

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
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»

_____ Хорольський В.П.
« ____ » _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ
КОПЧЕННЯ РИБИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ
ТЕМПЕРАТУРИ ТА ДИМУ»**

Виконав:
здобувач вищої освіти _____ **Берега Ігор Ігорович** _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: _____ **зав.кафедри, 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
2024

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для копчення риби.

Процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням АСУ.

Управління процесом гарячого копчення риби в копильній камері з використанням сучасних технологій.

6. Дата видачі завдання «1» вересня 2024 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2024 р.
2	Аналіз обладнання для копчення риби	21.09-18.10.2024 р.
3	Удосконалення обладнання для копчення риби	19.10-08.11.2024 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2024 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2024 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2024 р.

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Берега І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Омельченко О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура магістерської роботи. Повний обсяг магістерської роботи – 53 сторінки, в тому числі основного тексту – 47 сторінок. Робота містить: 11 рисунків, 3 таблиці. Список використаних джерел складається з 21 найменування.

Об'єкт роботи – управління копильною камерою засобами автоматизації.

Предмет роботи – процес гарячого копчення риби.

Мета роботи – удосконалення технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму.

У роботі зазначено, що у харчовій промисловості особливе значення має термічна обробка продуктів харчування. Термічна обробка надає властивості, які роблять сировину безпечною для споживання з продовженим терміном зберігання, що передбачає зменшення вмісту води та пригнічення росту мікроорганізмів, покращення текстури та консистенції.

На основі аналізу, було зазначено, що залежно від способу подачі диму та температури копчення можна визначити чотири основні типи копчення: гаряче копчення, холодне копчення, рідинне копчення та електростатичне копчення. Вважається, що процес копчення риби надає продуктам унікальні органолептичні властивості та повинен зменшувати поглинання шкідливих речовин з диму. Тому необхідно суворо контролювати параметри і склад виробленого диму. Запропоновано процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням автоматизованої системи управління.

Запропоновано удосконалене копильне обладнання для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації. Конструкція автоматичної копильної машини містить три основні блоки: копильна камера, димогенератор і контролер. Копильне середовище розглядається, як об'єкт управління у вигляді трьох взаємопов'язаних контурів: зміни щільності димоповітряної суміші, температури димоутворення та вологості димоповітряної суміші. Дані параметри (щільність, температура і вологість диму) є регульованими параметрами. В якості зовнішніх входних впливів, що задають, для димогенераторів пропонуються: потужність, що подається на нагрівальні елементи, вологість і концентрація свіжого повітря. Запропонована параметрична схема процесу димогенерації при гарячому копченні риби. В копильне обладнання для гарячого копчення риби пропонується на основі мікроконтролера контролювати температуру в копильній камері, температуру диму та час роботи між копченням та сушінням.

У третьому розділі досліджено процес копчення риби судака. Змодельовано вплив часу та температури на зневоднення філе судака. Розглянуто органолептичні показники якості риби гарячого копчення та було порівняно із отриманими зразками філе судака, яке підлягало гарячому копченню. Отримані зразки філе судака мають відповідний зовнішній вигляд колір шкіри, консистенцію, смак і запах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: обладнання для копчення риби, засоби автоматизації, контролер, димогенератор, судак, системи контролю температури та диму.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОПЧЕННЯ РИБИ	7
1.1 Способи копчення риби	7
1.2 Технологія копчення риби	11
1.3 Обладнання для копчення риби	16
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОПЧЕННЯ РИБИ	22
2.1 Контроль параметрів виробленого диму за допомогою димогенератора	22
2.2 Управління процесом гарячого копчення риби в коптильній камері з використанням сучасних технологій	27
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Фактори, що впливають на процес копчення риби	36
3.2 Дослідження процесу гарячого копчення риби	38
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47
ДОДАТКИ	48

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Береза</i>				Удосконалення технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						5	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що у харчовій промисловості особливе значення має термічна обробка продуктів харчування. Термічна обробка надає властивості, які роблять сировину безпечною для споживання з продовженим терміном зберігання, що передбачає зменшення вмісту води та пригнічення росту мікроорганізмів, покращення текстури та консистенції. Під час термічної обробки спостерігається сприятлива зміна органолептичних показників, тобто смаку, аромату, зовнішнього вигляду.

Мета та задачі дослідження. Метою магістерської роботи є удосконалення технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що залежно від способу подачі диму та температури копчення можна визначити чотири основні типи копчення: гаряче копчення, холодне копчення, рідинне копчення та електростатичне копчення. Вважається, що процес копчення риби надає продуктам унікальні органолептичні властивості та повинен зменшувати поглинання шкідливих речовин з диму. Тому необхідно суворо контролювати параметри і склад виробленого диму. Запропоновано процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням автоматизованої системи управління.

Запропоновано удосконалене коптильне обладнання для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації. Конструкція автоматичної коптильної машини містить три основні блоки: коптильна камера, димогенератор і контролер. Коптильне середовище розглядається, як об'єкт управління у вигляді трьох взаємопов'язаних контурів: зміни щільності димоповітряної суміші, температури димоутворення та вологості димоповітряної суміші. Дані параметри (щільність, температура і вологість диму) є регульованими параметрами. В якості зовнішніх входних впливів, що задають, для димогенераторів пропонуються потужність, що подається на нагрівальні елементи, вологість і концентрація свіжого повітря. Запропонована параметрична схема процесу димогенерації при гарячому копченні риби. В коптильне обладнання для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації пропонується на основі мікроконтролера контролювати температуру в коптильній камері, температуру диму та час роботи між копченням та сушінням.

У третьому розділі досліджено процес копчення риби судака. Змодельовано вплив часу та температури на зневоднення філе судака. Розглянуто органолептичні показники якості риби гарячого копчення та порівняно із отриманими зразками філе судака, які підлягали гарячому копченню. Отримані зразки філе судака мають відповідний зовнішній вигляд колір шкіри, консистенцію, смак і запах.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Береза</i>				Удосконалення технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОПЧЕННЯ РИБИ

1.1 Способи копчення риби

Риба є одним з швидкопсувних продуктів харчування. Швидкість псування риби залежить від поводження під час обробки, рівня кислотності, режиму зберігання, температури при транспортуванні. Риба є швидкопсувним продуктом харчування. Приблизно 27% риби залишається у свіжому вигляді, а решта 73% переробляються такими методами консервації, як соління, в'ялення, заморожування, консервування, засолювання та копчення [2]. Копчення можна визначити як процес проникнення летких сполук у рибу в результаті спалювання деревини, з якого можна отримати продукти зі специфічними смаками, ароматами та тривалим терміном зберігання. Процес копчення являє собою поєднання процесів соління і сушіння. Процеси консервації, такі як звичайна сушка, вимагають сонячного світла та залежать від погоди, тоді як процес копчення не залежить від клімату, оскільки процес сушіння може відбуватися через тепло від диму від спалювання деревини.

Хімічне розщеплення вмісту білків, жирів і води сприяє швидкому псуванню риби. Тому для продовження терміну зберігання потрібна подальша обробка. Однією із технологій, яку можна використовувати є копчення риби. Копчення риби застосовується для продовження терміну придатності або продукту. Копчена риба має термін придатності близько 6-9 місяців за умови правильної упаковки та зберігання. Сушка димом є найбільш поширеним способом копчення продуктів. В'ялена копчена риба має тривалий термін зберігання і полегшує процес розподілу копченої риби по точках продажу і споживачам.

Копчення – це стародавній метод консервування харчових продуктів, який також відомий як димове сушіння, який дає продукти з дуже високим вмістом солі та низькою активністю води. Копчення – це процес обробки риби шляхом впливу на неї диму з тліючої деревини або рослинних матеріалів для введення в рибу аромату, смаку та консервуючих інгредієнтів. Цей процес зазвичай характеризується комплексним поєднанням етапів соління, сушіння, нагрівання та копчення в коптильній камері [2-5]. Ефекти сушіння під час копчення, разом з антиоксидантними та бактеріостатичними ефектами диму, дозволяють копченим продуктам мати збільшений термін зберігання. Багато з копчених продуктів випускаються у вигляді готових до вживання.

Копчення надає рибі бажаний аромат, смак і може пригнічувати ріст мікробів. Одним з популярних методів, що використовуються у процесі копчення є використання рідкого диму. Використання рідкого диму має ряд переваг, таких як простота у використанні, використання концентрацій можна

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Береза</i>				Удосконалення технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						7	15
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

легко контролювати, отриманий продукт однорідний і екологічно чистий.

Копчення є одним із способів збереження продуктів за допомогою тепла та диму. Копчення є одним з методів збереження продуктів рибного господарства, що пов'язано з тим, що тепло від спалювання деревини може пригнічувати ріст мікроорганізмів, бо компоненти диму є антимікробними. Існує кілька факторів, які впливають на копчення, а саме температура копчення, вологість, тип деревини, товщина та швидкість потоку диму, види риби та обробка перед копченням. Використовувана температура копчення впливатиме на ефективність налипання диму та тривалість часу, який займає процес копчення. Високі температури призведуть до швидкого випаровування води в рибі, що може призвести до того, що м'ясо риби швидко приготується і матиме сильний рибний смак.

Залежно від температури коптильної камери, копчення може бути холодним, теплим або гарячим. При холодному копченні температура в коптильній камері не повинна перевищувати 40°C. Риба холодного копчення є продуктом комплексної дії NaCl, компонентів диму, дегідратації, протеолітичних і ліполітичних ферментів [1-3]. Риба холодного копчення має тонкий аромат диму, причому, вона має більш тривалий термін зберігання, ніж риба гарячого копчення, оскільки містить значно менше води і більше солі. При теплом копченні температура коливається від 40°C до 80°C. Білки в рибі частково денатуровані, а ферменти повністю інактивовані.

Залежно від середовища, де проводиться копчення риби, існують різні способи копчення: копчення димом, копчення без диму і змішане копчення. При копченні димом риба обробляється в димчасто-повітряній суміші, яка утворюється при безпосередньому згорянні деревини. Ця риба має неповторний смак і аромат завдяки багатому хімічному складу диму. У той же час шкідливі речовини, такі як формальдегід, метанол і нітрозаміни, випадають в осад на продукті. Бездимне копчення – це обробка риби димовими препаратами, які отримані з диму або з компонентів диму. Риба, яка оброблена димовими препаратами, не містить шкідливих компонентів, тому що ці препарати попередньо очищені [2, 7]. У зв'язку з труднощами в отриманні ідеальних препаратів для диму (без канцерогенів) і відповідного технологічного обладнання, бездимне копчення лише поступово стає прийнятним для виробництва копченої риби. При змішаному копченні поєднується обробка з димом і без нього, що спрощує і прискорює процес.

Залежно від способу подачі диму та температури копчення можна визначити чотири основні типи копчення: гаряче копчення, холодне копчення, рідинне копчення та електростатичне копчення. Гаряче копчення – це традиційний метод копчення з використанням як тепла, так і диму, який зазвичай відбувається при температурі вище 70°C. Для копченої риби та рибних продуктів необхідний мінімальний термічний процес тривалістю 30 хв при 62,8°C або вище. Тому після гарячого копчення продукти повністю приготовані і готові до вживання.

У процесі гарячого копчення трьома загальними та важливими факторами, які впливають на характеристики та якість продукту є сіль, дим та тепло. Правильне засолювання та варіння необхідні для запобігання росту

					ДОННУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

харчових патогенів. Гаряче копчення риби вимагає двох послідовних процесів, тобто копчення з подальшим приготуванням. Тривалість копчення залежить від бажаного смаку та рівня вологості копченого продукту, а тривалість фази приготування – від температури диму [4]. Оскільки температура в копильній камері повільно зростає від температури навколишнього середовища на початку процесу копчення приблизно до 82,2⁰С за 6 год, внутрішня температура риби також збільшується приблизно до 60⁰С. Приблизно через 6-8 годин копчення температуру в копильній камері необхідно підвищити до 85⁰С або вище, щоб внутрішня температура риби досягла від 68 до 72⁰С. Цю пікову температуру приготування слід утримувати не менше 30 хвилин, щоб риба добре пропеклася. Після того, як риба приготується, температуру можна знизити приблизно до 40–50⁰С для досягнення бажаного смаку та рівня вологості. Завдяки термічній обробці процес копчення також збільшує концентрацію деяких поживних речовин у м'ясі риби і зменшує вміст води, жиру та мінеральних речовин.

Рибу також можна піддавати холодному копченню. Температура холодного копчення зазвичай не перевищує 30⁰С. Таким чином, продукти холодного копчення не піддаються термічній обробці і, як правило, їх сильно солять. У порівнянні з традиційним гарячим копченням, холодне копчення триває довше, має більш високий вихід і набагато краще зберігає початкові текстурні властивості, ніж гаряче копчені. Холодне копчення застосовується для різних видів риби, включаючи форель.

Холодне копчення – це процес копчення з використанням не надто високої температури, близько 15–50⁰С. Використання низьких температур призначене для того, щоб м'ясо риби не готувалося швидко або білок в м'ясі риби не втрачався (згортається). Процес холодного копчення займає багато часу, в залежності від розміру риби, і при цьому процесі копчення риба зберігається довше [2, 8]. Сушка, що відбувається в м'ясі копченої риби, призводить до того, що максимальна вологість копченої риби досягає 60%. Метод холодного копчення може проводитися із використанням високого тиску 220-300 МПа при температурі 3–25⁰С протягом 10 хвилин. Технологія виробництва риби теплового копчення відрізняється від технології отримання риби холодного і гарячого копчення. Основними відмінностями є температура, тривалість обробки і солоність риби.

При рідкому копченні застосовується рідкий дим – це димовий конденсат, який розчиняється в розчиннику, наприклад, у воді або маслі. Рідкий дим можна використовувати безпосередньо на продукцію шляхом занурення або розпилення. Досягти рівномірного смаку диму швидко і набагато простіше, ніж при традиційних процесах холодного та гарячого копчення, хоча смак і колір традиційного копчення не можуть бути точно відтворені [1]. До переваг рідкого диму можна віднести легку модифікацію, застосування до харчових продуктів, які традиційно не коптять, нижчі експлуатаційні витрати та менше забруднення навколишнього середовища. Однак, застосування рідкого копчення може бути дорогим у порівнянні з іншими методами. Рідке копчення застосовується для таких видів риб, як риба-меч, лосось та райдужна форель.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рідкий дим не містить тих же сполук, що і природний дим. Рідкий дим безпечний у використанні, оскільки він пройшов процес фільтрації для видалення токсинів, домішок та інших канцерогенних сполук. Зміст в димі може збільшити характерний смак диму в продукті. Рідкий дим є альтернативним процесом копчення, який простий у виробництві, використанні та контролі.

Хімічний склад диму і його конденсатів до кінця не з'ясований. Наразі виявлено 300 сполук у димі, 288 – у конденсаті та близько 68 – у копчених продуктах. Це свідчить про високу реакційну здатність основних компонентів диму (спиртів, альдегідів, кетонів, кетокислоти, ефіри) з копченими продуктами, наприклад, рибою [3-5]. Однак при традиційному копченні риби не можна отримати оптимальну температуру для піролізу деревини, а також не можна очистити дим від канцерогенів. Тому існує ризик виникнення шкідливих сполук у більш високих концентраціях в таких традиційно копчених рибних продуктах. На сучасних промислових об'єктах дим виробляється в генераторі, який відділяється від риби. В таких умовах можна регулювати температуру згоряння тирси, наявність повітря (кисню) і циркуляцію повітря. Також дим направляєється від димогенератора в коптильну камеру, де його можна очистити за допомогою різних методів.

