначено, що заморожування продуктів харчування для збільшення терміну зберігання часом більш ефективна, ніж їх сушіння, незважаючи на те, що зберігання сухих продуктів не вимагає додаткових витрат у порівнянні із замороженими. Вважається доцільним проводити заморожування фаршевої суміші у вигляді тонких фаршевих гранул, що проходять у фільерах кожухотрубного теплообмінника, які є частиною змішувача, а на далі рідким холодоагентом до криоскопічної температури в камері морозильного апарату. Для збалансованого харчування раціонально додавати в рибний фаршевий напівфабрикат сухі рослинні інгредієнти. Сухий продукт при змішуванні з фаршем сорбує вільну вологу, яка заморозці не піддається і тому в суміші зменшується кількість вільної вологи, а значить і знижуються витрати на заморозку.

Приділено увагу основним технологічним етапам утворення фаршевої суміші, задля можливості удосконалити вакуумно-морозильний апарат. Було окреслено дві стадії у процесі формування фаршевих гранул: перша з яких пов'язана з формоутворення, а друга з фіксацією форми.

Зазначено, що подальше охолодження фаршевих гранул, досягається шляхом самозаморожування у вакуумі до температури його повного заморожування, бо при цьому вся вода перетворюється в лід і швидкість випаровування різко знижується. Це виключає розморожування продукту протягом технологічних операцій при його транспортуванні до морозильної камери та завантаження в неї. При цьому температура фаршевого напівфабрикату знизитися до значень у морозильній камері з метою його подальшого низькотемпературного зберігання.

Удосконалено вакуумно-морозильний апарат для заморожування риборослинних напівфабрикатів, який дозволяє здійснити вакуумне самозаморожування рибних фаршевих гранул з одночасною реалізацією подрібнення та можливого пакування замороженого напівфабрикату на виході з формуючих фільерів безпосередньо в робочій камері апарату.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Ларін</i>				Удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						1	50
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Омельченко</i>							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Технологія замороження продуктів харчування

Консервуючий ефект при заморожуванні обумовлений тим, що при низьких температурах уповільнюються мікробіологічні та біохімічні перетворення, внаслідок чого зростає до декількох місяців термін зберігання продукції. В результаті відведення тепла від поверхні блоку рибного фаршу починається льодоутворення, у той час як більш глибокі шари, ще не досягли криоскопічної температури, залишаються незамороженими.

Переміщення межі льодоутворення пов'язане з утворенням концентрованого пересиченого розчину. Концентрація низькомолекулярних та дисоційованих речовин у тканинних розчинах зазвичай буває вище 0,13 (моль/л).

Форма кристалів енергетично нестійка і в результаті змінюється тим швидше, ніж вища температура зберігання. Процес перекристалізації може повністю зупинитися лише при евтектичній температурі, яка для харчових продуктів знаходиться в районі близько -65°C . Проте певна частина води, що міститься в продуктах, не замерзає навіть при дуже низьких температурах, а процес утворення льоду закінчується лише в момент зниження температури до -30°C .

Відносний масовий вміст пов'язаної вологи у фаршах практично незмінно і становить приблизно 10%. Молекули води, будучи диполями, міцно адсорбуються іонами групам та полімерними білками. При заморожуванні пов'язана волога практично не переходить із фази у фазу. В вільній волозі міжклітинного простору, яка при зниженні температури нижче криоскопічної піддається льодоутворенню, розчинена основна маса мінеральних речовин. Внаслідок виморожування не пов'язаної з сухим скелетом вологи зростає відносний вміст солей у незаморозеному клітинному розчині, що веде до зниження криоскопічної температури. При досягненні, внаслідок виморожування, певного вмісту розчинених речовин у тканинному соку, клітинний розчин цілком перетворюється на тверду масу, так звану евтектику.

У м'ясі риби кількість пов'язаної вологи в середньому становить 0,35 кг сухої маси, що відповідає $6\div 10\%$ загального її змісту. Частка незаморозеної води в м'ясі риби зростає в міру підвищення температури заморожування. У м'ясі риби замороженої до температури -30°C , -20°C , -10°C і -5°C , залишається відповідно $8\div 10\%$, $9,5\div 11\%$, $13\div 16\%$ та $20\div 23\%$ незаморозеної води. Температура заморожування, що визначає безпосередньо його швидкість, значною мірою впливає також на кількість і склад незаморозеної води.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Ларін</i>				Удосконалення вакуумно-мозозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						11	50
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Омельченко</i>							

При повільному заморожуванні, коли швидкість дифузії розчиненої речовини більша за швидкість утворення кристалів, концентрація мінеральних речовин та білків у незамороженій рідкій фракції значно зростає. При цьому створюються сприятливі умови дії солі на білки. У подрібненому м'ясі риби ці зміни відбуваються швидше, ніж у тканині з неруйнованою клітинною структурою.

Якісні показники мороженої продукції в значній мірі залежать від розміру, форми та дисперсного розподілу кристалів льоду, які, у свою чергу, визначаються станом оболонок, відносним вмістом розчинених речовин у клітинах, а також ступенем білкової гідратації білків та ін. Переважний вплив на якість має інтенсивність заморожування.

Інтенсивність заморозки обумовлена швидкістю просування поверхні фазового розділу рідини та твердої речовини від зовнішньої поверхні заморожуваного об'єкта до його термоцентру. Швидкість замерзання поділяють на середню та номінальну. Задовільні результати досягаються при швидкості, що забезпечує час впливу критичних температур не більше ніж 30 хв.

Традиційно середньою вважають швидкість у вигляді відношення довжини траєкторії до часу просування фронту кристалоутворення від зовнішньої поверхні матеріалу до геометричного центру і вимірюють м/год. Швидкість замерзання, що визначається способом холодообробки, залежить від температури та розміру об'єкта обробки.

За ознакою швидкості заморожування класифікується наступним чином:

- повільне заморожування при швидкості до 1 см/год;
- прискорене заморожування при швидкості діапазону від 1 до 6 см/ч;
- швидке заморожування при швидкості в діапазоні 5-10 см/год;
- надшвидке заморожування при швидкості в діапазоні 10-100 см/год.

У разі повільного заморожування спочатку формуються крижані кристали із позаклітинного соку тканин з порівняно низькою концентрацією розчинених речовин. Підвищений паровий тиск над переохоложеною внутрішньоклітинною рідиною веде до дифузії парів води через клітинні стінки та формування укрупнених крижаних кристалів, що порушують цілісність тканини. Таке заморожування веде до повної втрати всередині клітинної вільної вологи (кріоскопічний осмос або кріоконцентрація).

У замерзлих тканинах клітин, що втратили пружні властивості, знаходиться незаморожений розчин, а весь лід знаходиться у міжклітинному просторі. При цьому відносна кількість травмованих клітин перевищує 70%.

У разі швидкого заморожування формуються дрібно розмірні кристали льоду, рівномірно розподілені за обсягом об'єкта заморозки.

Волога, практично не переміщаючись, локально переходить у льодоподібний стан. При цьому руйнуючий вплив кристаликів на клітини тканини мінімізується. У разі надшвидкого заморожування орієнтовно 90% всіх крижаних кристалів, що утворюються, знаходиться у внутрішньоклітинному просторі, практично не пошкоджуючи тканини.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

У принципі незалежно від способу та інтенсивності заморозки в тканинних клітинах спостерігаються складні структурні перетворення. Наприклад, при зниженні температури матеріалу до $-8\div-100^{\circ}\text{C}$ спостерігається інтенсивне утворення льоду і, як наслідок, швидке зростання в рідкій фазі відносного вмісту хімічних сполук, кріоусадка продукту при молекулярному зближенні та агрегації, що призводить до структурно-механічних перебудов молекул білків і міжмолекулярних реакцій. Структурна трансформація системи білкових мікрочастинок рівнозначна їх денатурації з виділенням тканинного соку при розморожуванні та зростанням підвищення вмісту електролітів у рідині. Зона найбільшого прояву денатурації попа дає в температурну зону максимально кристалізації тканинного розчину. Зазначимо, що денатураційні явища відбуваються переважно у білковій фракції актоміозину, не торкаючись білків саркоплазми.

Очевидно, що пов'язана волога має домінуючий вплив на збереження вихідної білкової структури, що відноситься тільки до вологи, пов'язаної з білковими групами з енергією, що перевищує енергію, звільнену при фазовому переході в кристалічну крижану структуру. Білки з нижчим енергетичним зв'язком втрачають виморожену вологу при агрегації білкових молекул. Стабільні білкові матеріали мають здатність утримувати вологу, що дозволяє забезпечити збереження вихідної структури.

Є відомості про розробку мrożених харчових сумішей зі структуруючими природними компонентами, що дає можливість отримувати сировинні об'єкти заморожування при -20°C високої поживної та біологічної цінності з тривалим терміном зберігання обумовлені процесами ферментації та окиснення. При зниженні температури замерзання спостерігається уповільнення хімічних реакцій, у тому числі процесів псування жирів. При заморожуванні знижується мікробіальна псування продукту, через зменшення активності мікроорганізмів. Мікробіологічна стійкість до низьких температур безпосередньо залежить від виду мікроорганізмів, стадії розвитку та середовища проживання, а також режимних параметрів процесу заморожування.

Проте після багатомісячного зберігання замороженої продукції при -18°C якісні відмінності згладжуються незалежно від методу заморожування через рекристалізацію, рушійною силою якої є температурні коливання при зберіганні і різниця пружності водяної пари над дрібними і великими кристалами. Над дрібними кристалами пружність парів вище, що призводить до вологоміграції між дрібними і великими кристалами, причому, чим нижча температура, тим повільніша рекристалізація.

З вищевикладеного випливає, що, незважаючи на широку різноманітність методів заморожування, до вибору об'єкта, способу та технічних засобів заморожування потрібен індивідуальний підхід.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.2 Обладнання для заморожування риборослинних напівфабрикатів

За різних видів організації процесу і режимах заморожування відносний вміст летких азотистих підстав у рибному м'ясі залишається незмінним, але при швидкому заморожуванні порівняно із заморожуванням у плитковому агрегаті, формується дрібнодисперсна кристалічна крижана структура, що забезпечує велику збереження багатофункціональних параметрів сировинних ресурсів. Екструдкування рибного м'яса для виробництва рибних паличок веде до зменшення білкової розчинності та здатності утримувати вологу, але до підвищення якісних та смакових показників готової продукції.

Перспективний спосіб холодної екструзії, який передбачає варіювання рецептури шляхом дозованого введення у заморожений рибний фарш пластифікуючих наповнювачів, що фарбують речовин, а також пластифікацію та перемішування оброблюваного матеріалу, його пропускання через формуючу матрицю та інші необхідні операції.

Технологічний потік при 223К і нижче включає грубу дезінтеграцію заморожених блоків до середнього еквівалентного розміру стружки (орієнтовно 1,5мм) і подальшому тонкодисперсному її подрібненні в температурному діапазоні 253÷248К до 300÷500мкм. Весь технологічний цикл проводять у виробничому приміщенні, що охолоджується, на агрегатах ударної дії і включає у разі необхідності до тонкодисперсного подрібнення додаткове заморожування стружки в скороморозильному агрегаті.

Аналіз даної технології виявив ряд істотних недоліків, наприклад, при подрібненні заморожених блоків неможливе сортування риби за її товарною цінністю, а у разі використання для переробки свіжих або охолодженої продукції реалізація даної технології потребує попередньої енергоємної операції із заморожування. До того ж підвищення твердисть матеріалів у процесі заморожування веде до зростання енерговитрат при кріозподрібненні, а значне тепловиділення може призвести до часткової розморозки продукції, що переробляється.

Виходячи з вище викладеного, є доцільним розробка універсального способу отримання заморожених подрібнених рибних продуктів зі свіжої охолодженої і в разі потреби розмороженої сировини.

Методи заморожування за ознаками тепловідведення та способу контактування з охолодним агентом можна звести до 5 груп:

- 1) з проміжним енергоносієм (повітрям або сольовим розчином), який піддається охолодженню холодоагентом;
- 2) із холодоагентом через стінку;
- 3) безпосередньо з холодоагентом;
- 4) за рахунок вакуумного самозаморожування при пароутворенні;
- 5) з комбінацією вищезазначених способів.

Повітряне охолодження поширене у багатьох країнах, внаслідок доступності, природності та інертності повітря як теплоносія, крім того даний спосіб порівняно простий і універсальний, внаслідок його незалежності форми та розмірів штучних об'єктів, відсутності чи виду їх упакування. Інтенсивність повітряного охолодження визначається розмірами об'єкта, температурою

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

оохолоджуючого середовища та кратності її циркуляції. Однак у повітря порівняно низька питома теплоємність і висока сорбційна здатність. Переважно повітряне заморожування проводять при мінус 20°C та природній повітряній циркуляції або при мінус 26÷30°C, у разі примусової повітряної циркуляції.

Конструкція повітряного скороморозильного агрегату, яка має бути теплоізольована для енергозбереження, зазвичай містить випарники для охолодження повітря, систем його подачі, транспортування продукту, автоматичного керування та регулювання. Модифікацій повітряних охолоджувачів штучних виробів досить багато. За типом транспортних вузлів такі агрегати можна поділити на флюїдизаційні, візкові або конвеєрні, причому в останніх двох проводять заморожування дрібнофасованих продуктів і блоків, а у флюїдизаційних заморожування відбувається у швидкісному потоці повітря, що продувається через шар об'єктів у псевдозрідженому (флюїдизованому, псевдокиплячому або зваженому) стані. У промисловості домінують візкові повітряні агрегати, рис. 1.1.

Для заморозки подібних за формою та близьких за розмірами виробів переважно застосовують установки з транспортуючими продуктами конвеєрними пристроями різного виду, наприклад, зі стрічковими, пластинчастими, ланцюговими, або лотковим конвеєрами з електро- або гідроприводом.

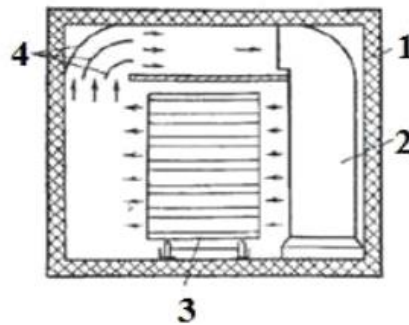


Рисунок 1.1 – Візковий апарат: 1 – теплоізоляційна огорожа; 2 – повітроохолоджувач; 3 – візок; 4 – відбивачі

Група флюїдизаційних пристроїв для дрібноштучних та сипучих матеріалів займає особливе місце серед широкого спектру морозильного обладнання, бо заморожування проводять у псевдокиплячому стані щільного шару об'єктів, висота якого залежить від розмірних та теплофізичних характеристик продуктів.

Флюїдизацію проводять на перфорованих піддонах або сітчастих конвеєрних пристроях за двостадійною організаційною схемою з переходом продукту з верхнього на нижній транспортний вузол. На рис. 1.2 показана схема флюїдизаційного пристрою з рухомою насадкою.

