

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: «Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції»

Виконав: студент 4 курсу групи Акт-42сп

Спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

Перегінець Юрій Іванович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о. доцента Шеремета Р.Б.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доцент Гошко М.О.

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. В.М. Власовець

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Перегінцю Юрію Івановичу

1. Тема роботи: «Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції»

Керівник роботи Щеремета Роман Богданович, в.о. доцента
затверджені наказом по університету від 27.11.2023 року № 641/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: вимоги до автоматизації процесу копчення м'ясної продукції; методика проектування системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

Вступ.

1. Аналіз стану копчення м'ясної продукції та обґрунтування доцільності автоматизації зазначеного процесу.

2. Обґрунтування доцільності автоматизації процесу копчення м'ясної продукції та вибір засобів.

3. Розробка системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

4. Охорона праці.

5. Економічна ефективність від автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): аналіз стану копчення м'ясної продукції та обґрунтування доцільності автоматизації зазначеного процесу; обґрунтування доцільності автоматизації процесу копчення м'ясної продукції та вибір засобів; розробка системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції; економічна ефективність від автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Шеремета Р.Б., в.о. доцента кафедри машинобудування</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання

27 листопада 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>27.11-31.12.23</i>	
2	<i>Виконання другого розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>01.02-05.03.24</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>06.03-24.04.24</i>	
4.	<i>Написання розділу «Охорона праці»</i>	<i>25.04-10.05.24</i>	
5.	<i>Написання розділу «Економічна ефективність»</i>	<i>11.05-23.05.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів ілюстраційного матеріалу</i>	<i>24-31.05.24</i>	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>01 -10.06.24</i>	

Студент _____ Перегінець Ю.І.
(підпис)

Керівник роботи _____ Шеремета Р.Б.
(підпис)

УДК: 004.712.23

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції.

Перегінець Ю.І. Кафедра машинобудування – Дубляни, Львівський НУП,
2024.

Кваліфікаційна робота: 73 с. текст. част., 14 рис., 3 табл., 14 арк.
ілюстраційного матеріалу, 34 джерела.

Проаналізовано сучасний стан копчення м'ясної продукції. Виконано аналіз видів копчення м'ясної продукції. Подано вимоги до обладнання для копчення м'ясної продукції. Наведено особливості автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

Здійснено обґрунтування доцільності автоматизації процесу копчення м'ясної продукції. Виконана розробка функціональної схеми системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції. Здійснено вибір засобів для системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

Розроблена схема конструкції системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції. Подано особливості збирання та опис системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції. Запропоновано алгоритми та написано коди для підключення системи до Інтернету та до AWS Mobile Hub.

Розроблено заходи із охорони праці. Виконано розрахунок економічної ефективності від автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАЗНАЧЕНОГО ПРОЦЕСУ	8
1.1. Сучасний стан копчення м'ясної продукції	8
1.2. Аналіз видів копчення м'ясної продукції	10
1.3. Вимоги до обладнання для копчення м'ясної продукції	13
1.4. Особливості автоматизації процесу копчення м'ясної продукції	14
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ	19
2.1. Обґрунтування доцільності автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.....	19
2.2. Розробка функціональної схеми системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.....	21
2.3. Вибір засобів для системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.....	23
2.3.1. Вугільний гриль Weber Compact Kettle.....	23
2.3.2. Макетна плата Breadboard Half та різні перемички.....	25
2.3.3. Плата Arduino Uno з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P.....	26
2.3.4. SparkFun WiFi Shield - ESP8266.....	28
2.3.5. Цифровий дистанційний бездротовий термометр для м'яса Maverick ET732	29
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	32
3.1. Схема конструкції системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.....	32

3.2. Збирання та опис системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.....	33
3.3. Підключення системи до Інтернету	35
3.4. Підключення системи до AWS Mobile Hub.....	38
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	42
4.1. Аналіз стану умов праці та наявність шкідливих чинників	42
4.2. Організація робочого місця під час створення системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.....	43
4.3. Створення мікроклімату на робочому місці.....	45
4.4. Дотримання заходів із електробезпеки на робочому місці.....	47
4.5. Пожежна безпека.....	48
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	50
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ.....	60
Додаток А. Код для налаштувань за замовчуванням для мережевої конфігурації в ESP8266 на SparkFun Wifi Shield, використовуючи Arduino як послідовний порт	61
Код для зчитування даних про температуру з двох датчиків, використовуючи А0 та А1 і надсилання даних на проксі-сервер за допомогою ESP8266 (Поточні температури відображаються на 2-рядковому РК-дисплеї)	62
Код для взаємодії із проксі-сервером.....	71

ВСТУП

В сучасних умовах економічного розвитку харчова промисловість займає важливе місце у забезпеченні населення якісною та безпечною продукцією. Однією з ключових галузей харчової промисловості є м'ясна індустрія, яка спрямована на задоволення потреб споживачів у різноманітних м'ясних виробках. Одним з найпопулярніших способів обробки м'яса є копчення, яке дозволяє не лише покращити смакові якості продукції, але й продовжити її термін зберігання.

Копчення м'ясної продукції – це складний процес, що включає в себе багато технологічних стадій, які повинні бути виконані з високою точністю та відповідно до встановлених стандартів [7]. Традиційні методи копчення, які використовуються на багатьох підприємствах, є досить трудомісткими та енергоємними, що негативно впливає на ефективність виробництва та собівартість кінцевої продукції.

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку галузі. Впровадження сучасних автоматизованих систем дозволяє значно підвищити продуктивність праці, забезпечити стабільну якість продукції та знизити виробничі витрати [6]. Крім того, автоматизація сприяє більш раціональному використанню ресурсів та підвищує рівень безпеки праці на підприємствах.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка автоматизованої системи для процесу копчення м'ясної продукції, яка забезпечить підвищення ефективності виробництва та якості кінцевого продукту. У роботі розглядаються основні технологічні аспекти копчення, аналізуються сучасні методи та засоби автоматизації, а також пропонується проект автоматизованої системи, адаптованої до умов конкретного виробництва.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СТАНУ КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАЗНАЧЕНОГО ПРОЦЕСУ

1.1. Сучасний стан копчення м'ясної продукції

Харчова промисловість відіграє ключову роль у стійкості економіки. Особливе значення має термічна обробка їжі. Ці процеси мають здійснюватися таким чином, щоб утворювати мінімально можливу кількість відходів, зменшувати споживання енергії та невідновлюваної сировини, а також не вводити до харчових продуктів шкідливі для здоров'я людини речовини.

Термічна обробка надає харчовим продуктам властивостей, які роблять їх безпечними для споживання та подовжують термін їх зберігання. Це передбачає зменшення вмісту води та пригнічення росту мікробів [19]. Крім того, вона підвищує засвоюваність поживних речовин і покращує консистенцію та фізико-хімічні властивості [20]. Також спостерігається сприятлива зміна органолептичних показників, тобто смаку, аромату та зовнішнього вигляду.

Існує кілька основних прийомів термічної обробки харчових продуктів: варіння, бланшування, смаження, тушкування, запікання, гриль, смаження, сушіння, копчення [31; 27]. Для забезпечення вказаних факторів сталого розвитку необхідно правильно проводити зазначені процеси.

Цей огляд присвячений процесу копчення, який передбачає витіснення води із сировини при одночасному насиченні аромату. Внаслідок цього знижується активність води та ферментів, пригнічується ріст мікроорганізмів [30]. Крім того, підвищена температура призводить до того, що хімічні сполуки, присутні в димі (головним чином фенольні похідні, органічні кислоти та карбонільні сполуки), вступають у реакцію з харчовими інгредієнтами, надаючи смакові та ароматичні властивості та змінюючи колір і текстуру продукту.

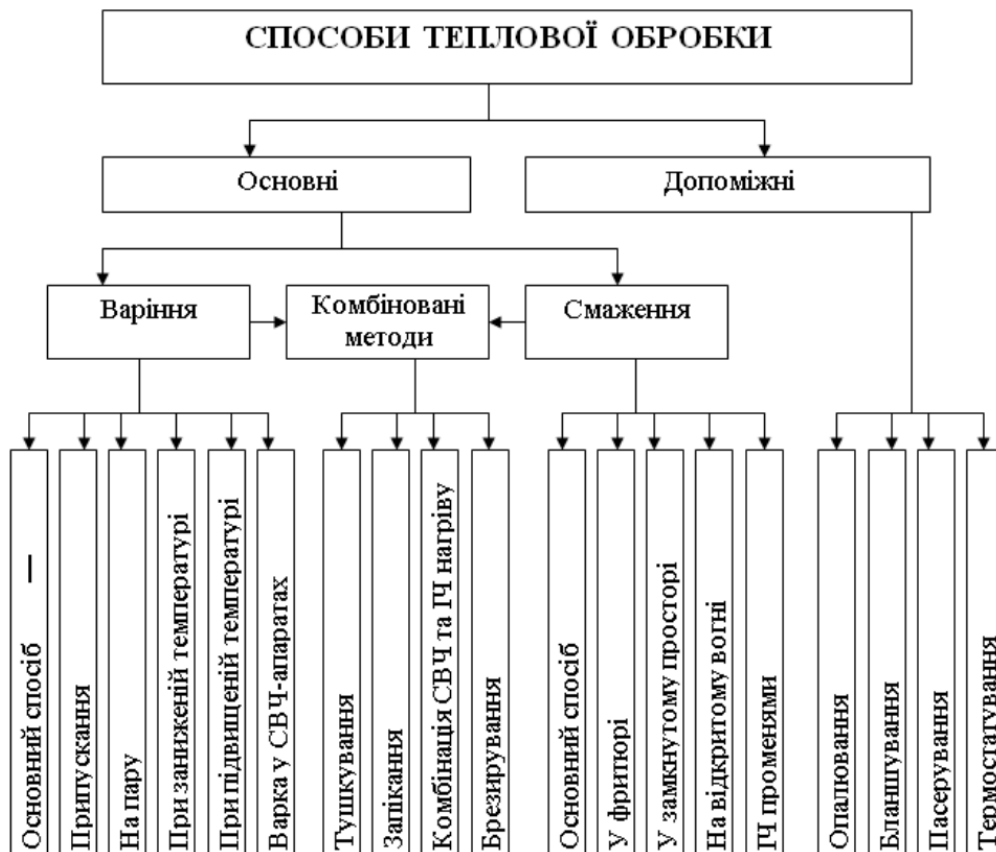


Рисунок 1.1 – Способи теплової обробки м'ясної продукції

Однак копчення також спричиняє забрудненню харчових продуктів токсичними та канцерогенними речовинами, такими як поліциклічні ароматичні вуглеводні, циклічні аміни та формальдегід. Через шкідливість цих речовин мета якісного копчення м'ясної продукції полягає в тому, щоб мінімізувати їх частку у цих продуктах [17]. У процесі копчення дуже важливо встановити температурні умови протягом експериментально визначеного періоду та у відповідному обладнанні для копчення з контрольованим рівнем диму [29].

Високий вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів в продуктах є небажаним явищем, оскільки вони є канцерогенами та викликають серцево-судинні захворювання. В Європейському Союзі нормативно-правовими актами встановлено максимальний вміст певних ПАВ у м'ясі та рибі (наприклад, Регламент Комісії (ЄС) № 2023/915 від 25 квітня 2023 р., Імплементативний регламент Комісії (ЄС) № 1321/2013 від 10 грудня 2013 р., Регламент Комісії

(ЄС) № 835/2011 від 19 серпня 2011 р. та Регламент Європейського Парламенту та Ради (ЄС) № 2065/2003 від 10 листопада 2003 р.), і це в основному стосується Бензо[а]пірену (BaP).

Однак нормативів щодо вмісту поліциклічних ароматичних вуглеводнів в копчених сирах немає. У цитованих правових актах максимальний вміст BaP не може перевищувати 5,0 мкг/кг, а загальний вміст бензо[а]пірену (BaP), бенз[а]антрацену (BaA), бензо[б]флуорантена (BbF) та Хризен (Chr) не може перевищувати 30,0 мкг/кг [23; 22; 24; 25].

Для сталого розвитку технологій копчення необхідним є підбір технологічних параметрів процесу копчення таким чином, щоб продукти, що піддаються йому, не становили загрози здоров'ю людини. Це можна забезпечити, наприклад, обмеженням вмісту поліциклічних ароматичних вуглеводнів в копченостях [26]. Щоб це стало можливим, необхідно перевірити, як окремі продукти, піддані копченню, поглинають ці сполуки з диму. Тільки тоді можна буде маніпулювати технологічними параметрами, щоб зменшити їх кількість.

1.2. Аналіз видів копчення м'ясної продукції

Копчення – це процес, який здавна використовувався для збереження продуктів, багатих на білок, для зберігання при температурі навколишнього середовища під час дефіциту протягом зимових сезонів у помірному кліматі та під час сухих сезонів у тропічному кліматі. Тепер метою є змінити смак і колір їжі, а не консервувати. Багато копчених харчових продуктів зберігаються шляхом охолодження, і можуть бути упаковані в вакуумні пакети, щоб забезпечити необхідний термін зберігання.

Копчення є недорогою операцією, яка збільшує різноманітність продуктів для споживачів, а для переробників це додає харчовим продуктам цінність. Найчастіше коптять рибу, м'ясо та м'ясні продукти (наприклад, качку, пернату

дичину, і паштети з цього м'яса, свинини, пастрамі (маринована, приправлена спеціями та копчена яловича грудинка) і в'ялена яловичина).

Через велику кількість змінних у процесі копчення, виробництво традиційно копчених продуктів багато хто вважає радше ремеслом, ніж наукою.

Існує чотири види копчення (рис. 1.2):

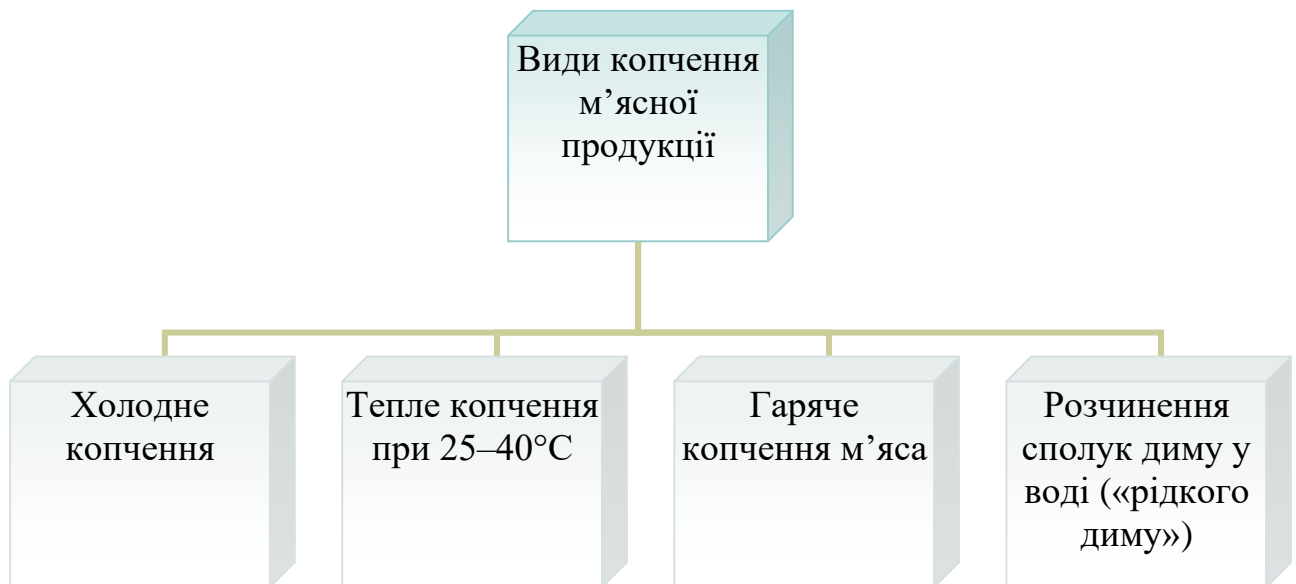


Рисунок 1.2 – Види копчення м'ясної продукції

Холодне копчення, при якому страви ароматизовані та підфарбовані, але не готуються. Зазвичай використовується для лосося, саламі, копчі, шинки та спеціальних сирів.

Тепле копчення при 25–40°C використовують для бекону, філе і деяких видів ковбас.

Гаряче копчення м'яса та риби (наприклад, оселедця, вугра та деяких видів ковбас) при температурі 60–80 °C, що забезпечує варіння їжі, і тепла, достатнього для знищення забруднюючих мікроорганізмів.