Основними корисними ефектами копчення риби є формування типового кольору, аромату та смаку копченої риби, а також ефект збереження риби. Токсичні сполуки (метанол, формальдегід, деякі феноли та інші) мають негативний вплив, оскільки випадають в осад на поверхню риби та знижують поживну та біологічну цінність риби. Тому необхідно контролювати хімічний склад диму, процес очищення диму (якщо такий використовується) і якість готового продукту [3]. Також негативним впливом є знижений вміст (зниження на 10-20%) доступних амінокислот в м'якоті риби, так як деякі амінокислоти вступають в реакцію з компонентами диму. Незважаючи на те, що це викликає зниження поживної цінності риби після копчення, засвоюваність риби підвищується при копченні. Тому засвоюваність одного і того ж виду риби знаходиться в наступному порядку: копчена > варена > сира > сушена > солена.

Інтенсивність кольору, аромату і смаку копченої риби багато в чому залежить від вмісту фенолу в м'якоті риби. Фактична концентрація диму впливає на сенсорні властивості копченої риби. Дим високої щільності містить велику кількість смолистих речовин та кислот і тому він надає рибі кислуватогіркий смак. Дим низької щільності не утворює бажаного золотистого кольору, а запах диму в готовій рибі виражений слабо. Відтінок і колір копченої риби залежить від типу деревини, яка використовується для виробництва диму. Бук, клен і липа дають золотисто-жовті відтінки, акація – лимонний відтінок, дуб – колір кориці, груша – червонуватий відтінок і так далі. Дим від сосни (м'якої деревини) забарвлює копчену рибу інтенсивніше, ніж дим від листяних порід дерев.

Риба зневоднюється під час копчення, втрачаючи вагу і змінюючи свої структурно-механічні властивості. Органічні сполуки з диму, які осідають на поверхні риби, поступово дифундують в м'язову тканину. Дифузія різних димових сполук в тканині риби відбувається нерівномірно, одні з них

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

проникають до м'якоти риби, а інші залишаються на шкірі або м'язовій поверхні, утворюючи золотисто-коричневу мембрану.

Консервуючий ефект копчення обумовлений антиоксидантною дією компонентів диму (феноли, полікарбонові кислоти), бактерицидною дією (спільна дія антисептичних компонентів диму, в основному деяких фенолів і кислот, зневоднення, солі, зниження рН і високої температури при гарячому копченні) і антипротеолітичної дії (уповільнення аутолітичних процесів за рахунок впливу диму на ферменти тканин) [3-5]. Консервування шляхом копчення засноване на дії компонентів тепла і диму на присутні мікроорганізми і зміни основних компонентів риби. Крім того, зменшується кількість води в м'якоті, і це відбивається на якості готового копченого рибного продукту. Численні компоненти диму, тобто органічні кислоти, спирти, альдегіди, кетони і особливо феноли, мають бактериостатичну дію на деякі види бактерій та/або грибів. Найважливішою причиною псування копченої риби є ріст мікроорганізмів, що супроводжується накопиченням у продуктах їх метаболізму під час зберігання копченої риби, що призводить до появи небажаних запахів та присмаку.

Електростатичне копчення є ще одним швидким способом копчення. При електростатичному копченні риба відправляється в тунель, де створюється електростатичне поле. Частинки диму отримують позитивний заряд і осідають на поверхні риби, яка заряджена негативно. Незважаючи на те, що ця процедура змінить склад диму, ефективність копчення все одно вища, ніж у традиційного копчення. Технологія також може працювати безперервно. Співвідношення димових сполук у паровій фазі може змінюватися під дією електростатичного поля, що призводить до підвищення рівня карбонільних сполук [1-3]. Фактори, які можуть впливати на електростатичне копчення, включають товщину шкіри, наявність луски та кількість підшкірного жиру.

При електростатичному копченні тривалість копчення в 8-10 разів коротша, ніж при звичайному. Процес виробництва копченої риби (спосіб засолювання, кількість солі, спосіб копчення) повинен забезпечувати виробництво копченої риби, щоб відповідав вимогам споживачів і приносив економічну вигоду виробнику. Незалежно від способу копчення, який буде використовуватися, рибний продукт повинен бути безпечним для вживання, незважаючи на дим, що містить канцерогенні сполуки. Охолоджену копчену рибу необхідно утримувати у відповідних умовах і контролювати термін її зберігання. Визначення терміну придатності повинно супроводжуватися сенсорною оцінкою і хіміко-бактеріологічними аналізами.

1.2 Технологія копчення риби

Основними процесами, які можна виділити у процесі копчення риби є: сушка, нагрівання та копчення (рис. 1.1). Коптильня – це просто сушильна піч з можливістю застосування диму. Втрата ваги (вологи) в коптильні може бути корисною або не корисною, але завжди є життєво важливою точкою контролю якості та економіки. Основна мета сушіння – видалення вологи і затвердіння

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

шкіри і голови. В результаті шкіра не тріскається під час другого етапу копчення, який проходить при більш високій температурі.

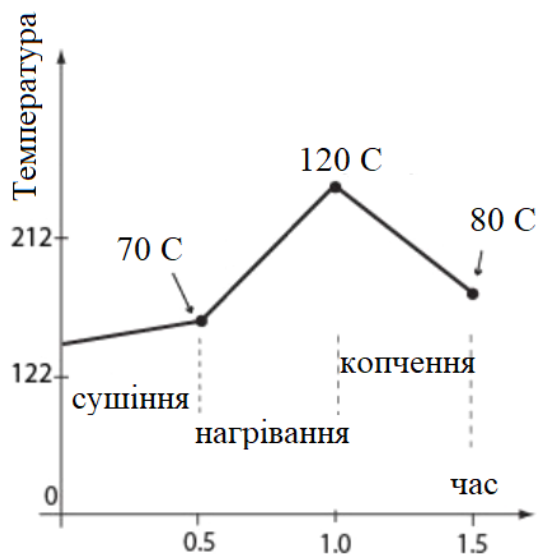


Рисунок 1.1 – Основні процеси копчення риби (горяче копчення)

Зменшення активності води a_w призводить до зниження активності мікроорганізмів. Визначається a_w наступним чином [3]:

$$a_w = p / p_0$$

де p – тиск пари продукту;

p_0 – тиск пари чистої води при тій же температурі.

Для ідеальних розчинів (реальних розчинів при низьких концентраціях) активність води можна розрахувати за формулою [3]:

$$a_w = n_1 / (n_1 + n_2)$$

де N_1 – число молей розчинника;

N_2 – число молей розчиненої речовини.

Цей взаємозв'язок може стати складним через взаємодію між вологою та тканиною риби, а також відносно високим вмістом розчиненої речовини. Сушіння риби все ще можна імітувати за допомогою формули таким чином, що сушіння риби призведе до зменшення n_1 і збільшення n_2 , що в кінцевому підсумку зменшить a_w .

Певна кількість вологи повинна бути втрачена з риби після засолу. Таким чином, активність води a_w може бути знижена і отримана хороша текстура в кінці процесу копчення. В'ялення риби відбувається на ранній стадії процесу копчення. На рибу подається повітряний потік, щоб волога в тканинах риби могла мігрувати на поверхню і залишати рибу шляхом випаровування.

Температура, відносна вологість і швидкість повітряного потоку є ключовими факторами швидкості сушіння. Сушіння з низькою відносною

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологістю повітря на високій швидкості може не витіснити вологу з риби швидко. При занадто високій температурі поверхня риби може затвердіти на початку сушіння, в результаті чого утворюється блокуючий шар для міграції вологи всередину [3-6]. Затверділа поверхня також може перешкоджати проникненню диму в тканину, що зменшує консервуючий ефект диму. Тканини під затверділою поверхнею будуть прагнути псуватися зсередини. Сушка також впливає на якість готового копченого рибного продукту.

Слід зазначити, що незважаючи на те, що на сьогоднішній день розроблено і широко застосовується безліч інших способів сушіння, основні з яких наведені в таблиці 1.1. Принцип роботи багатьох промислових сушильних установок заснований на конвективному способі сушіння, який є найбільш енерговитратним в порівнянні з іншими способами сушіння і не дозволяє отримати якісний напівфабрикат для копчення.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика способів сушіння

Спосіб сушки	Технологія видалення вологи	Якість продукції
Інфрачервоний	Передача тепла інфрачервоними променями	Максимальне наближення до якості сублімаційної сушки, 90% збереження початкових властивостей харчового продукту
Сублімаційний	Два етапи видалення вологи: сублімація льоду із замороженої сировини і подальша сушка продукту у вакуумі	Ідеальне збереження кольору, форми та органолептичних властивостей; мінімально можливі втрати біологічно активних речовин; легкість відновлення
Сушіння в мікрохвильових полях	Диполі води, що видаляються, поміщені в надвисокочастотне електромагнітне поле	Рівномірність нагріву, відсутність залежності від теплопровідності висушуваного матеріалу. Перспективним є комбінований процес зневоднення: конвективне попереднє сушіння та остаточне сушіння в мікрохвильовій печі
Конвективний	Передача тепла за рахунок сушильного агента (нагрітого повітря або газопарової суміші)	Погіршення якості готової продукції через зниження теплопровідності висушеного продукту; необхідність правильної нарізки і бланшування
Кондуктивний	Пряма передача тепла від поверхні нагріву до виробу	Стабільна якість, що відповідає вимогам споживача, досягається за рахунок сушіння суспензій, соусів з високим вмістом крохмалю, а також білкових гідролізатів

При традиційних технологіях сушіння, в основному лежить конвективний теплообмін, до 10-15% білкових компонентів, велика кількість вітамінів, макро- і мікроелементів, біологічно активних речовин безповоротно втрачаються, знижується харчова цінність, якість і вихід готової продукції. В даний час найбільш цікавими і перспективними способами впливу на продукт можна віднести вибухову сушку, а також інфрачервону сушку.

Інфрачервоні промені були відкриті ще в 1800 році Вільямом Гершелем. Під інфрачервоною областю розуміють частину електромагнітного спектра, що лежить між видимим діапазоном і НВЧ діапазоном – в діапазоні хвиль від 0,75 до 1000 мкм. Згідно з сучасними уявленнями, інфрачервоне випромінювання, як і світло, має як хвильові, так і корпускулярні властивості. Ці властивості доповнюють один одного і ніколи не проявляються одночасно [5-8]. Як відомо, енергозбереження є одним з ключових факторів, що визначає ефективність роботи будь-якого приладу або апарату. Використання інфрачервоного нагріву в процесах виробництва харчових продуктів дозволяє забезпечити таку ефективність. Тому, інфрачервона сушка вважається актуальним і найбільш перспективним методом обробки харчових продуктів. При обробці риби використовується також інфрачервоний діапазон теплового випромінювання. Причому, якщо інфрачервона область займає діапазон довжин хвиль близько 0,76-350 мкм, то при обробці риби використовується діапазон від 1 до 6 мкм, а діапазон НВЧ – від 1 мкм до 1 м. При цьому енергія теплового руху молекул зростає і продукт переробки нагрівається.

Інфрачервона сушка, як технологічний процес, заснована на тому, що інфрачервоне випромінювання певної довжини хвилі активно поглинається водою, що міститься в сировині, але не поглинається тканиною висушеного продукту. В результаті волога може видалятися при низькій температурі, що дозволяє практично повністю зберегти початкову біологічну цінність сировини: білки, вітаміни, поліненасичені жирні кислоти, природний колір і смак [1]. При обробці рибних продуктів інфрачервоним випромінюванням використовуються спеціальні лампи потужністю 250 Вт і 500 Вт різної конструкції з різними відбивачами. Інфрачервоні лампи мають більш низьку температуру в порівнянні з освітлювальними лампами. Слід мати на увазі, що в спектрі будь-якого нагрітого тіла є промені з довжиною хвилі більше 0,76 мкм, тому за рахунок зниження температури нагріву нитки лампи можна отримати енергію корисного інфрачервоного випромінювання до 80-90% при енергоефективності до 70%.

Таблиця 1.2 – Характеристика способів сушіння

Спосіб сушіння	Спосіб передачі тепла	Джерело тепла
Провідний	Провідність (теплопровідність)	Поверхні з підігрівом (горно, плити, ролики)
Конвективний	Конвекція – це молярна передача тепла від рухомого джерела до поверхні риби	Нагрітий газ, який омиває рибу в самих різних умовах
Випромінювання (інфрачервоними променями)	Радіація – теплове випромінювання – передача тепла від джерела енергії за	Випромінювачі, нагріті до найвищої температури

	допомогою електромагнітних коливань	
Діелектричний (в умовах високочастотного електричного поля)	Перетворення енергії високочастотного електричного поля в теплоту в масі вологого матеріалу, який нагрівається по всьому об'єму	Генератори високих частот

Аналіз способів сушіння показав, що використання інфрачервоного випромінювання в процесах сушіння дозволяє мінімізувати енерговитрати на виробництво одиниці продукції, також свідчить про низьку енергоефективність конвективного типу сушіння (3-4 кВт·год/кг вологи, що випаровується). При цьому найбільш енергоефективним з розглянутих способів сушіння є інфрачервоний, так як при його використанні витрата енергії становить всього 0,9-1,0 кВт·год/кг вологи, що випаровується. Тому вважаємо за доцільне подальше вивчення впливу інфрачервоної обробки риби на етапі сушіння при підготовці до холодного копчення.

Поширеними джерелами тепла в пристроях для копчення з примусовою конвекцією є пряме газове полум'я, нагрівачі непрямой подачі пари та електричні змішувачі опору. Пряме нагрівання газового полум'я потребує повітря для горіння і виробляє деяку кількість вологи від цього згорання. Однак, незалежно від переваг чи недоліків кожного типу, швидкість, з якою тепло передається від повітря до риби для приготування або сушіння, безпосередньо пов'язана зі швидкістю повітря, температурою повітря та відносною вологістю.

Швидкість відкладення диму на поверхні риби залежить від щільності диму, циркуляції повітря, вологості, температури та характеру поверхні (текстури та вмісту олії). Більшість сучасних коптилень мають більш ніж достатню циркуляцію, а вологість не критична. Багато проблем відкладення диму при переробці копченої риби пов'язані з взаємозв'язком між щільністю диму і повітрообміном. Процедури копчення риби можуть бути унікальними для продуктів, обладнання та навколишнього середовища кожного виробника, але всі вони повинні відповідати певним мінімальним вимогам. Гаряче копчення риби вимагає п'яти етапів (холодне копчення має чотири без нагрівання/приготування), кожен з різними цілями та умовами роботи. Життєво важливо контролювати внутрішню температуру в кількох найбільших шматках риби в найхолоднішій частині духовки (розміщення термодари може бути складним, а також критичним). Спостереження за внутрішньою температурою риби, поряд з її втратою ваги, є єдиним способом ефективно контролювати весь цикл копчення і стабільно отримувати бажані результати. Щоб знайти найхолодніше місце в копильній печі знадобляться деякі експерименти. Час і температура приготування продукту в циклі копчення, швидше за все, будуть критичною контрольною точкою.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.3 Обладнання для копчення риби

Копчення – це процес надання смаку риби або м’ясу за допомогою диму. Цей процес здійснюється за допомогою пристрою, який може піддавати поверхню риби або м’яса диму. Копчені продукти можуть бути виготовлені не тільки з риби і м’яса, але і з широкого спектру сировини, наприклад, з овочів. Різні методи копчення також зустрічаються у всьому світі, оскільки відомо, що копчення продуктів розвинулося разом з різними людськими культурами. У декількох конструкціях і способах коптільні використовують природну циркуляцію повітря і часто відкриті для навколишнього середовища. Ці характеристики мають деякі слабкі сторони, такі як більш тривалий час копчення через низький потік повітря, який проходить через копчений продукт, особливо в коптільнях з декількома камерами.

Таким чином, структурна конструкція цього повільного повітряного потоку, як правило, організована вертикальними шляхами для спрямування висхідних сил згоряння. Додавання будь-яких пристроїв для певних цілей у межах вертикальних шляхів вплине на швидкість повітряного потоку та циркуляцію. Одним із прикладів є використання дротяної сітки для зменшення забруднень, таких як зола, дрібне деревне вугілля, сажа (чорний вуглець) та фракції смол [4, 6, 8]. Повітряний потік також рухається по певному шляху, який прагне досягти продукту в коптільній камері нерівномірно. У ряді довідників конструкції коптилень класифікуються як коптільні з довгим і коротким шляхом. Структура коптільні з коротким шляхом схожа на природну циркуляцію повітря в простій конструкції камери коптільні. Конструкція диму з довгим шляхом, як правило, використовує вентилятор або повітродувку для створення примусової циркуляції повітря всередині воздуховода, перегородок або через кілька камер.