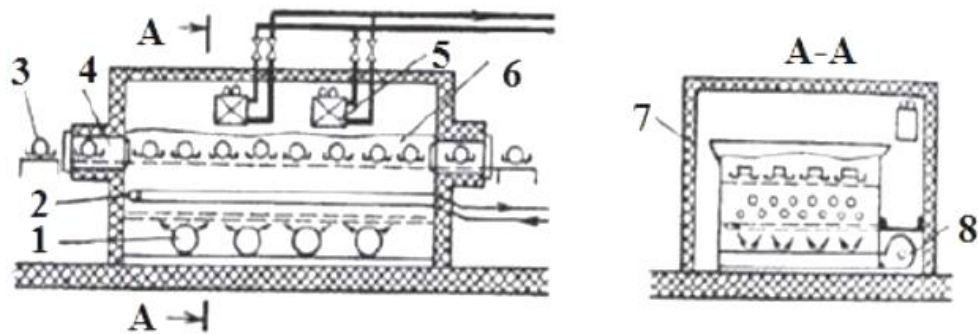


Рисунок 1.2 – Флюїдизаційний апарат з рухомою насадкою

На рис. 1.2 зображено: 1 – перфорований повітропровід; 2 – гладкотрубна змійникова батарея; 3 – конвеєри; 4 – вікна; 5 – повітроохолоджувач; 6 – рухлива насадка; 7 – теплоізолюваний контур; 8 – відцентровий вентилятор.

Відзначимо основні недоліки повітряних агрегатів для заморожування:

- потреба великих виробничих площ;
- довгостроковість виготовлення та впровадження великогабаритного та матеріалоємного обладнання;
- значні витрати при експлуатації та низька надійність виробничого обладнання, що веде до витрат при проведенні ремонтних робіт, придбанні запасних частин та утриманні великого штату кваліфікованих працівників;
- енергоємність;
- низька екологічна безпека через застосування охолодних агентів, таких як хладони та аміак;
- суттєві ресурсні втрати при усиханні продукції.

При способі охолодження зануренням в рідке середовище, що низько кипить, де енерговідведення відбувається при контакті матеріалу з рідким теплоносієм, відбувається більш інтенсивне відведення теплової енергії порівняно з повітряним охолодженням. Проте, в даному випадку можливе масоперенесення хладагента в матеріал, що за санітарними та гігієнічними нормами, особливо при заморожуванні харчових продуктів, неприпустимо, а утруднений контроль концентрації холодоагенту та нестача його нетоксичних та інертних видів обмежують широке поширення даного методу охолодження заморожування.

Занурювальні або імерсійні агрегати можна умовно розбити на дві групи: з фіксованим, стаціонарним розміщенням у рідкому холодоагенті об'єкта заморожки або з його конвеєрним пересуванням у холодоагенті. На рис. 1.3 наведено схему занурювального агрегату. Такі агрегати при всій їх привабливості мають низький рівень механізації і циклічність функціонування, що не дає можливості включення їх у потоковий технологічний ланцюг.

									Арк.
									12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ				

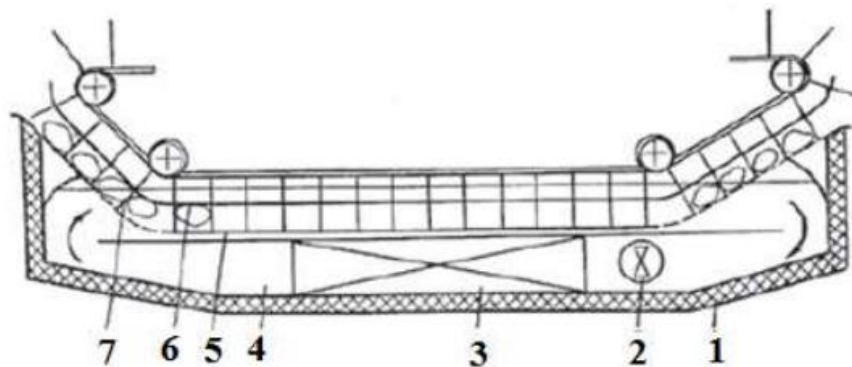


Рисунок 1.3 – Занурювальний апарат

На рис. 1.3 зображено: 1 – теплоізоляційна огорожа; 2 – мішалка; 3 – випарник; 4 – ємність із холодоносієм; 5 – нижня сітчаста перегородка; 6 – верхня сітчаста перегородка; 7 – ґратчасті пластини конвеєра.

Виходячи з того, що холодоагентами є рідкі середовища, зокрема, розчини хлориду натрію або кальцію, виникає необхідність високої корозійної стійкості матеріалів такого обладнання, тобто використання високолегованих сталей при виготовленні деталей установок, що природно призводить до зростання їх вартості. Крім того виникають додаткові складності та витрати, у тому числі енергетичні, через великі габарити установок і пристроїв для зрошення, що сприяють деконцентруванню розчину.

При кондуктивному або контактному способі заморожування об'єкта правильної форми з прямокутним перетином проводять шляхом підведення тепла від холодоагенту, іноді з теплоносія, від морозильних плит, які, крім того, формують і підпресовують матеріал за допомогою електричного або гідроприводу.

З урахуванням розташування плит такі агрегати поділяють на горизонтальні або вертикально-плиткові (рис. 1.4, а), а також роторного або барабанного виконання (рис. 1.4, б, в) причому агрегати з горизонтальним розташуванням плит використовуються переважно в рибній галузі, а вертикальним – у м'ясній.

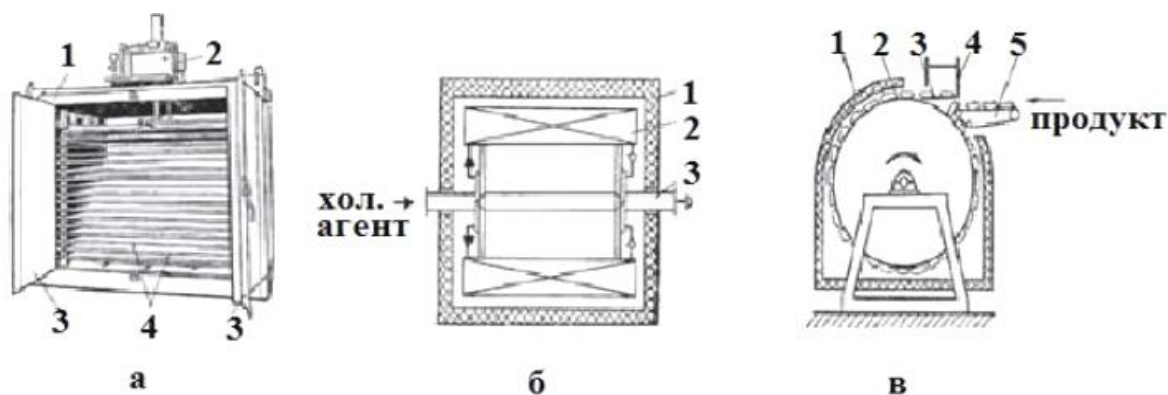


Рисунок 1.4 – Морозильні апарати

а) плитковий: 1 – теплоізоляційна огорожа; 2 – гідравлічний привід; 3 – дверні стулки; 4 – морозильні плити;

б) роторний: 1 – теплоізоляційна огорожа; 2 – секція із морозильними плитами; 3 – вал ротора;

в) барабанний: 1 – теплоізоляційна огорожа; 2 – обертовий барабан; 3 – ніж; 4 – розвантажуючий конвеєр; 5. – завантажувальний конвеєр.

Як випливає з вищевикладеного, вузьким місцем плиткових установок конструкцій є їх непридатність для заморожки об'єктів неправильної форми, а також, періодичність роботи, що не дозволяє вводити їх у по точні технологічні лінії.

Для заморожування харчових матеріалів використовують різні холодоагенти, такі як скраплений азот, вуглекислий газ та хладон. Кріоморозильні агрегати більш ефективні і поділяються на занурювальні та форсуночні. В на відміну від агрегатів, описаних вище, криогенне рідке середовище диспергується за допомогою розпилювачів і наноситься на матеріал обробки. Ефективніше проводити заморожування у двозонному кріоагрегаті, де на першому етапі 30–40% теплової енергії відводиться газовим азотним потоком, а на 2-му зрідженим азотом (рис. 1.5).

Щодо систем азотного заморожування слід відзначити їх експлуатаційну надійність, і, як наслідок маловитратність ремонтних робіт і технічного обслуговування, а також високу охолодження, що дає можливість проведення шокової первинної охолодження на першому етапі заморожування. Однак, поряд з перевагами таких систем необхідно відзначити неекономну витрату дорогого кріосередовища в них і небезпека того, що висока швидкість тепловіддачі може призвести до розтріскування матеріалу, що погіршує його товарний вигляд.

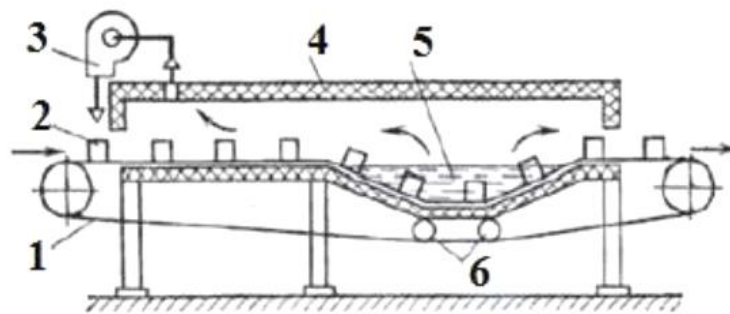


Рисунок 1.5 – Криогенний апарат

На рис. 1.5 зображено: 1 – конвеєр; 2 – товар; 3 – вентилятор; 4 – теплоізоляційна огорожа; 5 – ємність із рідким азотом; 6 – напрямні роли конвеєра.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Міжнародний інститут холоду та комітет FAO/WHO визначає «швидке заморожування», як термін, що характеризує швидке просування фронту замерзання, тобто поверхні з температурою в діапазоні -1°C до -5°C , причому при -18°C заморожування припиняється.

Основними перевагами швидкого заморожування щодо повільному є:

- розміри крижаних кристалів при заморожуванні значно менші, що веде до мінімізації розриву клітинних оболонок;
- через високу швидкість процесу заморозки зменшується час для концентрування клітинної рідини та дифузії солей;
- уповільнюється мікробіальне зростання, окисні та інші негативні процеси.

Для кріобробки штучних дрібнорозмірних виробів можна використовувати шокову заморозку при значному прискоренні стадій загальної технологічного ланцюга, що включає процеси охолодження, замерзання та до морожування матеріалу при температурі охолоджуючого середовища від -30°C до 40°C і різке підвищення швидкості циркуляції холодного повітря в робочій камері агрегатів шокового заморожування тунельного з конвеєрно-тіле жочним транспортуванням, люлечного, спіралеподібного та флюїдизаційного типів.

Метод шокової заморозки веде до скорочення тривалості процесу та підвищення якості готової продукції. Проте, скороморозильне обладнання для шокової кріобробки є енергоємним, і для уникнення усушки при зберіганні морожених рибних продуктів необхідна операція глазурування, тобто формування поверхневого шару льоду (глазурі), який мінімізує усихання та окислення ліпідної фракції. При цьому морожену рибу вручну двічі або тричі на $5\div 10$ секунд занурюють у воду при $1\div 3^{\circ}\text{C}$ з витримкою повітря протягом $10\text{--}12$ секунд і далі залишають на 1 хвилину на повітрі для закріплення глазурувального покриття перед упаковкою. Для цього застосовна зарубіжна технологія CRYOMIX™, що здійснює суміщення операцій змішування, очі ровки та швидкого заморожування для підвищення якості глазурованих матеріалів при індивідуальному та швидкому заморожуванні (IQF). Дану технологію застосовують для отримання широкого спектру глазурованих виробів, зокрема, плодоовочевих сумішей з включеннями рибних та м'ясних елементів.

Вакуумне самозаморожування відбувається при екзотермічному пароутворенні вологи матеріалу в середовищі зі зниженим тиском. Технологія вакуумної заморозки була запропонована в 20-і роки минулого століття для отримання сухих інгредієнтів заміників крові та антибіотиків.

Даний метод використовують для отримання заморожених м'ясних (фаршевих) продуктів і напівфабрикатів, а також рибної, молочної та плодоовочевої продукції. Серед переваг вакуумних морозильних агрегатів можна виділити суттєве скорочення витрат енергії та часу заморозки.

Зразкова схема вакуумної морозильної установки (рис. 1.6) включає: вакуумну робочу камеру (субліматор), конденсатор і вакуумний насос, об'єднані в замкнуту систему.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

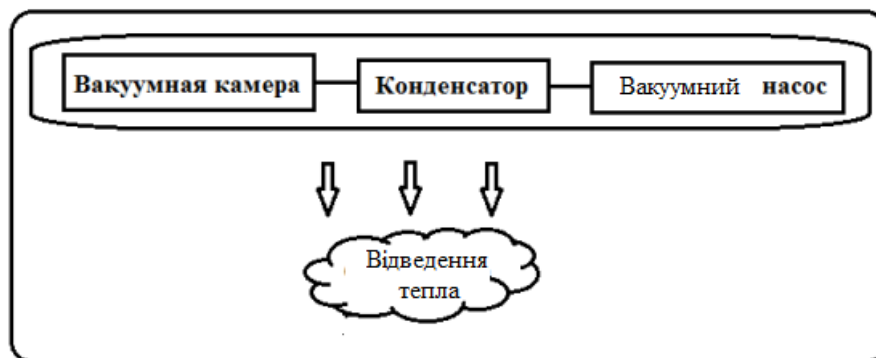


Рисунок 1.6 – Принципова схема вакуумної установки

Застосування методу вакуумного самозаморожування дрібнорозмірних фаршевих виробів, не зважаючи на переваги, супроводжується усиханням матеріалу (12÷15% від загальної маси), що веде до зниження ваги товарної продукції через видалення частини вологи, яку необхідно компенсувати. До тому ж при знаходженні в розрідженому середовищі вироби можуть необоротно деформуватися через здуття або травмування поверхні клітинних оболонок під дією внутрішнього загального тиску, що перевищує знижений тиск зовнішнього середовища, що веде до зростання розмірів і пористості виробів. Для мінімізації цих негативних явищ доцільно розбити процес кріообробки на два етапи: попереднє заморожування виробів з формуванням поверхневого шару льоду та стабілізації стану оболонки продукту при максимальному виключенні десорбційної усадки.

Заморозка продуктів відбувається за рахунок екзотермічного пароутворення шляхом сублімації льоду з поверхневого шару, товщина якого визначається часом його повного випаровування до завершення заморожування, практично без усадки. По суті, перший етап заморожування аналогічний до глазурування. Відомо, що швидкість сублімування чистого льоду в порівнянні з колоїдними матеріалами вище і це призводить до прискорення процесу вакуумного замерзання на другому етапі, внаслідок наморожування поверхневого шару харчових матеріалів.

Заморожування харчової продукції для збільшення терміну зберігання часом більш ефективна, ніж їх сушіння, незважаючи на те, що зберігання сухих продуктів не вимагає додаткових витрат у порівнянні із замороженими, внаслідок того, що в порівнянні з зневодненням консервація холодом не наводить до суттєвого зниження якісних показників. Після відновлення заморожені продукти на відміну від висушених, за своїми споживчими властивостями ближчі до нативних, внаслідок відсутності термовпливу та необхідності тривалого процесу набухання, за винятком випадків, коли суха або заморожена продукція є готовою для вживання.

Використання швидкого заморожування під час холодильної обробки рибних фаршових напівфабрикатів, які згодом піддаються тривалого зберігання – недоцільно, оскільки температура зберігання підтримується на рівні -18°C , що призводить до зайвих енерговитрат при швидкому заморожуванні, втраті ефекту оптимальної кристалізації для збереження структури внаслідок отеплення продукту під час транспортування та зберігання при -18°C . Тому,

доцільно проводити заморожування фаршових продуктів у вигляді тонких штрангів, що проходять у фільерах кожухотрубного теплообмінника, що є частиною змішувача, рідким холодоагентом до криоскопічної температури, для виключення наступної адгезії між штрангами в камері морозильного апарату.