Розчинення сполук диму у воді для отримання концентрату диму або «рідкого диму» та розпилення або покриття харчових продуктів.

Кожен тип копчення є поверхневою обробкою, і димові хімікати проникають лише на кілька міліметрів у продукт.

При холодному копченні харчові продукти витримують при температурі повітря $<33^{\circ}\text{C}$ від 6 до 24 годин до кількох тижнів для отримання необхідного копченого смаку та кольору. Консистенція практично не змінюється, а смак продуктів м'якший, ніж продукти гарячого копчення. Мікроорганізми не знищуються, тому холодному копченню передуює витримка солі. Тепле копчення має аналогічний ефект, і продукти також піддаються обробці. Консервуюча дія гарячого копчення при $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$ обумовлена низкою чинників, які можна узагальнити як представлено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Консервуюча дія гарячого копчення при $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$

При гарячому копченні критичними факторами боротьби з бактеріями є:

- кількість контамінуючих бактерій (D – значення бактерій);
- контроль коливань температури в різних частинах печі;
- внутрішні температури, досягнуті продуктом під час обробки;
- час копчення.

1.3. Вимоги до обладнання для копчення м'ясної продукції

Обладнання для копчення має забезпечувати контрольований розвиток смаку та кольору харчових продуктів з низьким рівнем канцерогенних або токсичних компонентів у димі та низьким рівнем забруднення навколишнього середовища через дим. Дим може утворюватися в печі або в окремому димогенераторі. Тирса та деревина мають бути чистими та вільними від консервантів для деревини або мастила для пил.

Споживання тирси становить $\approx 13\text{кг} / \text{год}$ у печі потужністю 375 кг (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Коптильна піч

Окремі генератори диму мають переваги в тому, що температуру та вологість у печі можна контролювати незалежно, щоб продукти можна було висушити або приготувати перед копченням. Вони також забезпечують кращий контроль над температурою, вологістю та щільністю диму. Крім того, дим можна відфільтрувати, обробити водяними брызками або електростатичним

опадом для видалення канцерогенних сполук, таких як бензо(а)пірен, і небажаних часток. Однак ці обробки також видаляють деякі компоненти, які сприяють смаку копчених продуктів.

Коптильні печі подібні за конструкцією до камерних сушарок або печей періодичної дії, а при гарячому копченні м'ясні продукти можна сушити, варити та коптити в одному обладнанні. Нагрівачі печі розроблені для швидкого досягнення та підтримки робочої температури $\approx 80^{\circ}\text{C}$ при повному завантаженні. Візки, які мають рейки для підвішування продуктів, або сітчасті лотки для менших шматочків заїжджають у коптильну камеру (рис. 1.4), і м'ясна продукція коптиться в автоматично керованому циклі.

Комп'ютерне керування включає в себе керування температурою, вологістю та щільністю диму за допомогою сенсорного екрану або дистанційного керування. Окрім того передбачено систему протипожежного захисту та сигналізацію, а також автоматичний цикл очищення. Ємність промислових печей становить 250–2000кг [1].

1.4. Особливості автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Заслуговує на увагу пелетний гриль – Traeger [33]. Самі деревні пелети виготовляються з пресованої тирси листяних порід. Гранули Traeger не містять наповнювачів. Для будь-якого приготування їжі, будь то копчення чи смаження на грилі, гранули автоматично подаються за допомогою шнека з електричним приводом у ємність під решітками для приготування їжі на грилі. Там пелети горять стабільно та при постійній температурі, керованій цифровим контролером установки. За нижчих температур, від 41°C до 134°C , гранули виробляють рясний дим, додаючи смаку дров м'ясній продукції. Щоб коптити їжу на Traeger, все, що потрібно зробити, це встановити температуру гриля та покласти м'ясну продукцію на решітку.



Рисунок 1.5 – Автоматизований пелетний гриль Traeger [33]

Можна порівняти цю простоту конструкцію із іншим популярним коптільним обладнанням, а саме з офсетним коптільним обладнанням. Офсетна коптільня складається з варильної камери з топкою, яка розташована збоку. Вогонь, який зазвичай розводять з дерев твердих порід або брикетів, нагріває м'ясну продукцію та додає дим. Експерти кажуть, що офсетні коптільні можуть додати глибший аромат диму, але між моніторингом джерела тепла та потоком повітря вони вимагають багато уваги, що є прямою протилежністю можливості Traeger «встановити й забути» (особливо коли підключили гриль до Wi-Fi). Більшість офсетного коптільного обладнання не такі універсальні, як пелетний гриль, тобто не можете також готувати м'ясну продукцію із використанням високих температур.

Відомий технологічний процес температурної обробки вареного м'яса пропонується розділити на окремі модулі (рис. 1.6), кожен з яких з яких описує конкретні дії, що виконуються в ньому. Кожен модуль містить принаймні одну операцію і він пов'язаний з одним або кількома іншими модулями. Відповідна взаємодія цих модулів між собою повністю описує процес температурної обробки м'ясної продукції.

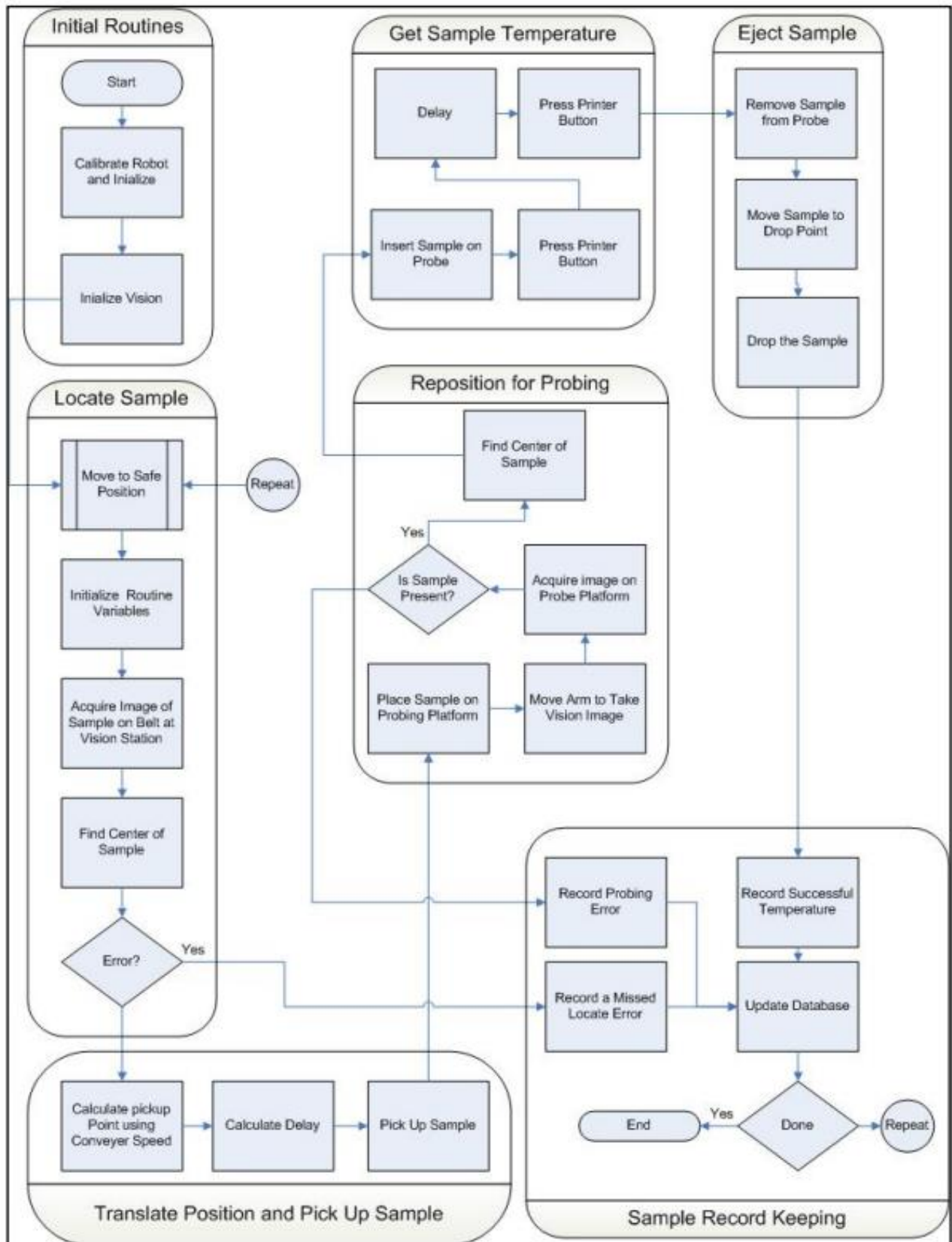


Рисунок 1.6 – Автоматизований технологічний процес температурної обробки вареного м'яса [28]

Основна робота Groov RIO у запропонованій автоматизованій системі полягає в підтримці температури камери протягом усього копчення м'ясної продукції [18]. Топка живиться дровами, але передбачено встановлення додаткових нагрівальних елементів, що живляться від зовнішнього генератора на 30А, щоб забезпечити більше тепла всередині варильної камери.

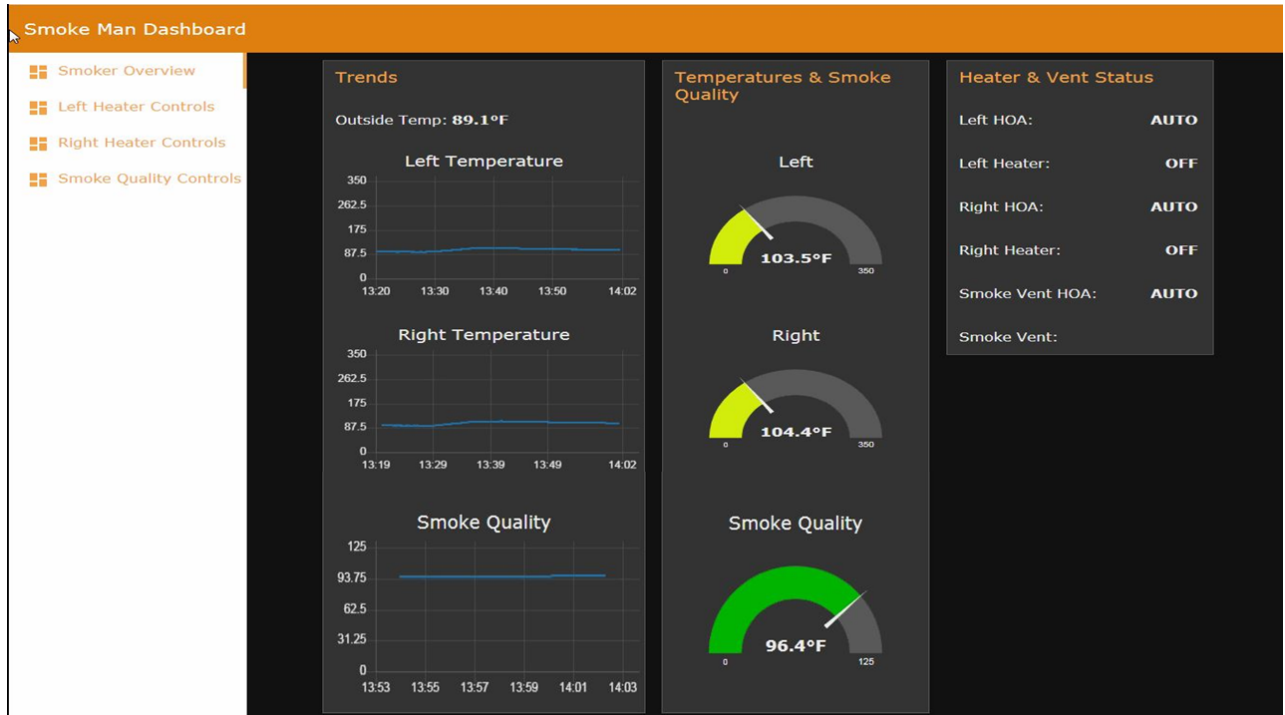


Рисунок 1.7 – Панель керування процесом копчення м'ясної продукції [18]

Для керування процесом копчення м'ясної продукції написано програму в Node-RED, яка дозволяє Groov RIO циклічно вмикати та вимикати нагрівачі на основі обмежень низької та високої температури, доки не закінчиться встановлений час приготування.

Також передбачено доступ до елементів керування процесом копчення м'ясної продукції із телефона, щоб не довелося користувачам носити комп'ютер із собою. Для цього було підключено USB-адаптер WiFi до модуля Groov RIO, встановлено точку доступу промислового класу в трейлері та створено графічний інтерфейс користувача в Node-RED.

Графічний інтерфейс приймає значення заданої температури та зони нечутливості, які Node-RED використовує для розрахунку відповідних

обмежень високої та низької температури для кожної з двох зон нагріву в камері.

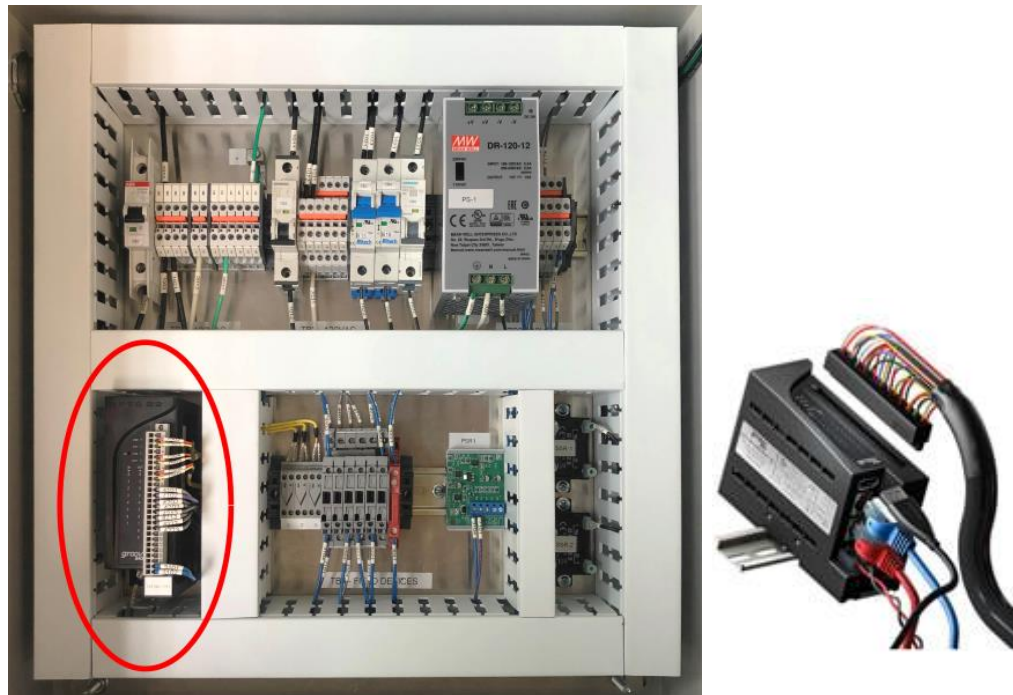


Рисунок 1.8 – Електрична панель із пазом RIO (обведено) [18]

Для невеликих завдань використовується мікроконтролер Siemens, але якщо є можливість мати інтерфейс оператора, що значно перевищує вартість Groov RIO, тоді як RIO має введення/виведення, керування, і інтерфейс користувача в одному.

При цьому є можливість модифікувати вхід-вивід без необхідності змінювати плату чи навіть купувати інший модуль – велика перевага Groov RIO.

РОЗДІЛ 2.

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ

2.1. Обґрунтування доцільності автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції є важливим кроком до підвищення ефективності та якості виробництва. Використання сучасних технологій IoT, які базуються на мікроконтролерних платах, таких як Arduino UNO, дає можливість виконувати моніторинг температури та передавати дані через Wi-Fi. Саме це має декілька суттєвих переваг, які роблять процес копчення м'ясної продукції більш керованим і надійним (рис. 2.1).

Насамперед завдяки автоматизації процесу копчення м'ясної продукції для потреб індивідуальних селянських господарств підвищується точності та стабільності контролю температури. Температура є ключовим параметром у процесі копчення м'ясних продуктів, що впливає на їх смакові якості та безпеку. Використання двох датчиків температури, де один для м'ясної продукції, а інший для внутрішньої температури гриля, дозволяє точно контролювати процес копчення. Arduino UNO забезпечує надійний збір даних з датчиків, що гарантує високу точність вимірювань. Це дозволяє уникнути перегріву або недогріву продукту, що є критичним для забезпечення його якості та безпечності.