Пристрої холодного копчення мають одну основну функцію: подавати дим на продукт. Пристрої для гарячого копчення мають додаткову функцію подачі тепла. А оскільки консервація риби, зазвичай, вимагає видалення вологи, системи, які призначені для гарячого або холодного копчення риби, можуть мати додаткову функцію зневоднення. Сучасне обладнання для копчення риби зазвичай призначене для виробництва продуктів гарячого або холодного копчення, але в будь-якому випадку вони розроблені таким чином, щоб мати достатній потік повітря та обмін для видалення великої кількості води з продукту (і її викиду з системи) [9]. Рух повітря в коптільні має важливе значення для застосування диму та тепла, а також для видалення води з продукту. У традиційних коптільнях для циркуляції повітря використовується природна (гравітаційна) конвекція. У сучасному обладнанні використовується примусова (вироблена механічним способом) конвекція. Примусове повітря може подаватися на виріб як горизонтально, так і вертикально (або і те і інше в деяких модифікованих конструкціях з вертикальним потоком). Горизонтальний рух повітря найкраще підходить для продуктів, які повинні бути розміщені в коптільні на екранованих піддонах (наприклад, рибне філе та в’ялені смужки). Вертикальний потік повітря добре підходить для продуктів, які можна зручно підвішувати до рейок у коптільні (наприклад, шинку, ланки ковбаси та великі

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

цілі риби або рибні боки). Тому, найкращою конструкцією для коптилень для риби є (за деякими винятками) горизонтальна поточна примусова конвекція. На рисунку 1.2 показані схеми повітряних потоків в системах з примусовою конвекцією.

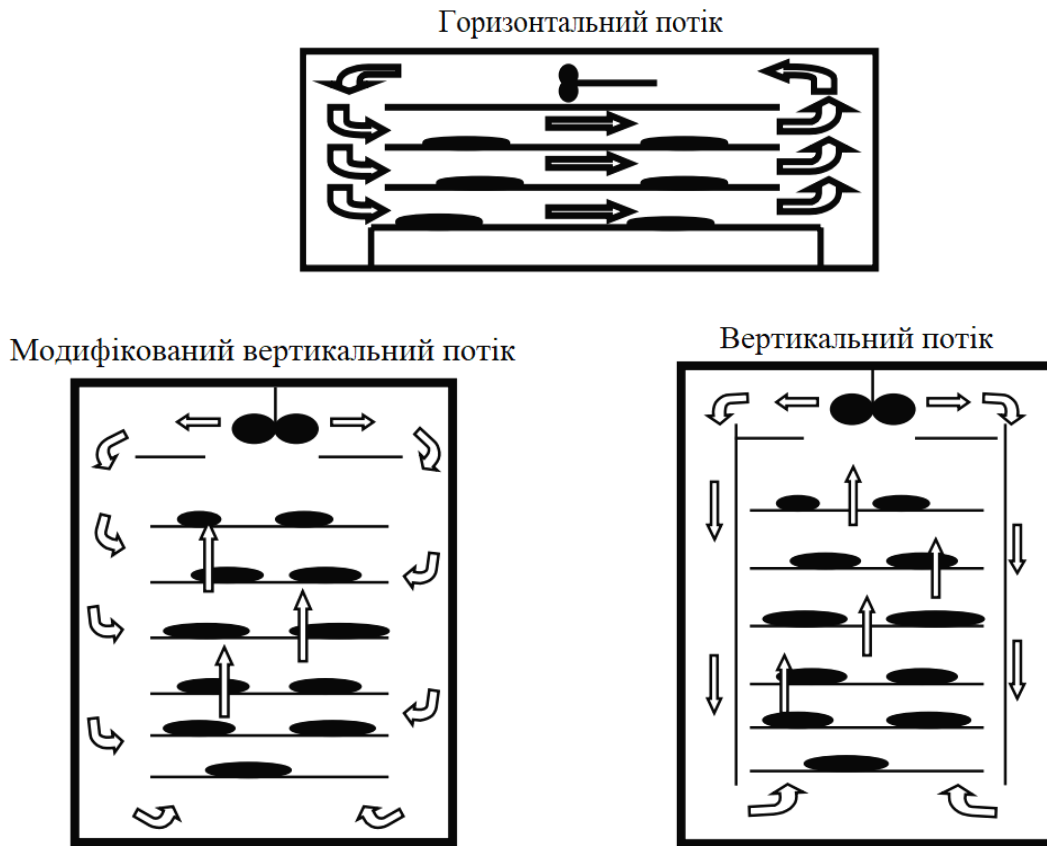


Рисунок 1.2 – Схеми повітряного потоку в коптильнях з примусовою конвекцією

Справжні конструкції з горизонтальним і вертикальним потоком дають відносно рівномірне копчення і сушіння по всій коптильні. Модифіковані системи можуть мати нерівномірний потік при роботі на повну потужність, тому що через верхні стійки нагнітається більше повітря, ніж через нижні.

Агрегат холодного копчення не має потреби у високих температурах і саме тому його конструкція є простою. Коптильні, які здатні до холодного копчення, зазвичай є великими агрегатами, оскільки димогенеруюча секція (топка) повинна бути розташована на безпечній відстані від риби (рис. 1.3). Вона може бути розташована у нижній частині коптильної камери, якщо між ними встановлено одну або кілька захисних перегородок. Якщо ні, капає жир і розпочнеться вогонь.

Оптимальним рішенням є наявність окремо стоячої топки, але це робить агрегат ще більшим. Насос подає повітря під тиском в коптильну камеру. У невеликому зазорі між форсункою і сполучною трубою коптильні утворюється вакуум. Цей вакуум втягує дим від спалювання деревної тріски, а повітря, що набігає, доставляє цей дим у коптильню. Вихід диму визначається поворотом циферблата на повітряному насосі, який регулює швидкість повітряного насоса.

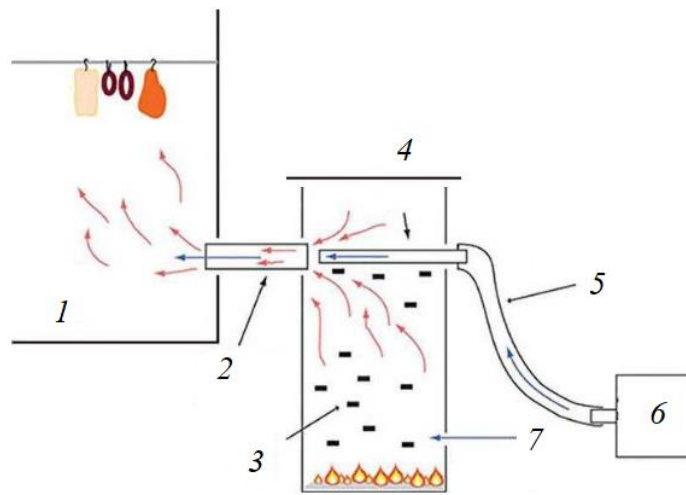


Рисунок 1.3 – Генератор диму

На рисунку 1.3 позначено: 1 – коптильна камера, 2 – коптильна труба, 3 – деревина, 4 – кришка, 5 – сполучна труба, 6 – повітряний насос, 7 – повітря.

Коптильні пристрої поділяють на дві основні групи: безперервної та періодичної дії. Пристрої безперервної дії (тунельні, роторні, щілинні) мають високу продуктивність, повністю механізовані та управління ними автоматизовано. Вони розраховані на обробку великої кількості риби одного виду та строго визначеного розміру, що суттєво обмежує можливості їх застосування, оскільки підприємство стає вузькоспеціалізованим, практично позбавленим можливості міняти асортимент [5-8]. Установки періодичної дії (баштові, карусельні, відцентрові та камерні) вимагають часткового використання ручної праці, продуктивність їх менша, ніж безперервної дії. Однак, ці установки не залежать від виду риби, і можна урізноманітнити асортимент готової продукції відповідно до попиту або зміни виду сировини, що надходить.

Коптильна піч для гарячого копчення була представлена ще на початку 1960-х років. Вона є прототипом для сучасного обладнання для копчення, оскільки дозволяє точно контролювати температуру нагріву, вентиляцію повітря та щільність диму [3] (рис. 1.3).

Переваги: використовує електричні вентилятори для приводу диму/повітряного потоку; розширюваний простір для коптильної камери, що означає більшу місткість; використовує допоміжний нагрівач (електричний).

Недоліки: високе споживання електроенергії; відносно складна конструкція; спалювання споживає більше біомаси; високе забруднення результату спалювання.

Точний контроль часу та температури, контроль вологості та внутрішні датчики контролю температури продукту є необхідним. Таким чином, продукція, що виробляється сучасними коптильнями, набагато більш однорідна, ніж та, що виробляється за допомогою традиційних коптилень. Гаряче копчення, як правило, не є єдиним процесом. Кілька інших етапів, таких як засолювання, сушіння та копчення також включаються для виробництва

продукту гарної якості. Багато коптилень комп'ютерно запрограмовані на час і температуру (рис. 1.4).

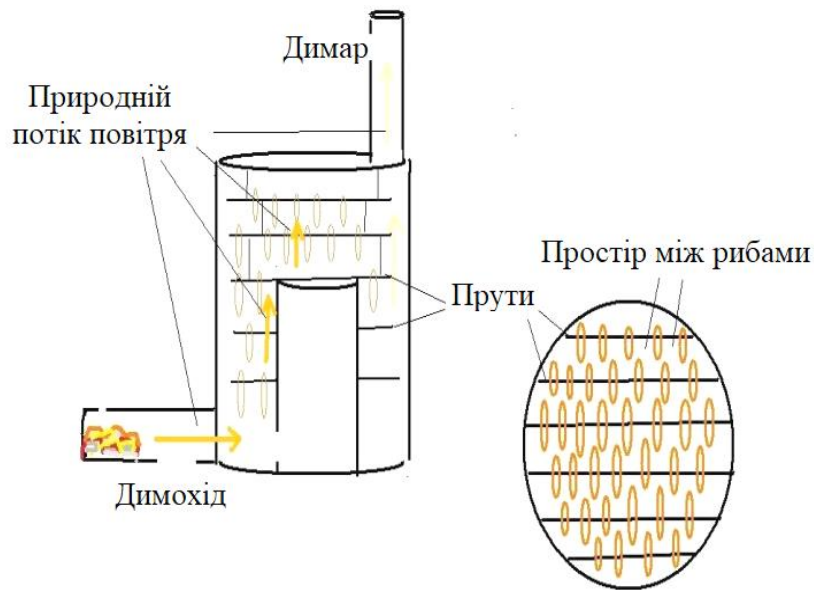


Рисунок 1.3 – Коптильна піч для гарячого копчення

Холодне копчення вимагає більш низьких температур і зазвичай не потребує додаткового джерела тепла. Гаряче копчення потребує додаткового джерела тепла для підвищення температури коптильні, щоб продукти могли готуватися під час процесу копчення.

Електричні коптильні установки домагаються рівномірного копчення риби, так як розташування шомполів з рибою в один ряд дозволяє подавати рибі однакову, строго регламентовану кількість тепла і диму. Низька витрата палива і можливість використання помірних температур також є важливими перевагами даного типу систем.

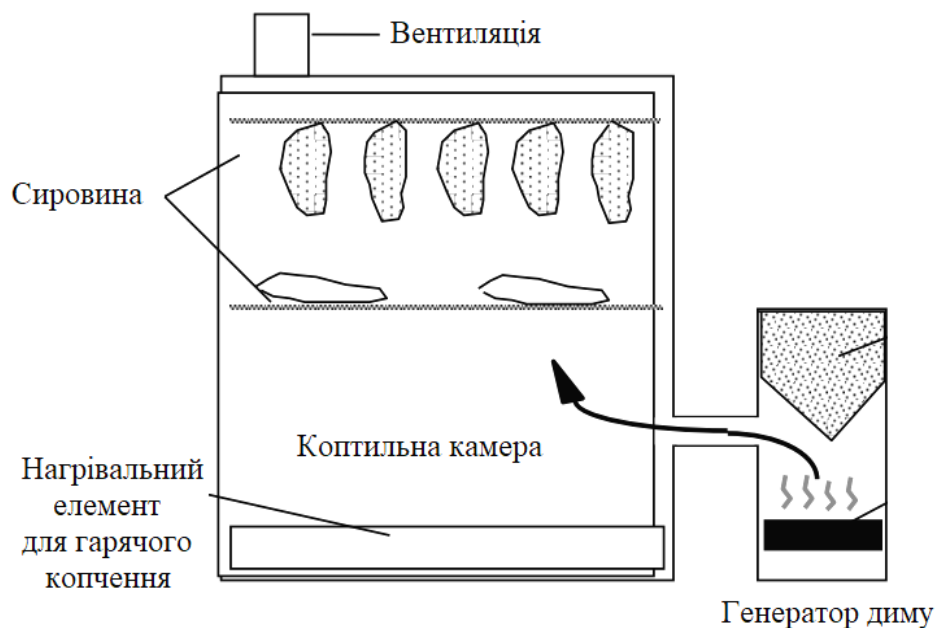


Рисунок 1.4 – Обладнання для копчення риби

Промислове в'ялення та сушка морепродуктів за допомогою спеціальних камер, завдяки строгому дотриманню всіх технологічних нюансів, покликана забезпечити виробництво якісного продукту в достатніх обсягах. Даний варіант переробки риби являє собою взаємопов'язаний ланцюжок з декількох послідовних процесів, завдання яких в кінцевому підсумку зводиться до одного: переведення вологи в продукті в пароподібний стан і видалення її в зовнішнє середовище [5-9]. Зараз ринок обладнання пропонує три види в'ялення та сушки камер для морепродуктів: тунельні, шафові і камерні. Всі вони можуть бути періодичними або безперервними. Найбільшою популярністю в даний час користуються тунельні установки, головною перевагою яких є їх продуктивність, яка досягає 2000 кг на добу в найпотужніших моделях. Основним недоліком є те, що при таких обсягах дуже складно отримати єдину якість всієї готової продукції, а також неможливість її використання на невеликих рибопереробних підприємствах.

На основі вище зазначеного можна вважати, що риба є одним з швидкопсувних продуктів харчування. Швидкість псування риби залежить від поводження під час обробки, рівня кислотності, режиму зберігання, температури при транспортуванні. Риба є швидкопсувним продуктом харчування. Приблизно 27% риби залишається у свіжому вигляді, а решта 73% переробляються такими методами консервації, як соління, в'ялення, заморожування, консервування, засолювання та копчення. Копчення можна визначити як процес проникнення летких сполук у рибу в результаті спалювання деревини, з якого можна отримати продукти зі специфічними смаками, ароматами та тривалим терміном зберігання. Процес копчення являє собою поєднання процесів соління і сушіння.

Копчення надає рибі бажаний аромат, смак і може пригнічувати ріст мікробів. Одним з популярних методів, що використовуються у процесі копчення є використання рідкого диму. Використання рідкого диму має ряд переваг, таких як простота у використанні, використання концентрацій можна легко контролювати, отриманий продукт однорідний і екологічно чистий. Копчення є одним із способів збереження продуктів за допомогою тепла та диму. Існує кілька факторів, які впливають на копчення, а саме температура копчення, вологість, тип деревини, товщина та швидкість потоку диму, види риби та обробка перед копченням. Використовувана температура копчення впливатиме на ефективність налипання диму та тривалість часу, який займає процес копчення. Високі температури призведуть до швидкого випаровування води в рибі, що може призвести до того, що м'ясо риби швидко приготується і матиме сильний рибний смак.