Доцільно подальше охолодження фаршевого штранга, досягнувши середньооб'ємну криоскопічну температуру шляхом самозаморожування у вакуумі до температури його повного заморожування, бо при цьому вся вода перетворюється на лід і швидкість випаровування різко падає, тому що сублимація пари з льоду є значно тривалою. Це виключає розморожування продукту протягом технологічних операцій при його транспортуванні до морозильної камери та завантаження в неї. При цьому температура фаршового напівфабрикату знизиться до значень у морозильній камері з метою його подальшого низькотемпературного зберігання.

Для максимального зниження наявності недоліків у кінцевій підлозі фабрикаті етап охолодження до криоскопічної температури проводиться в замкнутому обсязі трубок кожухотрубного теплообмінника, що практично виключає здуття та деформацію механічно обмежених у розмірах штрангах.

Доцільно отримати рибний фаршевий напівфабрикат з додаванням сухих рослинних інгредієнтів, які легко подрібнити до одержання тонкодисперсного порошку. Це пов'язано з тим, що по-перше сухий продукт при змішуванні з фаршем сорбує вільну вологу, що переходить у ньому пов'язаною, яка заморозку не піддається, і тому в суміші зменшується кількість вільної вологи, а значить і знижуються витрати на заморозку і по-друге рослинні інгредієнти є носієм цінних поживних речовин, які не містяться в рибі, тим самим збагачуючі фарш при зниженні його калорійності, а відтак і вартості при збереженні необхідних споживчих властивостей.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ВАКУУМНО-МОРОЗИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ РИБОРОСЛИННИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

2.1 Формування рибної фаршевої суміші

Найбільш близькою конструкцією, яка могла б реалізувати запропоновану технологію з вакуумного заморожування рибного фаршу є морозильна установка, яка представлена на рис. 2.1. Для вирішення поставлених завдань цей морозильник доцільно удосконалити для усунення ряду недоліків, пов'язаних з використанням проміжних теплоносіїв конвективного заморожування, а також необхідністю створення в камері пакувального вузла, який у нашому випадку пов'язаний із загальною вакуумною лінією, призначеною для процесу заморозки.

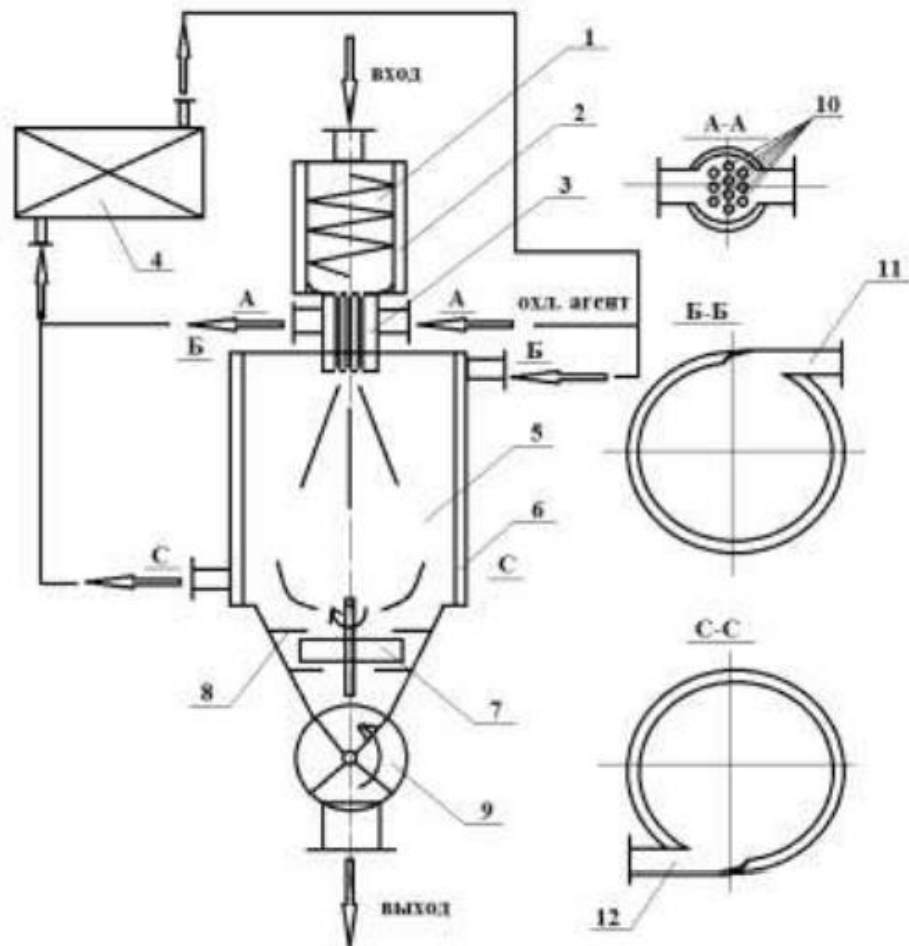


Рисунок 2.1 – Схема морозильної установки для заморожування фаршу

ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Ларін			
Перевір.	Омельченко			
Н. Контр.	Омельченко			
Затверд.	Омельченко			
Удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів			Літ.	Арк.
				21
			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО	
			Аркушів	50

На рис. 2.1 зображено: 1 – шнек подачі для продукта; 2, 6 – теплоізоляція; 3 – кожухотрубний теплообмінник; 4 – підготовка холодоагенту; 5 – камера заморозки; 7 – елементи подрібнювача; 8 – нерухомі лопаті подрібнювача; 9 – шлюзовий затвор; 10 – фільтри; 11 – вхід газоподібного хладагента; 12 – вихід газоподібного холодоагенту.

Ефективність формування пластичних мас залежить від в'язкості та щільності продукту, геометричних розмірів формувальних вузлів та матеріалів з яких вони виготовляються. Слід відзначити, що важливим є вплив взаємопов'язаних станів вологи та вологості, а також формування та максимальне збереження цілісності суміші фаршу під час виходу з фільтри.

Вивчення кінетики та аналіз закономірності процесу формування фаршевої суміші відіграє важливу роль для інтенсифікації тепломасообмінних процесів вакуумної заморозки та підвищення споживчих властивостей кінцевого виробу при виробництві багатокомпонентних фаршових напівфабрикатів.

Відомо, що надання харчової суміші заданої форми та розмірів називається формуванням, але враховуючи специфіку технології необхідно дати більше докладне визначення процесу формування рибної фаршевої суміші для подальшої вакуумної заморозки, яка полягає в переході рідини в твердий виріб заданої конфігурації в результаті зовнішніх і внутрішніх фізико-механічних впливів. Можна виділити дві стадії у процесі формування: перша з яких пов'язана з формоутворення, а друга з фіксацією форми.

Формоутворення риборослинного фаршу здійснюється в інтервалі $500 \div 1200 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Швидкість та тривалість процесу багато в чому визначається різницею тисків у змішувачі та вакуумної морозильної камери, а також ступенем подрібнення фаршу. Стадія фіксації форми суміші відповідає температурній області затвердіння вільної вологи, що є складовою частиною рибного напівфабрикату. Швидкість і тривалість фіксації форми визначається теплофізичними властивостями рибного фаршу та умовами заморозки.

Слід відзначити, що тривалість формування буде визначатися тривалістю найдовшої стадії. Щоб процес формування протікав швидко потрібна менша швидкість затвердіння на стадії формоутворення ніж на етапі фіксації форми. Це досягається зі збільшенням швидкості охолодження. При цьому необхідно врахувати, що висота фаршевої суміші безпосередньо залежить від часу фіксації. Таким чином, до факторів, що впливають на швидкість затвердіння фаршу при формуванні, відносяться: в'язкість фаршевої суміші, швидкість охолодження, ступінь рівномірності охолодження та затвердіння в масі, а також маса виробу.

Погонна маса виробу $M_{\text{пог}}$ (кг/м) не є традиційним параметром, що використовується при розрахунках процесів формування. Він вводиться із врахуванням способу організації процесу як комплексна величина, побічно що враховує всі вищевикладені параметри і є цільовою функцією.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

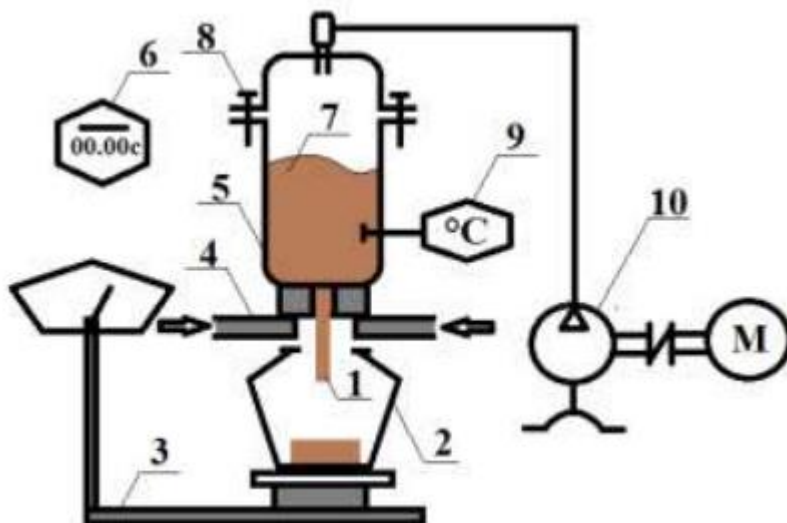


Рисунок 2.2 – Схема установки для формування фаршевих гранул

На рис. 2.2 зображено: 1 – формований штранг; 2 – ємність для збирання фаршу; 3 – ваги; 4 – шиберна заслінка; 5 – робоча ємність; 6 – секундомір; 7 – фаршева суміш; 8 – кріпильне з'єднання; 9 – термопара; 10 – компресор.

Параметри за яких працює установка: температура продукту $0 \div 3^\circ\text{C}$; тиск перед фільтрою $2\text{кгс}/\text{см}^2$; тиск на виході з фільтри – атмосферний.

Максимально можлива маса гранульованого фаршу залежить від його структурно-механічних та реологічних характеристик, довжини гранули при вільному вертикальному розташуванні та його розриві під дією гравітації. Відповідно, вагомими є діаметрів фільтри та штранга на виході з неї, а також ступені подрібнення фаршевої суміші.

Криві швидкості зміни масової витрати (рис. 2.3) та продуктивності гранул (рис. 2.4) залежно від діаметра фільтри.

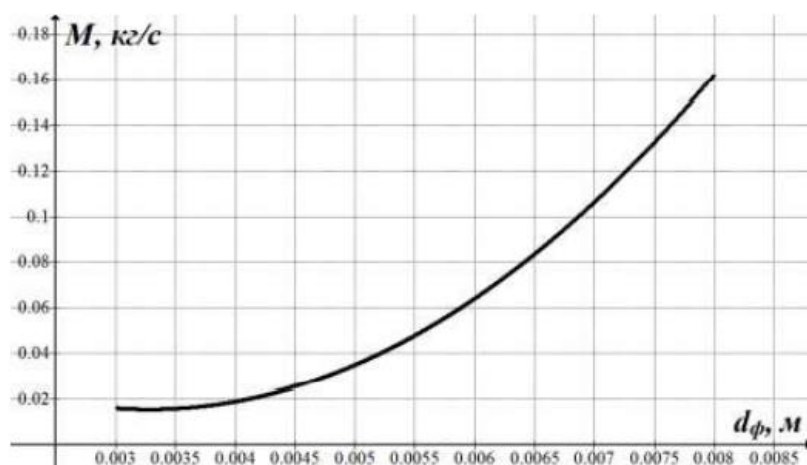


Рисунок 2.3 – Крива швидкості зміни масової витрати в залежності від діаметра фільтри

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Залежності для кривих швидкостей, рис. 2.4.

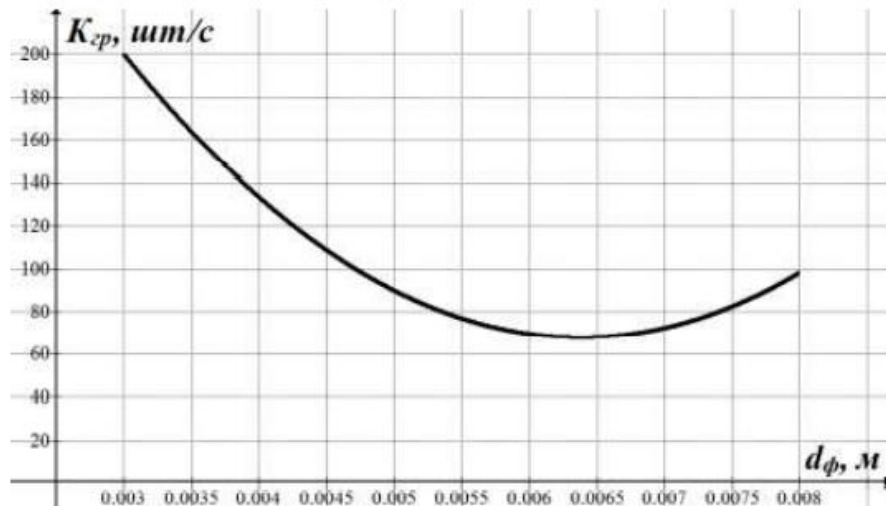


Рисунок 2.4 – Крива швидкості зміни штучної продуктивності гранул у залежно від діаметра фільтери

Аналізуючи графік залежності масової витрати від діаметра фільтери можна дійти висновку, що через зростання маси витрата зростає зі збільшенням діаметра, який як фактор превалює над впливом порівняно малої довжини фільтери, що зумовлює зростання його опору щодо фаршу. Тому в разі технологічної необхідності збільшення маси гранули, доцільно збільшити діаметр фільтери, але при цьому збільшується тривалість заморожування, внаслідок більшої поверхні теплообміну зменшується довжина гранули через зростання гравітаційної сили. Взаємний вплив цих факторів можна пояснити, аналізуючи графік залежності штучної продуктивності гранул від діаметра фільтери яка має мінімумом при $d_{\phi} = 6 \div 7$ мм. До характерної точки відбувається зниження штучної продуктивності, що пов'язано з превалюванням сил зчеплення між частинками фаршу через більшу площу поперечного перерізу гранули над впливом сил тяжіння. Після точки екстремуму превалювання впливу на штучну продуктивність зміщується у бік сил тяжіння.

Таким чином, варіюючи діаметром фільтери та його структурно-механічними характеристиками, наприклад, ступенем подрібнення, можна забезпечити необхідну штучну продуктивність і розмір гранул виходячи з необхідних споживчих властивостей.

2.2 Охолодження та заморожування риборослиних напівфабрикатів

Основною метою охолодження та заморожування є визначення тривалості при забезпеченні необхідного температурного режиму. Відповідно до запропонованої технології, що реалізується в конструкції апарату для її здійснення, зниження температури в об'єкті відбувається у три етапи.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

На першому етапі температура зменшується до значення $\approx 3^{\circ}\text{C}$ при змішуванні компонентів. На другому етапі відбувається формування фаршевої гранули і падіння температури до значення близького до криоскопічного. На третьому етапі відбувається самозаморожування фаршевої гранули у вакуумі.

Охолодження в каналі змішувального апарату відбувається за наступною схемою, представленою на рис. 2.5.