Також забезпечується автоматичне оповіщення та оперативне реагування. Система автоматизації, яка використовує Wi-Fi shield SparkFun на базі ESP8266 для передачі даних на проксі-сервер, дозволяє оперативно відслідковувати зміни температури в режимі реального часу. Інтеграція з AWS Mobile Hub.com забезпечує можливість зберігання та аналізу даних, а також налаштування автоматичних тригерів. Наприклад, якщо температура перевищує певний поріг, система надсилає push-сповіщення всім підписаним клієнтам. Це дозволяє

оперативно реагувати на небезпечні зміни умов копчення, що може запобігти псуванню продукції та знизити ризики.

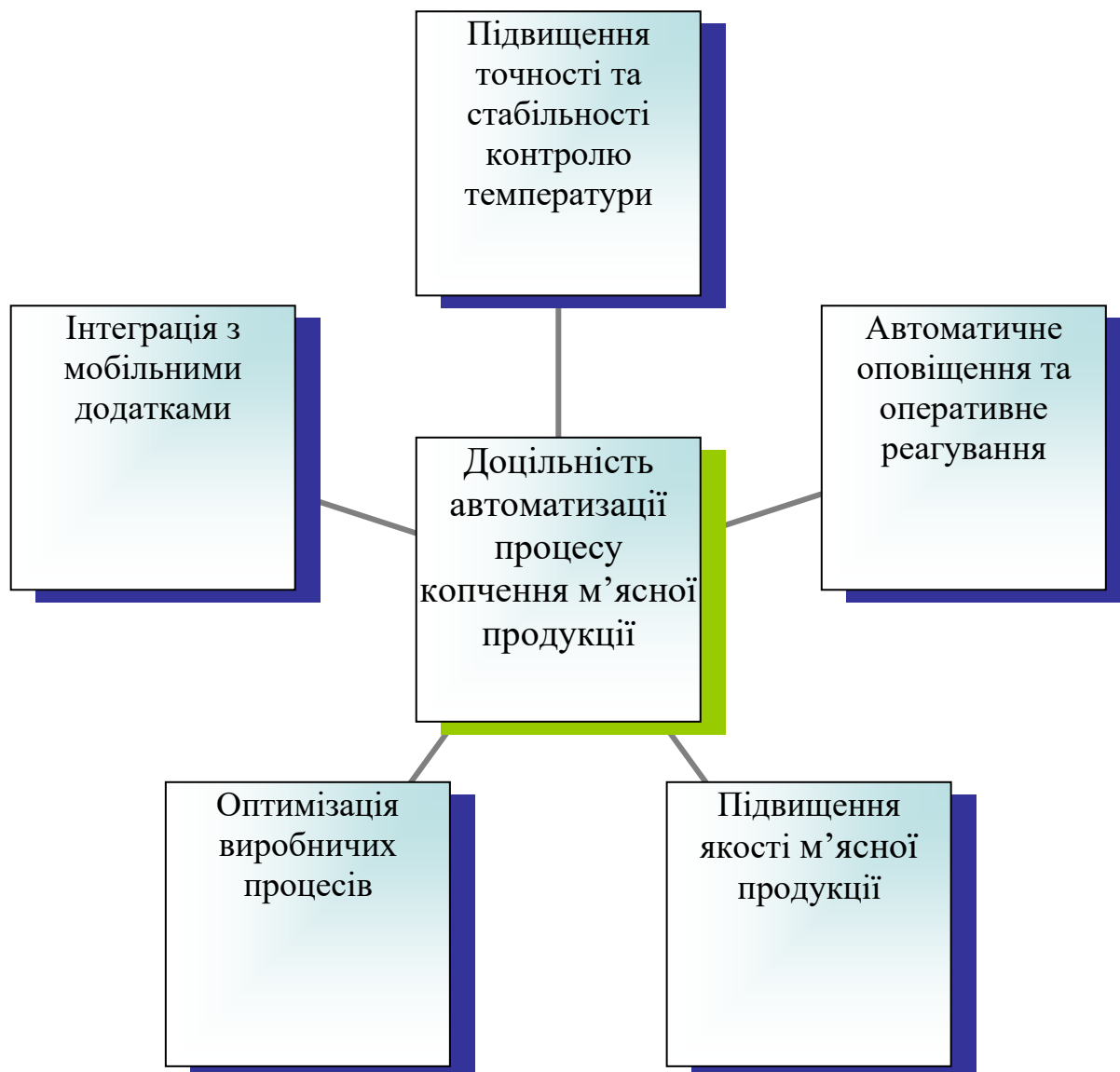


Рисунок 2.1 – Переваги автоматизованого процесу копчення м'ясної продукції

Вагомою перевагою пропонованої автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є оптимізація виробничих процесів. Автоматизація процесу копчення за допомогою Arduino UNO і ESP8266 сприяє зменшенню ручної праці та оптимізації виробничих процесів. Система самостійно контролює та регулює температуру, що дозволяє працівникам зосередитися на інших

важливих аспектах виробництва. Це підвищує загальну ефективність та продуктивність процесу копчення м'ясної продукції.

Також завдяки пропонованій автоматизації процесу копчення м'ясної продукції здійснюється підвищення якості продукції. Контрольоване середовище копчення забезпечує стабільну якість кінцевої продукції. Відстеження та підтримка оптимальних температурних умов дозволяє досягати бажаного рівня готовності продукту, зберігаючи його смакові та ароматичні властивості. Це сприяє задоволенню споживачів і підвищенню репутації виробника.

Вагомою перевагою запропонованої системи є інтеграція з мобільними додатками. Це дозволяє читати дані з AWS Mobile Hub.com, забезпечує зручний інтерфейс для моніторингу процесу копчення. Мобільний додаток дає змогу відстежувати температуру та отримувати сповіщення безпосередньо на смартфоні, що підвищує зручність і доступність інформації для користувачів.

Отже, автоматизація процесу копчення м'ясної продукції за допомогою Arduino UNO, ESP8266 та інтеграції з AWS Mobile Hub.com є обґрунтованою і доцільною інновацією. Вона підвищує точність контролю температури, забезпечує оперативне реагування на небезпечні зміни, оптимізує виробничі процеси, підвищує якість продукції та забезпечує зручність моніторингу через мобільні додатки. Усі ці переваги сприяють підвищенню ефективності та конкурентоспроможності виробництва копченої м'ясної продукції для потреб індивідуального селянського господарства.

2.2. Розробка функціональної схеми системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Основою для автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є вугільний гриль Compact Kettle 57 см [4]. Його у подальшому використовуватимемо як копильню для м'ясної продукції. Також є потреба у

термометрі для гриля, який передаватиме дані дистанційно. Його буде використано для того, щоб стежити за внутрішньою температурою м'ясної продукції. При цьому важливим є моніторинг внутрішньої температури гриля. При цьому виникла ідея створити систему автоматизації процесу копчення м'ясної продукції на базі Arduino, який має достатні можливості для вирішуваної задачі. При цьому можна отримати дані з датчиків температури та передавати їх через Інтернет.

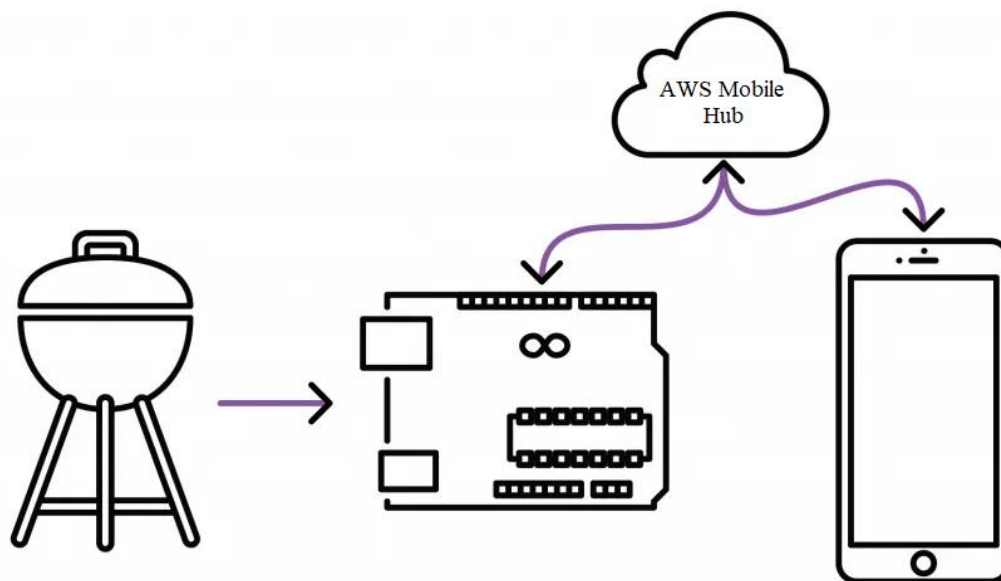


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

При цьому передбачається використання двох датчиків температури підключені до Arduino. Arduino обчислюватиме показники температури, а потім надсилатиме їх на AWS Mobile Hub.com, де зберігатиме та відстежуватиме дані. Коли температура досягає певного порогу, на мобільний телефон надсилатиметься push-повідомлення. Також пропонується розробити мобільний додаток для iOS на телефоні, де можна перевіряти поточну температуру у будь-який момент часу.

2.3. Вибір засобів для системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Для збору системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції використано низку засобів, які описано нижче. До засобів, які використовувалися для складання схеми належать:

- ✓ вугільний гриль Weber Compact Kettle 57 см;
- ✓ макетна плата Breadboard Half;
- ✓ різні перемички;
- ✓ плата Arduino Uno з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P;
- ✓ Sparkfun Wifi Shield – це сумісний із Arduino щит для SoC ESP8266 WiFi – провідної платформи для проектів, пов'язаних з Інтернетом речей (IoT) або WiFi;
- ✓ Maverick ET732 – популярний цифровий дистанційний бездротовий термометр для м'яса;
 - ✓ стандартний дистанційний зонд для барбекю;
 - ✓ потенціометр 10К;
 - ✓ РК-модуль 16×2 із контактними роз'ємами;
 - ✓ резистор 220 кОм;
 - ✓ резистор 1М Ом;
 - ✓ 2x 2,5 мм аудіороз'єм.

2.3.1. Вугільний гриль Weber Compact Kettle

Модель вугільного гриля Weber Compact Kettle 57 см ідеально підходить навіть для кулінарів-початківців, які не мають досвіду приготування страв на барбекю [4]. Він обладнаний усіма необхідними функціями для приготування

різноманітних страв на вугіллі. Крім того, завдяки компактним розмірам, його можна встановити у дворі або брати з собою на пікніки, походи та подорожі.



Рисунок 2.2 – Вугільний гриль Weber Compact Kettle [4]

Знімна решітка дозволяє легко перетворити барбекю на традиційний мангал для приготування шашликів та інших страв на шампурах. Складана конструкція гриля робить його зручним для транспортування в автомобілі. Пристрій має особливу гарантію виробника на 10 років.

Особливості моделі Weber Compact Kettle:

- ✓ корпус і кришка гриля покриті фарфоровою емаллю, що витримує високі температури та не потребує спеціального догляду;
- ✓ зручні нейлонові ручки посилені скловолоконним армуванням;
- ✓ вентиляційна заслінка з алюмінію забезпечує приплив повітря;
- ✓ алюмінієвий піддон для золи;
- ✓ решітка для гриля виготовлена з металу з хромованим покриттям;
- ✓ міцні ніжки з колесами забезпечують надійне встановлення гриля;

- ✓ в комплекті інструкція з експлуатації та збірка рецептів страв на грилі;
- ✓ гриль виконаний у чорному кольорі і має вагу 13 кг;
- ✓ розміри упаковки у складеному вигляді: 250 мм x 600 мм x 600 мм.

2.3.2. Макетна плата Breadboard Half та різні перемички

Нами використано зручний набір для макетування, що ідеально підходить для тестування пробних схем, вивчення електронних компонентів і проектування електронних рішень (рис. 2.3).

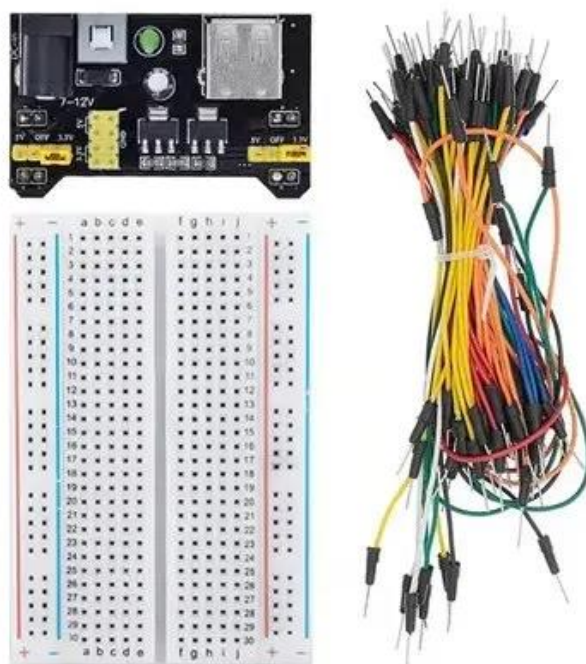


Рисунок 2.3 – Безпайкова макетна плата 3.3В/5В плата живлення, а також з'єднувальні кабелі [1]

Комплектація набору для макетування передбачас:

- ✓ модуль живлення 3.3В/5В;
- ✓ макетна плата МВ-102 на 400 точок;
- ✓ 65 з'єднувальних проводів.

2.3.3. Плата Arduino Uno з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P

Arduino Uno – це мікроконтролерна плата на основі ATmega328P рис. 2.4). Вона має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можна використовувати як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, керамічний резонатор 16 МГц (CSTCE16M0V53-R0), USB-з'єднання, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку скидання.

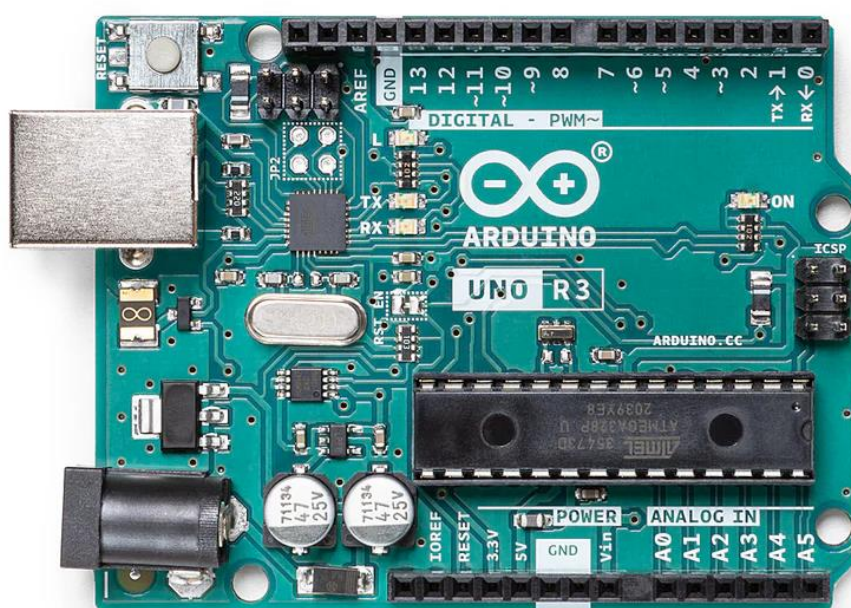


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд Arduino Uno Rev3 [16]

Містить все необхідне для підтримки мікроконтролера. При цьому просто підключається до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або живиться за допомогою адаптера змінного струму в постійний струм або акумулятора, щоб почати.

ATmega328P – це малопотужний 8-розрядний CMOS-мікроконтролер на базі розширеної RISC-архітектури AVR®. Завдяки виконуючи потужні інструкції за один такт, ATmega328P досягає продуктивності, що наближається до 1MIPS на МГц що дозволяє розробнику системи оптимізувати енергоспоживання в порівнянні зі швидкістю обробки даних.