Залежно від способу подачі диму та температури копчення можна визначити чотири основні типи копчення: гаряче копчення, холодне копчення, рідинне копчення та електростатичне копчення. Гаряче копчення – це традиційний метод копчення з використанням як тепла, так і диму, який зазвичай відбувається при температурі вище 70°C. Для копченої риби та рибних продуктів необхідний мінімальний термічний процес тривалістю 30 хв при 62,8°C або вище. Тому після гарячого копчення продукти повністю приготовані

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

і готові до вживання. Температура холодного копчення зазвичай не перевищує 30°C. Таким чином, продукти холодного копчення не піддаються термічній обробці і, як правило, їх сильно солять.

У порівнянні з традиційним гарячим копченням, холодне копчення триває довше, має більш високий вихід і набагато краще зберігає початкові текстурні властивості, ніж гаряче копчення. При рідкому копченні застосовується рідкий дим – це димовий конденсат, який розчиняється в розчиннику, наприклад, у воді або маслі. Рідкий дим можна використовувати безпосередньо на продукції шляхом занурення або розпилення. Електростатичне копчення є ще одним швидким способом копчення. При електростатичному копченні риба відправляється в тунель, де створюється електростатичне поле. Частинки диму отримують позитивний заряд і осідають на поверхні риби, яка заряджена негативно. Незважаючи на те, що ця процедура змінить склад диму, ефективність копчення все одно вища, ніж у традиційного копчення. При електростатичному копченні тривалість копчення в 8-10 разів коротша, ніж при звичайному.

Зазначено, що основними процесами, які можна виділити у процесі копчення риби є: сушка, нагрівання та копчення. Пристрої холодного копчення мають одну основну функцію: подавати дим на продукт. Пристрої для гарячого копчення мають додаткову функцію подачі тепла. А оскільки консервація риби зазвичай вимагає видалення вологи, системи, які призначені для гарячого або холодного копчення риби, можуть мати додаткову функцію зневоднення.

Розглянуто сучасне обладнання для копчення риби, яке зазвичай призначене для виробництва продуктів гарячого або холодного копчення, але в будь-якому випадку вони розроблені таким чином, щоб мати достатній потік повітря та обмін для видалення великої кількості води з продукту (і її викиду з системи). Найкращою конструкцією коптилень для риби є (за деякими винятками) горизонтальна поточна примусова конвекція. Конструкції з горизонтальним і вертикальним потоком дають відносно рівномірне копчення і сушіння по всій коптильні. Модифіковані системи можуть мати нерівномірний потік при роботі на повну потужність, тому що через верхні стійки нагнітається більше повітря, ніж через нижні. Агрегат холодного копчення не має потреби у високих температурах і саме тому його конструкція є простою.

Коптильні пристрої поділяють на дві основні групи: безперервної та періодичної дії. Пристрої безперервної дії (тунельні, роторні, щілинні) мають високу продуктивність, повністю механізовані та управління ними автоматизовано. Вони розраховані на обробку великої кількості риби одного виду та строго визначеного розміру, що суттєво обмежує можливості їх застосування, оскільки підприємство стає вузькоспеціалізованим, практично позбавленим можливості міняти асортимент. Установки періодичної дії (баштові, карусельні, відцентрові та камерні) вимагають часткового використання ручної праці, продуктивність їх менша, ніж безперервної дії. Однак, ці установки не залежать від виду риби, і можна урізноманітнити асортимент готової продукції відповідно до попиту або зміни виду сировини, що надходить.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОПЧЕННЯ РИБИ

2.1 Контроль параметрів виробленого диму за допомогою димогенератора

У харчовій промисловості особливе значення має термічна обробка продуктів харчування. Процеси повинні здійснюватися таким чином, щоб утворювати мінімально можливу кількість відходів сировини, зменшення споживання енергії, а також не впроваджувати в харчові продукти шкідливі для здоров'я людини речовини. Термічна обробка надає властивості, які роблять сировину безпечною для споживання з продовженим терміном зберігання. Це передбачає зменшення вмісту води та пригнічення росту мікроорганізмів, підвищення засвоюваності поживних речовин і покращення текстури, консистенції та фізико-хімічних властивостей [11]. Під час термічної обробки спостерігається сприятлива зміна органолептичних показників, тобто смаку, аромату, зовнішнього вигляду. Існує кілька основних прийомів термічної обробки харчових продуктів: варіння, бланшування, смаження, тушкування, запікання, гриль, сушіння і копчення. Харчова промисловість прагне до сталого розвитку термічної переробки харчових продуктів, тому, копчення є прикладом процесу, популярність якого зростає в останні роки.

Процес копчення передбачає витіснення води з сировини із одночасним насиченням аромату. В результаті знижується активність води і ферментів, а ріст мікроорганізмів пригнічується. Підвищена температура змушує хімічні сполуки, які присутні в димі (в основному фенольні похідні, органічні кислоти та карбонільні сполуки), вступати в реакцію з харчовими інгредієнтами, надаючи смакові і ароматичні властивості та змінюючи колір і текстуру продукту. Однак, копчення також спричиняє забруднення харчових продуктів токсичними та канцерогенними речовинами. У зв'язку зі шкідливістю цих речовин метою є мінімізація їх внеску в продукт, що потребує у процесі копчення встановлення температурних режимів у відповідному копильному обладнанні з контрольованим рівнем диму.

Основним ефектом процесу копчення є збереження харчових цінностей риби, а саме індивідуальних сенсорних властивостей (зміна смаку, аромату, кольору), що викликає зміни в структурі продукту. Інтенсивність всмоктування компонентів диму в продукт залежить, в першу чергу, від щільності диму і виду палива з якого він виробляється [11-14]. Процес уповільнює окислення компонентів риби, особливо жирів. Крім того, деякі сполуки в димі мають бактеріостатичні, бактерицидні або фунгіцидні властивості, що продовжує придатність продукту до вживання. Порода деревини визначає смакові, ароматичні та колірні властивості обробленого продукту, оскільки під час

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Береза</i>				Удосконалення технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						22	14
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

копчення на поверхні утворюється покриття, так звана «скоринка», яка є результатом реакції компонентів диму та білків продукту (зсув білкової поверхні). Важливим аспектом технології копчення є вміст шкідливих сполук у готових виробах, які можуть впливати на здоров'я людини. Від правильного підбору технологій копчення залежить зниження відходів і споживання енергії.

Копчена риба – це продукт, який був висушений шляхом копчення. Процес копчення включає ароматизацію, підрум'янювання, приготування або збереження продукту через вплив диму, щоб уникнути горіння або тління матеріалу, найчастіше дерева, деревного вугілля або інших альтернативних джерел. Таким чином, конструкція коптильної печі може використовувати або деревне вугілля, або газовий пальник, як засіб для виробництва диму, який потім витікає у вигляді конденсату або вільним потоком або примусовою аерацією. Схема повітряних потоків буває ламінарною, вертикальною і циркуляційною. Коли вироблений дим нагріває металеву платформу в основі, всмоктувальний вентилятор висмоктує гаряче повітря, а потім перенаправляє його назад у відстаючу камеру, щоб забезпечити рівномірний розподіл тепла на оброблювану сировину.

Дим утворюється при контрольованому повільному горінні коптильного матеріалу, хід і ефект якого залежить від доступу кисню в атмосферу. Відбувається термічна деградація димоутворюючої сировини з повним доступом до кисню. Відмінності в параметрах методів, що використовуються для отримання диму, дозволяють контролювати його хімічний склад, з цієї причини змінюються органолептичні показники продукту [11-18]. Процес отримання диму складається з двох фаз, під час яких спочатку відбувається термічне розкладання димоутворюючої сировини з подальшим окисленням летких сполук, що утворилися в попередній реакції. Під час згоряння димоутворювального матеріалу різні сполуки, що входять до складу цього матеріалу, згорають при підвищенні температури. Відомо кілька способів отримання диму, але вони поділяються на дві групи: полум'яний і безполумєний. Правильний вибір методу димоутворення зменшує викид парникових газів в атмосферу.

Удосконалення якості копченого продукту залежить від його безпеки для здоров'я людини, зниження витрат енергії і палива можна здійснювати, застосовуючи нові способи отримання з урахуванням гармонізації подачі тепла в паливо і кінетику його нагріву. Щоб вирішити цю проблему доцільно застосовувати генератор диму.

Всі димогенератори можна класифікувати за такими ознаками, які характеризують їх технологічну та екологічну ефективність:

- тип джерела енергії для підігріву палива (із зовнішнім і внутрішнім тепловиділенням, ендотермічні та екзотермічні димогенератори відповідно);
- конструктивні особливості поверхні нагріву;
- принцип роботи (відкритий, з вільним доступом повітря в паливний простір і закритий, де регулюється доступ повітря);
- рівень автоматизації та механізації процесу димогенерації;
- можливість регулювання температури, неповне згоряння;
- рівень безпеки димового середовища.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Найчастіше в конструкції сучасних димогенераторів зустрічаються технічно реалізовані способи отримання диму шляхом тління, тертя і за допомогою парогенерації. У найбільш поширених димогенераторах (тліючих) електропостачання однієї димоутворюючої частини палива здійснюється за рахунок енергії, що виділяється при згорянні іншої його частини. Відомо, що неповне згоряння деревини відбувається з виділенням великої кількості тепла в результаті екзотермічного розкладання органічних сполук деревини до вуглецю і водню. Цього тепла вистачить, щоб прогріти частину деревини до температури близько 300°C при якій відбувається самозаймання.

Для мінімізації негативних наслідків зволоження деревини, безпосередньо при виробництві диму в димогенераторах закритого типу, використовуються паливні елементи обмеженого обсягу. Аналіз їх конструкцій дозволяє виділити загальні переваги і недоліки для них. До переваг можна віднести простоту конструкції і експлуатації, а до недоліків – примітивну систему загартування водою відкритого полум'я, відсутність будь-якої механізації технологічного процесу димогенерації, а також автоматичного контролю і управління процесом. Однак, порівняно із побутовими апаратами виявляє безліч переваг:

- можливість запобігання локального перегріву деревини в процесі димоутворення в автоматичному режимі без участі людини;

- уможлиблює контроль і управління в автоматичному режимі важливими технологічними параметрами диму, такими як відносна вологість і температура;

- низька витрата енергії та деревини на одиницю об'єму диму.

На основі аналізу можна окреслити основні переваги та недоліки вітчизняних та імпортованих димогенераторів з внутрішнім виділенням тепла. Кращі моделі мають здатність запобігати утворенню відкритого полум'я в процесі піролізу палива, оснащуються системами очищення димових викидів різного ступеня складності та ефективності або характеризуються мінімальними викидами. Однак абсолютним недоліком всіх пристроїв даного типу є відсутність можливості надійно контролювати температуру, що сприяє утворенню шкідливих сполук і забруднення харчових продуктів.

Принципова відмінність димогенераторів із зовнішнім виділенням тепла (ендотермічні) і апаратів з внутрішнім тепловиділенням (екзотермічні) полягає в способі подачі тепла до деревини від зовнішнього джерела. Конструктивно найчастіше реалізація відбувається за допомогою постійної подачі теплової енергії до деревини від нагрівачів різних типів з деяким теплоносієм або за рахунок тертя. Цей принцип дозволяє підтримувати температуру піролізу деревини в момент димоутворення на рівні температури теплоносія або трохи вище, що створює принципову можливість контролю температурного режиму, який відповідає за канцерогенну безпеку диму.

Серед димогенераторів із зовнішнім теплоутворенням друге місце за кількістю моделей після димогенераторів тління займають фрикційні димогенератори дискового типу. Конструктивно фрикційний димогенератор являє собою корпус з фрикційним внутрішнім входним отвором і патрубком для відведення диму. Затискний пристрій, що фіксує дерев'яний брусок,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлюється в корпусі і забезпечує зворотно-поступальний рух. Енергія, що використовується для піролізу деревини є енергією тертя деревини об циліндр. Конструктивно фрикційні димогенератори можуть дещо відрізнятися, тому існують моделі циліндрового типу з пневматичним стисненням з дерев'яних брусків, які легко розміщуються в дверцятах термокамер. Димогенератор у процесі копчення риби наведено на рисунку 2.1.

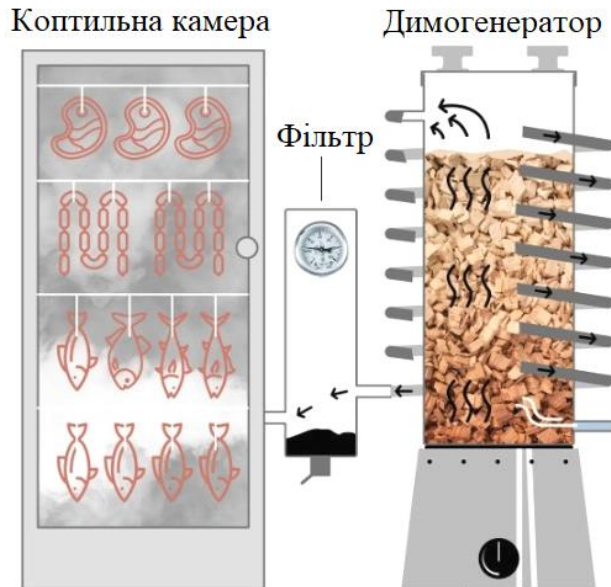


Рисунок 2.1 – Димогенератор у процесі копчення риби

Перевагою всіх фрикційних димогенераторів є можливість отримання диму з мінімальним вмістом шкідливих речовин, а також невеликої кількості електроенергії. Недоліками цих пристроїв є підвищений рівень шуму, необхідність підготовки деревини перед використанням (зазвичай використовується блоки певних розмірів), дороге обслуговування (зміна фрези або циліндра), а також специфічний аромат диму і високий вміст в ній частинок сажі. Крім того, деревина часто запалюється в результаті місцевого перегріву робочих поверхонь, що вимагає імпульсної роботи.

Через вплив диму в копчених продуктах накопичується багато хімічних речовин. Продукти, отримані у процесі копчення, містять токсичні сполуки, рівень яких у продуктах залежить від обраного методу копчення, сировини, що виробляє дим, та його вологості, а також тривалості процесу. Деякі із сполук є вкрай небезпечними для здоров'я людини. Дослідження показують, що відокремлення цих сполук від диму неможливе під час процесу. Однак, цього не слід намагатися робити, оскільки ці сполуки надають продуктам характерні органолептичні показники. Відповідно, у процесі копчення риби необхідно суворо контролювати параметри і склад виробленого диму із використанням сучасних технологій і систем автоматизованого управління, що може знизити вміст шкідливих сполук у сировині.

Традиційно копчення риби – це спалювання деревини або деревного вугілля в неконтрольованому середовищі, які комплексно впливають на рибу, це включає вплив на рибу мікробів і забруднення, а також дуже низьку

швидкість сушіння через витрати енергії в навколишнє середовище, отже, збільшує вартість копчення риби. Для оптимального процесу копчення важливо змоделювати процес копчення таким чином, щоб удосконалити існуючу техніку з використанням деревного вугілля. Процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням АСУ наведено на рисунку 2.2.