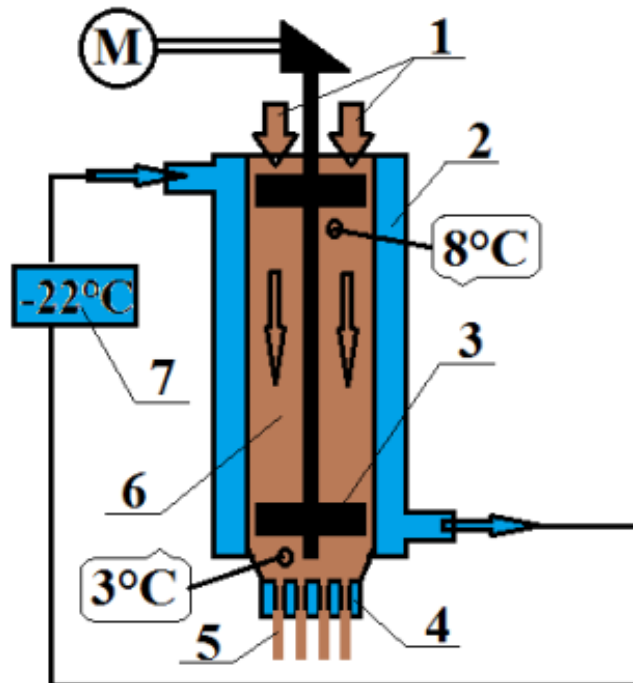


Рисунок 2.5 – Схема охолодження фаршевої суміші в каналі змішувача

На рис. 2.5 зображено: 1 – введення компонентів; 2 – холодоагент; 3 – пристрій, що переміщує; 4 – формувальний вузол; 5 – формований штранг; 6 – фаршева суміш; 7 – випарник.

Рибний тонкоподрібнений фарш, що має температуру 8°C подається в змішувальний апарат через вантажну воронку, одночасно з фаршем в змішувач дозується і сухий рослинний порошок інгредієнт за допомогою спеціального дозуючого пристрою. За рахунок різниці тисків у змішувачі та вакуумній морозильній камери здійснюється переміщення фаршевої суміші до фільтри формувального вузла. Змішування здійснюється на верхній ділянці змішувача за допомогою мішалки з плоскими лопатями, які встановлені перпендикулярно до напрямку їх руху. На нижній ділянці змішувача також є плоскі лопаті завдяки руху яких здійснюється вирівнювання температури фаршевої суміші перед заходом у формувальну зону вакуумного морозильного апарату.

Охолодження фаршевої суміші в зоні перемішування вирішується використанням сорочкової поверхні теплообміну, що охоплює ємність змішувача зовні де відбувається введення та виведення холодоносія, що має температуру -22°C , що здійснюється через штуцери розташовані у нижній та верхній його частинах.

Перш ніж вирішити задачу тривалості процесу охолодження в змішувачі необхідно визначитися з його габаритними розмірами, а саме з його діаметром та висотою. У даному випадку діаметр змішувача визначається із заданих, а саме масової витрати ($M = 500\text{кг/год}$) та швидкості руху фаршевої суміші в пристрої, що перемішує ($\omega_{\phi} = 0,0015\text{м/с}$), тоді:

1. Необхідна кількість фільтер n_{ϕ} дорівнює

$$n_{\phi} = \frac{M}{3600 \cdot M_{0,003}} = \frac{500}{3600 \cdot 0,016} \approx 10$$

2. Діаметр змішувача $d_{\text{см}}$, (м) знаходимо із співвідношення

$$d_{\text{см}} = \sqrt{\frac{4M}{3600 \cdot \rho \cdot \pi \cdot \omega_{\phi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{3600 \cdot 1080 \cdot 3,14 \cdot 0,0015}} = 0,33\text{м.}$$

Мінімальна висота змішувача $h_{\text{см}}$, (м) визначена з тривалості процесу змішування і заданої швидкості руху фаршевої суміші в перемішувальному пристрої ω_{ϕ} , а також з урахуванням коефіцієнта запасу, внаслідок варіювання параметрів та виду вихідного продукту, а також висот змішувача

$$h_{\text{см}} = \omega_{\phi} \cdot \tau_{\text{max}} = 0,0015 \cdot 400 = 0,6\text{м}$$

Для ілюстрації процесу охолодження та наступних розрахунків режимних параметрів діаметр змішувача прийнято – 0,3 м, а висота змішувача – 1 м.

Визначення змін температури в глибині об'єкта протягом суміщених процесів утворення та охолодження фаршевої суміші вирішується чисельним інтегруванням диференціального рівняння теплоперенесення

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a(T) \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}$$

де T – температура, $^{\circ}\text{C}$;

x – глибина шару, м;

τ – тривалість охолодження, с.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

При охолодженні фаршової суміші теплообмін задається наступними умовами

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_{\text{ст}} - T_{\text{гр}})$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²В· К);

$T_{\text{ст}}$ – температура внутрішньої поверхні стінки, що контактує з продуктом, яких охолоджується, °С,

$T_{\text{гр}}$ – температура на межі об'єкта дослідження, що контактує із стінкою.

Коефіцієнт тепловіддачі α при русі фаршу всередині труб в ламінарному режимі за відсутності конвекції може бути визначений з критеріальної залежності

$$Nu = 0.17 \cdot Re^{0.33} \cdot Pr_{\text{см}}^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{см}}}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0.25}$$

де Re – критерій Рейнольдса;

$$Pr_{\text{см}} = \frac{\mu_{\text{ф}} \cdot c_{\text{ф}}}{\lambda_{\text{ф}}} \quad \text{– критерій Прандтля для фаршової суміші};$$

$$Pr_{\text{ст}} = \frac{\mu_{\text{ф1}} \cdot c_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \quad \text{– критерій Прандтля стінки змішувача};$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_{\text{см}}}{\lambda} \quad \text{– критерій Нуссельта};$$

$\mu_{\text{ф}}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості фаршової суміші;

$\mu_{\text{ф1}}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості фаршової суміші за температури стінки, виготовленої з харчової нержавіючої сталі.

На рис. 2.6 графічно представлено температуру по шару фаршевого продукту, що змінюється в часі у процесі охолодження, для змішувача, що є складовим вузлом морозильної камери з діаметром 0,3 м та заввишки 1 м.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

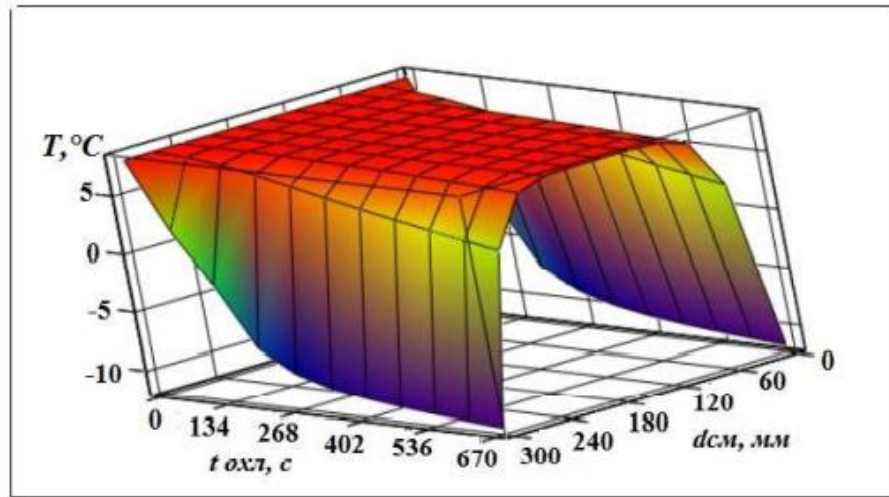


Рисунок 2.6 – Температура по шару фаршевої суміші, що змінюється в часі у процесу охолодження

Графічна залежність середньої об’ємної температури T_{cp} , °C від тривалості процесу охолодження $t_{охл}$ в змішувачі морозильного апарату, представлено на рис. 2.7.

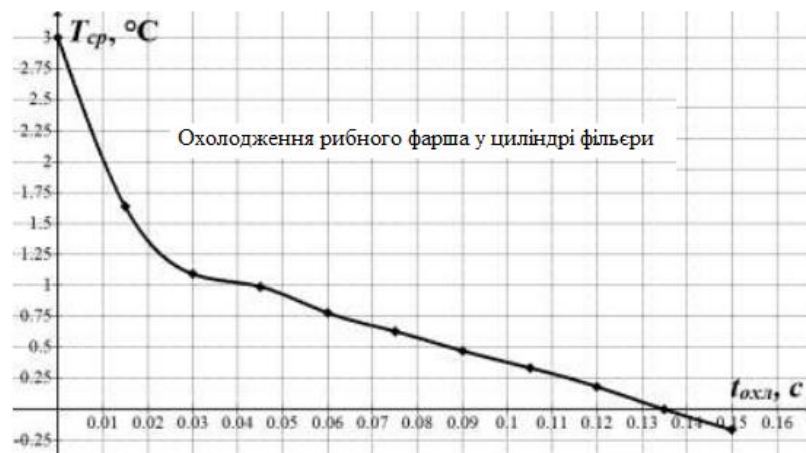


Рисунок 2.7 – Зміна середньої об’ємної температури від тривалості процесу охолодження в циліндрі фільтри теплообмінника морозильного апарату

З графічної залежності видно, що середньооб’ємна температура фаршевої суміші швидко досягає заданого значення, що обумовлено його малим діаметром у циліндрі фільтри та високої швидкості просування, що веде до зростання коефіцієнта тепловіддачі [5].

Слід зазначити, що наявність вологи в харчових продуктах відіграє важливу роль, тому що обумовлює не лише консистенцію і структуру продукту, а й її взаємодію з присутніми компонентами та визначає стійкість продукту при зберіганні в замороженому вигляді.

Загальна вологість продукту вказує на кількість води в ньому, але не характеризує її причетність до хімічних, біохімічних та мікробіологічних змін у продукті. Розрізняють прямі та непрямі методи визначення вологості. Прямими методами вміст води у продукті знаходять шляхом прямого вимірювання її кількості після попередньої гонки. При непрямих методах змісту води у продукті можна судити по його сухому залишку після висушування за електропровідністю, за щільністю, діелектричною постійною, коефіцієнтом заломлення тощо [4, 5].

У забезпеченні стійкості при заморожуванні важливу роль відіграє співвідношення вільної та пов'язаної води у фаршевих продуктах. Це пояснюється тим, що пов'язана вода – це асоційована вода, що має міцний контакт з різними компонентами – білками, ліпідами та вуглеводами за рахунок хімічних і фізичних зв'язків, а вільна вода не пов'язана тепловим і більш доступна для зміни свого агрегатного стану.

Кількість вимерзлої води ω визначається як відношення маси льоду у продукті до сумарної маси води та льоду. Величину ω виражають у частках одиниці або у відсотках.

Фаршевий напівфабрикат піддавався виморожуванню при температурах холодоносія в інтервалі 0 ... -20 °С. Для кожної температури після години витримки зразка проводився замір обсягу досліджуваного продукту V_k визначення його зміни ΔV у процесі заморожування [4]. В інтервалі температури 0...-2°C варіювання проводилося з кроком -0,5°C, а в інтервалі температури -2...-5°C – -1°C до температури -20°C – -2°C. Масу утвореного льоду $m_{л}$ розраховували на основі системи рівнянь

$$\begin{cases} m_{вл} = m_{л} + m_{р} \\ \Delta V = \frac{m_{л}}{\rho_{л}} + \frac{m_{р}}{\rho_{р}} - V_{н}, \rightarrow m_{л} = \frac{\rho_{л}((\Delta V + V_{н})\rho_{р} - m_{вл})}{\rho_{р} - \rho_{л}} \end{cases}$$

При виморожуванні при різних температурах холодоносія утворювалося при -2°C до 60% льоду, при -5°C до 75% льоду, при -10°C до 85% льоду і при подальшому зниженні температури до 90% льоду. Отримані дані показують, що лінійність характеру льодоутворювального процесу проявляється лише зі зниженням температури холодоагенту. Обробка рибних фаршевих напівфабрикатів дозволила отримати узагальнену залежність кількості вимороженої води ω від температури t при утриманні води продукті $W=65...80\%$ [3].

У міру підвищення температури частка вимерзлої води зменшується і досягає нуля при криоскопічній температурі у фарші.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

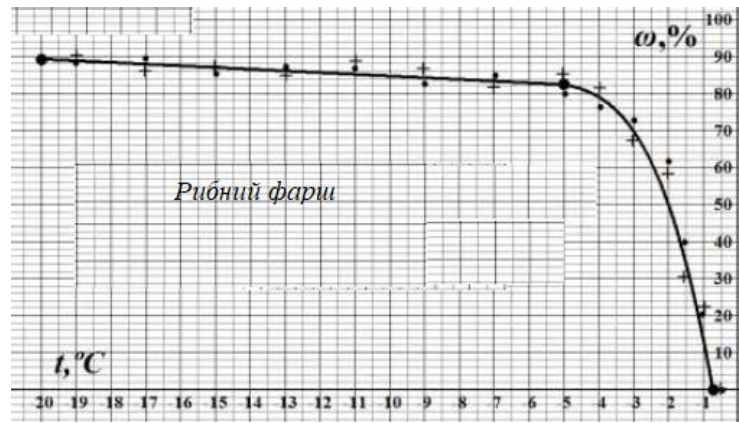


Рисунок 2.8 – Залежність кількості вимороженої води від температури холодоагенту у фарші

$$\omega = -0.023t^4 - 1.15t^3 - 14.48t^2 - 71.988t - 44.9,$$

$$\omega = -0.46t + 80,$$

де ω – кількість вимороженої вологи, %;
 t – температура фаршу, °C.

Щільність рибних напівфабрикатів в інтервалі температур від криоскопічної до 20°C залишається постійною. Для інтервалу температур від -20°C до криоскопічної залежність щільності від середньої температури фаршевої суміші визначатиметься лінійно, бо в період від -20°C до криоскопічної температури, щільність продукту змінюється у зв'язку з появою вимороженої вологи ω [4].

Для практичної зручності, коли необхідно розрахувати щільність фаршевої сировини $\rho_{см}$ при температурах нижче криоскопічної, доцільно використовувати рівняння

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{W\omega}{\rho_{л} \cdot 100} + \frac{W(1 - \frac{\omega}{100})}{\rho_{вл}} + \frac{1 - W}{\rho_{сух.ост}}}$$

де W – вологість рибного фаршу, кг/кг;
 ω – кількість вимороженої вологи в фарші, %;
 $\rho_{л}$, $\rho_{вл}$ і $\rho_{сух.ост}$ – щільність відповідно льоду, води та сухого залишку, кг/м³

Теплофізичні характеристики є змінними та залежать від температури, хімічного складу та властивостей сировини. Внаслідок різноманіття риб, а також залежність їх властивостей, місця вилову, віку, раціону харчування тощо морфометричні та фізико-хімічні характеристики даних об'єктів дослідження можуть значно різнитися.

Перетворення води на лід при заморожуванні рибних напівфабрикатів призводить до значної зміни їх теплофізичних властивостей, бо властивості води та льоду значно різняться. Зміна агрегатного стану продукції та його швидкість визначається не тільки умовами зовнішнього теплообміну, а й властивостями сировини, що заморожується. Тому теплофізичні властивості продукту мають значний вплив на тривалість процесу заморожування, які, у свою чергу, залежать від температури, кількості вимороженої вологи тощо.