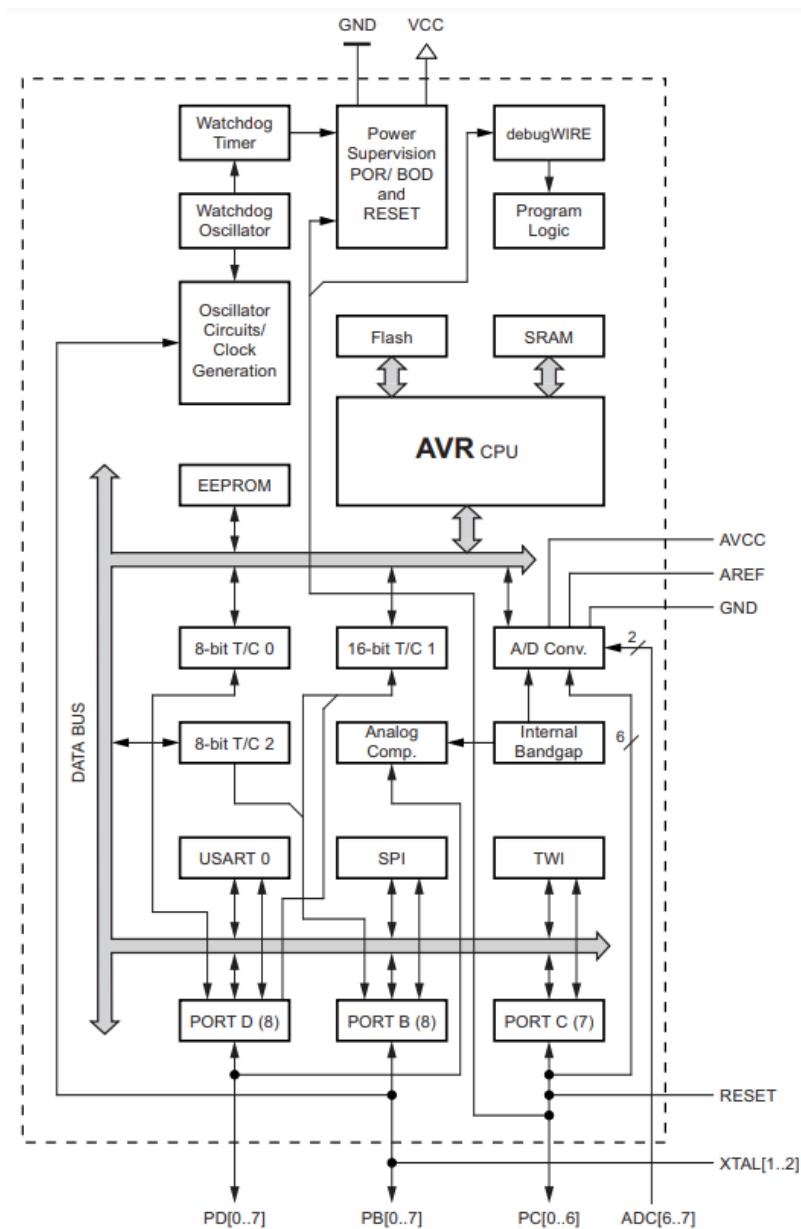


Рисунок 2.5 – Структурна схема ATmega328P

«Uno» італійською мовою означає «один» і було вибрано для відзначення випуску програмного забезпечення Arduino (IDE) 1.0. Плата Uno та версія 1.0 програмного забезпечення Arduino (IDE) були еталонними версіями Arduino, які тепер еволюціонували до нових версій. Плата Uno є першою в серії USB-плат Arduino та еталонною моделлю для платформи Arduino.

2.3.4. SparkFun WiFi Shield - ESP8266

SparkFun ESP8266 WiFi Shield це сумісна із Arduino плата для SoC ESP8266 WiFi – провідної платформи для проектів, пов’язаних з Інтернетом речей (IoT) або WiFi (рис. 2.6).

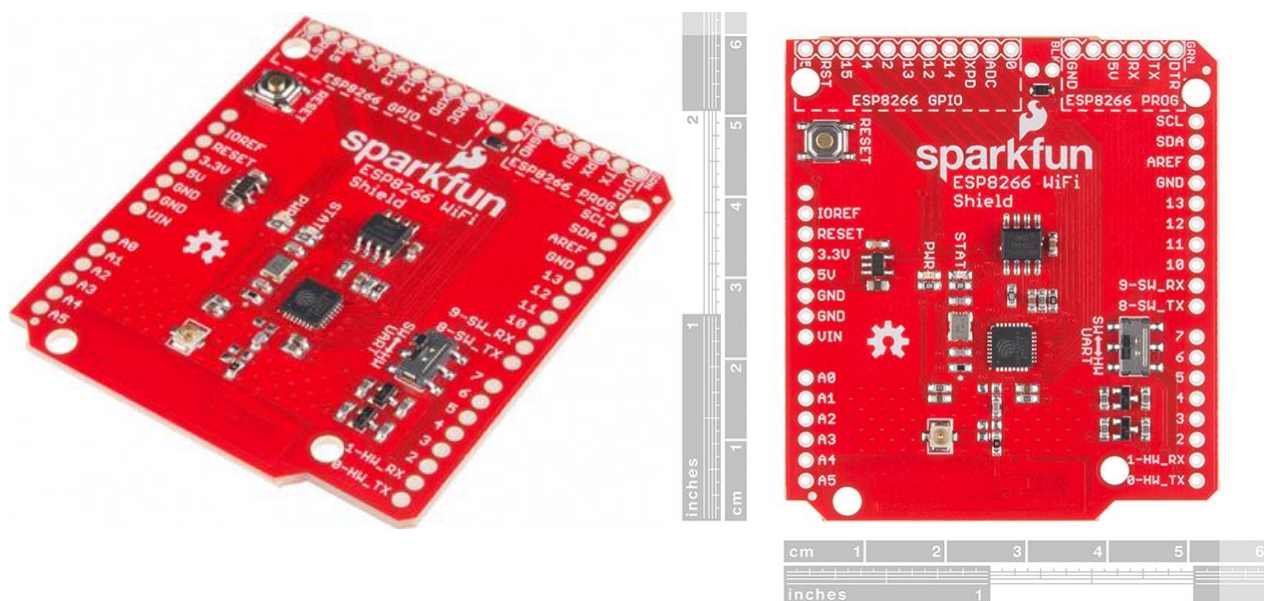


Рисунок 2.6 – SparkFun ESP8266 WiFi Shield [32]

На базі ESP8266 є різноманітні конфігурації, включно з малими модульними платами та більш доступними платами для розробки, як SparkFun ESP8266 Thing. ESP8266 WiFi Shield є по середині між модулем і річчю, що забезпечує чудове знайомство з ESP8266 – не виходячи за зручні обмеження апаратного забезпечення Arduino. Якщо передбачається проект Arduino, якому потрібен недорогий шлюз до Інтернету, ESP8266 WiFi Shield забезпечує від увімкнення світлодіода до представлення даних онлайн у службі потокового передавання даних.

ESP8266 WiFi Shield поставляється з попередньо прошитою мікропрограмою AT-команд, тому ним можна керувати за допомогою будь-якого UART, але він також виходить і надає командний доступ до всіх входів/виходів ESP8266. Оскільки це плата Arduino, її легко приєднати до будь-

якої плати розробки, яка використовує макет Arduino R3. Все, що знадобиться, це трохи спаяти, щоб приєднати необхідні роз'єми.

ESP8266 – це набагато більше, ніж простий послідовний шлюз Wi-Fi. Він має багато входів/виходів, які можна налаштувати як цифрові входи чи виходи – він навіть має АЦП. Усі ці GPIO розбиті у верхній лівій частині екрана. Крім того, ESP8266 WiFi Shield можна перепрограмувати через порт програмування, розташований у верхньому правому куті екрану. Незалежно від того, чи є потреба додати власні AT-команди або прошити спеціальну мікропрограму на ESP8266, цей порт може стати в нагоді, особливо якщо він використовує розпіновку FTDI Basic breakouts.

2.3.5. Цифровий дистанційний бездротовий термометр для м'яса Maverick ET732

Maverick ET732 – це дуже популярний цифровий дистанційний бездротовий термометр для м'яса, який багато років використовується кухарями на відкритому повітрі, щоб допомогти їм точно готувати на грилі та коптити (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Цифровий дистанційний бездротовий термометр для м'яса Maverick ET732 [13]

Maverick ET-732 є дистанційним термометром із подвійним зондом, який використовується для контролю як температури барбекю, так і м'ясної продукції. За словами виробника, зонди підключаються до передавача, який надсилає дані на приймач, який може бути розташований на відстані до 91 м.

В упаковці два зонди – короткий прямий для вимірювання температури барбекю та L-подібний з гострим кінчиком для вставлення у м'ясну продукцію. Передавач має два позначені входи, по одному для кожного зонда. На датчику також є дисплей, який по черзі показує температуру датчика. F або C можна вибрати на задній панелі передавача. Але нам потрібно, щоб кабелі були довжиною більше 0,9 м.

Приймач має дисплей, який працює в двох режимах. У режимі термометра він відображає температуру кожного зонда. Датчик м'ясної продукції може подавати сигнал, коли температура досягнута заданої межі. Датчик для барбекю має верхню та нижню межі, які подають сигнал, якщо температура виходить за ці межі. Ці обмеження встановлюються дещо заплутаною процедурою, яка вимагає натискання кнопки освітлення/режиму, щоб зафіксувати їх. Сигналізація барбекю не вмикається, доки температура не перевищить нижню межу, тому не доведеться слухати звукові сигнали, поки пристрій нагрівається. Якщо передавач і приймач втратять зв'язок, пролунає звуковий і видимий сигнал, щоб повідомити користувача про проблему. Це виправляє недолік, який ми бачили в багатьох попередніх моделях.

Цей пристрій дуже схожий на свою попередню модель – ET-733, за одним помітним винятком. 733 додатково пропонує можливість вибору м'яса та рівня готовності, що імітує рекомендації USDA. Для 732 потрібно вибрати відповідну температуру. Можна вибрати власну температуру за допомогою 733.

Інший режим – режим таймера. Коли користувач встановить час, таймер буде відраховуватись до нуля, після чого пролунає сигнал. У цей момент почнеться відлік часу в бік збільшення. Таймер також може працювати як лічильник, встановлюючи початковий час на нуль. Звук будильника для

таймера відрізняється від сигналів тривоги відносно температури, і обидва режими можуть працювати одночасно.

Цей дистанційний термометр із двома зондами є одним із найпопулярніших приладів такого типу із множини причин. Він якісно виготовлений, водостійкий передавач, точний і досить простий у використанні. Він має хороший радіус дії, і пристрій сповістить про втрату зв'язку між передавачем і приймачем.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ

3.1. Схема конструкції системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Основним компонентом запропонованої системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є Arduino UNO. Це програмований мікропроцесор, який може отримувати низку цифрових і аналогових входів. Використовуючи Arduino IDE, можна написати код C, щоб керувати цими входами для читання сигналів або надсилання цифрових сигналів. У нашій системі засоби, які ми збираємося використовувати, мають аналогові входи і будуть підключені до контактів аналогового входу 0 і 1 (рис. 3.1).

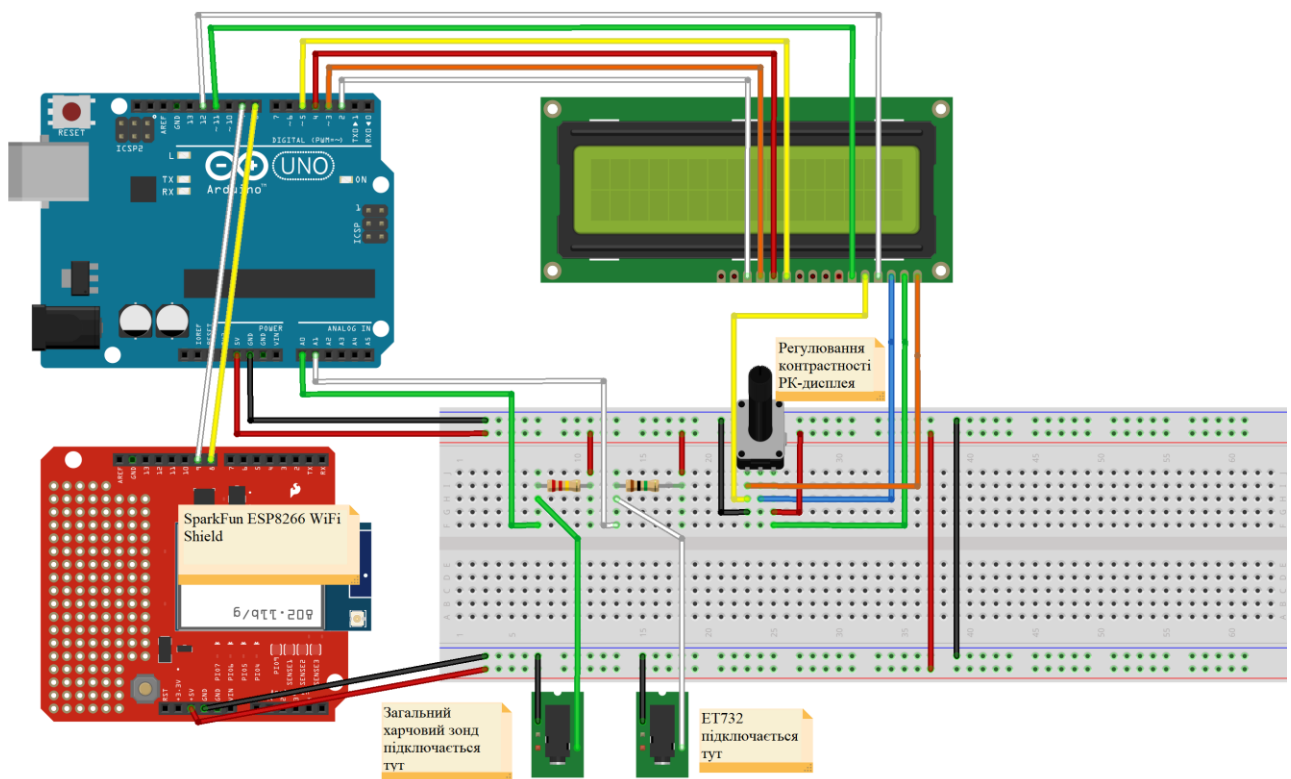


Рисунок 3.1 – Схема конструкції системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

3.2. Збирання та опис системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Насамперед вирішили питання із підключенням датчика температури барбекю до Arduino. Встановлено, що більшість термометрів для барбекю є «термісторами». Термістор – це компонент, опір якого змінюється залежно від температури. Припускаючи, що є характеристики термістора, можна перетворити цей опір у покази температури. У нашому випадку ці особливості були невідомі. Фізично все, що нам потрібно для підключення зонда, це вхід аудіороз'єму 2,5 мм. Приєднали провідними (або припаяні, або дроти типу «крокодил») до входу гнізда та підключили до Arduino.

Просто підключити їх до Arduino недостатньо. Щоб отримати правильні значення в Arduino, нам потрібно буде налаштувати «подільник напруги». Однак, щоб налаштувати їх, потрібно вибрати резистор для підключення до ланцюга, який відповідає опорі, який хочемо виміряти. Оскільки не знаємо конкретних опорів, необхідних для зондів, нам довелося підійти творчо. Для цього було використано мультиметр, щоб виміряти опір, який повідомляє датчик при кімнатній температурі, і знайдено резистор, який був найближчим до цього значення. У нашому випадку це було 220 КОм для харчового зонда та 1 МОм для камерного зонда. Розмістили цей резистор між Arduino та термістором, і це дало можливість зчитати деякі опори, які зможемо перетворити на значення температури.

Тепер, коли можемо зчитувати опір із датчиків, нам потрібно з'ясувати, як перетворити ці значення в температури. Для цього було використано рівняння Стейнхарта Харта. Рівняння Стейнхарта Харта описує електричний опір напівпровідників за різних температур:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C [\ln(R)]^3, \quad (3.1)$$

де T – абсолютна температура, Кельвіни;

R – опір при температурі T , Ом;

A, B, C – коефіцієнти Стейнхарта Харта, які міняються залежно від типу і моделі термісторів, а також від діапазону температур.