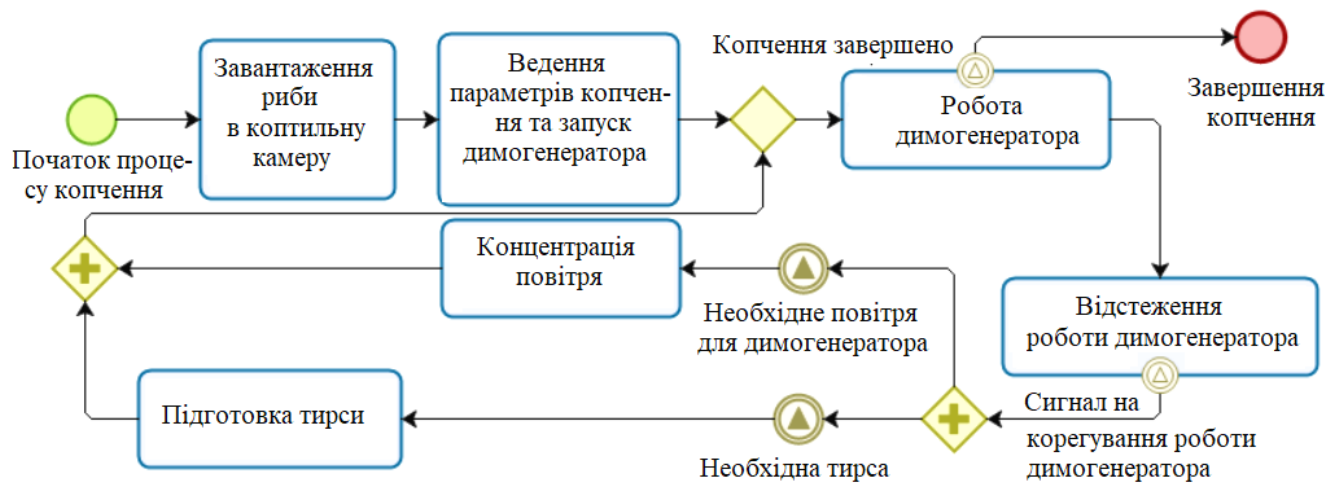


Рисунок 2.2 – Процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням АСУ

На основі вище зазначеного, можна вважати, що процес копчення риби надає продуктам унікальні органолептичні властивості та повинен зменшувати поглинання шкідливих речовин з диму. Крім того, зниження енергоємності процесу копчення сировини має вирішальне значення для навколишнього середовища. Традиційні методи копчення збільшують кількість речовин, які негативно впливають на здоров'я людини. Копчення при низькій температурі призводить до меншого накопичення шкідливих сполук порівняно з іншими методами. Однак, це також і трудомісткий процес. Для поліпшення і збереження органолептичних якостей сирого продукту і скорочення трудомісткого процесу рекомендованим видом копчення є гаряче копчення. Підвищення температури згоряння сировини значно збільшує наявність в продукті шкідливих для здоров'я людини речовин.

Вибір способу отримання диму залежить від максимального зниження температури згоряння сировини шляхом зниження тиску в камерах згоряння, використання газів, що підтримують копчення та використання пресованої під тиском стружки димоутворюючої сировини. На здатність адсорбувати компоненти диму в основному впливають фізичні властивості копчених продуктів (наприклад, структура, вміст води та жиру), а також співвідношення питомої площі поверхні продукту до його маси та пористості. Продукти копчення містять багато додаткових речовин (феноли, альдегіди, кетони, терпени, спирти, кислоти), які всмоктуються в них з димом. У зв'язку з шкідливістю цих речовин метою є мінімізація їх внеску в продукт, що потребує у процесі копчення встановлення температурних режимів у відповідному копильному обладнанні з контрольованим рівнем диму. Їх синергетичний ефект формує якість кінцевого продукту. Тому у процесі копчення риби

необхідно суворо контролювати параметри і склад виробленого диму із використанням сучасних технологій і коптильних камер, що може знизити вміст шкідливих сполук у сировині. Запропоновано процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням АСУ.

2.2 Управління процесом гарячого копчення риби в коптильній камері з використанням сучасних технологій

Копчення залежить в основному від температурного та димового впливу на продукт. Правильний вибір способу копчення дає можливість знизити вміст речовин, що проникають з диму в продукт, мінімізувати кількість коптильної сировини, знизити втрати енергії. Копчення при холодній температурі – це тривалий процес (1–14 днів), який виконується в діапазоні температур від 15 до 25⁰С і при відносній вологості повітря близько 95% [11]. Копчення холодним методом передбачається для додання аромату продуктам, значного збільшення терміну зберігання, захисту їх від мікроорганізмів. Велика тривалість процесу призводить до значної втрати ваги. Це також найменш енергоємний і безвідходний процес. Копчення теплим димом, з температурою від 25 до 50⁰С і вологістю близько 80%, займає від 4 год до 2 діб. Цей спосіб копчення пастеризує сировину шляхом нагрівання і висушування зовнішнього шару, завдяки чому продукт всередині зберігає характеристики натурального продукту.

Конструкція коптильного пристрою підбирається в залежності від способу копчення, кількості та виду продуктів. Вона дозволяє контролювати і стабілізувати параметри процесу копчення таким чином, щоб можна було досягти необхідного терміну зберігання продуктів і бажаних сенсорних характеристик. Істотною особливістю будь-якої коптильної камери є контроль диму, бо він витісняє повітряні маси зсередини. Конструкція коптильної камери повинна дозволяти підтримувати постійну температуру всередині неї. Система охолодження необхідна, якщо температура навколишнього середовища значно перевищує бажану температуру процесу. Ця система складається з контуру холодної води і вентилятора. Бажана температура диму досягається за рахунок відповідного методу спалювання сировини, що утворює дим з одночасним контролем розміщення печі та інтенсивності горіння [11-16]. У пристроях, призначених для високотемпературного копчення, важливо підтримувати рівномірний потік диму і повітряної суміші. Через значну різницю температур між димом і коптильною сировиною дим може конденсуватися, що призводить до утворення «мертвих зон» всередині коптильні, що може спричинити нерівномірне копчення сировини. Для усунення цього явища споруджують коптильні з вбудованими вентиляторами.

Копчення риби покращує засвоєння поживних речовин, зберігає їх і надає специфічний смак, колір і аромат. Найпопулярнішими видами риби, які використовуються в копченні, є лосось, скумбрія, форель і оселедець. В результаті впливу температури і диму риба висушується і насичується компонентами диму, завдяки чому набуває потрібні характеристики. Дим повинен мати низьку вологість і не мати смол. Параметри процесу, які

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

підбираються в залежності від виду риби, ваги і жирності, істотно впливають на кінцевий ефект копчення риби. Жирна риба поглинає більш значну кількість димових сполук. Тому їх смак і аромат будуть більш насиченими, ніж у нежирної риби, яку можна швидко висушити. Специфічний характер риби дозволяє піддавати її низько- і високотемпературному копченню.

Під час всього процесу гарячого копчення, включаючи етапи в'ялення, варіння та копчення, риба зневоднюється з різною інтенсивністю. Тривалість конвективної обробки харчової сировини визначається параметрами її вологості, контактної поверхні і швидкістю руху теплоносія в коптильному середовищі тощо. Тому, для ефективного контролювання основних параметрів доцільно застосовувати сучасні методи механізації та автоматизації переробки та виробництва риби, що також уможливорює моніторинг, стабілізацію, регулювання параметрів виробничого процесу. На рисунку 2.3 представлено коптильне обладнання для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації. Конструкція автоматичної коптильної машини для копчення риби із використанням сучасних технологій містить три основні блоки: коптильна камера, димогенератор і контролер. Гаряче копчення потребує додаткового джерела тепла для підвищення температури коптильні, щоб продукти могли готуватися під час процесу копчення.

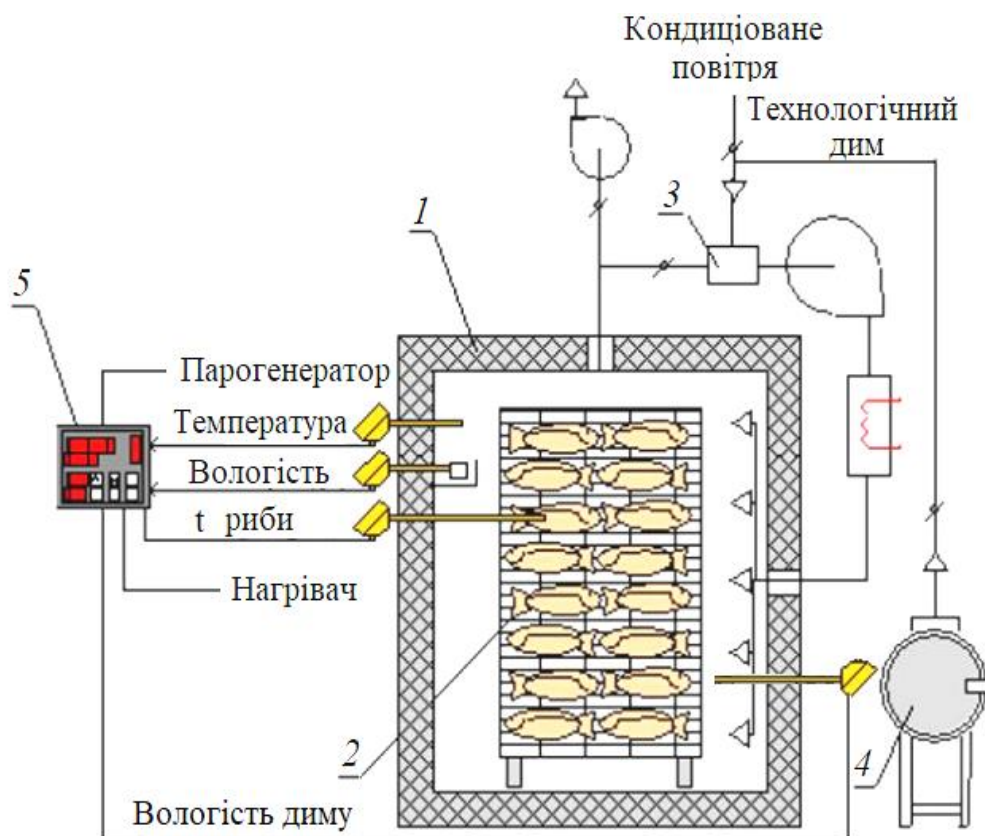


Рисунок 2.3 – Коптильне обладнання для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації [11-16]

На рисунку 2.3 представлено: 1 – коптильна камера; 2 – сировина, що підлягає копченню (риба); 3 – змішувальна камера; 4 – димогенератор; 5 – контролер.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Коптильне середовище необхідно розглядати, як об'єкт управління у вигляді трьох взаємопов'язаних контурів: зміни щільності димоповітряної суміші, температури димоутворення (і пов'язаної з нею температури диму) та вологості димоповітряної суміші. Дані параметри (щільність, температура і вологість диму) є регульованими параметрами. В якості зовнішніх вхідних впливів, що задають, для димогенераторів пропонуються потужність, що подається на нагрівальні елементи, вологість і концентрація свіжого повітря. Параметрична схема процесу димогенерації при гарячому копченні риби наведена на рисунку 2.4.

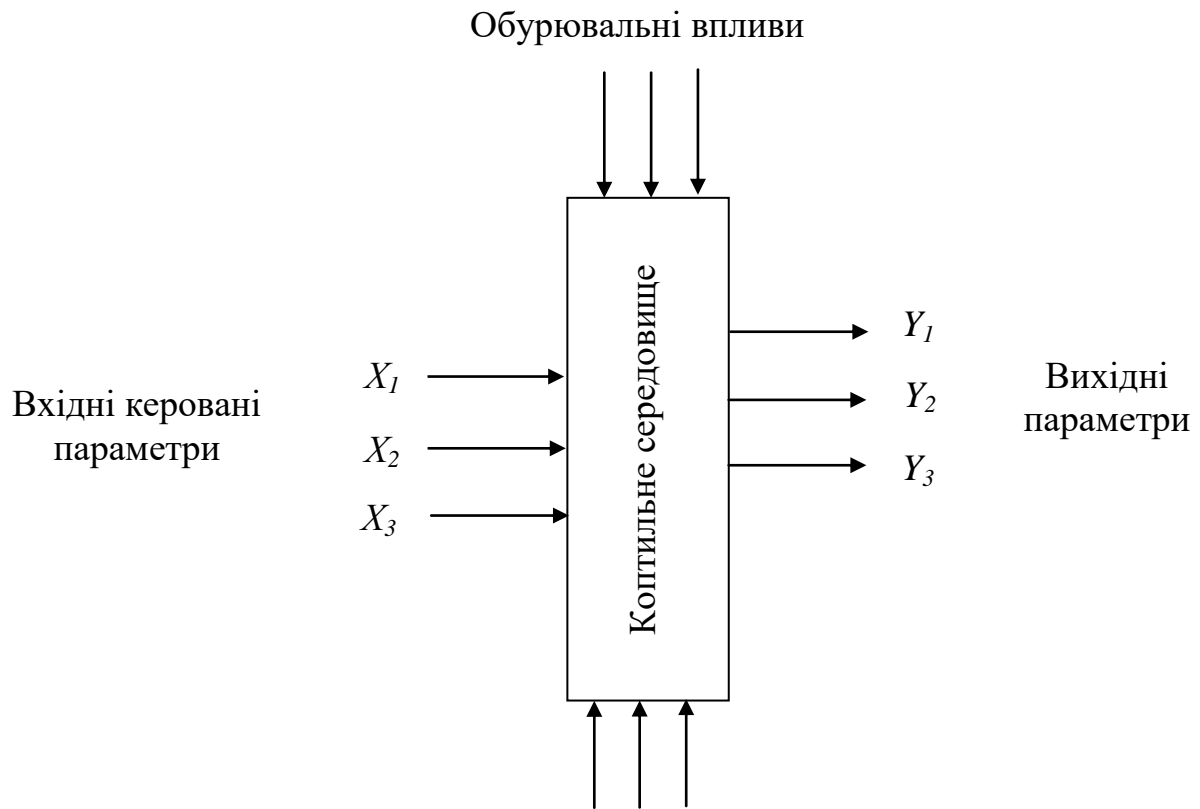


Рисунок 2.4 – Параметрична схема процесу димогенерації при гарячому копченні риби

Критеріями оптимальності процесу димогенерації при гарячому копченні риби Y_i є характеристики коптильного середовища, а саме:

- Y_1 – якість копченої риби;
- Y_2 – вміст шкідливих сполук у сировині;
- Y_3 – концентрація шкідливий сполук.

Чинниками – аргументами x_i , які впливають на вихідні параметри оптимізації Y_i служать параметри процесу димогенерації при гарячому копченні риби:

- X_1 – щільність диму;
- X_2 – температура диму;
- X_3 – вологість диму.

Зовнішні вхідні впливи: потужність, що подається на нагрівальні елементи, вологість і концентрація свіжого повітря.

Копчення риби – це процес обробки сировини шляхом впливу на неї диму від тліючої деревини або рослинних матеріалів. Цей процес являє собою явище тепломасопереносу, який відбувається за рахунок застосування теплової енергії. Волога переміщується з внутрішньої частини риби на зовнішню поверхню, звідки мігрує в навколишнє середовище шляхом дифузії [19]. Метою копчення риби є видалення води до певного рівня, який може запобігти росту цвілі та грибків і таким чином мінімізувати деградацію мікроорганізмів. Існують різні види методів копчення, які можуть бути застосовані для зменшення води і, отже, досягнення мети збереження риби.

Традиційні методи зазвичай включають використання димоходу, який вважається екологічно небезпечним через вихід диму. Однією з можливостей для досягнення стандартів якості є збільшення механізації коптилень і сушарок. При створенні такої машини необхідно враховувати кілька факторів: температура копчення при «гарячому копченні» повинна коливатися від 70 до 90°C для забезпечення повної коагуляції білка. Якість солі, диму та тепла, що використовуються під час цієї процедури, необхідно налаштовувати для отримання кращих результатів [13]. Тим часом для «холодного копчення» потрібно 20–30°C. Крім того, копчення риби вимагає обережного поводження з джерелом білка, оскільки неправильне поводження призведе до зниження якості. Механізми, що беруть участь у процесі копчення мають вирішальне значення для максимального впливу диму на рибні продукти.