Математичний опис процесів нагрівання та охолодження будь-яких продуктів ідентичний. З погляду практичного використання цікавий період упорядкованого регулярного режиму для стабілізації процесу, в якому варіювання температури в будь-якій просторовій точці зразка підпорядковується певному закону і характеризується незмінністю інтенсивності регулярного режиму m .

$$V = A \cdot U \cdot e^{-m\tau}$$

де $V = t - t_c$ – надмірна температура;

A – постійна залежна від початкових умов;

U – деяка функція координат;

m – темп регулярного режиму;

τ – час від початку охолодження тіла.

Диференціюючи вираз за τ , маємо вигляд

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = -m \cdot A \cdot U \cdot e^{-m\tau}$$

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = -m \cdot V$$

$$m = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial \tau}; m = -\frac{\partial(\ln V)}{\partial \tau}$$

Темп регулярного режиму m не залежить від початкового стану системи і однаковий для всіх точок тіла, бо у вираз не входить постійна A , що залежить від початкових умов та функції U , значення якої залежить від координат точки. Тому темп регулярного режиму графічно виражається тангенсом кута нахилу прямої до осі абсцис

$$m = \frac{\ln V_1 - \ln V_2}{\tau_2 - \tau_1} = \operatorname{tg} \beta$$

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Чим швидше охолоджується тіло, тим крутіше нахил прямої і більша величина m . При коефіцієнті тепловіддачі $\alpha \rightarrow \infty$ і $t_{\infty} = const$ коефіцієнт температуропровідності пропорційний темпу регулярного режиму

$$a = k \cdot m$$

де k – коефіцієнт форми.

Для циліндра

$$k = \frac{1}{\left(\frac{2.405}{R}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{h}\right)^2}$$

де h – висота циліндра;

R – радіус циліндра.

Таким чином, якщо для тіла відомої форми і розмірів знайти значення темпу регулярного режиму m тоді можна визначити коефіцієнт температури a .

На рис. 2.12 представлена залежність коефіцієнта температуропровідності a рибних гранул від середньої температури t_{cp} .

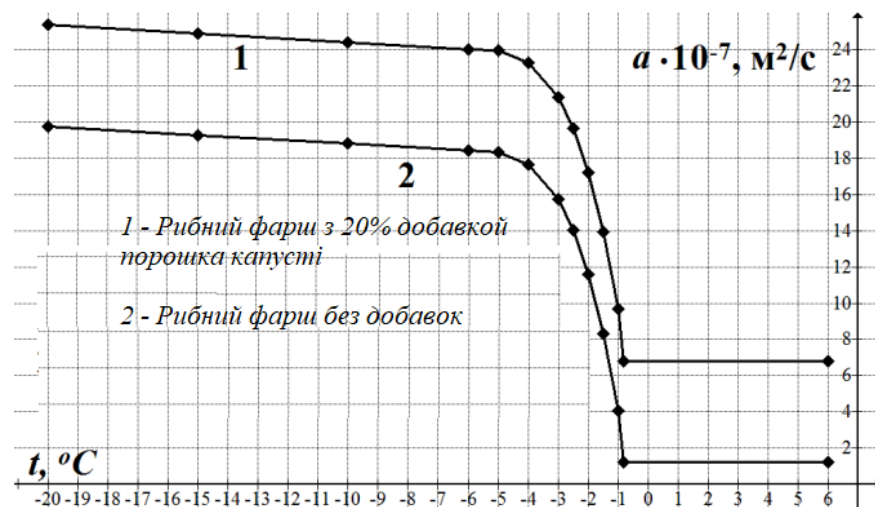


Рисунок 2.9 – Графік зміни температуропровідності фаршевої суміші залежно від температури гранул

З графіку видно, що значення коефіцієнта температуропровідності для фаршів без внесення добавки коливаються у малому діапазоні, що обумовлює незначну їхню незалежність від вмісту вологи та жиру для багатьох видів риб. Також необхідно зазначити, що теплофізичні характеристики харчових продуктів істотно залежать від температури при її зниженні нижче криоскопічної та утворенні вимороженої вологи.

Важлива теплофізична характеристика, така як теплоємність, також є функцією температури, але має ряд особливостей в області фазових переходів. Впливом тиску на теплоємність проводячи вимірювання при нормальному атмосферному тиску можна знехтувати [6]. Для її вимірювання використовуються калориметричні методи (непрямі методи): метод змішування; адіабатного калориметра; диференціального калориметра; метод мікрокалориметр регулярного режиму; метод порівняння.

На відміну від хімічно нейтральних речовин харчові продукти мають свою специфіку, яка вимагає виконання цілого ряду умов: витрати часу на експеримент; швидка заміна досліджуваних зразків; простота конструкції установки; максимальна точність визначення теплоємність.

В основу використовуваного методу покладено визначення постійної калориметра – K , що враховує втрати введеної теплової енергії з високою точністю, а також створення високочутливої вимірювальної схеми, що дозволяє надійно вимірювати невеликі (порядку 2К) зміни температури зразка. Метод дозволяє в протягом кількох хвилин отримати результат.

Установка, що реалізує даний метод складається з теплової та вимірювальної частин. Теплова частина являє собою теплоізольовану судину (термос), в яку поміщаються досліджувані зразки, вимірювальна частина складається з двох частин – схеми живлення та вимірювання напруги та струму в нагрівачі, а також схеми вимірювання та реєстрації термододс вимірювальної термопари, якою була застосована диференціальна термопара [3].

Питома теплоємність визначається за формулою

$$c = \frac{Q_{\text{пол}}}{M \cdot \Delta t}$$

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

$Q_{\text{пол}}$ – корисна кількість введеної в досліджуваний зразок теплової енергії (Дж);

M – маса зразка, (кг);

Δt – зміна температури зразка (К).

Кількість теплоти, що вводиться в зразок за допомогою електричного нагрівача визначається за формулою

$$Q = U \cdot I \cdot \Delta t$$

де U – напруга на нагрівачі зразка (В);

I – Струм через нагрівач, (А);

Δt – відрізок часу, протягом якого пропускається струм через нагрівач, (С).

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Визначення питомої теплоємності потребує точно вимірювати напругу на нагрівачі зразка, струм через нього, час пропускання струму, масу зразка і зміна його температури від теплоти, що виділилася. При цьому дуже важливо, щоб втрати теплоти були мінімальними.

Для зведення всіх теплових втрат до мінімуму не вдаючись до створення адіабатичних умов, але створивши хорошу теплову ізоляцію зразка (термос) установка забезпечена термостатом із регулятором температури, що забезпечує створення та підтримання заданої температури всередині термосу для отримання температурної залежності питомої теплоємності в робочому діапазоні температур та чутливим вимірником температури зразка [2, 4]. Схема установки представлена рис. 2.10.

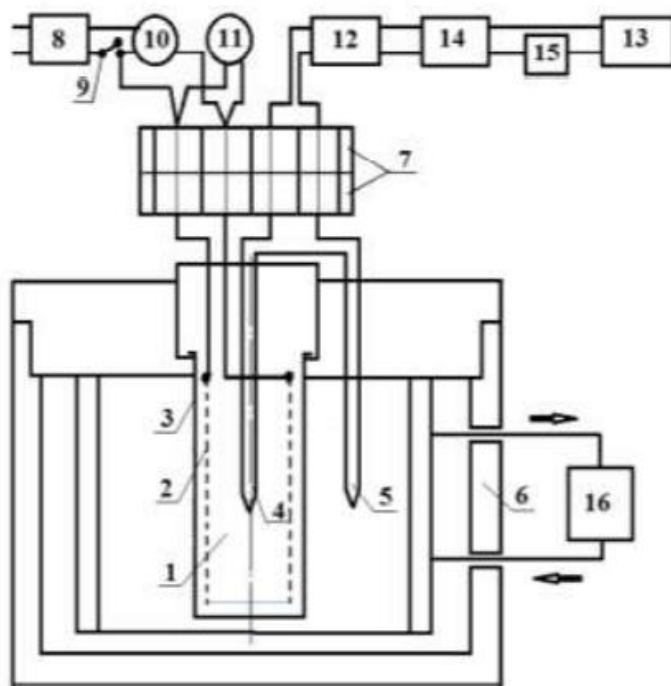


Рисунок 2.10 – Схема установки для визначення температурної залежності питомої теплоємності харчових продуктів

На рис. 2.10 зображено: 1 – напівфабрикат; 2 – нагрівач; 3 – ємність для досліджуваного зразка; 4, 5 – диференціальна термопара; 6 – оболонка термоса; 7 – електричний комутатор; 8 – джерело електричного струму; 9 – перемикач; 10, 11, 12, 14, 15 – прилади для необхідних вимірів; 13 – самописець; 16 – кріотермостат.

Теплоємність рибних фаршів в інтервалі температур від 0,01 °С до 6 °С залишається постійною, тому для цього діапазону достатньо розрахувати значення питомої теплоємності c (Дж/(кг К)) для риборослинних напівфабрикатів.

Для інтервалу температур від -20°C до 0°C залежність теплоємності від температури гранульованого фаршу визначатиметься адитивно, бо в період від -20°C до криоскопічної температури в продукті з'являється виморожена волога ω , частка якої впливає на значення z у заданій точці температурного вимірювання, яка, у свою чергу, визначається із залежності, а в період від криоскопічної температури до 0°C теплоємність води у напівфабрикаті має значення $2050 \text{ Дж}/(\text{кг К})$.

Для адитивного розрахунку теплоємності рибних фаршів при температурах від нуля до криоскопічної, необхідно враховувати значення теплоємності води при нульовій температурі.

Для практичної зручності, коли необхідно розрахувати теплоємність рибних фаршів $c_{\text{см}}$ при температурах нижче криоскопічної, доцільно використовувати рівняння в якому кількість вимерзлої вологи ω визначається необхідної температури, але з урахуванням зміни величини теплоємності льоду в інтервалі температур від криоскопічної до -20°C .

Рівняння для обчислення теплоємності рибних фаршів $c_{\text{см}}$ при температурах нижче 0°C і до -20°C має вигляд

$$c_{\text{см}} = \frac{W}{100} 2050 + \frac{\omega}{100} c_{\text{л}}(t) + \left(1 - \frac{W}{100} - \frac{\omega}{100}\right) c_{\text{с.о.}}$$

де W – вологість рибного фаршу, $\text{кг}/\text{кг}$;

ω – кількість вимерзлої вологи в фарші, %;

$c_{\text{л}}(t)$ – теплоємність льоду в залежності від температури, $\text{Дж}/(\text{кг К})$;

$c_{\text{с.о.}}$ – теплоємність сухого залишку, $\text{Дж}/(\text{кг К})$.

Коефіцієнт теплопровідності λ ($\text{Вт}/(\text{м К})$) для заданого інтервалу температур визначається через залежність

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

де значення a , c та ρ для заданого інтервалу температур відомі.

При морозильній обробці вивчалася зміна таких теплофізичних характеристик як: питомої теплоємності, коефіцієнта теплопровідності та температуропровідності, а також їх щільність. Головною причиною варіювання теплофізичних характеристик продуктів в умовах заморозки є фазовий перехід води з одного агрегатного стану в інший при замерзанні.

При заморожуванні крім теплоти, що визначається теплоємністю від рибних напівфабрикатів, відводиться також теплота фазового переходу води, що міститься у продукті, тобто у лід. Враховуючи, що продукти відносяться до високовологих, то питому теплоту льодоутворення при різних температурах приблизно можна обчислити за формулою

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$L = 335 + 2.12t$$

де L – питома теплота льодоутворення (кДж/кг);
 t – температура замороженого продукту, °С.

На рис. 2.11 представлена залежність питомої теплоти льодоутворення L , (кДж/кг) для високовологих продуктів від середньої температури t_{cp} .

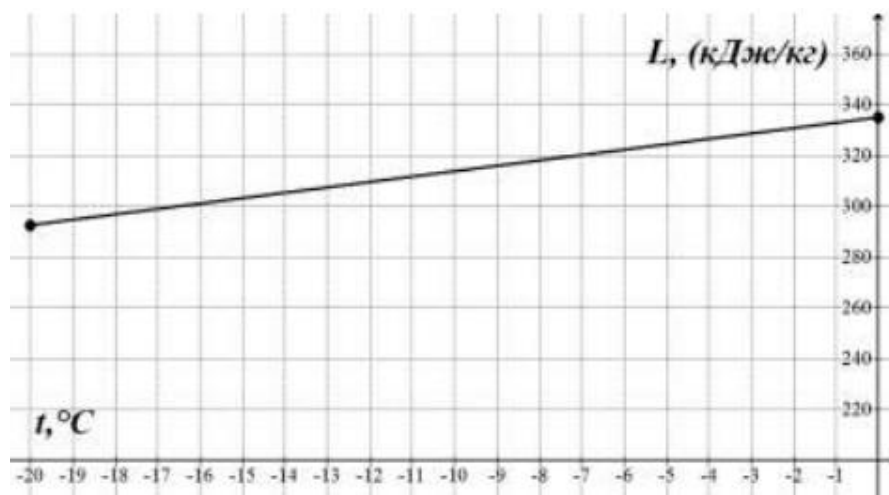


Рисунок 2.11 – Графік залежності питомої теплоти льодоутворення для високовологих продуктів від середньої температури t_{cp}

Теплота, що відводиться від продукту при його заморожуванні, представляє собою додаткову витрату холоду на заморожування де в якості основних доданків є теплота охолодження продукту від початкової температури до криоскопічної і теплоти доохолодження, що відводиться при зниженні температури від криоскопічної до середньої кінцевої температури морозива продукту

2.3 Вакуумне заморожування фаршових гранул

Вакуумне заморожування фаршевої суміші в робочій камері морозильного апарату відбувається за наступною схемою, представленою рис. 2.8.

Гранули фаршу, що мають температуру $-0,1 \pm 0,05^\circ\text{C}$ подаються до робочої зони морозильного апарату з вузла формування за рахунок різниці тисків у суміші та вакуумної камери, в якій і здійснюється мимовільне його заморожування до температури $-1,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Одночасно відбувається і відділення замороженої частини гранули подрібнювачем та отримані таким чином гранули під дією сил тяжіння зсипаються в накопичувач в якому здійснюється їх дозування та пакування.

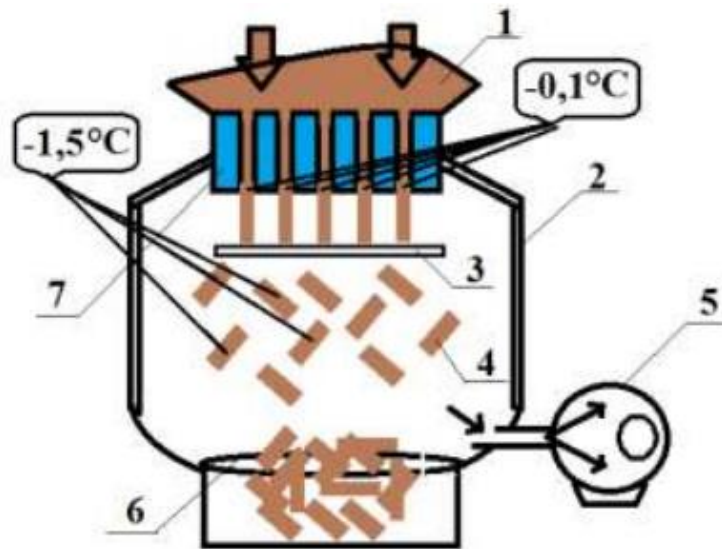


Рисунок 2.12 – Схема вакуумного заморожування рибних гранул в робочій камері морозильника

На рис. 2.12 позначено: 1 – фаршева суміш; 2 – робоча камера морозильника; 3 – подрібнювач; 4 – заморожені гранули; 5 – вакуумний насос; 6 – накопичувач; 7 – вузол формування фаршевих гранул.