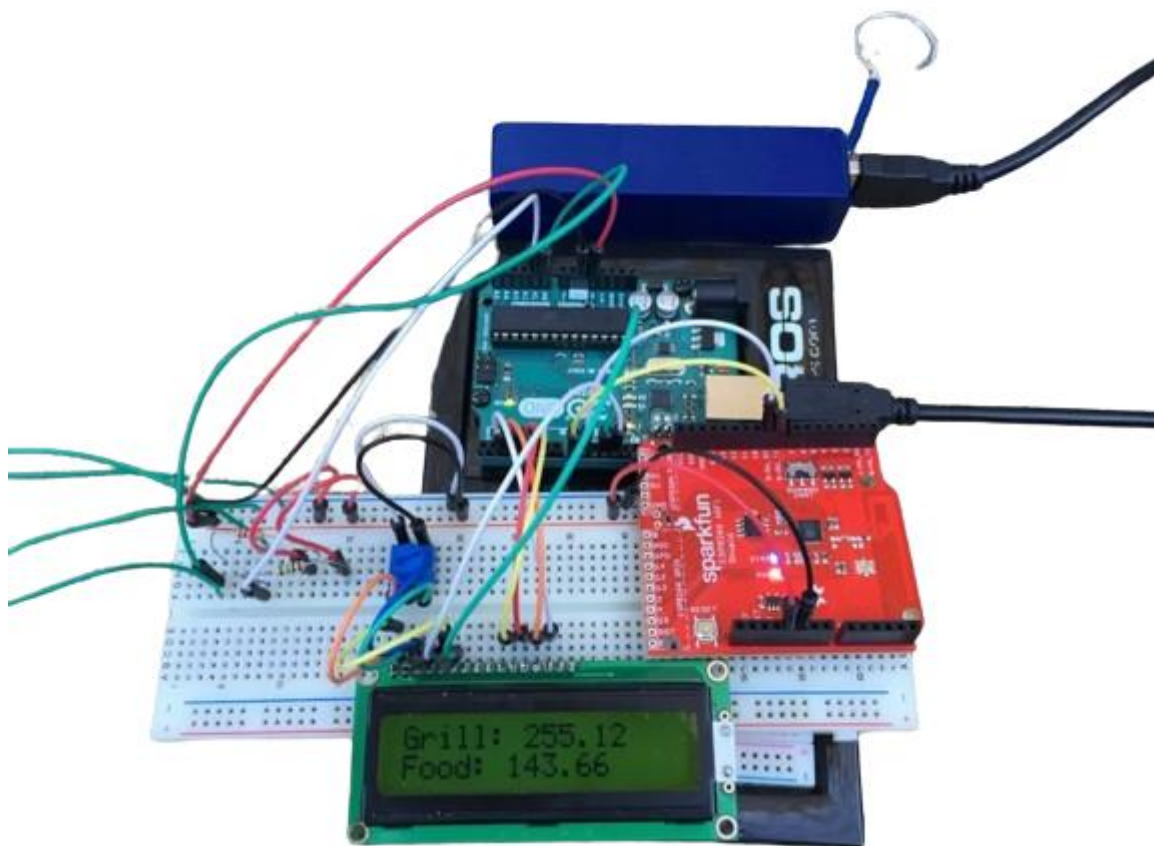


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд зібраної конструкції системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Після цього нами написано код, який робить відповідні перетворення та його було використано в коді Arduino. Однією складною частиною цього рівняння є те, що воно вимагає так званого бета-коефіцієнта термістора, який був невідомий для наших зондів. Один із способів обчислити цей коефіцієнт – виміряти опір термістора за кількох різних температур у підтримуваному діапазоні, а потім підключити їх до онлайн-калькулятора. Нами зроблено це для своїх зондів, а потім виконано коригування отриманих чисел, щоб наблизити його перетворену температуру до тієї, з якою виконувалося порівняння.

Незважаючи на те, що було заплановано, щоб температура надсилалася в хмару, нами запропоновано можливість підійти до пристрою та побачити

поточну температуру. Для цього було підключено 2-рядковий РК-екран і підключено потенціометр для регулювання контрастності. РК-дисплей підключається до ряду цифрових вхідних контактів Arduino, щоб мати можливість установити текст на дисплеї.

3.3. Підключення системи до Інтернету

Існує кілька варіантів для підключення Arduino до Інтернету. Навіть у Arduino є мережева плата під назвою YUN, яка має вбудований Wi-Fi/Ethernet. YUN цілком підходить до нашої системи, але є набагато дорожчим, порівняно із UNO. Нами пропонується створити систему якомога дешевше, тому розглядали інші варіанти. Одним із варіантів є ESP8266. ESP8266 – це програмований мікроконтролер із вбудованою Wi-Fi антеною. Він має власні контакти GPIO і може програмуватися через Arduino IDE. Цей чіп є особливим, так як він поставляється з набором команд Serial Wifi. Це означає, що можна надсилати команди з Arduino за допомогою послідовного інтерфейсу, щоб наказати йому виконувати дії в Інтернеті.

Недоліком використання ESP8266 є те, що це вимагає дещо складніших налаштувань, оскільки для цього потрібно 3,3В, тоді як Arduino зазвичай живить 5В. Замість того, щоб використовувати регулятор напруги, нами знайдено варіант від SparkFun (рис. 3.3), де вони взяли ESP8266 і помістили його на стековану плату Arduino з вбудованим регулюванням напруги, і все це коштує 15 доларів.

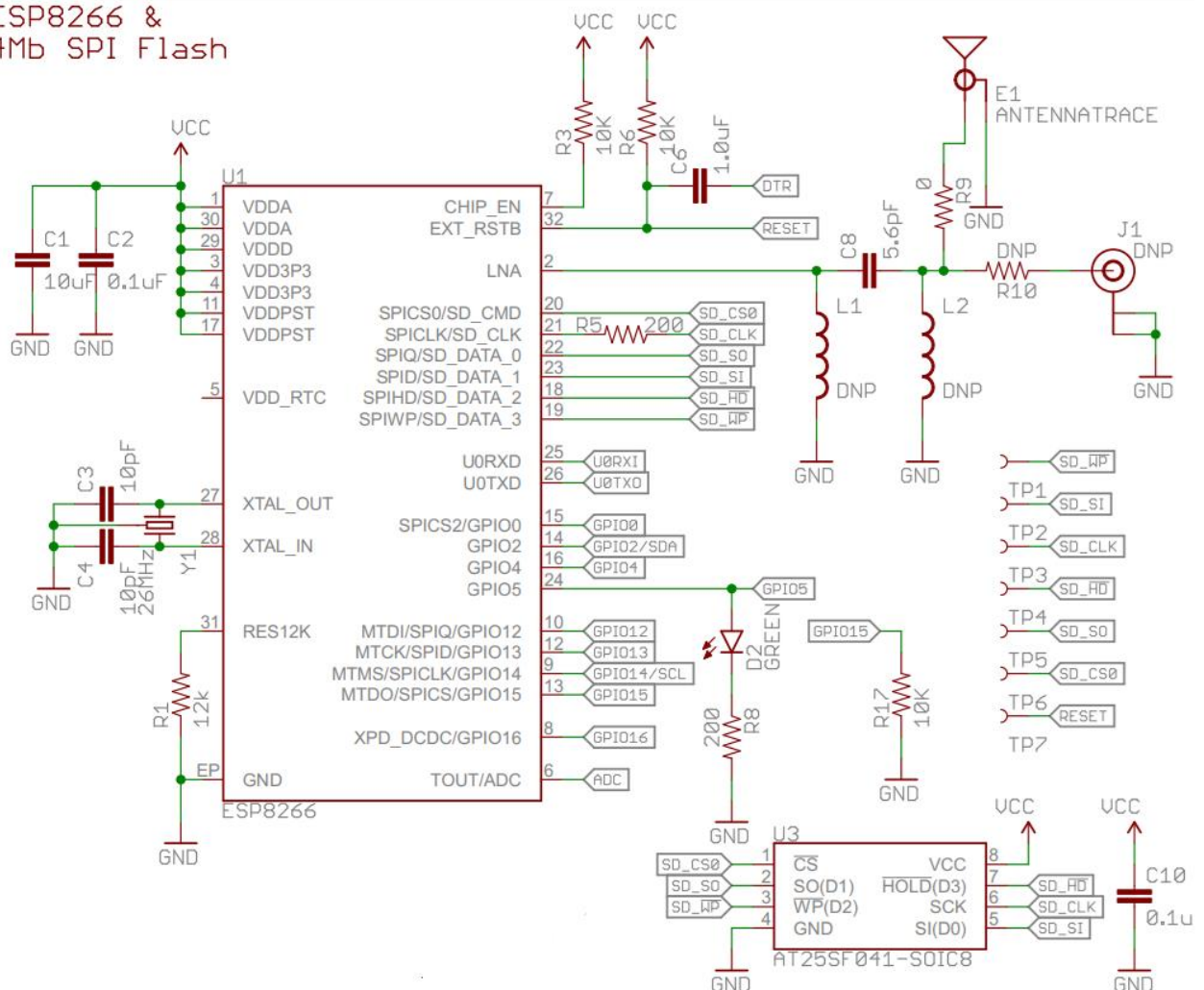
ESP8266 &
4Mb SPI Flash

Рисунок 3.3 – Схема підключення ESP8266

Також на Github завантажили бібліотеку, яка обробляє рівень зв'язку ESP8266, специфічний для Wi-Fi shield [21]. Виявляється, можна використовувати Arduino як послідовний перехідний пристрій до мікросхеми ESP8266. Це означає, що можна розмістити на Arduino та запустити певний код (названий ескізом), який проходить через входні дані від монітора послідовного порту Arduino IDE до ESP8266, і він виведе результати з ESP8266 на монітор послідовного порту.

При цьому можна надсилати власні AT-команди на пристрій. Запропоновано за замовчуванням, щоб ESP8266 підключатися до домашнього Wi-Fi під час запуску. Для цього потрібно ввести «AT+CWJAP_DEF="MY_SSID", "MY_PASSWORD"» на моніторі, і ESP8266 підключився до Wi-Fi і зберіг його в пам'яті, щоб під час наступного запуску

він автоматично підключився. Повний код представлено у додатку А, а блок-схему алгоритму на рис. 3.4.

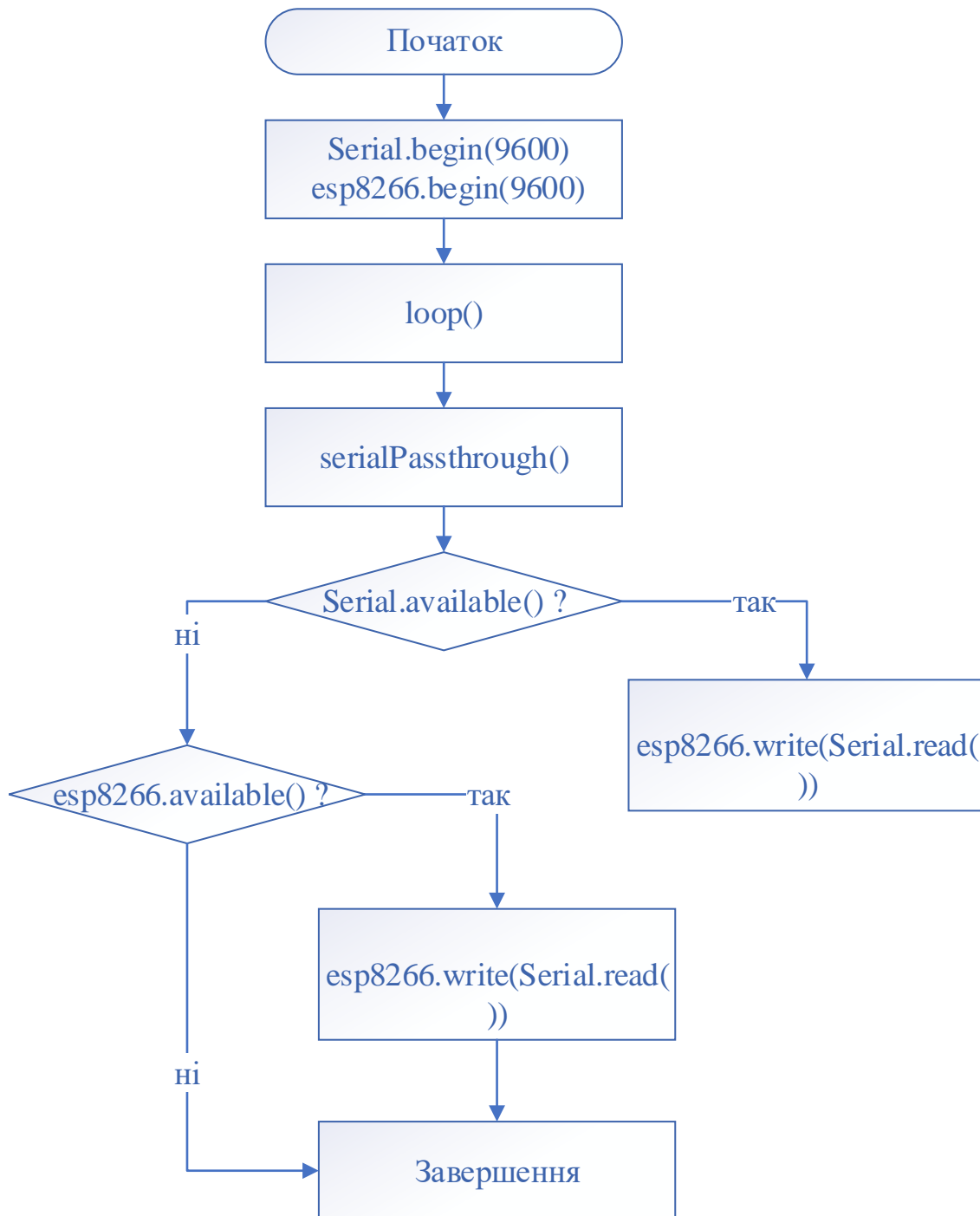


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму налаштування послідовного зв'язку між Arduino та ESP8266 для передачі даних між ними.

У запропонованій блок-схемі алгоритму підключення ESP8266 до Wi-Fi насамперед виконується ініціалізація послідовного зв'язку. Для цього

ініціалізуємо Serial для зв'язку з комп'ютером. Після цього ініціалізуємо SoftwareSerial для зв'язку з ESP8266.

Наступним виконується головний цикл. Виконується передача даних між Serial і ESP8266 за допомогою функції serialPassthrough().

І на останньому етапі виконується передача даних. Якщо дані доступні в Serial, вони передаються до ESP8266. Якщо дані доступні в ESP8266, вони передаються до Serial.

Коли Wi-Fi shield підключився до домашньої мережі, наступним кроком є отримання коду Arduino, який надсилає дані про температуру в Інтернет. Виявляється, щоб надіслати дані в Інтернет за допомогою ESP8266, це просто послідовність AT-команд:

1. відкрити сеанс;
2. повідомити, скільки даних надсилаєте;
3. передати дані, які потрібно надіслати.

Щоб обробити надсилання даних, створено протокол HTTP POST з даними та розміщено його на сервері.

Незважаючи на те, що плата Wi-Fi є платою Arduino, які можна стекувати, насправді непросто з його встановленням у потрібне положення. Якщо натиснути його надто далеко, це призведе до короткого замикання, що у свою чергу призведе до періодичних перепадів Wi-Fi. Нами просто з'єднано плату лише з провідниками, необхідними для роботи. У цьому випадку це лише живлення, земля та два контакти 8/9 для програмної послідовної передачі.

3.4. Підключення системи до сервісу AWS Mobile Hub

Нами пропонується схема налаштована для надсилання даних про температуру. Ми використовували AWS Mobile Hub, крім того, він просто налагоджений і безкоштовний для наших цілей [34]. AWS Mobile Hub надає хмарне сховище даних завдяки можливості надсилання push-повідомлень і має

API, доступний для доступу до даних практично з будь-якого місця. AWS Mobile Hub зберігає дані, які ми надсилаємо, і ми налаштовуємо його на надсилання push-повідомлень, коли наша м'ясна продукція буде готова. Щоб змусити наш пристрій спілкуватися з AWS Mobile Hub, ми використовуємо їх REST API для передачі даних.

Проблема з використанням AWS Mobile Hub виникає тому, що потрібно надсилати дані через HTTPS, а ESP8266 не підтримує HTTPS. Для цього ми створили проксі-сервер між Arduino та AWS Mobile Hub, який приймається через HTTP і пересилає їх до AWS Mobile Hub через HTTPS. Для більш постійного рішення можна знайти онлайн-сервіс, однак ми створили власний, використовуючи Node.js і Express.

Express – це структура веб-додатків, яка дозволяє нам створити просту кінцеву точку, яка отримує наш запит POST від пристрою, готується для AWS Mobile Hub, а потім надсилає їх до AWS Mobile Hub через HTTPS. Коли надійде запит, спочатку повертаємо наш сайт POST в об'єкт JSON. Далі створимо набір параметрів HTTP, щоб повідомити Node.js, як обробити наш запит. Найважливіше те, що нам потрібно буде додати ідентифікатор програми та ключ Rest API для AWS Mobile Hub, щоб він знав, де обробити наші дані. Ми створили запит до `/1/classes/Data`, що означає, що він зберіг дані в колекції Data. Після налаштування параметрів ми можемо використовувати модуль HTTPS із Node.js для безпечного надсилання даних до AWS Mobile Hub.

Повний код взаємодії з проксі-сервером подано в додатку А, а блок-схема його алгоритму на рис. 3.5. Виконаємо пояснення блок-схеми.