Гаряче копчення риби засноване на одночасних процесах зневоднення і нагрівання, що вимагає визначення і систематичного аналізу зміни вологості та температури риби в різних режимах. Зміни, що відбуваються при копченні при нагріванні, в основному обумовлені денатурацією білків, які легко переробляються до агрегації і згортання. Нагрівання до температури згортання білка викликає його зневоднення. Ступінь денатурації білків харчових продуктів визначається тривалістю термічної обробки, температурним режимом процесу, а також сумарними втратами вологи у процесі [11, 12, 13]. Під час гарячого копчення риби необхідно видалити певну кількість вологи і довести продукт до стану добре просмаженого. Тканини риби у процесі копчення піддаються фізико-хімічним змінам під час зневоднення, впливу температури, насичення тканин копченими компонентами. Ступінь змін характеризується режимом копчення і типом сировини. Два вищезгадані процеси, що відбуваються одночасно, будуть визначати якість готового продукту – його зовнішній вигляд, консистенцію, смак і аромат. Чим ефективніше протікають процеси видалення вологи і нагрівання харчового матеріалу, тим більш компактними можуть бути сконструйовані коптильні камери за рахунок їх більш високої продуктивності.

Процес копчення передбачає витіснення води із сировини з одночасним насиченням аромату. У процесі розрахунку теплового балансу приймемо:

- щільність повітря постійну;
- розподіл швидкості повітря в печі рівномірну;
- повітря і водяну пара будемо вважати ідеальними газами;

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– обмінні поверхні повітряного продукту залишаються постійними під час копчення;

– однорідними вважаються всі продукти, які характеризуються його поверхневою температурою.

Масу води, що випарувалася у процесі копчення m_e можна обчислити за формулою [19]:

$$m_e = m_{mib} - m_{ik}$$

де m_e – маса води, що випарувалася у процесі копчення, кг;

m_{mib} – початкова маса риби, 15 кг;

m_{ikk} – маса сухої/кінцевої риби, 10,2 кг.

Отримуємо:

$$m_e = 15 - 10.2 = 4.8 \text{ Kg}$$

Енергетичну цінність води з риби, що випаровується, визначимо використовуючи рівняння:

$$Q_t = m_e \times L_w$$

де Q_t – енергетичне значення для водяної пари риби;

m_e – маса води, що випарувалася, 4,8 кг;

L_w – прихована теплота водяної пари, 2,260 кДж/кг.

Тоді отримуємо:

$$Q_t = 4.8 \times 2.260 \text{ kJ/kg} = 10.848 \text{ kJ/kg}$$

Теплота використовується для підвищення температури [19]:

$$Q_{air} = m_{mib} \times c_{pair} \times \Delta T$$

де Q_{air} – тепла енергія для підвищення температури (кДж);

m_{mib} – маса риби, 15 кг;

c_{pair} – питома теплоємність води (кДж/кг^{°C}), 4,2 кДж/кг^{°C};

ΔT – різниця температур, 46^{°C}.

Отримаємо:

$$Q_{air} = 15 \times 4.2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \times 46 = 2.898 \text{ kJ/kg}$$

Теплота використовується для випаровування продукту води (риби), використовуючи рівняння:

$$Q_{uap \text{ air}} = m_{mib} \times C_{uap \text{ air}}$$

де $Q_{uap \text{ air}}$ – тепла енергія для випаровування води, кДж;

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

m_{mib} – маса риби, кг;

$C_{uap\ air}$ – теплота водяної пари (кДж/кг), $540\text{ Кал} = 2,25936\text{ кДж/кг}$.

Отримаємо:

$$Q_{uap\ air} = 15 \times 2,25936 = 33.8904\text{ кДж/кг}$$

Питома теплоємність, що використовується для підвищення температури продукту (риби) C_p становить $3,18\text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$ [19]. Теплота використовується для підвищення температури продукту (риби) за допомогою рівняння [19]:

$$Q_{ikan} = m_{mib} \times C_{p\ ikan} \times \Delta T$$

де Q_{ikan} – теплова енергія для підвищення температури продукту, кДж;

m_{mib} – маса риби, кг;

$C_{p\ ikan}$ – питома теплоємність продукту, кДж/кг $^\circ\text{C}$;

ΔT – зміна температури, $^\circ\text{C}$.

Тоді отримаємо:

$$Q_{ikan} = 15 \times 3.18 \times 46 = 21.942\text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$$

Отже, загальна енергія, яка використовується продуктом, становить [19]:

$$Q_{total} = Q_{air} + Q_{uap\ air} + Q_{ikan}$$

де Q_{total} – загальна енергія, яка використана продуктом.

$$Q_{total} = 2.898\text{ кДж/кг} + 33.8904\text{ кДж/кг} + 21.942\text{ кДж/кг}^\circ\text{C} = 58.7304\text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$$

Прогрес в науці і техніці в даний час переживає дуже швидке зростання. Технологію копчення риби не можна відокремити від використання мікроконтролера (датчиків) і перетворювача. Перевагою мікроконтролерної технології полягає в тому, що вона являє собою цифровий інструмент вимірювання і автоматизації з рідкокристалічним дисплеєм [12, 14]. Датчики та перетворювачі в даний час перетворюються на інновації та креативність, які можна застосувати як інструмент для експериментів. Система контрольно-вимірювальних приладів, яка використовується для проведення вимірювань, має вхід у вигляді фактичного значення вимірюваної змінної, а вихід у вигляді вимірюваного значення змінної.

При виготовленні копченої риби широко використовуються контролери, які дозволяють контролювати різні параметри. Вони оснащені універсальними входами, до яких можна підключити датчики різного типу: теплові перетворювачі опору, термопари, датчики з фіксацією вихідного сигналу струму або напруги. Стандартна комплектація має два виходи програмного

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

модуля-регулятора, кожен з яких працює за принципом включення-виключення. За допомогою цього обладнання можна здійснювати автоматичний запуск і відключення виконавчих механізмів; підтримку температури на всіх етапах обробки (плавний нагрів, витримка і плавне охолодження); встановлення в камері необхідного значення вологості за допомогою управління витяжним вентилятором; контроль подачі диму.

В коптильному обладнанні для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації пропонується на основі мікроконтролера контролювати температуру та вологу в коптильній камері, температуру диму та час роботи між копченням та сушінням. Датчик температури регулює потрібну температуру шляхом включення і виключення управління нагрівачем за допомогою програмованого мікроконтролера. Живлення мікроконтролера здійснюється від перетворювача постійного струму напругою 5В, що живиться від імпульсного блоку живлення 12В. Драйвер двигуна перетворює електричний сигнал від мікроконтролера в механічний сигнал, прийнятий кроковим двигуном. Таймер, який вбудований в систему мікроконтролера, дозволяє користувачеві встановлювати час копчення і сушіння копченої риби. Цей датчик використовується для підтримки потрібної температури відповідно до заданих користувачем значень.

Мікропроцесор, отримуючи інформацію від датчика вологості, здійснює корекцію теплового потоку:

- якщо вологість підсушеної риби буде вищою за задану то мікропроцесор підвищує витрату повітря в камері;
- якщо вологість підсушеної риби буде нижчою за задану то мікропроцесор знижує витрату повітря в камері.

У процесі копчення мікропроцесор порівнює значення концентрації коптильного диму, що вимірюється датчиком із заданою оптичною густиною (0,8 – 1,2). Якщо значення відрізняються то мікропроцесор подає сигнал на виконавчий механізм, який регулює витрати повітря відповідно в димогенераторі. Вологість коптильного диму на вході у коптильну камеру вимірюється датчиком, який розташований в димогенераторі.

Програмований контролер забезпечує безпеку та безперервність процесу копчення риби, контроль температури в коптильній камері та подачу диму. При цьому він аналізує критичний стан всієї системи для копчення: в разі, якщо сталася несправність датчика, не задіяного безпосередньо в поточному кроці, пристрій не зупиняє виконання програми, а лише подає сигнали про несправність. Якщо ж відбувається поломка необхідного на даному етапі вимірювального приладу то програмований контролер зупиняє подачу струму, щоб уникнути більш серйозних поломок, а всі вихідні прилади відключаються. Коли несправність виявляється усунутою то процес копчення можна продовжувати [11-15]. Автоматизація копчення риби із застосуванням програмованого контролера дозволяє користувачеві максимально стабілізувати весь виробничий процес, мінімізувавши вплив людини і ризик виходу бракованої продукції. Суворе дотримання всіх умов технологічного процесу за допомогою програмованого контролера призводить до помітного поліпшення якості випускної продукції. Крім копчення риби, програмовані контролери

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			33

знаходять широке застосування при виробництві різних харчових продуктів в яких використовуються різні види термічної обробки: сушка, варіння і копчення.

На основі вище зазначеного, можна вважати, що процес копчення риби надає продуктам унікальні органолептичні властивості та повинен зменшувати поглинання шкідливих речовин з диму. Крім того, зниження енергоємності процесу копчення сировини має вирішальне значення для навколишнього середовища. Традиційні методи копчення збільшують кількість речовин, які негативно впливають на здоров'я людини. Копчення при низькій температурі призводить до меншого накопичення шкідливих сполук порівняно з іншими методами. Однак, це також і самий трудомісткий процес. Для поліпшення і збереження органолептичних якостей сирого продукту і скорочення трудомісткого процесу рекомендованим видом копчення є гаряче копчення. Підвищення температури згорання сировини значно збільшує наявність в продукті шкідливих для здоров'я людини речовин.

Вибір способу отримання диму залежить від максимального зниження температури згорання сировини шляхом зниження тиску в камерах згорання, використання газів, що підтримують копчення та використання пресованої під тиском стружки димоутворюючої сировини. На здатність адсорбувати компоненти диму в основному впливають на фізичні властивості копчених продуктів (наприклад, структура, вміст води та жиру), а також співвідношення питомої площі поверхні продукту до його маси та пористості. Продукти копчення містять багато додаткових речовин (феноли, альдегіди, кетони, терпени, спирти, кислоти), які всмоктуються в них з димом. У зв'язку з шкідливістю цих речовин метою є мінімізація їх внеску в продукт, що потребує у процесі копчення встановлення температурних режимів у відповідному коптильному обладнанні з контрольованим рівнем диму. Їх синергетичний ефект формує якість кінцевого продукту. Тому у процесі копчення риби необхідно суворо контролювати параметри і склад виробленого диму із використанням сучасних технологій і коптильних камер, що може знизити вміст шкідливих сполук у сировині. Запропоновано процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням автоматизованої системи управління.

Вважається, що для ефективного контролю основних параметрів копчення доцільно застосовувати сучасні методи механізації та автоматизації переробки та виробництва риби, що також уможлиблює моніторинг, стабілізацію, регулювання параметрів виробничого процесу. Запропоновано удосконалене коптильне обладнання для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації. Конструкція автоматичної коптильної машини для копчення риби із використанням сучасних технологій містить три основні блоки: коптильна камера, димогенератор і контролер. Гаряче копчення потребує додаткового джерела тепла для підвищення температури коптильні, щоб продукти могли готуватися під час процесу копчення.

Коптильне середовище розглядається, як об'єкт управління у вигляді трьох взаємопов'язаних контурів: зміни щільності димоповітряної суміші, температури димоутворення (і пов'язаної з нею температури диму) та вологості димоповітряної суміші. Дані параметри (щільність, температура і вологість

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

диму) є регульованими параметрами. В якості зовнішніх входних впливів, що задають, для димогенераторів пропонуються потужність, що подається на нагрівальні елементи, вологість і концентрація свіжого повітря. Запропонована параметрична схема процесу димогенерації при гарячому копченні риби.

Зазначено, що технологію копчення риби не можна відокремити від використання мікроконтролера (датчиків) і перетворювача. Датчики та перетворювачі в даний час перетворюються на інновації та креативність, які можна застосувати як інструмент для експериментів. Система контрольно-вимірювальних приладів, яка використовується для проведення вимірювань, має вхід у вигляді фактичного значення вимірюваної змінної, а вихід у вигляді вимірюваного значення змінної. При виготовленні копченої риби широко використовуються контролери, які дозволяють контролювати різні параметри. Вони оснащені універсальними входами, до яких можна підключити датчики різного типу: теплові перетворювачі опору, термопари, датчики з фіксацією вихідного сигналу струму або напруги. Стандартна комплектація має два виходи програмного модуля-регулятора, кожен з яких працює за принципом включення-виключення. За допомогою обладнання можна здійснювати автоматичний запуск і відключення виконавчих механізмів; підтримку температури на всіх етапах обробки (плавний нагрів, витримка і плавне охолодження); встановлення в камері необхідного значення вологості за допомогою управління витяжним вентилятором; контроль подачі диму.

В коптильному обладнанні для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації пропонується на основі мікроконтролера контролювати температуру в коптильній камері, температуру диму та час роботи між копченням та сушінням. Датчик температури регулює потрібну температуру шляхом включення і виключення управління нагрівачем за допомогою програмованого мікроконтролера. Живлення мікроконтролера здійснюється від перетворювача постійного струму напругою 5В, що живиться від імпульсного блоку живлення 12В. Драйвер двигуна перетворює електричний сигнал від мікроконтролера в механічний сигнал, прийнятий кроковим двигуном. Таймер, який вбудований в систему мікроконтролера, дозволяє користувачеві встановлювати час копчення і сушіння копченої риби. Цей датчик використовується для підтримки потрібної температури відповідно до заданих користувачем значень.

Мікропроцесор, отримуючи інформацію від датчика вологості, здійснює корекцію теплового потоку:

- якщо вологість підсушеної риби буде вищою за задану то мікропроцесор підвищує витрату повітря в камері;
- якщо вологість підсушеної риби буде нижчою за задану то мікропроцесор знижує витрату повітря в камері.

У процесі копчення мікропроцесор порівнює значення концентрації коптильного диму, що вимірюється датчиком із заданою оптичною густиною (0,8 – 1,2). Якщо значення відрізняються то мікропроцесор подає сигнал на виконавчий механізм, який регулює витрати повітря відповідно в димогенераторі. Вологість коптильного диму на вході у коптильну камеру вимірюється датчиком, який розташований в димогенераторі.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Фактори, що впливають на процес копчення риби

Основними процесами, які можна виділити у процесі копчення риби є: сушка, нагрівання та копчення.

Етап сушіння. Більшість процесів копчення риби вимагають видалення вологи з м'якоті. Коптильня – це просто сушильна піч з можливістю застосування диму. Втрата ваги (вологи) в коптильні може бути корисною або не корисною, але завжди є життєво важливою точкою контролю якості та економіки. Основна мета сушіння – видалення вологи і затвердіння шкіри та голови. В результаті шкіра не тріскається під час другого етапу копчення, який проходить при більш високій температурі. Факторами, які впливають на швидкість сушіння є тепло, вологість, швидкість повітря, повітрообмін, характеристики сировини, а саме товщина. Розглянемо фактори, що впливають на процес сушіння [9]:

1. Тепло впливає на сушіння. Видалення вологи з м'яса риби є процесом поверхневого випаровування і тому вимагає енергії (тепла). Взагалі, чим вища температура тим швидше буде випаровуватися волога. Ця швидкість зменшується в міру того, як поверхня стає сухішою, ніж внутрішня частина виробу, через що рух вологи до поверхні стає обмежуючим фактором. Занадто швидке нагрівання поверхні може призвести до утворення твердої скоринки (переважно сухого розчинного білка), яка затримує рух вологи. Це явище (загартування корпусу) може сильно знизити швидкість висихання і його слід уникати.

2. Відносна вологість впливає на процес сушіння. Сухе повітря буде забирати вологу з поверхні риби швидше, ніж вологе повітря. Відносна вологість (міра «сухості») сушарки (коптильні) визначається вологістю повітря, що поступає, підвищенням температури повітря, що надходить, і швидкістю повітрообміну. Відносна вологість – це відношення води в повітрі до максимальної кількості води, яку повітря може утримувати при будь-якій заданій температурі і тиску. Відносна вологість повітря знижується при підвищенні температури повітря. Вона підвищується за рахунок випаровування вологи з поверхні риби. Більшість сушарок повинні виводити повітря, щоб позбутися вологи, тим самим дозволяючи новому, нижчої вологості повітрю потрапляти в систему. У коптильнях з нульовим рівнем викидів з рециркуляційним повітрям для конденсації вологи використовувати осушувачі повітря (холодильні теплові насоси).