Для знаходження нестационарних температурних полів при вакуумному мимовільному заморожуванні необхідно вирішити систему диференціальних рівнянь перенесення тепла та маси [2]. При цьому необхідно врахувати, що з одного боку, заморожування відбувається внаслідок витрат енергії на випаровування вільної вологи у вакуумі, а з іншого – при льодоутворенні відбувається виділення теплової енергії та підвищення температури.

Заморожування фаршевої суміші здійснюється рівною мірою по всій зовнішній поверхні циліндричного штранга малого діаметра $d=3\div 6$ мм, тобто відбувається внутрішній і зовнішній тепло і масоперенос.

На рис. 2.13 графічно представлено температуру шару фаршевої гранули, що змінюється в часі у процесу вакуумного заморожування в робочій камері морозильника.

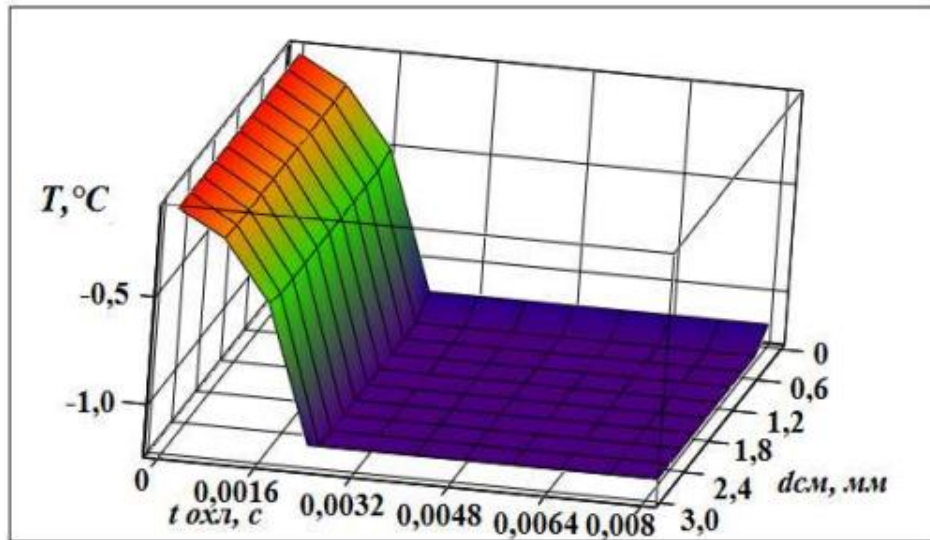


Рисунок 2.13 – Температуру шару фаршевої гранули, що змінюється в часі під час процесу самозаморожування в робочій камері морозильника

На рисунку 2.13 представлена графічна залежність середньої об'ємної температури T_{cp} °C від тривалості процесу самозаморожування t_{oxl} в робочій камері морозильного апарату.

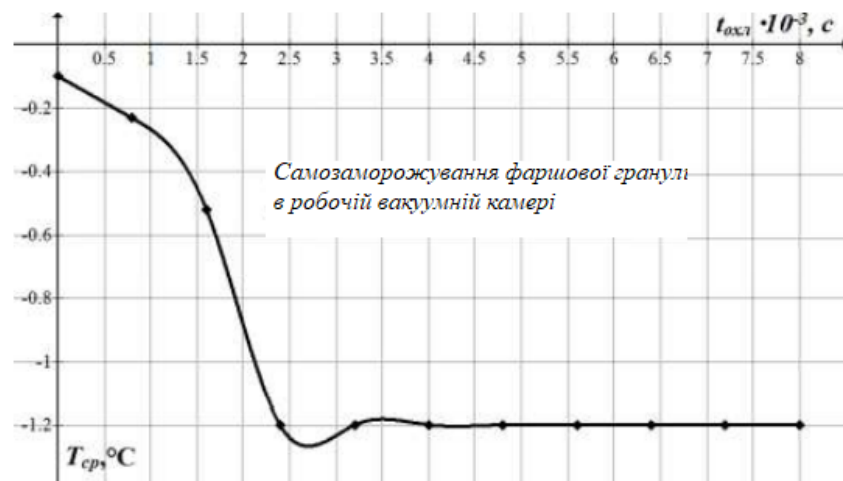


Рисунок 2.13 – Зміна середньої об'ємної температури від тривалості процесу самозаморожування у робочій вакуумній камері морозильного апарату

З графічної залежності видно, що середньооб'ємна температура фаршевої суміші швидко досягає заданого значення. Це зумовлено тим, як було зазначено вище, що взаємний та протилежний вплив ендотермічного ефекту при заморожуванні з одного боку та екзотермічного ефекту з іншого при виділенні теплової енергії та підвищенні температури при фазових переходах і визначає швидкість і час замерзання.

У вакуумну камеру з ємності для вихідного продукту подається фаршева суміш з температурою, що дорівнює температурі штранга на виході з фільтри. Заморожені гранули збираються в приймальній ємності з розміщеною в ній термопарою. Камера забезпечена оглядовим вікном візуального спостереження за процесом заморожування. Величина залишкового тиску контролюється вакуумметром. Відкачування повітря проводиться двома спареними насосами типу ВН-46ІМ або водокільцевим насосом типу ВВН.

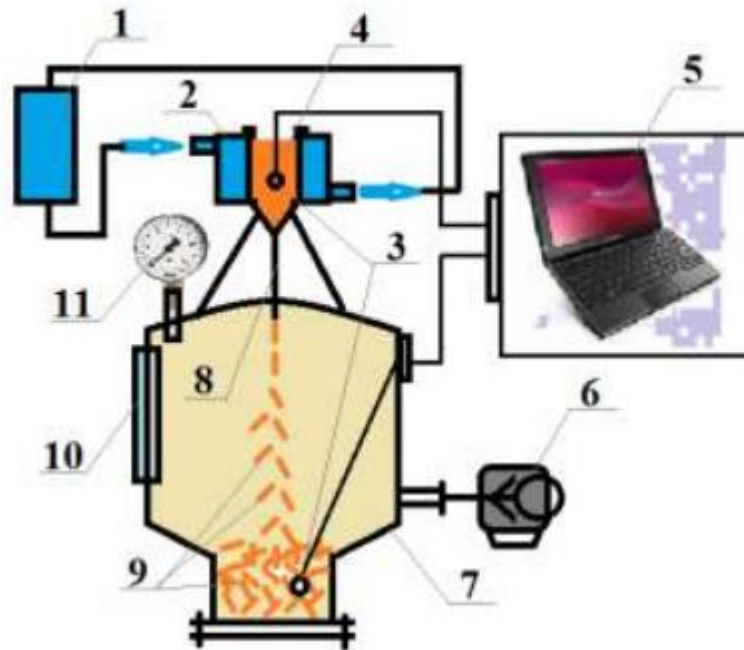


Рисунок 2.14 – Установка для визначення температури гранул після заморожування у вакуумі

На рис. 2.14 зображено: 1 – випарник; 2 – ємність для вихідного продукту з сорочкою охолодження; 3 – термопари; 4 – фаршева суміш; 5 – персональний комп'ютер; 6 – вакуумний насос; 7 – вакуумна камера; 8 – продуктопровід; 9 – фаршеві гранули; 10 – оглядове вікно; 11 – манометр.

2.4 Удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування фаршевих гранул

Представлений на рис. 1.7 морозильний апарат призначений для заморожування фаршевих гранул і його конструкція є найбільш близькою, щоб реалізувати запропоновану технологію з вакуумного заморожування риборослинних напівфабрикатів.

Реалізація та ефективність вакуумного самозаморожування фаршевої суміші суттєво залежать від конструкції морозильного апарату і саме тому його апаратне оформлення має раціональним чином відповідати не тільки фізико-хімічним і структурно-механічним властивостям вихідного матеріалу, а й відповідно до якості готового продукту – замороженої фаршевої гранули та необхідної технічної продуктивності.

Для прийняття необхідних конструкторських рішень при проектуванні апарату, який забезпечував би виконання пред'явлених до нього вимог при найбільш економічному режимі роботи та переробленні сировини зі схожими фізико-хімічними характеристиками при виробництві заданого виду продукції.

Аналіз існуючих морозильних апаратів показав, що більшість із них вузько-спеціалізовані до матеріалів суворо певних фізико-хімічних показників. Таким чином, для вакуумної заморозки риборослинної продукції необхідно вибрати найбільш морозильний апарат з низки можливих модифікацій, що дозволить оптимально реалізовувати продукцію з риборослинних напівфабрикаті.

Рішенням одного з поставлених вище завдань є удосконалення пристрою, що дозволяє здійснити вакуумне сазаморожування рибних фаршевих гранул з одночасною реалізацією подрібнення та можливого пакування замороженого напівфабрикату на виході з формуючих фільтрів безпосередньо в робочій камері апарату з подрібнення та встановленням пакувального обладнання для замороженого напівфабрикату на виході з формуючих фільтрів безпосередньо в робочій камері апарату. Пристрій представлено рис. 2.15.

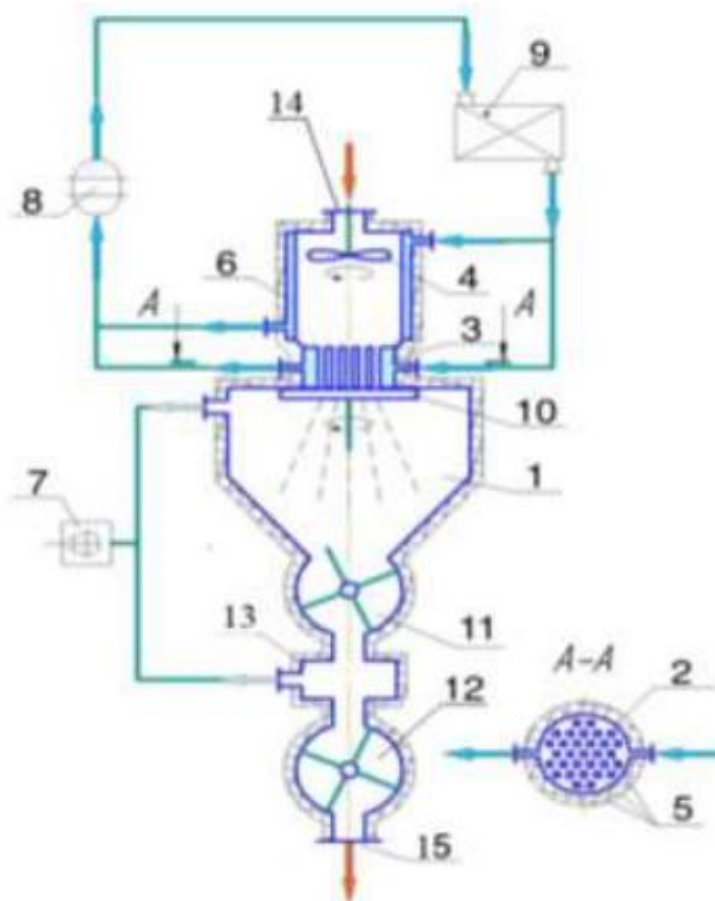


Рисунок 2.15 – Схема вакуум-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів

На рис. 2.15 представлено: 1 – корпус; 2 – зовнішня теплоізоляція; 3 – кожухотрубний теплообмінник; 4 – корпус змішувача; 5 – формувальні фільтри; 6 – випарник; 7 – вакуумний насос; 8 – компресор; 9 – конденсатор; 10 – подрібнювач; 11, 12 – шлюзовий затвор; 13 – встановлення вакуумної упаковки; 14, 15 – підвідний та відвідний продукт патрубок.

Вакуумний морозильний апарат має вертикальний корпус із зовнішньою теплоізоляцією, кожухотрубчастий теплообмінник, фільтри, подрібнювач, шлюзовий затвор, патрубки, що підводять та відводять продукт, змішувач, жорстко з'єднаний з кожухотрубчастим теплообмінником, випарник на зовнішній поверхні змішувача, вакуумний насос з'єднаний з морозильною камерою і установкою вакуумної упаковки, який розташованої на виході з основного шлюзового затвора на виході з установки вакуумного пакування є додатковий шлюзовий затвор.

Пристрій працює в такий спосіб. Рибний фарш через патрубок 14 потрапляє в змішувач 4, де змішується з рослинною добавкою і попередньо охолоджується рідким холодоагентом випарника 6, потім подається в кожухотрубчастий теплообмінник 3, проходить через фільтри 5 і у вигляді фаршевих гранул надходить у корпус 1 морозильної камери після чого заморожується за рахунок інтенсивного випаровування при зниженому тиску створюваному вакуумним насосом 7.

Далі продукт на виході з фільтер 5 гранулюється подрібнювачем 10 і через шлюзовий затвор 11 подається в установку вакуумної упаковки 13, після чого виводиться з апарату через додатковий шлюзовий затвор 12, який необхідний для збереження зниженого тиску в установці вакуумної упаковки 13. Апарат дозволить підвищити ефективність процесу заморожування в технології гранульованого фаршу.

Самозаморожування фаршевої суміші, що відбувається через взаємний та протилежний вплив ендотермічного ефекту при заморожуванні з одного боку та екзотермічного ефекту з іншого при виділенні теплової енергії та підвищення температури при фазових переходах, що й визначає швидкість та час замерзання. Морозильний апарат для фаршевих сумішей дозволяє здійснювати швидке самозаморожування продукту і виробляти однорідний за структурою та вологістю продукт.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Безпека експлуатації холодильного та технологічного обладнання

Необхідно дотримуватися вимог, що висуваються до технологічного обладнання. Машини та агрегати слід встановлювати на міцній станині, щоб уникнути перекидання, вібрації, довільного переміщення та поштовхів. При безпечному обслуговуванні обладнання необхідно взяти до уваги розташування його в цеху [12, 15]. Регулювання, мастило та ремонт машини проводиться після відключення обладнання від мережі, вивішуючи попереджувальну табличку «Не включати».

Щоб забезпечити безпечне обслуговування машин, потрібно надати вільний доступ до них. Проходи біля віконних прорізів повинні бути шириною не менше 1 м, а основні проходи не менше 1,5 м забезпечити безпеку робітників тепловиділяючі поверхні апаратів та трубопроводів покриваються ізоляційним матеріалом. Щоб запобігти опікам температура поверхні ізоляції не повинна бути більше 45 °С. Забезпечується витяжною системою вентиляції обладнання, яке інтенсивно виділяє тепло, вологу та шкідливі речовини. Умовам навколишнього середовища приміщень, повинні відповідати: захисна та пускова арматура та електродвигуни.

Щоб обслуговувати апарати, прилади, машини, механізми та комунікації на виробництві допускаються особи, які пройшли спеціальну підготовку, знайомі з принципом роботи та їх пристроєм, з якими було проведено відповідний інструктаж з техніки безпеки.

Інструкції з надання першої допомоги при нещасних випадках та інструкції з обслуговування машин повинні бути вивішені на робочих місцях біля технологічних ліній.

Безпосередньо, перед тим як розпочати роботу, необхідно оглянути та перевірити своє робоче місце. Щоб переконатися у правильній роботі основних вузлів та машини її роботу перевіряють на холостому ходу та малу швидкість. Щоб запобігти травмуванню у обслуговуючого персоналу, на небезпечних ділянках обладнання, потрібно встановити кожухи та огорожі [12].