Насамперед імпортуємо модулі. Імпортуємо додаткові модулі: `http`, `https`, `express` і `body-parser`. Наступний крок передбачає завантаження облікових даних. Завантажте облікові дані AWS Mobile Hub з файлу `credentials.json`. Проводиться перевірка наявності облікових даних. Перевіряємо, чи наявні облікові дані `awsAppId` і `awsRestId`. Якщо ні, виводимо помилку і завершуємо програму.

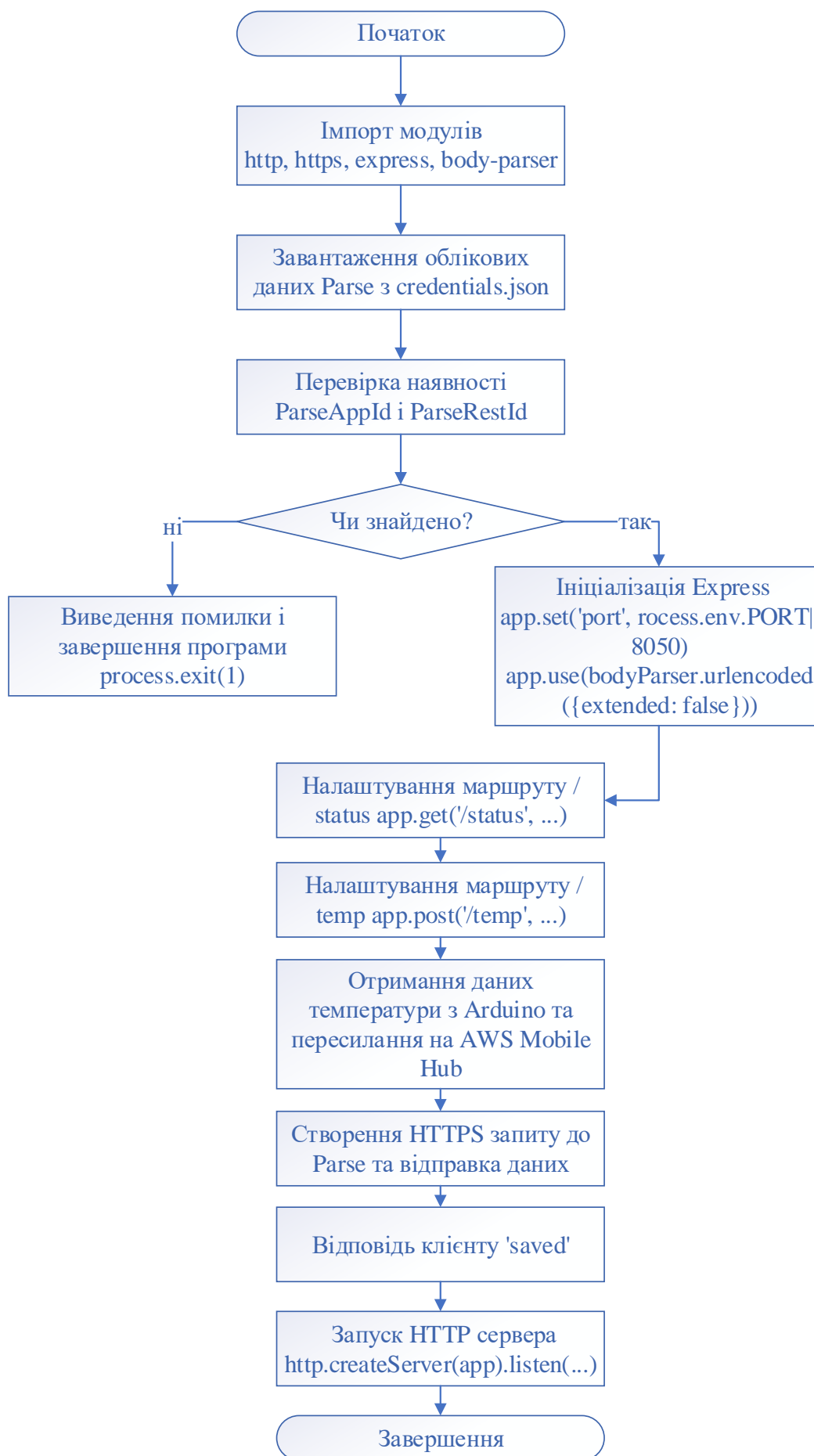


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритму для коду взаємодії з проксі-сервером

Після цього проводиться ініціалізація Express. Ініціалізуємо Express, набираємо порт і додаємо парсер тіла запиту. Налаштовуємо маршрут /status. Додаємо маршрут для перевірки статусу сервера. Він повертає повідомлення «Сервер запущений і працює». Проводимо налаштування маршруту /temp. Додаємо маршрут для обробки POST-запитів з температурними даними. Дані передаються на AWS Mobile Hub.

Закінчується створення HTTPS-запиту до AWS Mobile Hub. Створюємо HTTPS-запит для відправки даних на AWS Mobile Hub і обробляємо відповідь. Отримаємо відповідь користувачу. Відправляємо відповідь «saved» клієнту після отримання даних. Проводиться запуск HTTP-сервера. Створюємо HTTP-сервер на базі Express і починаємо прослуховувати налаштований порт.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану умов праці та наявність шкідливих чинників

Процес копчення м'ясної продукції є важливою складовою харчової промисловості, що впливає на смакові якості, термін зберігання та безпечність продуктів. Однак, цей процес традиційно супроводжується низкою шкідливих чинників, що впливають на умови праці робітників. Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції надає можливість знизити вплив цих чинників та поліпшити загальні умови праці.

Традиційний процес копчення м'ясної продукції вимагає ручної праці, що включає:

- ✓ завантаження та вивантаження продуктів у коптильні камери;
- ✓ контроль та регулювання температурного режиму і рівня диму;
- ✓ перевірку готовності продукції.

Ці операції часто виконуються в умовах підвищеної температури та вологості, що створює значний фізичний та психологічний тиск на працівників.

Розглянемо шкідливі чинники при традиційному копченні.

Термічний вплив супроводжується високою температурою в робочих зонах, особливо поблизу коптильних камер, може призводити до теплового стресу, перегрівання та зневоднення працівників.

Дим та продукти згоряння можуть спричиняти респіраторні захворювання та алергічні реакції у виконавців.

Ручне переміщення важких продуктів та обладнання підвищує ризик травм опорно-рухового апарату. Робота коптильного обладнання часто супроводжується підвищеним рівнем шуму, що може негативно впливати на слух та нервову систему.

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції дозволяє зменшити вплив шкідливих чинників та покращити умови праці. Використання

автоматизованих систем управління температурним режимом знижує необхідність перебування працівників у зонах високих температур.

Системи вентиляції та фільтрації, інтегровані з автоматизованими копильнями, значно знижують концентрацію шкідливих речовин у повітрі робочих зон. Автоматизовані конвеєрні системи та роботи зменшують фізичне навантаження на працівників, знижуючи ризик травм. Сучасні автоматизовані системи працюють тихіше та більш стабільно, що зменшує загальний рівень шуму на виробництві.

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції є важливим кроком у покращенні умов праці на підприємствах харчової промисловості. Вона дозволяє значно знизити вплив шкідливих чинників, таких як термічний вплив, вдихання диму та фізичне навантаження, що в свою чергу підвищує безпеку та комфорт працівників. Впровадження автоматизованих систем не лише покращує здоров'я та добробут робітників, але й сприяє підвищенню ефективності та якості виробництва м'ясної продукції.

4.2. Організація робочого місця під час створення системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції вимагає комплексного підходу до організації робочого місця, що включає як технічні, так і ергономічні аспекти. Правильна організація робочого простору забезпечує ефективну та безпечну роботу працівників, знижує ризик травм і покращує загальну продуктивність.

Під час створення системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції важливим елементом є ергономіка робочого місця, що являє собою науку про зручність та організацію робочого простору для ефективної та комфортної праці, опираючись на психофізичні особливості організму людини (рис. 4.1).

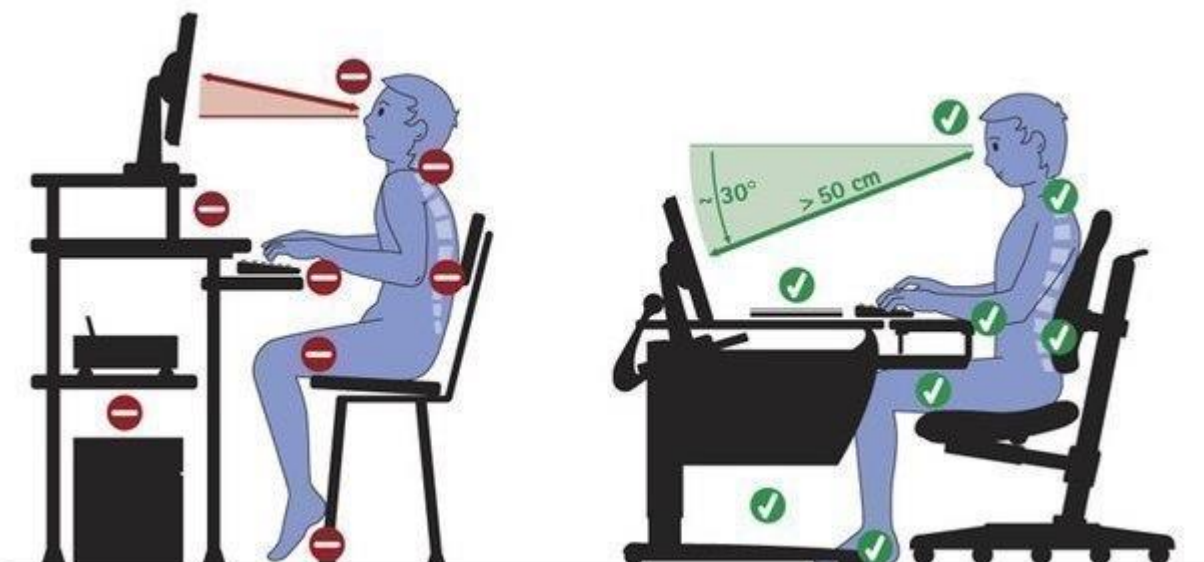


Рисунок 4.1 – Нормовані значення організації робочого місця під час створення системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції

Автоматизовані копильні камери, конвеєрні системи та інше обладнання повинні бути розташовані так, щоб мінімізувати переміщення працівників і забезпечити легкий доступ для обслуговування та ремонту. Виділення окремих зон для підготовки сировини, копчення, охолодження та пакування продукції. Це дозволяє оптимізувати процеси та зменшити ризик перехресного забруднення.

Висота робочих поверхонь та конвеєрів повинна бути регульованою, щоб уникнути дискомфорту і навантаження на спину працівників. Використання автоматизованих підйомників, транспортерів та інших механізмів для переміщення важких вантажів зменшує фізичне навантаження на працівників. Інструменти та контрольні панелі повинні бути розміщені в легкодоступних місцях, щоб уникнути зайвих рухів і скоротити час на виконання завдань.

Використання сучасних програмованих логічних контролерів (PLC), датчиків температури, вологості та диму для контролю процесу копчення. Впровадження систем для моніторингу стану обладнання та умов праці в режимі реального часу, що дозволяє швидко реагувати на будь-які відхилення від норми.

Використання програмного забезпечення для управління виробничими процесами, що забезпечує контроль та аналіз даних, пов'язаних з копченням продукції.

Організація робочого місця під час автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є ключовим фактором для забезпечення ефективної та безпечної роботи. Врахування аспектів планування простору, ергономічності, технічного оснащення, безпеки праці та підтримки чистоти дозволяє створити оптимальні умови для працівників і сприяє підвищенню загальної продуктивності виробництва. Правильна організація робочого місця також допомагає знизити вплив шкідливих чинників, покращити якість продукції та забезпечити відповідність стандартам харчової безпеки.

4.3. Створення мікроклімату на робочому місці

Створення оптимального мікроклімату на робочому місці є важливим аспектом для забезпечення комфортних і безпечних умов праці. При автоматизації процесу копчення м'ясної продукції цей аспект набуває особливої актуальності через специфічні умови виробничого процесу, які включають підвищену температуру, вологість і наявність диму.

Для приміщення, де проектується система автоматизації процесу копчення м'ясної продукції, існують певні вимоги до вологості, температури та рівню пилу. Температура повинна бути 21...25 °С, відносна вологість – 40...60%, рівень аероіонів – от 400...600 до 50 000 (оптимальний – 1500...5000). Це є оптимальними умовами для комфортного теплового балансу температури тіла людини. На терморегуляцію організму людини також впливає вологість повітря.

Занадто низька вологість, яка менша 20%, викликає пересихання слизових оболонок, а саме дихальних шляхів та очей, а вища 85% ускладнює терморегуляцію. Також дуже важливою є оптимальна вологість, якщо вона

вища за норму, то слабкішим стає електростатичне та електромагнітне поле, рівень випромінювання яких в приміщеннях з комп'ютером завжди високий.

Що стосується пилу в приміщеннях, цей критерій є не менш важливим, тому що організм людини погано реагує на велику запиленість. Пил в приміщенні відрізняється від природнього, він містить частки шкіри людини, витратних матеріалів, а також бактерії та віруси. Такий пил може визвати як алергічну реакцію, так і захворювання дихальних шляхів.

Проблемою офісів з комп'ютерами є те, що через електромагнітне випромінювання пил не осідає на поверхні, він електризується від монітору та висить у повітрі, тому потрапляє на слизові оболонки людини та в легені. Через це вологе прибирання в офісі з ПК повинно проводитися від 3х разів на тиждень.

Також приміщення повинно провітрюватися. Усі заходи безпеки стосовно робочих місць описані у обов'язкових санітарно-епідеміологічних правилах та нормах – СанПіН 2.2.2/2.4.1340-30 «Гігієнічні вимоги до персональних електронно-обчислювальних машин та організації роботи».

Чи не найбільш важливим є освітлення приміщення та безпосередньо робочого місця, бо більшу частину інформації людина отримує через органи зору, від ступеня втоми очей залежить настрої та самопочуття людини.

Насамперед в приміщенні повинно бути штучне та природне освітлення. Для працівника робоче місце за комп'ютером повинно бути не менше 6 м², а об'єм – більше 20 м³. Має значення й обробка приміщення, а саме її коефіцієнт відображення. Нормою для стін є 0,5-0,6, для стелі 0,7-0,8, для підлоги 0,3-0,5. Для цього застосовують дифузно-відбивні комплектуючі.

Створення оптимального мікроклімату на робочому місці під час автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є важливим завданням для забезпечення здоров'я і безпеки працівників. Впровадження сучасних систем контролю температури, вологості та якості повітря, а також організаційних заходів, сприяє створенню комфортних умов праці, підвищенню

продуктивності та зниженню ризиків, пов'язаних з несприятливими виробничими умовами.

4.4. Дотримання заходів із електробезпеки на робочому місці

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції включає використання різноманітного електричного обладнання та систем управління, що потребує суворого дотримання заходів електробезпеки. Це необхідно для забезпечення безпеки працівників та запобігання нещасним випадкам, які можуть бути спричинені електричним струмом.

Система електропостачання повинна бути спроектована кваліфікованими інженерами, з урахуванням всіх стандартів і нормативних вимог. Використання тільки сертифікованого електрообладнання, яке відповідає встановленим стандартам безпеки.

Всі електричні установки та обладнання повинні бути належним чином заземлені, щоб уникнути електричних уражень. Встановлення автоматичних вимикачів, ПЗВ (пристроїв захисного відключення) та інших засобів захисту від перевантаження і короткого замикання. Електрообладнання повинно бути розташоване в місцях, де мінімальний ризик контакту з водою та іншими рідинами. Всі електричні установки повинні бути чітко марковані, щоб працівники знали, які ділянки знаходяться під напругою.

Слід передбачити проводити регулярних перевірок і технічного обслуговування електрообладнання для виявлення і усунення можливих несправностей. Проведення періодичних аудитів електробезпеки для забезпечення відповідності всіх систем вимогам безпеки.

Слід звернути увагу на навчання та інструктаж працівників. Передбачити регулярне проведення навчальних курсів та інструктажів для працівників з питань електробезпеки. Виконувати організацію практичних тренувань з

надання першої допомоги при ураженні електричним струмом та правил поведінки у разі аварійної ситуації.

Забезпечити працівників ізолюючими рукавичками, взуттям та іншими засобами захисту, що запобігають ураженню електричним струмом. Використовувати спеціального одягу, що має властивості електроізоляції, для працівників, які працюють з електричним обладнанням.

Дотримання заходів електробезпеки на робочому місці під час автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є критично важливим для забезпечення безпеки працівників і безперебійної роботи виробництва. Це включає правильне планування, використання засобів захисту, навчання працівників, регулярне обслуговування обладнання та контроль за виконанням всіх норм і стандартів електробезпеки. Тільки комплексний підхід до електробезпеки може гарантувати створення безпечних умов праці на виробництві.