3. Швидкість руху повітря впливає на ступінь сушіння. Швидкість поверхневого випаровування риби пропорційна швидкості повітря, що

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Береза</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>					36	9
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>						

проходить над нею. Загалом, чим вища швидкість, тим вища швидкість випаровування. Підвищена швидкість повітря також збільшує швидкість нагріву риби, ще більше збільшуючи випаровування.

4. Повітрообмін впливає на сушіння. Швидкість відведення повітря з сушильної шафи впливає на надходження нового повітря і, отже, впливає на відносну вологість і швидкість сушіння. Це витіснене повітря є основним способом потрапляння вологи з сушильної шафи після її випаровування з риби. Повністю завантажені коптильні печі потребують більшого повітрообміну, ніж частково завантажені, якщо відносна вологість повітря має бути постійною від партії до партії.

5. Характеристики м'яса риби впливають на процес сушіння. Такі фактори, як текстура м'якоті, вміст жиру та видові відмінності, впливатимуть на міграцію вологи з центру на зовнішню частину сушильного шматка і, отже, впливатимуть на швидкість сушіння. Як правило, тверда м'якоть з високим вмістом олії висихає повільніше, ніж м'яка м'якоть з низьким вмістом жиру. Однак м'якоть з високим вмістом олії має менше вологи і може вимагати меншої сушки. Товщина м'якоті впливає на етап сушіння. Волога повинна мігрувати з центру на поверхню шматка риби, перш ніж вона зможе піти шляхом випаровування. Збільшена товщина, таким чином, збільшує час висихання. Процедури засолювання повинні гарантувати, що всі шматки риби отримують достатню кількість солі незалежно від товщини

Етап нагрівання. Поширеними джерелами тепла в пристроях для копчення з примусовою конвекцією є пряме газове полум'я, нагрівачі непрямої подачі пари та електричні змієвоки опору. Пряме нагрівання газового полум'я потребує повітря для горіння і виробляє деяку кількість вологи від цього згорання. Однак, незалежно від переваг чи недоліків кожного типу, швидкість, з якою тепло передається від повітря до риби для приготування або сушіння, безпосередньо пов'язана зі швидкістю повітря, температурою повітря та відотною вологістю. Розглянемо параметри, що впливають на процес нагрівання [9]:

1. Швидкість повітря впливає на процес нагрівання. Збільшення швидкості повітря призводить до більш високої швидкості нагрівання продукту. У деяких ситуаціях швидкість повітря може бути занадто високою, що призводить до небажаного висихання поверхні. Деякі коптильні печі оснащені регуляторами швидкості повітря, такими як двигуни повітродувки зі змінною швидкістю.

2. Температура повітря впливає на нагрівання. Підвищення температури повітря, звичайно, збільшить швидкість нагріву продукту. Вищі кінцеві температури приготування, як правило, призводять до отримання більш насиченого смаку та темнішого кольору.

3. Відносна вологість впливає на процес нагріву. Низька відносна вологість опосередковано знизить температуру або швидкість підвищення температури шматка риби, оскільки вона збільшить випаровування, тим самим видаляючи енергію (охолодження). Відносна вологість повітря повинна бути високою, наближаючись до 100% для швидкого нагріву. Зазвичай це досягається шляхом закриття заслінки випускного отвору, тим самим

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяючи вологості підвищитися за рахунок випаровування. Деякі коптильні використовують впорскування пари для досягнення тієї ж мети та забезпечують автоматизований контроль вологості.

Етап копчення. Швидкість відкладення диму на поверхні риби залежить від щільності диму, циркуляції повітря, вологості, температури та характеру поверхні (текстури та вмісту олії). Більшість сучасних коптилень мають більш ніж достатню циркуляцію, а вологість не критична. Багато проблем відкладення диму при переробці копченої риби пов'язані із взаємозв'язком між щільністю диму і повітрообміном [17, 18, 20, 21]. Гаряче копчення риби вимагає п'яти етапів, холодне копчення чотирьох етапів.

Крок 1. Поверхнєве сушіння: видалення поверхневої вологи. Білковий наліт (плівка) залишається на кожному шматку риби і тому вона приймає рівномірне димове відкладення. Надмірне поверхнєве сушіння може призвести до утворення твердого покриття, яке запобігає міграції вологи на поверхню для належного сушіння. Це явище відоме як «загартовування корпусу».

Крок 2. Копчення: створення щільної димової атмосфери та умови, коли дим рівномірно осідатиме на поверхні кожного шматка, щоб забезпечити хороший смак, колір та збереження поверхні. Часто колір розвивається лише після того, як поверхня риби досягає відповідної температури на етапі приготування. Печі холодного копчення іноді працюють при температурі нижче кімнатної температури навколишнього середовища шляхом охолодження примусового потоку повітря. Це охолодження також можна використовувати для осушення повітря в коптильнях з нульовим рівнем викидів.

Крок 3. Сушіння продукту: рівномірне сушіння риби для зменшення вологості, підвищення вмісту поживних речовин і встановлення остаточної текстури. Це життєво важливий крок у контролі витрат та якості, а також може бути критично важливим кроком у виробництві безпечної продукції. Моніторинг швидкості висихання шляхом втрати ваги є хорошим етапом перевірки.

Крок 4. Нагрівання/приготування (лише гаряче копчення): нагрівання кожного шматка риби принаймні до відповідної температури і утримання цієї температури принаймні 30 хвилин. Це також критично важливий крок у виробництві безпечної копченої риби, а також щодо мінімального гарячого копчення та максимального часу та температури холодного копчення.

Крок 5. Охолодження: якнайшвидше охолодження риби від температури приготування до внутрішньої температури у коптильні допомагає підтримувати стабільні результати. Процедури холодного копчення не використовують крок 4 (нагрівання/приготування продукту), але моніторинг температури риби може бути плановим, щоб переконатися, що максимальна температура не перевищена.

3.2 Дослідження процесу гарячого копчення риби

У процесі копчення риби судак було враховано три ключові фактори копчення риби: рівномірність температури всієї риби в коптильній камері,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкість підвищення температури в м'якоті риби під час копчення, підтримання бажаної температури протягом загального часу копчення для всієї риби в коптильні.

Процес копчення риби зазвичай вимагає п'яти етапів: підготовка, засолювання, сушіння, копчення та охолодження (гарячий дим), упаковка і зберігання сировини. Кожен крок має вирішальне значення для виробництва якісного та безпечного продукту [17, 18]. Важливо дотримуватися описаних кроків, щоб мінімізувати можливість бактеріального псування та харчового отруєння.

Підготовка риби. Коптити можна практично будь-яку рибу. Жирну рибу, таку як лосось і чорна тріска, можна засолити і коптити набагато простіше, ніж нежирну. Рибу з низьким вмістом жиру, таку як харіус і палтус, важче коптити, тому що ця риба швидко вбирає сіль і м'якоть легко робиться занадто солоною. Для копчення слід використовувати тільки свіжу або заморожену рибу високої якості. На філе судака залишають шкіру, рівномірно нарізавши шматочками, щоб жодні частини не пересолити. Шматки мають бути однакового розміру та товщини. Занадто великі шматки риби можуть зіпсуватися у процесі копчення.

Засолювання. Другим етапом у процесі копчення є засолювання риби. Колись засолювання було етапом консервації в копченні. Високий рівень солі пригнічував ріст бактерій і робив продукт безпечним. Але, при сьогоdnішньому занепокоєнні з приводу солі в раціоні, вона використовується тільки як ароматизатор, а не як консервант. Засолювання може здійснюватися за допомогою як міцного розчину солі (розсіл) так і сухої солі. Для більшості рецептів розсіл дає більш рівномірне засолювання і простіше в приготуванні та використанні. Розсоли можна приготувати розчинивши сіль в прісній воді.

Сушіння. Після того, як риба була засолена, її зазвичай сушать перед копченням. Сушіння досягає двох цілей: дозволяє солі проникнути всередину і рівномірно розподілитися по всій м'якоті риби та висушує поверхню риби утворюючи жорстку блискучу плівку. Плівка ущільнює вологу і робить зовнішній вигляд готового виробу набагато кращим. Далі охолоджуємо рибу, дочекавшись проникнення солі і приступаємо до поверхневого сушіння. Для формування хорошої плівки може знадобитися від 30 хвилин до 3 годин. Це залежить від температури та вологості коптильні.

Копчення. Четвертим етапом процесу приготування риби є копчення. Існує багато рецептів копчення з використанням різного часу та температури, але лише два основні методи: гаряче та холодне копчення. Гаряче копчення полягає в тому, що рибу необхідно довести до внутрішньої температури 71°C (використовуйте термометр) принаймні 30 хвилин протягом певного часу під час циклу копчення [20, 21]. Така температура вбиває більшість бактерій, що псують продукт, а в поєднанні з правильним охолодженням забезпечить безпечний продукт. Типовий цикл копчення риби повинен довести внутрішню температуру риби до 71°C протягом 6-8 годин після її розміщення в коптильні. Типова внутрішня температура риби під час циклу копчення наведена на рисунку 3.1.

Можна використовувати стандартний термометр для м'яса, щоб контролювати внутрішню температуру. Для цього необхідно вставити

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

термометр в саму товсту частину риби почекавши від 3 до 5 годин, перш ніж піднімати внутрішню температуру риби до 71°C. Це уповільнить утворення жиру і «вибуху» шматочків, що може виникнути при занадто швидкому підвищенні температури. В залежності від бажаного готового продукту, копчення має займати від 6 до 15 годин. Коротший час приготування призведе до отримання більш вологих готових продуктів.

Зараз на ринку представлена велика кількість невеликих домашніх коптилень. Ці коптильні досить добре можуть впоратися з копченням риби та інших харчових продуктів в невеликих масштабах. Але бувають випадки, коли можна зіткнутися з труднощами використовуючи маленькі коптильні. Наприклад, може бути важко нагріти коптильню достатньо, щоб належним чином приготувати рибу, коли зовнішня температура близька або нижча за нуль. Як тепло так і дим важливі при копченні риби. Тепло готує, сушить і витоплює рибу, а дим надає смаку і кольору продукту. Джерело тепла має бути достатнім, щоб підняти внутрішню температуру м'якоті риби до 71°C та утримувати цю температуру принаймні 30 хвилин і не спалити рибу в процесі.

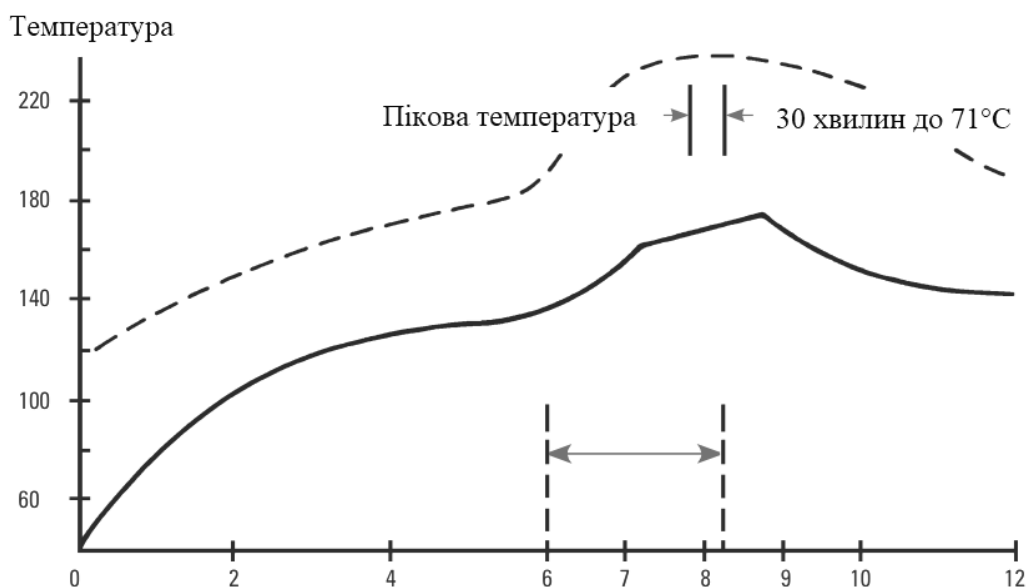


Рисунок 3.1 – Типова внутрішня температура риби під час циклу копчення

Ключовою частиною копчення є контроль температури в коптильні. М'якоть риби вважається достатньо приготованою, якщо внутрішня температура м'якоті досягає 71°C і витримується при температурі не менше 30 хвилин. Це називається процесом «гарячого диму». Під час копчення температура всередині коптильні постійно зростатиме, тому необхідно стежити за швидкістю підвищення температури та рівнем температури в коптильні. Щоб контролювати температуру необхідно відрегулювати вентиляційні отвори, які дозволяють більшій або меншій кількості повітря досягати палаючих дров або тирси та збільшують або зменшують тепло від вогнища. Необхідно простежувати взаємозв'язок між температурою повітря в коптильні та внутрішньою температурою риби, бо недотримання належних температур може призвести до того, що риба буде перевареною чи недовареною. Утримання

температури 71°C протягом 30 хвилин має важливе значення для забезпечення належного приготування м'яса риби. Необхідно також виміряти температуру м'яса риби, тому що циркуляція повітря всередині коптильні різна, а температура повітря не є гарантією температури м'яса.

Після того, як риба була приготовлена, внутрішню температуру можна знизити приблизно до 52°C і процес копчення продовжувати до досягнення бажаного рівня копченого смаку. Копчення може зайняти до 12 годин або довше, якщо потрібен дуже сильний копчений смак, але мінімальний час, який необхідний для того, щоб риба набула ніжного смаку легкого копчення становить близько 8 годин у коптильні, при цьому, дим утворюється весь час. Триваліші періоди копчення призведуть до поступового посилення аромату диму.

Вміст вологи в зразках риби виражається в безрозмірній формі, як коефіцієнти вологості [19]:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

де M_t – середня вологість зразків риби за певний час сушіння, t ;

M_0 – початкова вологість;

M_e – рівноважна вологість, що виражається в г води/г сухої речовини.

Оскільки вологість повітря в камері не постійна то отримаємо:

$$MR = M_t / M_0$$

Швидкість сушіння зразків риби можна розрахувати [19]:

$$DR = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t}$$

де $M_{t+\Delta t}$ – вологість зразків риби при $t + \Delta t$ (г води/г сухої речовини);

Δt – інтервал часу між відборами проб.

Вплив часу та температури на зневоднення філе судака у процесі копчення наведено на рисунку 3.2. На рисунку а видно, що вміст вологи зменшувався з часом висихання і є швидшим при більшій температурі копчення. Як і очікувалося, при більш високій температурі відбувається більш високе поглинання тепла, що призвело до більш високих температур продукту, більш високої рушійної сили масообміну і більш швидких темпів сушіння при меншому часі сушіння. На рисунку б спостерігаються значні відмінності в швидкості сушіння, які пов'язані з часом та температурою. На початку, коли вміст вологи був високим, швидкість зневоднення за всіх умов сушіння збільшувалася з часом, що відповідало перехідному періоду, коли існували неізотермічні умови, але потім безперервно зменшувалися зі зменшенням

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вмісту вологи. Це свідчить про те, що дифузія є домінуючим фізичним механізмом, який керує рухом вологи в зразках риби.

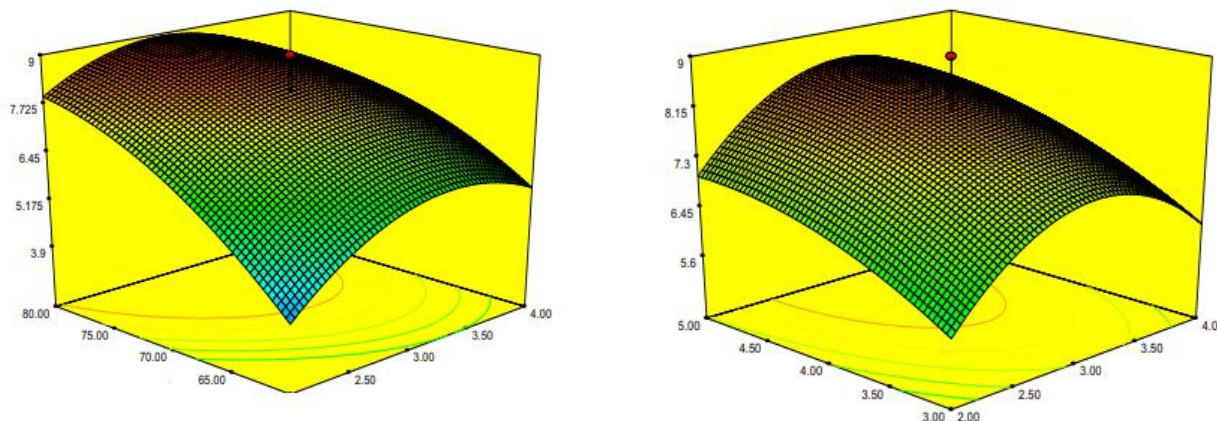


Рисунок 3.2 – Вплив часу та температури на зневоднення філе судака у процесі копчення

Гаряче копчення риби засноване на одночасних процесах зневоднення і нагрівання, що вимагає визначення і систематичного аналізу зміни вологості та температури риби в різних режимах. Зміни, що відбуваються при копченні при нагріванні, в основному обумовлені денатурацією білків, які легко переробляються до агрегації і згортання. Нагрівання до температури згортання білка викликає його зневоднення. Ступінь денатурації білків харчових продуктів визначається тривалістю термічної обробки, температурним режимом процесу, а також сумарними втратами вологи у процесі [11, 12, 13]. Під час гарячого копчення риби необхідно видалити певну кількість вологи і довести продукт до стану добре просмаженого. Тканини риби у процесі копчення піддаються фізико-хімічним змінам під час зневоднення, впливу температури, насичення тканин копченими компонентами. Ступінь змін характеризується режимом копчення і типом сировини. Два вищезгадані процеси, що відбуваються одночасно, будуть визначати якість готового продукту – його зовнішній вигляд, консистенція, смак і аромат. В таблиці 3.1 наведено органолептичні показники якості риби гарячого копчення, які будуть порівняні із отриманими зразками філе судака.

Таблиця 3.1 – Органолептичні показники якості риби гарячого копчення

Найменування індикатора	Характеристика та норма
Зовнішній вигляд	М'ясо риби без ознак вогкості, легко відділяються від хребетної кістки, кров повністю згорнулася. Поверхня риби чиста, не волога або злегка зволожена. Підшкірне пожовтіння, яке не пов'язане з окисленням жиру, дозволена незначна набряклість шкіри, зморшкувата шкіра, незначне зволоження поверхні; незначна білково-жирова накип на поверхні або незначні опіки; відбитки сітки або прутів на поверхні риби (без забруднення)

	сажею); проколи м'яса від прутів в головній або хвостовій частинах риби; шар філе без кісток, розшарування м'яса на шматках в окремих екземплярах.
Колір шкіри та консистенція	Однорідний, золотистий, з відтінком солом'яно-жовтого до темно-золотистого. Містить світлі плями (ділянки поверхні не покриті димом) площею не більше 2 см ² у окремих екземплярів риб; незначні світлі плями від зіткнення із сіткою. Консистенція ніжна, соковита. Волокна м'якоті риби сухі, злегка кришаться або волокнисті (в залежності від виду риби).
Смак і запах	Риба гарячого копчення без стороннього смаку і запаху. Слабо виражений каламутний і йодний запахи, а також специфічний кислуватий присмак, який характерний для деяких видів океанічних риб. Аромат прянощів (при використанні).

Риба, яка підлягала гарячому копченню, наведена на рисунку 3.3. Отримані зразки філе мають відповідний зовнішній вигляд без ознак вогкості, легко відділяються від хребетної кістки, поверхня риби чиста, не волога або злегка зволожена. Колір шкіри та консистенція також в нормі: однорідний, золотистий, з відтінком солом'яно-жовтого до темно-золотистого. Незначні світлі плями від зіткнення із сіткою. Консистенція ніжна, соковита. Волокна м'якоті риби сухі, злегка кришаться або волокнисті (в залежності від виду риби). Смак і запах без стороннього смаку і запаху. Слабо виражений каламутний і йодний запахи, а також специфічний кислуватий присмак, який характерний для деяких видів океанічних риб.



Рисунок 3.3 – Зразки філе судака, які підлягали гарячому копченню

На основі вище зазначеного можна вважати, що основними процесами, які можна виділити у процесі копчення риби є: сушка, нагрівання та копчення. Більшість процесів копчення риби вимагають видалення вологи з м'якоті.

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			43

Основна мета сушіння – видалення вологи і затвердіння шкіри і голови. В результаті шкіра не тріскається під час другого етапу копчення, який проходить при більш високій температурі. Факторами, які впливають на швидкість сушіння є тепло, вологість, швидкість повітря, повітрообмін, характеристики сировини, а саме товщина.

Досліджено процес копчення риби судак із врахуванням трьох ключових факторів копчення риби: рівномірність температури всієї риби в копильній камері, швидкість підвищення температури в м'якоті риби під час копчення, підтримання бажаної температури протягом загального часу копчення для всієї риби в копильні. Процес копчення риби зазвичай вимагає п'яти етапів: підготовка, засолювання, сушіння, копчення та охолодження (гарячий дим), упаковка і зберігання сировини. Кожен крок має вирішальне значення для виробництва якісного та безпечного продукту. Важливо дотримуватися описаних кроків, щоб мінімізувати можливість бактеріального псування та харчового отруєння.

Зазначено, що гаряче копчення риби засноване на одночасних процесах зневоднення і нагрівання, що вимагає визначення і систематичного аналізу зміни вологості та температури риби в різних режимах. Зміни, що відбуваються при копченні при нагріванні в основному обумовлені денатурацією білків, які легко переробляються до агрегації і згортання. Два вищезгадані процеси, що відбуваються одночасно, будуть визначати якість готового продукту – його зовнішній вигляд, консистенцію, смак і аромат.

Змодельовано вплив вхідних змінних (часу та температури) на зневоднення філе судака. Зазначено, що вміст вологи зменшувався з часом висихання і є швидшим при більшій температурі копчення. При більш високій температурі відбувається більш високе поглинання тепла, що призвело до більш високих температур продукту, більш високої рушійної сили масообміну і більш швидких темпів сушіння при меншому часі сушіння. Спостерігаються значні відмінності в швидкості сушіння, які пов'язані з часом та температурою. На початку, коли вміст вологи був високим, швидкість сушіння за всіх умов сушіння збільшувалася з часом, що відповідало перехідному періоду, коли існували неізотермічні умови, але потім безперервно зменшувалася зі зменшенням вмісту вологи. Це свідчить про те, що дифузія є домінуючим фізичним механізмом, який керує рухом вологи в зразках риби.

Розглянуто органолептичні показники якості риби гарячого копчення та порівняно із отриманими зразками філе судака, які підтягали гарячому копченню. Отримані зразки філе судака мають відповідний зовнішній вигляд без ознак вогкості, легко відділяються від хребетної кістки, поверхня риби чиста, не волога або злегка зволожена. Колір шкіри та консистенція також в нормі: однорідний, золотистий, з відтінком солом'яно-жовтого до темно-золотистого. Незначні світлі плями від зіткнення із сіткою. Консистенція ніжна, соковита. Волокна м'якоті риби сухі, злегка кришаться або волокнисті (в залежності від виду риби). Смак і запах без стороннього смаку і запаху. Слабо виражений каламутний і йодний запах, а також специфічний кислуватий присмак, характерний для деяких видів океанічних риб.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена удосконаленню технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму. У роботі зазначено, що у харчовій промисловості особливе значення має термічна обробка продуктів харчування. Термічна обробка надає властивості, які роблять сировину безпечною для споживання з продовженим терміном зберігання. Це передбачає зменшення вмісту води та пригнічення росту мікроорганізмів, підвищення засвоюваності поживних речовин і покращення текстури, консистенції та фізико-хімічних властивостей. Під час термічної обробки спостерігається сприятлива зміна органолептичних показників, тобто смаку, аромату, зовнішнього вигляду.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для копчення риби. Зазначено, що процес копчення являє собою поєднання процесів соління і сушіння. Залежно від способу подачі диму та температури копчення можна визначити чотири основні типи копчення: гаряче копчення, холодне копчення, рідинне копчення та електростатичне копчення. Гаряче копчення – це традиційний метод копчення з використанням як тепла, так і диму, який зазвичай відбувається при температурі вище 70°C. Тому після гарячого копчення продукти повністю приготовані і готові до вживання. Температура холодного копчення зазвичай не перевищує 30°C. Таким чином, продукти холодного копчення не піддаються термічній обробці і, як правило, сильно солять. При рідкому копченні застосовується рідкий дим – це димовий конденсат, який розчиняється в розчиннику, наприклад, у воді або маслі. Рідкий дим можна використовувати безпосередньо на продукції шляхом занурення або розпилення. При електростатичному копченні риба відправляється в тунель, де створюється електростатичне поле. Частинки диму отримують позитивний заряд і осідають на поверхні риби, яка заряджена негативно.

Сконцентровано увагу на тому, що пристрої холодного копчення мають одну основну функцію: подавати дим на продукт. Пристрої для гарячого копчення мають додаткову функцію подачі тепла. Коптильні пристрої поділяють на дві основні групи: безперервної та періодичної дії. Пристрої безперервної дії (тунельні, роторні, щілинні) мають високу продуктивність, повністю механізовані та управління ними автоматизовано. Вони розраховані на обробку великої кількості риби одного виду та строго визначеного розміру, що суттєво обмежує можливості їх застосування, оскільки підприємство стає вузькоспеціалізованим, практично позбавленим можливості міняти асортимент. Установки періодичної дії (баштові, карусельні, відцентрові та камерні) вимагають часткового використання ручної праці, продуктивність їх менша, ніж безперервної дії.

Другий розділ присвячено удосконаленню обладнання для копчення

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Береза</i>			Удосконалення технології та обладнання для копчення риби із використанням системи контролю температури та диму	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					45	2
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

риби. Вважається, що процес копчення риби надає продуктам унікальні органолептичні властивості та повинен зменшувати поглинання шкідливих речовин з диму. Тому у процесі копчення риби необхідно суворо контролювати параметри і склад виробленого диму. Запропоновано процес димогенерації при гарячому копченні риби із застосуванням автоматизованої системи управління.

Запропоновано удосконалене коптильне обладнання для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації. Конструкція автоматичної коптильної машини містить три основні блоки: коптильна камера, димогенератор і контролер. Коптильне середовище розглядається, як об'єкт управління у вигляді трьох взаємопов'язаних контурів: зміни щільності димоповітряної суміші, температури димоутворення (і пов'язаної з нею температурою диму) та вологості димоповітряної суміші. Дані параметри (щільність, температура і вологість диму) є регульованими параметрами. В якості зовнішніх входних впливів, що задають для димогенераторів, пропонується потужність, що подається на нагрівальні елементи, вологість і концентрація свіжого повітря. Запропонована параметрична схема процесу димогенерації при гарячому копченні риби.

В коптильному обладнанні для гарячого копчення риби із застосуванням засобів автоматизації пропонується на основі мікроконтролера контролювати температуру в коптильній камері, температуру диму та час роботи між копченням та сушінням. Датчик температури регулює потрібну температуру шляхом включення і виключення управління нагрівачем за допомогою програмованого мікроконтролера. Використовується для підтримки потрібної температури відповідно до заданих користувачем значень. У процесі копчення мікропроцесор порівнює значення концентрації коптильного диму, що вимірюється датчиком із заданою оптичною густиною. Якщо значення відрізняються то мікропроцесор подає сигнал на виконавчий механізм, який регулює витрати повітря відповідно в димогенераторі. Вологість коптильного диму на вході у коптильну камеру вимірюється датчиком, який розташований в димогенераторі.

У третьому розділі досліджено процес копчення риби судак із врахуванням трьох ключових параметрів: рівномірність температури всієї риби в коптильній камері, швидкість підвищення температури в м'якоті риби під час копчення, підтримання бажаної температури протягом загального часу копчення для всієї риби в коптильні.

Змодельовано вплив часу та температури на зневоднення філе судака. Зазначено, що вміст вологи зменшувався з часом висихання і є швидшим при більшій температурі копчення. При більш високій температурі відбувається більш високе поглинання тепла, що призвело до більш високих температур продукту, більш високої рушійної сили масообміну і більш швидких темпів сушіння при меншому часі сушіння. На початку, коли вміст вологи був високим, швидкість сушіння збільшувалася з часом, але потім безперервно зменшувалося зі зменшенням вмісту вологи. Розглянуто органолептичні показники якості риби гарячого копчення та порівняно із отриманими зразками філе судака, які підтягали гарячому копченню. Отримані зразки філе судака мають відповідний зовнішній вигляд колір шкіри та консистенцію, смак і запах.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Smoking of fishes. URL: <https://www.researchgate/publication/335741834>.
2. A review: methods of smoking for the quality of smoked fish. URL: <https://www.researchgate.net/publication/353603180>.
3. Smoke and smoked fish production. URL: <https://www.researchgate.net/publication/335741834>.
4. Performance of smokehouse designed for smoking fish with the indirect method. URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/2/204>.
5. Обладнання для копчення риби. Режим доступу: <https://www.enjoy-trade.com.ua/ua/teplove/koptylne-obladnanya>.
6. Установки для холодного та гарячого копчення рибопродуктів. Режим доступу: <http://techinserv.com/produkcija/oborudovanie-dlya-pererabotki-rybu>.
7. Копчення – один із видів термічної обробки. Режим доступу: <https://spar.ua/blogs/kopchennya-odin-iz-vidiv-termichnoi-obrobk>.
8. Удосконалення технології виробництва копченої риби. Режим доступу: <https://repo.btu.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/23189>.
9. Fish smoking procedures for forced convection smokehouses. URL: <https://seafood.oregonstate.edu/sites/agscid7/files/snrc/fish-smoking-procedures-for-forced-convection-smokehouses.pdf>.
10. Smoking fish. URL: <https://www.meatsandsausages/processing/smoking>.
11. Impact of smoking technology on the quality of food products: absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by food products during smoking. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/24/16890>.
12. Efficient heat treatment in fish hot smoking technology. URL: <https://www.researchgate.net/publication/362247777>.
13. The development of a microcontroller based smoked fish machine. URL: <https://www.researchgate.net/publication/379079989>.
14. Автоматизація технологічних процесів. Режим доступу: <https://kxtp.kpi.ua/common/my-fsa-2017pv.pdf>.
15. Технологія консервування плодів, овочів, м'яса і риби / Під ред. Б.Л. Флауменбаума. К.: Колос, 1995. 320 с.
16. Солоп В. О. Автоматизація установки для копчення м'ясної продукції дипломний проект ... бакалавра : 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Солоп Володимир Олександрович. Київ, 2022. 80 с.
17. Як коптити рибу в домашніх умовах. Режим доступу: <https://www.ukraine-lifehacker.com/how-to-smoke-fish-at-home-conditions>.
18. Як коптити рибу в домашніх умовах. Режим доступу: https://www.brovarnya-rivne.com/articles/recepti/kak-koptit-ribu-v-domashnih-usloviyah-3-recepta-holodnogo-i-goryachego-kopcheniya.html#google_vignette.
19. Design of a rotary system for fish smoking equipment to improve smoking efficiency with smoke filtration method using cyclone separator in sorong west papua. URL: <https://www.researchgate.net/publication/353268497>.
20. David A., Stuibler E. Home smoking of fish. Department of Food Science, University of Wisconsin-Madison. 2014. 5 p.
21. Smoking fish at home. URL: <https://seafood.oregonstate.edu/sites/agscid7>.

					ДОННУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47