Для запобігання опікам у обговорюваного персоналу та зменшення втрат тепла повинні бути покриті теплоізоляційним матеріалом: трубопроводи для гарячої води, парові та пароводяні сорочки.

Пар починають пускати у пароводяну сорочку після заповнення водою ємнісних теплообмінних апаратів, а ванна має бути заповнена сумішшю для мороженого.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Ларін</i>				Удосконалення вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						2	50
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Омельченко</i>							

Надійно повинні бути заземлені: станини машин, електродвигуни та пускова апаратура.

3.2 Електробезпека

Перед усуненням несправності в електричній схемі обладнання, з нього має бути знято напругу. Категорично забороняється виробляти перевірку наявності напруги руками; розміщувати сторонні предмети всередині пульта управління, обливати електродвигуни та шафи з електроустановкою водою. Електродвигуни вологого типу використовуються у приміщеннях з підвищеною вологістю, в яких знаходяться душова, варильна апаратура, мийка.

Для холодильників, низькотемпературних приладів та фрізерів: не можна допускати перевантаження охолоджувальної камери, оскільки через це погіршується умова зберігання продуктів. У жодному разі не можна очищати випарник обладнання від інею гострими предметами, так як це може бути випущено з неї фреон та порушити герметичність системи.

Не рекомендується зберігати продукти близько до стін і на випарнику. Щоб не втрачати холод і скоротити витрати електроенергії необхідно як можна рідше відчиняти двері холодильного обладнання. Необхідно мити обладнання щонайменше 1 раз на тиждень [13, 15]. Щоб уникнути зниження продуктивності обладнання потрібно періодично очищати його пилку.

Якщо іскряться прилади контролю та управління, з'явився витік олії та фреону, що характерно появою маслянистих плям у місцях з'єднання трубок, таке обладнання не можна використовувати. Під час запуску та зупинці фрізерів повинен дотримуватися встановленого порядку відкривання та закривання вентилів. Рідкий аміачний вентиль закривається, якщо під час роботи обладнання, з'являється запах аміаку, то потрібно попередньо вимкнувши з роботи обладнання та приступити до усунення витіку аміаку.

Інгаляцію теплою парою, з вмістом 1 – 2 % лимонного розчину кислоти слід провести при отруєнні аміаком [12, 16]. Камери загартовування та зберігання готової продукції повинні бути оснащені системою сигналізації безпеки для можливості виходу людей, які випадково залишилися в закритому приміщенні.

Для запобігання забруднення навколишнього середовища через викиди в атмосферу аерозолів та газів на молочних підприємствах проводяться відповідні спеціалізовані заходи, а також заходи з запобігання потраплянню в стічні води змивних і промивних вод, містять жири та білкові відходи, відпрацьовані хімічні реагенти, дезінфікуючі та миючі засоби.

Попадання в повітряне середовище шкідливих домішок, таких як пари, пил та гази порушують її склад та призводить до її зміни. Вплив цих факторів на повітряне середовище, несприятливо позначається здоров'я робітників і продуктивність праці.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів. У роботі зазначено, що консервуючий ефект при заморожуванні обумовлений тим, що при низьких температурах уповільнюються мікробіологічні та біохімічні перетворення, внаслідок чого зростає до декількох місяців термін зберігання продукції. В результаті відведення тепла від поверхні блоку рибного фаршу починається льодоутворення, у той час як більш глибокі шари, ще не досягли криоскопічної температури, залишаються незамороженими.

У першому розділі здійснено аналіз морозильного обладнання для заморожування харчових продуктів. Зазначено, що заморожування продуктів харчування для збільшення терміну зберігання часом більш ефективна, ніж їх сушіння, незважаючи на те, що зберігання сухих продуктів не вимагає додаткових витрат у порівнянні із замороженими. Після відновлення заморожені продукти на відміну від висушених, за своїми споживчими властивостями ближчі до натуральних, внаслідок відсутності термовпливу та необхідності тривалого процесу набухання, за винятком випадків, коли суха або заморожена продукція є готовою для вживання.

Вважається, що використання швидкого заморожування під час холодильної обробки рибних фаршових напівфабрикатів, які згодом піддаються тривалому зберіганню недоцільно, оскільки температура зберігання підтримується на рівні -18°C , що призводить до зайвих енерговитрат при швидкому заморожуванні. Тому, доцільно проводити заморожування фаршевої суміші у вигляді тонких фаршевих гранул, що проходять у фільтрах кожухотрубного теплообмінника, які є частиною змішувача, а на далі рідким холодоагентом до криоскопічної температури в камері морозильного апарату.

Зазначено, що доцільно додавати в рибний фаршевий напівфабрикат сухі рослинні інгредієнти. Це пов'язано з тим, що по-перше сухий продукт при змішуванні з фаршем сорбує вільну вологу, яка заморозці не піддається і тому в суміші зменшується кількість вільної вологи, а значить і знижуються витрати на заморозку; по-друге рослинні інгредієнти є носієм цінних поживних речовин, які не містяться в рибі, тим самим збагачуючі фарш при зниженні його калорійності.

Другий розділ присвячено удосконаленню вакуумно-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів. Розглянуто вакуумно-морозильний апарат для заморожування риборослинних напівфабрикатів. Приділено увагу основним етапам утворення фаршевої суміші, задля можливості удосконалити вакуумно-морозильний апарат:

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Ларін</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>					2	50
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Омельченко</i>						

1. Приділено увагу процесу формування фаршевих гранул для подальшої вакуумної заморозки, яка полягає в переході рідини в твердий виріб заданої конфігурації в результаті зовнішніх і внутрішніх фізико-механічних впливів.

Було окреслено дві стадії у процесі формування: перша з яких пов'язана з формоутворення, а друга з фіксацією форми. Слід відзначити, що тривалість формування буде визначатися тривалістю найдовшої стадії. Щоб процес формування протікав швидко потрібна менша швидкість затвердіння на стадії формоутворення ніж на етапі фіксації форми. Це досягається зі збільшенням швидкості охолодження. При цьому необхідно врахувати, що висота фаршевої суміші безпосередньо залежить від часу фіксації.

2. Основною метою охолодження та заморожування є визначення тривалості при забезпеченні необхідного температурного режиму. Відповідно до запропонованої технології, що реалізується в конструкції апарату для її здійснення, зниження температури в об'єкті відбувається у три етапи. На першому етапі температура зменшується до значення $\approx 3^{\circ}\text{C}$ при змішуванні компонентів. На другому етапі відбувається формування фаршевої гранули і падіння температури до значення близького до криоскопічного. На третьому етапі відбувається самозаморожування фаршевої гранули у вакуумі.

3. Подальше охолодження фаршевих гранул, досягається шляхом самозаморожування у вакуумі до температури його повного заморожування, бо при цьому вся вода перетворюється в лід і швидкість випаровування різко знижується, тому що сублімація пари з льоду є значно тривалою. Це виключає розморожування продукту протягом технологічних операцій при його транспортуванні до морозильної камери та завантаження в неї. При цьому температура фаршевого напівфабрикату знизитися до значень у морозильній камері з метою його подальшого низькотемпературного зберігання.

Реалізація та ефективність вакуумного самозаморожування фаршевої суміші суттєво залежать від конструкції морозильного апарату і саме тому його апаратне оформлення має раціональним чином відповідати не тільки фізико-хімічним і структурно-механічним властивостям вихідного матеріалу, а й відповідно до якості готового продукту – замороженої фаршевої гранули та необхідної технічної продуктивності.

Удосконалено вакуумно-морозильний апарат для заморожування риборослинних напівфабрикатів, який дозволяє здійснити вакуумне сазаморожування рибних фаршевих гранул з одночасною реалізацією подрібнення та можливого пакування замороженого напівфабрикату на виході з формуючих фільтрів безпосередньо в робочій камері апарату. Морозильний апарат для фаршевих сумішей дозволяє здійснювати швидке самозаморожування продукту і виробляти однорідний за структурою та вологістю продукт.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

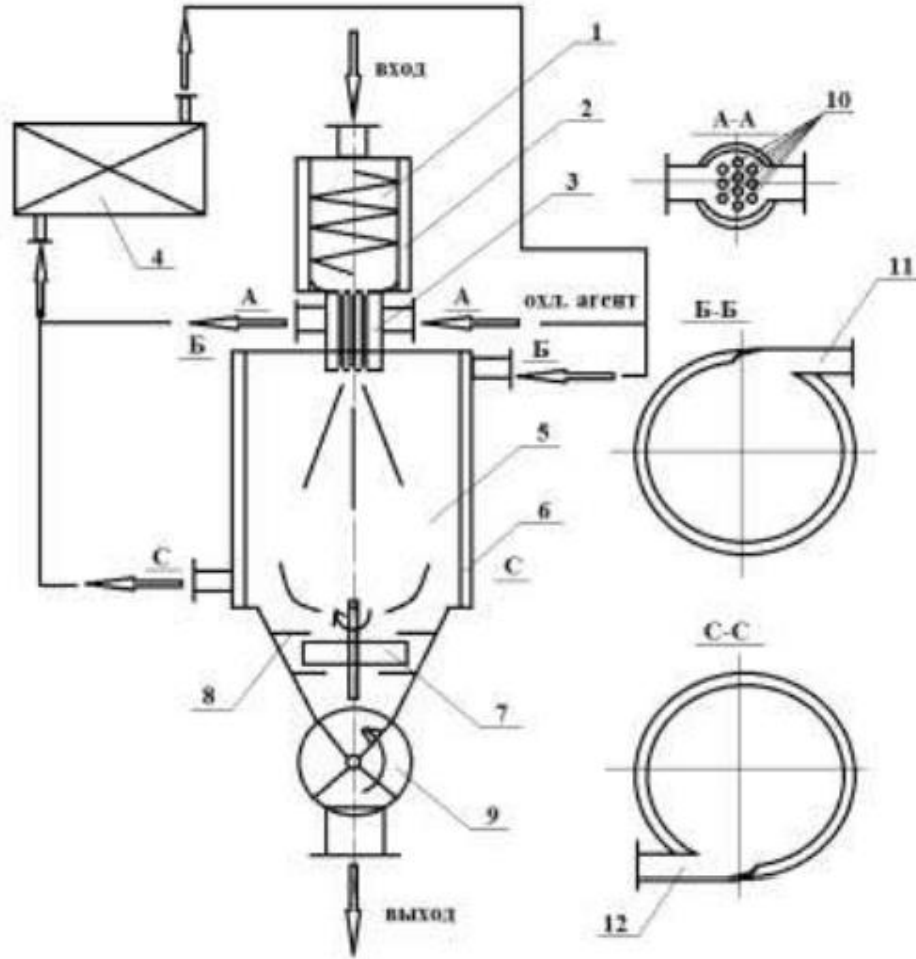
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Заморожування продуктів блоками. Режим доступу: <https://groupoffoodsystems.com.ua/zamorozhuvannya>.
2. Холодильне обладнання, види, застосування, характеристики. Режим доступу: https://olteba.com/article/holodilnoe_oborudovanie_vidi_primenenie_harakteristiki.
3. Chapleau A. Evaluation of the mean ice ratio as a function of temperature in a heterogeneous food: Application to the determination of the target temperature at the end of freezing / A. Chapleau, Le-Bail, N. Anton-De Lamballerie, M. Vignolle // International journal of refrigeration. Amsterdam, 2008, №5. P. 816–821.
4. Hall, G.M. Fish Processing Technology. Springer Science & Business Media, 31 Tem 1997 - 292 sayfa.
5. Maureen L. R. Jozef L. K. Effect of mixer geometry and operating conditions on mixing efficiency of a non-Newtonian fluid in a twin screw mixer // Journal of Food Engineering. 2013. Vol. 118. P. 256-265.
6. Датьков В.П. Холодильне устаткування галузі. Д.: ДонНУЕТ, 2012. 162с.
7. Хмельнюк М.Г. Холодильні установки спеціального призначення. Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. 488 с.
8. Лозовський А.П., Іванов О.М. Основи холодильних технологій. Суми: Університетська книга, 2018. 280 с.
9. Ohta T., Tanaka K.: Some properties of the liquid portion in the frozen fish muscle fluid. Bull. Jap. Soc. Fish., 44(1); 59-62, 1978
10. Van den Berg L., Rose D.: Effect of freezing on the pH and composition of sodium and potassium phosphate solutions: the reciprocal system $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-Na}_2\text{HPO}_4\text{-H}_2\text{O}$. Arch. Biochem. Biophys., 81; 319, 1959.
11. Чумак. І.Г. Холодильні установки: Одеса: Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
12. Желібо Є.П., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності. К.: Каравела, 2018. 288 с.
13. Арустамова Э.А. Безпека життєдіяльності. К: Дашков і До, 2006, 476с.
14. Лагутін А.Ю. Холодильна техніка : Друк, 2008. 145 с.
15. Ткачук К.Н. Виробнича санітарія. Рівне: 2012. 443 с.
16. Бедрій Я. І. Безпека життєдіяльності. Л.: Магнолія 2006, 2007. 499 с.

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Додаток А

Схема морозильної установки для заморожування фаршевої суміші

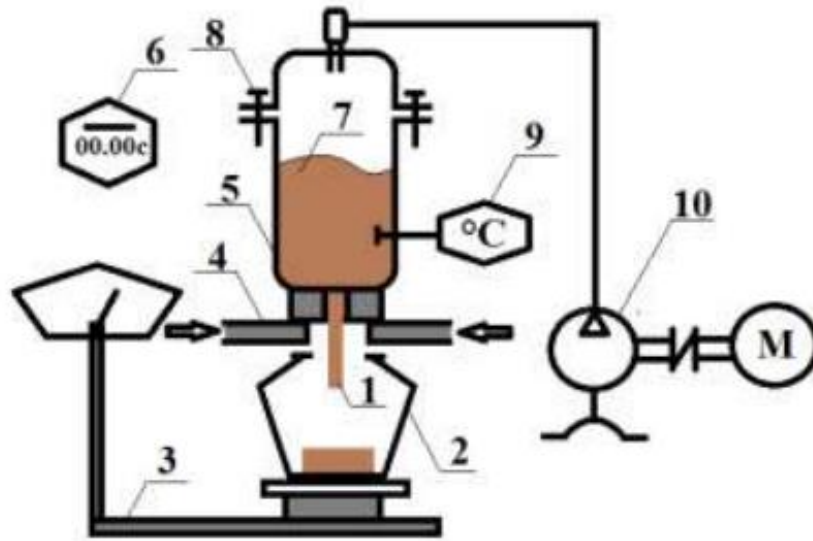


1 – шнек подачі для продукта; 2, 6 – теплоізоляція; 3 – кожухотрубний теплообмінник; 4 – підготовка холодоагенту; 5 – камера заморозки; 7 – елементи подрібнювача; 8 – нерухомі лопаті подрібнювача; 9 – шлюзовий затвор; 10 – фільтери; 11 – вхід газоподібного хладагента; 12 – вихід газоподібного холодоагенту

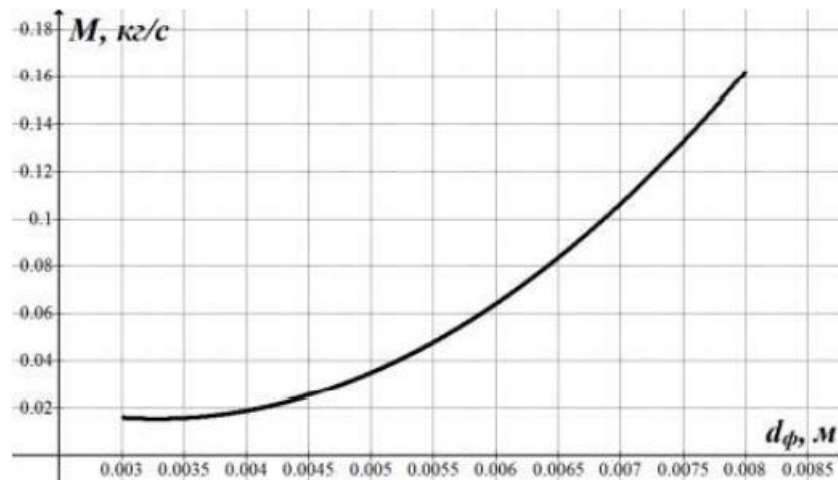
ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Ларін		
Перевір.		Омельченко		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Омельченко		
Схема морозильної установки для заморожування фаршевої суміші				
		Літ.	Арк.	Аркуші
			1	50
ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО				

Додаток Б

Схема установки для формування фаршевих гранул



1 – формований штранг; 2 – ємність для збирання фаршу; 3 – ваги; 4 – шиберна заслінка; 5 – робоча ємність; 6 – секундомір; 7 – фаршева суміш; 8 – кріпильне з'єднання; 9 – термопара; 10 – компресор.