4.5. Пожежна безпека

Процес копчення м'ясної продукції включає використання високих температур та наявність легкозаймистих матеріалів, що підвищує ризик виникнення пожежі. З впровадженням автоматизації цього процесу важливо приділяти особливу увагу заходам пожежної безпеки для захисту працівників, обладнання та продукції.

Пожежна безпека – комплекс заходів направлених на попередження виникнення випадкової або навмисної пожежі, обмеження та усунення його, якщо він виник та мінімізація наслідків цього явища. Для досягнення потрібного рівня безпеки про роботі з комп'ютером, у виробничому приміщенні повинні бути аптечки першої медичної допомоги, системи автоматичної пожежної сигналізації і вогнегасники. Якщо в приміщенні працюють багато комп'ютерів, там повинен бути службовий вимикач, що

дозволяє в разі необхідності вимкнути усе живлення кімнати. Пожежна безпека забезпечується пожежною профілактикою та активним пожежним захистом.

Температура, яка перевищує 100 °С під час пожежі призводить до втрати свідомості людини і подальше загибелі через декілька хвилин. Така температура може викликати опіки шкіри. Небезпечною температурою вважається від 55 °С. До того ж вона викликає опіки другого ступеня при тривалості впливу 20 с, температура 70 °С завдає шкоди за 1 с.

Для забезпечення пожежної безпеки потрібно проводити бесіди з працівниками стосовно правил пожежної безпеки та не допускати дій, які можуть стати причиною пожежі. Також потрібне встановлення планів евакуації персоналу, технічне обслуговування вогнегасників. Зазвичай причинами пожежі на підприємствах стають електроприлади, куріння в невстановлених місцях, використання легкозаймистих речовин, порушення технологій, порушення правил використання електроприладів, закриті вентиляційний отвір в електроапаратурі та інше.

Дотримання заходів пожежної безпеки під час автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є критично важливим для захисту життя і здоров'я працівників, а також для запобігання втратам матеріальних цінностей. Це включає проєктування та впровадження технічних засобів пожежної безпеки, організаційні заходи, навчання персоналу та регулярні перевірки стану обладнання. Комплексний підхід до пожежної безпеки забезпечить безпечні умови праці та ефективне функціонування виробництва.

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ
КОПЧЕННЯ М'ЯСНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції за допомогою Arduino UNO, ESP8266 та інтеграції з AWS Mobile Hub.com є обґрунтованою і доцільною інновацією. Вона дозволяє значно підвищити ефективність виробничого процесу, зменшити витрати на робочу силу, поліпшити якість продукції та забезпечити стабільність технологічних параметрів. Оцінка економічної ефективності автоматизації включає аналіз витрат на впровадження системи та розрахунок економії, яку вона приносить.

Сума інвестицій у автоматизацію (I) визначається за формулою:

$$I = C_{\text{equip}} + C_{\text{install}} + C_{\text{prog}} + C_{\text{train}}, \quad (5.1)$$

де C_{equip} – вартість обладнання (Arduino UNO, ESP8266, датчики, тощо), грн; C_{install} – витрати на встановлення та монтаж, грн; C_{prog} – витрати на розробку програмного забезпечення та інтеграцію з AWS Mobile Hub.com, грн; C_{train} – витрати на навчання персоналу, грн.

Річна економія від автоматизації (S) визначається за формулою:

$$S = (C_{\text{labour}} + C_{\text{energy}} + C_{\text{waste}} + C_{\text{quality}}) \times T_{\text{prod}}, \quad (5.2)$$

де C_{labour} – зниження витрат на оплату праці, грн; C_{energy} – зниження енергетичних витрат, грн; C_{waste} – зменшення втрат продукції, грн; C_{quality} – підвищення якості продукції та зменшення витрат на брак, грн; T_{prod} – час роботи автоматизованої системи, років.

Період окупності інвестицій (P) визначається за формулою:

$$P = \frac{I}{S}, \quad (5.3)$$

Припустимо, що індивідуальне селянське господарство планує впровадити систему автоматизації процесу копчення м'ясної продукції. Вихідні дані для розрахунку наступні. Вартість обладнання (Arduino UNO, ESP8266,

датчики) – $C_{\text{equip}}=8300$ грн. Витрати на встановлення та монтаж – $C_{\text{install}}=2500$ грн. Витрати на розробку програмного забезпечення та інтеграцію з AWS Mobile Hub – $C_{\text{prog}}=3700$ грн. Витрати на навчання персоналу – $C_{\text{train}}=1200$ грн. Зниження витрат на оплату праці – $C_{\text{labour}}=2000$ грн/рік. Зниження енергетичних витрат – $C_{\text{energy}}=2500$ грн/рік. Зменшення втрат продукції – $C_{\text{waste}}=4300$ грн/рік. Підвищення якості продукції та зменшення витрат на брак – $C_{\text{quality}}=3800$ грн/рік. Автоматизована система працюватиме протягом 5 років ($T_{\text{prod}}=5$ років).

Підставивши відповідні значення у формулу (5.1) виконаємо розрахунок суми інвестицій (I):

$$I = 8300 + 2500 + 3700 + 1200 = 15700 \text{ грн.}$$

Підставивши відповідні значення у формулу (5.2) виконаємо розрахунок річної економії (S):

$$S = (2000 + 2500 + 4300 + 3800) \times 5 = 12600 \text{ грн / рік.}$$

Підставивши відповідні значення у формулу (5.3) виконаємо розрахунок періоду окупності інвестицій (P):

$$P = \frac{15700}{12600} \approx 1.25 \text{ років.}$$

Розрахунок економічної ефективності показує, що інвестиції в автоматизацію процесу копчення м'ясної продукції окупляться приблизно за 1.25 років. Це свідчить про високу доцільність впровадження автоматизованої системи, яка не лише забезпечить суттєву економію витрат, але й покращить якість продукції та стабільність технологічного процесу.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Виконана кваліфікаційна робота стосується розробки автоматизованої системи для процесу копчення м'ясної продукції, яка забезпечить підвищення ефективності виробництва та якості кінцевого продукту для невеликих особистих селянських господарств. У роботі розглядаються основні технологічні аспекти копчення, аналізуються сучасні методи та засоби автоматизації, а також пропонується проект автоматизованої системи, адаптованої до умов малих виробництв.

Нами виконано аналіз сучасного стану копчення м'ясної продукції. Існує декілька способів теплової обробки м'ясної продукції. Для сталого розвитку технологій копчення необхідним є підбір технологічних параметрів процесу копчення таким чином, щоб продукти, що піддаються йому, не становили загрози здоров'ю людини.

Копчення є недорогою операцією, яка збільшує різноманітність продуктів для споживачів, а для переробників це додає харчовим продуктам цінність. Найчастіше коптять рибу, м'ясо та м'ясні продукти (наприклад, качку, пернату дичину, і паштети з цього м'яса, свинини, пастроми (маринована, приправлена спеціями та копчена яловича грудинка) і в'ялена яловичина). Існує чотири види копчення (рис. 1.2). Консервуюча дія гарячого копчення при 60–80°C обумовлена низкою чинників, які можна узагальнити як представлено на рис. 1.3.

Нами проаналізовано вимоги до обладнання для копчення м'ясної продукції. Коптильні печі подібні за конструкцією до камерних сушарок або печей періодичної дії, а при гарячому копченні м'ясні продукти можна сушити, варити та коптити в одному обладнанні.

Проаналізовано особливості автоматизації процесу копчення м'ясної продукції. Заслуговує на увагу пелетний гриль – Traeger. Відомий технологічний процес температурної обробки вареного м'яса пропонується розділити на окремі модулі (рис. 1.6), кожен з яких з яких описує конкретні дії,

що виконуються в ньому. Основна робота Groov RIO у запропонованій автоматизованій системі полягає в підтримці температури камери протягом усього копчення м'ясної продукції.

Автоматизація процесу копчення м'ясної продукції за допомогою Arduino UNO, ESP8266 та інтеграції з AWS Mobile Hub.com є обґрунтованою і доцільною інновацією. Вона підвищує точність контролю температури, забезпечує оперативне реагування на небезпечні зміни, оптимізує виробничі процеси, підвищує якість продукції та забезпечує зручність моніторингу через мобільні додатки. Усі ці переваги сприяють підвищенню ефективності та конкурентоспроможності виробництва копченої м'ясної продукції для потреб індивідуального селянського господарства.

Основою для автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є вугільний гриль Compact Kettle 57 см. Його у подальшому використовуватимемо як коптильню для м'ясної продукції. Виникла ідея створити систему автоматизації процесу копчення м'ясної продукції на базі Arduino, який має достатні можливості для вирішуваної задачі. При цьому можна отримати дані з датчиків температури та передавати їх через Інтернет. передбачається використання двох датчиків температури підключені до Arduino. Arduino обчислюватиме показники температури, а потім надсилатиме їх на AWS Mobile Hub.com, де зберігатиме та відстежуватиме дані.

Для збору системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції використано низку засобів, які описано нижче. До засобів, які використовувалися для складання схеми належать: вугільний гриль Weber Compact Kettle 57 см; макетна плата Breadboard Half; різні перемички; плата Arduino Uno з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P; Sparkfun Wifi Shield – це сумісний із Arduino щит для SoC ESP8266 WiFi – провідної платформи для проєктів, пов'язаних з Інтернетом речей (IoT) або WiFi; Maverick ET732 – популярний цифровий дистанційний бездротовий термометр для м'яса; стандартний дистанційний зонд для барбекю; потенціометр 10K; ПК-модуль 16×2 із контактними роз'ємами; резистор 220 кОм; резистор 1М Ом.

Основним компонентом запропонованої системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції є Arduino UNO. Це програмований мікропроцесор, який може отримувати низку цифрових і аналогових входів. Використовуючи Arduino IDE, можна написати код C, щоб керувати цими входами для читання сигналів або надсилання цифрових сигналів. У нашій системі засоби, які ми збираємося використовувати, мають аналогові входи і будуть підключені до контактів аналогового входу 0 і 1 (рис. 3.1).

Нами представлено загальний вигляд зібраної конструкції системи автоматизації процесу копчення м'ясної продукції. Незважаючи на те, що було заплановано, щоб температура надсилалася в хмару, нами запропоновано можливість підійти до пристрою та побачити поточну температуру. Для цього було підключено 2-рядковий РК-екран і підключено потенціометр для регулювання контрастності.

Пропонується створити систему якомога дешевше, тому розглядали варіант із ESP8266 – це програмований мікроконтролер із вбудованою Wi-Fi антеною. Він має власні контакти GPIO і може програмуватися через Arduino IDE. Нами подана схема підключення ESP8266.

Нами розроблено блок-схему алгоритму налаштування послідовного зв'язку між Arduino та ESP8266 для передачі даних між ними. На його основі написано відповідний код. У запропонованій блок-схемі алгоритму підключення ESP8266 до Wi-Fi насамперед виконується ініціалізація послідовного зв'язку. Наступним виконується головний цикл. Виконується передача даних між Serial і ESP8266 за допомогою функції `serialPassthrough()`. І на останньому етапі виконується передача даних.

Нами написано код взаємодії з проксі-сервером, а блок-схема його алгоритму показана на рис. 3.5. Насамперед імпортуємо модулі – `http`, `https`, `express` і `body-AWS Mobile Hubr`. Наступний крок передбачає завантаження облікових даних. Завантажуємо облікові дані AWS Mobile Hub з файлу `credentials.json`. Ініціалізуємо `Express`, налаштуємо порт і додаємо парсер тіла

запиту. Проводиться налаштування маршруту /temp. Виконується створення HTTPS запиту до AWS Mobile Hub.

Розроблені заходи із охорони праці дадуть можливість створити безпечні умови праці під час автоматизації процесу копчення м'ясної продукції.

Розрахунок економічної ефективності показує, що інвестиції в автоматизацію процесу копчення м'ясної продукції окупляться приблизно за 1.25 років. Це свідчить про високу доцільність впровадження автоматизованої системи, яка не лише забезпечить суттєву економію витрат, але й покращить якість продукції та стабільність технологічного процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беспайкова макетна плата 3.3В/5В плата живлення та з'єднувальні кабелі. URL: https://electronica.in.ua/ua/p1728510725-bespaehnaya-maketnaya-plata.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20496384634&utm_term=&utm_content=&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=x&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw97SzBhDaARIsAFHXUWD5Yg2ZieiZUpTaccTAy1O5DcH3C9BZ8fLelmiYStHHAAY4jjCgLFUaAnVXEALw_wcB
2. Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2022. 300 с.
3. Бондаренко М. П. Основи автоматичного управління: Навчальний посібник. К.: Видавничий центр «Академія», 2006. 320 с.
4. Вугільний гриль Compact Kettle 57 см. URL: <https://grillhouse.ua/vuhilnyi-hryl-compact-kettle-57-sm/>
5. Гринь О.М., Іванов В.І., Кохан Б.А. Системи автоматичного управління: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 422 с.
6. Джерело І. І. Автоматизація технологічних процесів та виробництва: підручник. Х.: Видавництво «Фактор», 2011. 272 с.
7. ДСТУ 4435:2005. Видання. Ковбаси напівкопчені. Загальні технічні умови. [Чинний від 2006-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2006. 28 с.
8. Керівництво по виготовленню плати в домашніх умовах. URL: <https://cxem.net/master/12.php>
9. Курган Б.І., Калиниченко В.П. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва: Навчальний посібник. К.: Видавництво «Українські технології», 2010. 320 с.

10. Лагунова І.А., Кузьмін О.В., Цибульський Р.Б. Теорія автоматичного регулювання: підручник. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2013. 478 с.
11. Лемішка, О. М. Організація охорони праці в умовах автоматизації виробничих процесів : навчальний посібник. Київ : Видавничий дім «Слово», 2018. 256 с.
12. Лозовський А.П. Основи технологічного проектування промислових підприємств переробних галузей. Суми: Університетська книга, 2014. 320 с.
13. Огляд Maverick ET 732 – Термометр для м'яса з подвійним зондом з великим діапазоном дії. URL: <https://www.foodfirefriends.com/maverick-et732-redi-chek-review/#overview-of-the-maverick-redi-check-et-732-wireless-thermometer>
14. Одарченко М.С. Охорона праці на підприємствах харчування. Харків: ХДАТОХ, 2001. 444 с.
15. AFOS, 2016. Fish Smoking Kilns. AFOS. Available at: www.afosgroup.com/food/products/details/ak-kilns
16. Arduino Uno Rev3. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
17. Arvanitoyannis, I.S.; Kotsanopoulos, K.V. Smoking of fish and seafood: History, methods and effects on physical, nutritional and microbiological properties. Food Bioprocess. Technol. 2012, 5, 831–853.
18. Automated Concepts. Rapid prototyping for simple (and delicious) connected control. Available at: <https://www.opto22.com/products/groov-case-studies/case-study-automated-concepts>
19. Bax, M.-L.; Aubry, L.; Ferreira, C.; Daudin, J.-D.; Gatellier, P.; Rémond, D.; Santé-Lhoutellier, V. Cooking temperature is a key determinant of in vitro meat protein digestion rate: Investigation of underlying mechanisms. J. Agric. Food Chem. 2012, 60, 2569–2576.

20. Bhat, Z.F.; Morton, J.D.; Bekhit, A.E.; Kumar, S.; Bhat, H.F. Thermal processing implications on the digestibility of meat, fish and seafood proteins. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2021, 20, 4511–4548.

21. Cytron_ESPWiFi_Shield_Library. URL: <https://github.com/CytronTechnologies/CytronWiFiShield?tab=readme-ov-file>

22. European Commission Regulation (EU) 1321/2013 of 10 December 2013 on Establishing the Union List of Authorized Smoke Flavoring Primary Products for Use as such in or on Foods and/or for the Production of Derived Smoke Flavorings. Available online: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2013/1321/oj.

23. European Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on Maximum Levels for Certain Contaminants in Food. Available online: <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj>.

24. European Commission Regulation (EU) 835/2011 of 19 August 2011 Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as Regards Maximum Levels for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Foodstuffs. Available online: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/835/oj>.

25. European Parliament Regulation and of the Council (EC) No 2065/2003 of 10 November 2003 on Smoke Flavorings Used or Intended for Use in or on Foods. Available online: <http://data.europa.eu/eli/reg/2003/2065/2021-03-27>.

26. Fardet, A.; Rock, E. Ultra-Processed Foods and Food System Sustainability: What Are the Links? *Sustainability* 2020, 12, 6280.

27. Goñi, S.M.; Salvadori, V.O. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. *J. Food Eng.* 2010, 100, 1–11.

28. Ivenso I.D., Wejinya U. Automation of temperature system for formed meat products: A simulation approach. *IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*. 2012. DOI:10.1109/CYBER.2012.6392532

29. Onopiuk, A.; Kołodziejczak, K.; Szpicer, A.; Wojtasik-Kalinowska, I.; Wierzbicka, A.; Półtorak, A. Analysis of factors that influence the PAH profile and

amount in meat products subjected to thermal processing. *Trends Food Sci. Technol.* 2021, 115, 366–379.

30. Racovita, R.C.; Secuianu, C.; Ciuca, M.D.; Israel-Roming, F. Effects of smoking temperature, smoking time, and type of wood sawdust on polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation levels in directly smoked pork sausages. *J. Agric. Food Chem.* 2020, 68, 9530–9536.

31. Singh, L.; Varshney, J.G.; Agarwal, T. Polycyclic Aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food. *Food Chem.* 2016, 199, 768–781.

32. SparkFun WiFi Shield – ESP8266. URL: <https://www.sparkfun.com/products/13287>

33. The ultimate guide to smoking meat, fish, vegetables, and more. Available at: <https://www.traeger.com/learn/smoking-meat-guide>

34. AWS Mobile Hub – Build, Test, and Monitor Mobile Applications. URL: <https://aws.amazon.com/blogs/aws/aws-mobile-hub-build-test-and-monitor-mobile-applications/>

Додатки

Додаток А

Код для налаштувань за замовчуванням для мережевої конфігурації в ESP8266 на SparkFun Wifi Shield, використовуючи Arduino як послідовний порт

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial esp8266(8,9);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  esp8266.begin(9600);
}

void loop()
{
  serialPassthrough();
}

void serialPassthrough()
{
  while (Serial.available())
    esp8266.write(Serial.read());
  while (esp8266.available())
    Serial.write(esp8266.read());
}
```

Код для зчитування даних про температуру з двох датчиків, використовуючи A0 та A1 і надсилання даних на проксі-сервер за допомогою ESP8266 (Поточні температури відображаються на 2-рядковому РК-дисплеї)

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal.h>

// External lib config
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
SoftwareSerial esp8266(8,9);

// Generic config
#define TEMP_READ_DELAY 10000 // 10 seconds between temp reading
#define BAUD_RATE 9600 // Baudrate for serial monitor and ESP

// Proxy Server configs
const char destServer[] = "192.168.1.9";
const uint16_t destPort = 8050;
const String postEndpoint = "/temp";

// Temperature Probes
#define TEMPERATURENOMINAL 25
#define NUMSAMPLES 10 // Number of samples to smooth input

#define FOOD_PIN 0
#define FOOD_THERMISTORNOMINAL 192000 // resistance at 25 degrees C
#define FOOD_BCOEFFICIENT 4250 // The beta coefficient of the thermistor
#define FOOD_SERIESRESISTOR 220000 // the value of the 'other' resistor

#define GRILL_PIN 1
#define GRILL_THERMISTORNOMINAL 1000000 // resistance at 25 degrees C
#define GRILL_BCOEFFICIENT 4800 // The beta coefficient of the thermistor
#define GRILL_SERIESRESISTOR 1000000 // the value of the 'other' resistor

// ESP8266 Config
// Lots of this was pulled from https://github.com/sparkfun/SparkFun_ESP8266_AT_Arduino_Library

#define ESP8266_RX_BUFFER_LEN 128 // Number of bytes in the serial receive buffer
char esp8266RxBuffer[ESP8266_RX_BUFFER_LEN];
```

```

unsigned int bufferHead; // Holds position of latest byte placed in buffer.

// Define out the AT commands we're going to use to setup the wifi connection and
// send the data
const char ESP8266_OPEN_CONNECTION[] = "AT+CIPSTART";
const char ESP8266_SEND_CONNECTION[] = "AT+CIPSEND";
const char ESP8266_CLOSE_CONNECTION[] = "AT+CIPCLOSE";
const char ESP8266_CHANGE_MUX[] = "AT+CIPMUX";
// What to look for to know the previous command was sent correctly
const char RESPONSE_OK[] = "OK\r\n";

const int DEFAULT_TIMEOUT = 5000; // Timeout for an AT command before we call it a failure
const int SEND_COMMAND_DELAY = 100; // Just a delay between AT commands to help avoid issues

const boolean debugMode = false; // Enable this to see all the AT commands and responses happening in the monitor

float samples[NUMSAMPLES];

void setup() {
  Serial.begin(BAUD_RATE);
  esp8266.begin(BAUD_RATE);
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop() {

  // ** General flow **
  // 1) Get analog reading from pin
  // 2) Convert the analog input to resistance
  // 3) Calculate degrees C from the resistance
  // 4) Convert that to F
  // 5) Write those values to lcd
  // 6) Send them to a server
  // 7) Wait x seconds and repeat

  float foodAverage = sampleTempData(FOOD_PIN, NUMSAMPLES);
  float foodResistance = convertAnalogToResistance(foodAverage, FOOD_SERIESRESISTOR);
  float foodDegC = calculateCFromResistance(foodResistance, FOOD_THERMISTORNOMINAL, FOOD_BCOEFFICIENT,
TEMPERATURENOMINAL);
  float foodDegF = convertCtoF(foodDegC);

```

```

float grillAverage = sampleTempData(GRILL_PIN, NUMSAMPLES);
float grillResistance = convertAnalogToResistance(grillAverage, GRILL_SERIESRESISTOR);
float grillDegC = calculateCFromResistance(grillResistance, GRILL_THERMISTORNOMINAL, GRILL_BCOEFFICIENT,
TEMPERATURENOMINAL);
float grillDegF = convertCtoF(grillDegC);

// Update temps on display
writeTempDatatoSerial(grillDegF, foodDegF);
writeTempToDisplay(grillDegF, foodDegF);

// Send those two temps to your server of choice
sendDataToServer(grillDegF, foodDegF);

Serial.println("-----");

delay(TEMP_READ_DELAY);
}

/**
 * Samples the analog input numSamples number of times to smooth out the final value
 */
float sampleTempData(int pin, int numSamples){
  uint8_t i;
  float average;

  // take N samples in a row, with a slight delay
  for (i=0; i< numSamples; i++) {
    samples[i] = analogRead(pin);
    delay(10);
  }

  // average all the samples out
  average = 0;
  for (i=0; i< numSamples; i++) {
    average += samples[i];
  }
  average /= numSamples;

  Serial.print("Average analog reading ");

```



```

Serial.println(average);

return average;
}

/**
 * Helper method to convert analog data to resistance. Taken from https://learn.adafruit.com/thermistor/using-a-thermistor
 */
float convertAnalogToResistance(float avg, long resistor){
  avg = 1023 / avg - 1;
  avg = resistor / avg;
  Serial.print("Thermistor resistance ");
  Serial.println(avg);
  return avg;
}

/**
 * Helper method to calculate C from a resistance. This taken from https://learn.adafruit.com/thermistor/using-a-thermistor
 */
float calculateCFromResistance(float resistance, long thermNominal, int coefficient, int tempNominal){
  float steinhart;
  steinhart = resistance / thermNominal; // (R/Ro)
  steinhart = log(steinhart); // ln(R/Ro)
  steinhart /= coefficient; // 1/B * ln(R/Ro)
  steinhart += 1.0 / (tempNominal + 273.15); // + (1/To)
  steinhart = 1.0 / steinhart; // Invert
  steinhart -= 273.15; // convert to C
  return steinhart;
}

/**
 * Converts C to F
 */
float convertCtoF(float degC){
  return degC * (9.0/5.0) + 32.0;
}

/**

```

```

* Log the temps to the serial monitor
*/
void writeTempDatatoSerial(float temp1, float temp2){
  Serial.print("Grill: ");
  Serial.println(temp1, 2);
  Serial.print("Food: ");
  Serial.println(temp2, 2);
}

/**
* Log the temps to the LCD Display
*/
void writeTempToDisplay(float temp1, float temp2){
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Grill: ");
  lcd.print(temp1, 2);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Food: ");
  lcd.print(temp2, 2);
  lcd.print(" ");
}

/**
* Sends the two temps to the server you've defined. They get
* POST'd as:
* 'foodTemp=100.0&grillTemp=250.0
*/
void sendDataToServer(float grillTemp, float foodTemp){

  // Construct POST headers
  String httpPost = "POST " + postEndpoint + " HTTP/1.1\r\n";
  httpPost += "Host: " + String(destServer) + "\r\n";
  httpPost += "Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\r\n";
  httpPost += "Connection: close\r\n";

  // Construct POST Data
  String params = "foodTemp=" + String(foodTemp) + "&grillTemp=" + String(grillTemp);
  String contentLength = "Content-Length: " + String(params.length()) + "\r\n\r\n";
  // Combine them

```

```

httpPost += contentLength + params;

// Ensure we're in single connection mode. The ESP supports multi connections, but for simplicity's sake
// we're going to stay serial here and only do one connection at a time
sendCommand(ESP8266_CHANGE_MUX, "0");
int resp = readForResponse(RESPONSE_OK, DEFAULT_TIMEOUT);

delay(SEND_COMMAND_DELAY); // Pause between commands

// Open connection to proxy server
String connection = "\"TCP\", \"" + String(destServer) + "\", " + String(destPort);
char buf[connection.length()+1];
connection.toCharArray(buf, connection.length() + 1);
sendCommand(ESP8266_OPEN_CONNECTION, buf);
resp = readForResponse(RESPONSE_OK, DEFAULT_TIMEOUT);

delay(SEND_COMMAND_DELAY);

// Tell the ESP how much data we're about to send it
String postLength = String(httpPost.length());
char charBuf[postLength.length()+2];
postLength.toCharArray(charBuf, postLength.length()+2);

sendCommand(ESP8266_SEND_CONNECTION, charBuf);
resp = readForResponse(">", DEFAULT_TIMEOUT);

delay(SEND_COMMAND_DELAY);

// Once we get the '>', we're ready to send out character buffer to the ESP
esp8266.print(httpPost);

// Wait for an OK and we're good!
resp = readForResponse("200 OK", DEFAULT_TIMEOUT);

if (resp > 0){
  Serial.println("Saved temp to server");
}
}

/**

```

```

* Wrapper method to support sendCommand without params
*/
void sendCommand(const char * cmd){
    sendCommand(cmd, NULL);
}

/**
* Sends an AT command with params over the software serial
*/
void sendCommand(const char * cmd, const char * params){
    if (debugMode){
        Serial.println("SENDING:" + String(cmd) + ", PARAMS: " + String(params));
    }
    esp8266.print(cmd);
    if (params){
        esp8266.print("=");
        esp8266.print(params);
    }
    esp8266.print("\r\n");
}

/**
* Waits to receive a response on the software serial. If the response is found, it'll
* return the count of received data. Heavily borrowed from
https://github.com/sparkfun/SparkFun\_ESP8266\_AT\_Arduino\_Library
*/
int16_t readForResponse(const char * rsp, unsigned int timeout){
    unsigned long timeIn = millis(); // Timestamp coming into function
    unsigned int received = 0; // received keeps track of number of chars read

    clearBuffer(); // Clear the class receive buffer (esp8266RxBuffer)
    while (timeIn + timeout > millis()){
        // If data is available on UART RX
        if (esp8266.available()) {
            received += readByteToBuffer();
            if (searchBuffer(rsp)){
                if (debugMode){
                    logATResponse(received);
                }
            }
        }
        return received; // Return how number of chars read
    }
}

```

```

    }
}
}

int16_t errorCode;
if (received > 0) // If we received any characters
    errorCode = -2; // Return unknown response error code
else // If we haven't received any characters
    errorCode = -1; // Return the timeout error code

logATResponse(errorCode);
return errorCode;
}

/**
 * Logs detail around the AT command to the serial monitor
 */
void logATResponse(int resp){
    if (resp > 0){
        Serial.println("AT COMMAND OK");
        Serial.println("*****");
        Serial.println(esp8266RxBuffer);
        Serial.println("*****");
    } else {
        Serial.println("AT COMMAND FAILED WITH CODE: " + String(resp));
        Serial.println("*****");
        Serial.println(esp8266RxBuffer);
        Serial.println("*****");
    }
}

/**
 * Helper method to convert an int to a char *
 */
char * convertToString(int val){
    String s = String(val);
    Serial.println("S:" + s);
    int strlen = s.length();
    Serial.println("L:" + String(strlen));
    char buf[strlen+1]; // Include null thing

```

```

s.toCharArray(buf, strlen+1);
Serial.println("buf:" + String(buf));
return buf;
}

/**
 * Clears the ESP buffer. Taken from https://github.com/sparkfun/SparkFun\_ESP8266\_AT\_Arduino\_Library
 */
void clearBuffer(){
  memset(esp8266RxBuffer, '\0', ESP8266_RX_BUFFER_LEN);
  bufferHead = 0;
}

/**
 * Reads the ESP data. Taken from https://github.com/sparkfun/SparkFun\_ESP8266\_AT\_Arduino\_Library
 */
unsigned int readByteToBuffer(){
  // Read the data in
  char c = esp8266.read();

  // Store the data in the buffer
  esp8266RxBuffer[bufferHead] = c;
  //! TODO: Don't care if we overflow. Should we? Set a flag or something?
  bufferHead = (bufferHead + 1) % ESP8266_RX_BUFFER_LEN;

  return 1;
}

/**
 * Searches the string buffer for a specific string to be found. Typically so we know the response
 * was OK
 */
char * searchBuffer(const char * test){
  int bufferLen = strlen((const char *)esp8266RxBuffer);
  // If our buffer isn't full, just do an strstr
  if (bufferLen < ESP8266_RX_BUFFER_LEN){
    return strstr((const char *)esp8266RxBuffer, test);
  } else { //! TODO
    // If the buffer is full, we need to search from the end of the
    // buffer back to the beginning.

```

```

int testLen = strlen(test);
for (int i=0; i<ESP8266_RX_BUFFER_LEN; i++){

}
}
}

```

Код для взаємодії із проксі-сервером

```

var http = require('http'),
    https = require('https'),
    express = require('express'),
    bodyParser = require('body-parser');

var AWSCredentials = require('./credentials.json');

var AWS_API_URL = 'api.aws.com';
var AWS_API_PORT = 443;
var AWS_CLASS_ENDPOINT = '/1/classes/';
var AWS_CLASS_NAME = 'TempData';
var EXPRESS_PORT = 8050;

// Ensure we have credentials before starting up

var error = false;
if (!AWSCredentials.awsAppId) {
    console.error('awsAppId is required in credentials.json');
    error = true;
} else {
    var awsAppId = AWSCredentials.awsAppId;
}
if (!AWSCredentials.awsRestId) {
    console.error('awsRestId is required in credentials.json');
    error = true;
} else {
    var awsRestId = AWSCredentials.awsRestId;
}
if (error) {
    process.exit(1);
}

```

```
}

var app = express();
app.set('port', process.env.PORT || EXPRESS_PORT);
app.use(bodyParser.urlencoded({ extended: false }));

// Add a status endpoint to ensure server is running

app.get('/status', function (req, res) {
  var now = new Date();
  console.log(now);
  console.log(req.headers);
  res.set({
    'Content-Type': 'text/plain;charset=utf-8',
    'Content-Length': 21
  });
  res.send('Server up and running');
});

// POST /temp to handle temperatures coming into proxy to forward to AWS

app.post('/temp', function (req, res) {
  console.log(req.headers);
  res.useChunkedEncodingByDefault = false;
  // Create an object of the temperatures from the Arduino
  var post = {
    grillTemp: req.body.grillTemp,
    foodTemp: req.body.foodTemp
  };
  var postData = JSON.stringify(post);

  console.log('Sending foodTemp: ' + post.foodTemp + ', grillTemp: ' + post.grillTemp + ' to AWS');

  // Setup the headers AWS wants us to send
  var options = {
    hostname: AWS_API_URL,
    headers: {
      'X-Application-Id': awsAppId,
      'X-REST-API-Key': awsRestId,
      'Content-Type': 'application/json',
    }
  }
}
```



```
        'Content-Length': postData.length
    },
    port: AWS_API_PORT,
    path: AWS_CLASS_ENDPOINT + AWS_CLASS_NAME,
    method: 'POST'
};

// Create an HTTPS request to AWS
var req = https.request(options, function (res) {
    res.on('data', function (d) {
        process.stdout.write(d);
    });
});
req.write(postData);
req.end();

req.on('error', function (e) {
    console.error(e);
});

// Just send something to client for now, we don't really care about what happened
res.send('saved');
});

// Startup proxy

http.createServer(app).listen(app.get('port'), function () {
    console.log('Express server listening on port ' + app.get('port'));
});
```