Крива швидкості зміни масової витрати в залежності від діаметра фільтри

ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Ларін			
Перевір.	Омельченко			
Н. Контр.	Омельченко			
Затверд.	Омельченко			
Схема установки для формування фаршевих гранул				
			Літ.	Арк.
				1
			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО	
				50

Додаток В
Схема охолодження фаршевої суміші
в каналі змішувача

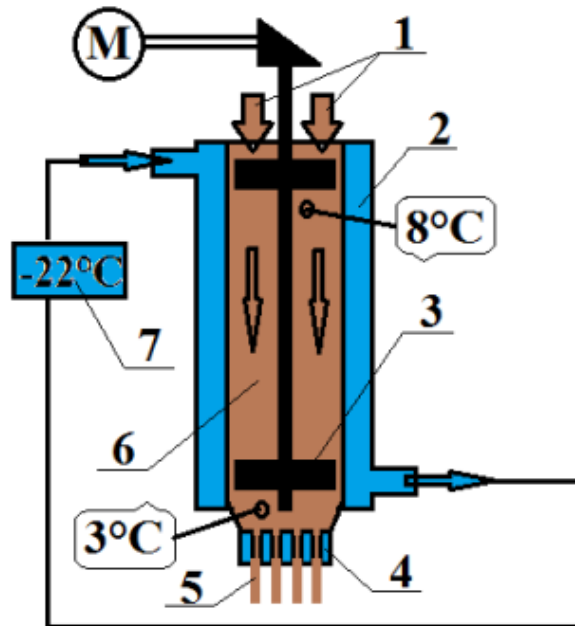
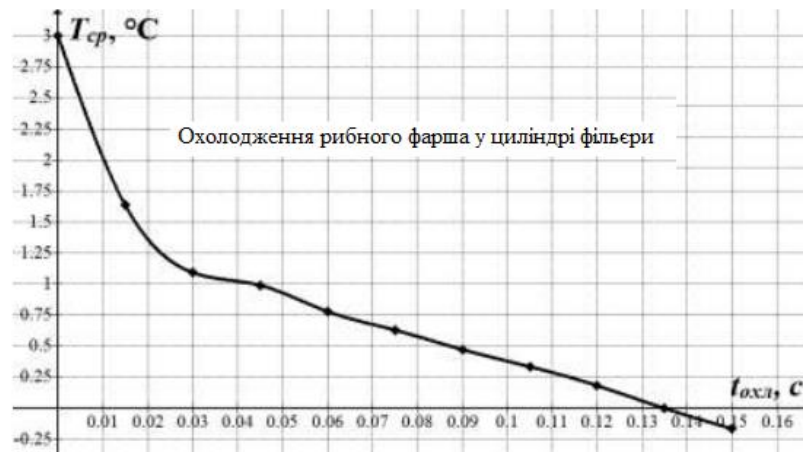


Рисунок 2.5 – Схема охолодження фаршевої суміші
в каналі змішувача

1 – введення компонентів; 2 – холодоагент; 3 – пристрій, що перемішує; 4 – формувальний вузол; 5 – формований штранг; 6 – фаршева суміш; 7 – випарник.



Зміна середньої об'ємної температури від тривалості процесу
охолодження в циліндрі фільтери теплообмінника
морозильного апарату

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Ларін				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Омельченко					1	50
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ		
Затверд.	Омельченко				Кафедра ЗІДО		

Додаток Г

Схема вакуумного заморожування рибних гранул в робочій камері морозильника

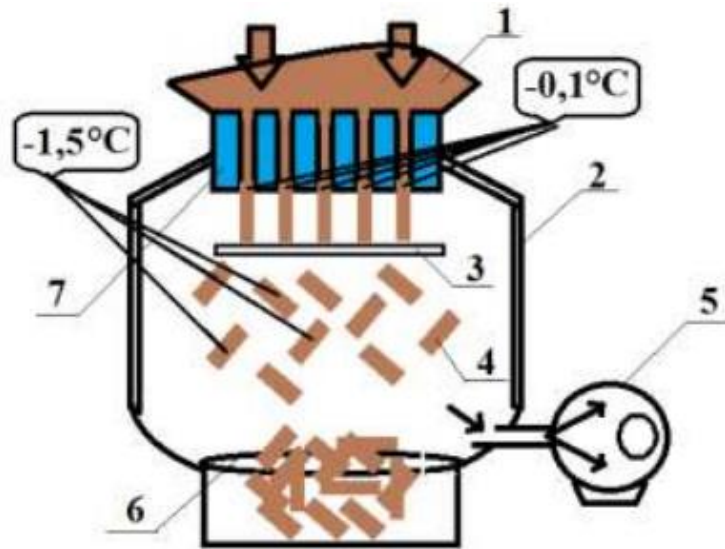
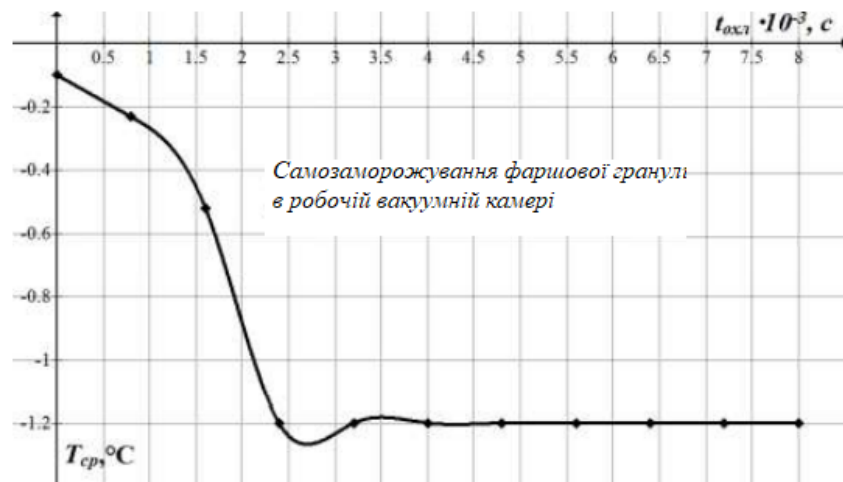


Схема вакуумного заморожування рибних гранул в робочій камері морозильника

1 – фаршева суміш; 2 – робоча камера морозильника; 3 – подрібнювач; 4 – заморожені гранули; 5 – вакуумний насос; 6 – накопичувач; 7 – вузол формування фаршевих грану.



Зміна середньої об'ємної температури від тривалості процесу самозаморожування у робочій вакуумній камері морозильного апарату

					ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Ларін				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Омельченко					1	50
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.	Омельченко						
Схема вакуумного заморожування рибних гранул в робочій камері морозильника							

Додаток Д

Схема установка для визначення температури гранул після заморожування у вакуумі

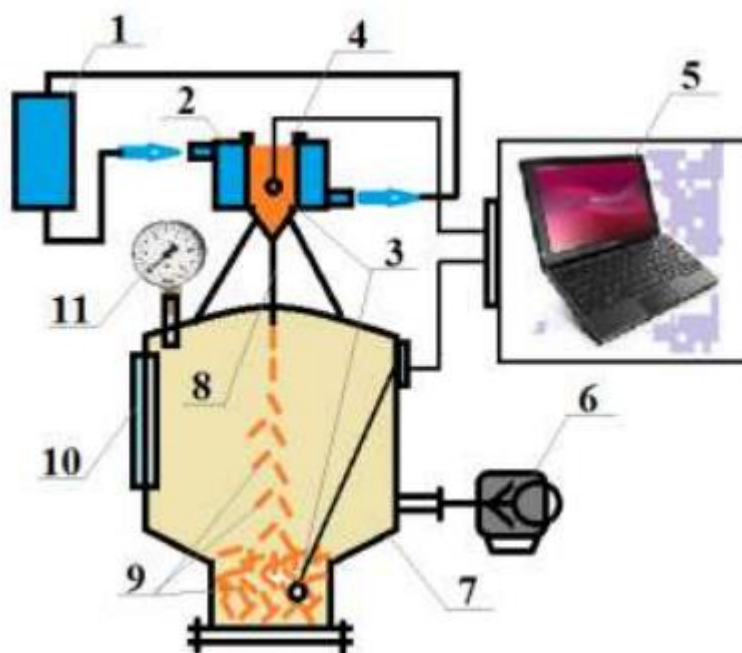


Схема установка для визначення температури гранул після заморожування у вакуумі

1 – випарник; 2 – ємність для вихідного продукту з сорочкою охолодження; 3 – термопари; 4 – фаршева суміш; 5 – персональний комп'ютер; 6 – вакуумний насос; 7 – вакуумна камера; 8 – продуктопровід; 9 – фаршеві гранули; 10 – оглядове вікно; 11 – манометр.

ДонНУЕТ.142.ЕМБ-18.2022.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Ларін		
Перевір.		Омельченко		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Омельченко		
Схема установка для визначення температури гранул				
		Літ.	Арк.	Аркушів
			1	50
ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО				

Додаток Е

Схема установки для визначення температурної залежності питомої теплоємності харчових продуктів

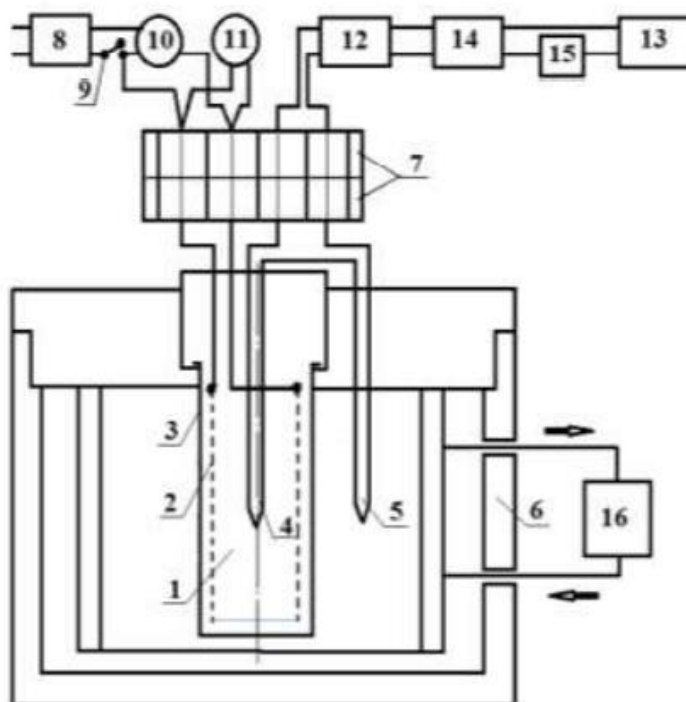


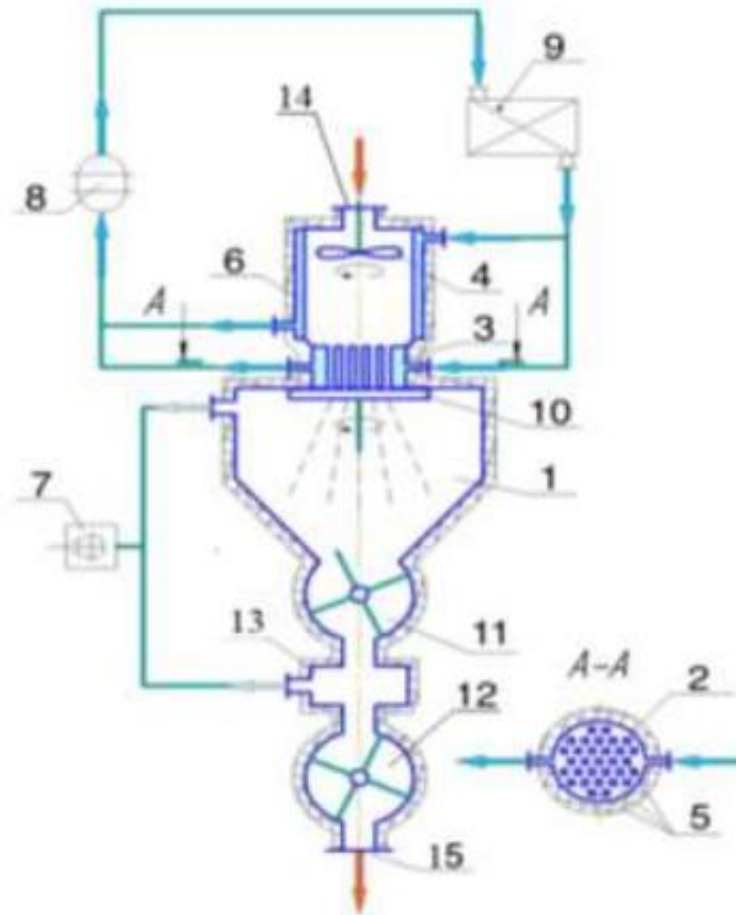
Схема установки для визначення температурної залежності питомої теплоємності харчових продуктів

1 – напівфабрикат; 2 – нагрівач; 3 – ємність для досліджуваного зразка;
 4, 5 – диференціальна термопара; 6 – оболонка термоса; 7 – електричний комутатор; 8 – джерело електричного струму; 9 – перемикач; 10, 11, 12, 14, 15 – прилади для необхідних вимірів; 13 – самописець; 16 – кріотермостат.

ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Ларін		
Перевір.		Омельченко		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Омельченко		
Схема установки для визначення температурної залежності питомої теплоємності харчових продуктів				
		Літ.	Арк.	Аркушів
			1	50
ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО				

Додаток Є

Схема вакуум-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів



1 – корпус; 2 – зовнішня теплоізоляція; 3 – кожухотрубний теплообмінник; 4 – корпус змішувача; 5 – формувальні фільтри; 6 – випарник; 7 – вакуумний насос; 8 – компресор; 9 – конденсатор; 10 – подрібнювач; 11, 12 – шлюзовий затвор; 13 – встановлення вакуумної упаковки; 14, 15 – підвідний та відвідний продукт патрубок.

ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Ларін		
Перевір.		Омельченко		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Омельченко		
Схема вакуум-морозильної установки для заморожування риборослинних напівфабрикатів				
		Лім.	Арк.	Аркушіє
		1	50	
ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО				