

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

НУБІП України

УДК 602.1: 621.927

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

Завідувач кафедри автоматики та
робототехнічних систем

ім. акад. І. І. Мартиненка

В. В. Каплун

В. П. Лисенко

2023 р.

2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

НУБІП України

02.06.- КМР.323"С".23.03.06.012.НЗ

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗАЦІЇ
ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗАМОРОЖЕНИХ М'ЯСНИХ
ВИРОБІВ»**

НУБІП України

Спеціальність: 151- «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Магістерська програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Гарант освітньої програми

І.М. Болбот, д.т.н., професор

Виконав

Д.В. Примак

Керівники магістерської роботи

А.А. Руденський

КИЇВ – 2023

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичних та
робототехнічних систем
ім. акад. І. І. Мартиненка
проф., д.т.н. В. П. Лисенко

” ” 2023 р.

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Примаку Денису Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 151– «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Магістерська програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Програма підготовки: Освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: Дослідження та розробка автоматизації процесу
подрібнення заморожених м'ясних виробів

Затверджена наказом ректора НУБіП України від «06» 03 2023 р. № 323 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «05» 11 2023 р.

Вихідні дані до магістерської роботи: Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної
магістерської роботи. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

Матеріали дослідження і аналізу. Наукова література з тематики кваліфікаційної
магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічних характеристик виробничого об'єкта.
2. Моделювання та дослідження технологічного процесу.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштування.
4. Дослідження системи автоматизації.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Оцінка економічної ефективності САК
7. Техніка безпеки та охорона праці.

Перелік графічного матеріалу: Графічна презентація.

Дата видачі завдання

«06» 03 2023 р.

Керівники магістерської роботи

Руденський А.А.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

Примак Д.В.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній магістерській роботі розглядається процес подрібнення заморожених м'ясних виробів на предмет визначення енергоефективних технологічних режимів роботи роторних ножів, технічних параметрів системи подрібнення.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є удосконалення системи автоматичного керування подрібнення заморожених м'ясних виробів із використанням комплексу технічних засобів Schneider Electric, що

забезпечить зниження енерговитрат шляхом досягнення оптимального навантаження на роторні ножі блокорізки.

У роботі використовуються наступні задачі:

- побудовано математичну модель досліджуваного об'єкту та проведено імітаційне моделювання;

- отримано передатну функцію об'єкту керування;

- обрано сприймаючі елементи, виконавчий механізм та регулюючий орган розроблюваної САК навантаження на вал ротору;

- розроблено алгоритм роботи системи та обрано програмне забезпечення;

- досліджено отриману САК подрібнення заморожених м'ясних виробів на стійкість та отримані показники якості, які задовольняють вимогам до розроблюваної САК;

- розроблено схеми підключень (з'єднань) засобів КВПіА та технологічного обладнання;

- обраховано доцільність монтажу системи автоматизації.

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

ВСТУП..... 6

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА..... 7

1.1. Інформаційний аналіз технології обробки м'яса.....	7
1.2. Сучасна практика переробки замороженої м'ясної сировини.....	16
1.2.1. Розморожування блоків.....	16
1.2.2. Подрібнення блоків без попереднього розморожування.....	24
1.3. Опис об'єкта управління та стан його автоматизації.....	29

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ..... 34

2.1. Моделювання динаміки різання м'ясної сировини та інформаційний аналіз процесу.....	34
2.3. Аналіз динаміки та визначення передатної функції об'єкта керування.....	42
2.4. Визначення передатної функції об'єкта керування.....	45

РОЗДІЛ 3 ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБКРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ..... 47

3.1. Вибір регулятора.....	48
3.2. Вибір сприймаючих елементів системи автоматичного керування процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів.....	52
3.3. Вибір виконавчих механізмів системи автоматичного керування процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів.....	55

3.4. Вибір алгоритму управління та розробки функціональної та структурної схеми САК.....	60
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 62	62

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СХЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ	5 67
5.1. <i>Розробка схем погодження між зовнішніми пристроями та програмованим логічним контролером</i>	67
5.2. <i>Розробка принципової схеми</i>	70
5.3. <i>Розробка схеми з'єднань</i>	73
5.4. <i>Розробка схеми підключень</i>	75
5.5. <i>Вибір апаратів захисту та керування</i>	77
5.6. <i>Розрахунок надійності системи автоматичного керування</i>	84
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	85
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОХОРОНА ПРАЦІ	87
7.1. <i>Загальні правила техніки безпеки на м'ясокомбінаті</i>	87
7.2. <i>Охорона навколишнього середовища</i>	88
ВИСНОВКИ	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
ДОДАТОК А	94

ВСТУП

НУБІП України

На м'ясопереробних підприємствах приблизно 70 % використаної

сировини становить заморожене м'ясо у вигляді заморожених блоків м'яса.

Найбільш перспективним методом подальшої переробки є відправити на механічне подрібнення не розморожуючи або попереднє розморожування

блоків призводить до втрати м'ясного соку, і це позначається на якості продукції, що випускається. Також найчастіше технологічні інструкції на

виробництво рубаних напівфабрикатів, різних ковбас допускають або вимагають підтримки температури фаршу нижче 0 °С, що говорить про певні переваги подрібнення без проведення розморожування

Для того, щоб досягти найкращих показників при подрібненні замороженої м'ясої сировини та не допустити перевантаження валу ротора необхідно опізнати силу з якою блоки подаються на подрібнення.

Завдяки новітнім системам можна значно покращити можливості системи автоматичного керування блокорізом.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Інформаційний аналіз технології обробки м'яса.

Під час переробки сільськогосподарських тварин і птиці отримують сировину для виробництва продукції харчового, технічного, кормового та медичного призначення. Найбільшу питому вагу займає харчова сировина.

Вихід і якість продуктів забою залежать від багатьох чинників: виду тварини, породи, віку, умов годівлі та утримання, передзабойної підготовки, технології переробки тощо.

Під м'ясом розуміють туші та їхні частини, одержувані під час забою худоби; до складу м'яса входять м'язова, жирова, кісткова, сполучна тканини та кров. Тканиною називають групу клітин, однакових за морфологічною будовою, які виконують спеціальну функцію й об'єднані міжклітинною речовиною. Будова, склад і властивості тканин різні. Властивості і кількісне співвідношення тканин визначають якість м'яса.

Харчова цінність м'яса та м'ясопродуктів залежить від умісту білків, жирів, вуглеводів, екстрактивних речовин, вітамінів, макро- і мікроелементів, а також набору і умісту в білкових речовинах незамінних амінокислот, а в жири - ненасичених жирних кислот.

Співвідношення м'язової, жирової, сполучної та кісткової тканин широко варіює не тільки в різних видах м'яса, а й у межах одного ного виду. Хімічний склад м'яса дуже складний і загалом характеризується складом основних тканин.

М'язова тканина. Будова м'язової тканини. У тваринному організмі м'язова тканина посідає за масою перше місце; так, на її частку припадає понад 40 % маси тварини. М'язова тканина бере участь у кровообігу, диханні та інших важливих фізіологічних функціях.

За морфологічною будовою розрізняють два типи м'язової тканини: поперечносмугасту та гладку. До поперечносмугастих м'язів належить скелетна мускулатура; гладкі м'язи знаходяться в стінках травного тракту,

діафрагми, кровоносних судин. За поживними і смаковими якостями поперечносмугаста скелетна мускулатура – найважливіший компонент м'яса та м'ясопродуктів.

М'язова тканина складається зі складних витягнутих клітин – м'язових волокон.

Між м'язовими волокнами знаходяться тонкі прошарки міжклітинної речовини, що складається з волокон сполучної тканини – волоконцець і безструктурної желеподібної речовини. М'язові волокна з'єднані у пучки, що утворюють окремі м'язи.

М'язи вкриті щільними плівками зі сполучної тканини – фасціями.

Між пучками та волокнами проходять і розгалужуються судини та нерви.

М'язове волокно переважає в м'язовій тканині. Довжина його клітин може досягати 15 см. Поверхня м'язового волокна вкрита еластичною оболонкою – сарколемою. Більшу частину об'єму м'язових клітин (60...65%)

займають міофібрили – довгі тонкі нитки, які зібрані в пучки і розташовані паралельно осі волокна. Міофібрили поперечносмугастої мускулатури складаються з темних і світлих ділянок (дисків), що чергуються. Оптична неоднорідність дисків зумовлюється їхньою різною будовою та білковим складом.

Диски різних міофібрил розташовані в строгому порядку (темні проти темних, світлі проти світлих), що загалом надає волокну поперечної покресленості.

Хімічний склад м'язової тканини. У м'язовій тканині містяться (у %):

вода – 70...75, білки – 18...22, ліпіди – 2...3, азотисті екстрактивні речовини – 1...1.7, безазотисті екстрактивні речовини – 0.7...1.35, неорганічні солі – 1...1.5, вуглеводи – 0.5...3, а також ферменти та вітаміни.

Білки. На частку білкових речовин припадає 60...80% сухого залишку, або 18...22% маси м'язової тканини. З білків м'язової тканини

побудовані структурні компоненти клітин (саркоплазма, сарколема, міофібрили, органели) і міжклітинні речовини.

Білки м'язової тканини поділяють на розчинні у воді (білки саркоплазми), розчинні в сольових розчинах (білки міофібрил) і нерозчинні у

водно-сольових розчинах (так звані білки строми, що входять до складу сарколеми і внутрішньої м'язової сполучної тканини, а також білки ядер).

Білки саркоплазми становлять 20...25 % м'язових білків. До них належать міоген, міоальбумін, глобулін X і міоглобін. За винятком міоглобіну, це складні суміші білкових речовин зі схожими фізико-хімічними

та біологічними властивостями. За розчинністю і висмоктваністю міоген досить близький до альбумінів, а міоальбумін - типовий альбумін. Глобулін X є псевдоглобуліном, оскільки він розчиняється за незначної концентрації

солей і невеликої кількості неорганічних солей (1...1.5 %); у самій м'язовій

тканині їх достатньо, щоб під час вилучення водою глобулін X перейшов у розчин. Міоглобін також водорозчинний білок. Таким чином, білки саркоплазми в основному водорозчинні.

Міоген, міоальбумін і глобулін X належать до простих білків. Ці білки повноцінні й добре засвоюються. Ізоелектрична точка міогенової фракції відповідає рН 6.0...6.7, міоальбуміну - 3...3.5, глобуліну X - 5.2.

Міоглобін легко з'єднується з деякими газами (O_2 , CO, NO та ін.), при цьому валентність заліза не змінюється й утворюються похідні міоглобіну:

оксиміоглобін (MbO_2) ало-червоного кольору, карбоксиміоглобін ($MbCO$) вишнево-червоного кольору і нітрозоміоглобін ($MbNO$) червоного кольору.

За дії сильних окисників (кисню, пероксиду водню тощо) залізо гематерміоглобін має червоно-червоний колір. (ін.) залізо-гема втрачає один

електрон і переходить у тривалентний стан. Унаслідок такого окислення міоглобін переходить у метміоглобін (MMb) коричневого кольору.

Метміоглобін може бути відновлений у міоглобін тільки під дією сильних відновників, наприклад, аскорбінової кислоти. Під час взаємодії з

сірководнем, у присутності кисню утворюється сульфоміоглобін - пігмент

зеленого кольору. Кухонна сіль прискорює процес, тому під час посолу м'язова тканина втрачає природне забарвлення і набуває сіро-коричневого з різними відтінками.

Незважаючи на невеликий вміст у м'язах (близько 1 % білків), міоглобін відіграє важливу роль: він бере участь у передаванні кисню, що постачається кров'ю, клітинам м'язової тканини. Міоглобін - повноцінний білок; його ізоелектрична точка відповідає рН 7.0.

Білки міофібрил – міозин, актин, актоміозин, тропоміозин тощо – становлять близько 80 % м'язових білків. Вони беруть участь у скороченні м'язів.

На частку міозину припадає близько 40 % білків м'язової тканини; він належить до фібрилярних білків, має витягнуту форму. Ізоелектрична точка міозину відповідає рН 5.4. Велика кількість полярних груп і фібрилярна форма молекул зумовлюють значну гідратацію міозину (здатність утримувати велику кількість води). Молекули міозину легко з'єднуються між собою та з іншими білками, зокрема, з актином вони утворюють сполуку актоміозин. Міозин - повноцінний білок, він добре засвоюється.

Актин становить 12... 15 % м'язових білків. Існують дві форми актину: глобулярна (Г-актин) і фібрилярна (Ф-актин), що переходять одна в іншу. Їхні фізико-хімічні властивості різко різняться.

Актоміозин - комплексний білок. При його утворенні молекули міозину прикріплюються голівками до намистинок актину через Н-групи міозину та ОН-групи актину. Актоміозин нерозчинний у воді, його розчин відрізняється високою в'язкістю, яка залежить від співвідношення актину і міозину: чим більше міститься актину, тим вища в'язкість.

На частку тропоміозину припадає 10...12 % білків міофібрил, або 2.5 % білків м'язів. Він розчинний у воді, але з м'язової тканини водою не витягується, що свідчить про його зв'язок із нерозчинними у воді білками міофібрил. Тропоміозин взаємодіє з Ф-актином і бере участь у скороченні

м'язів. Тропоміозин - білок неповноцінний, оскільки не містить триптофану. Його ізоелектрична точка відповідає рН 5.1.

У міофібрилах виявлено тропонін, актинін та інші білки, які також належать до скоротливих.

Білки стріми входять до складу сарколеми та пухкої сполучної тканини, що об'єднує м'язові волокна в пучки та білки ядер. Ці білки не розчиняються у водно-сольових розчинах. До них належать білки сполучної

тканини: склеропротеїни - колаген, еластин і ретикулін, та глікопротеїни.

теїди - муцини та мукоїди. Останні являють собою слизові білки, що виконують захисні функції та полегшують ковзання м'язових пучків. Ці білки витягують лужними розчинами.

Ліпіди. Ліпіди м'язової тканини представлені жирами і фосфоліпідами, а стериди - вільним і зв'язаним холестерином. Ліпіди, що

входять до складу м'язової тканини, виконують кілька функцій. Частина їх, в основному фосфоліпіди, являють собою пластинний матеріал, вони є компонентами мітохондрій, міофібрил і клітинних мембран.

Інші ліпіди виконують роль резервного енергетичного матеріалу. Такі ліпіди, головним чином, жири, містяться в саркоплазмі м'язового волокна у вигляді найдрібніших крапельок, що надає їй мутного вигляду. У великій кількості ліпіди містяться в міжклітинному просторі, між пучками м'язів у прошарках сполучної тканини. Вміст ліпідів та їхніх компонентів у м'язовій тканині коливається в широких межах і залежить від вгодованості, виду, віку, статі тварини та інших чинників.

Вуглеводи. Кількість вуглеводів у м'язовій тканині порівняно невелика. Вони представлені головним чином глікогеном (тваринним крохмалем) і глюкозою. Вміст глікогену в м'язах залежить від вгодованості тварини: у м'язах погано вгодованих, виснажених, голодних і хворих тварин його в 2...3 рази менше, ніж у м'язах тварин, що перебувають в нормальному фізіологічному стані. Крім того, у м'язах, що посилено працюють, глікогену майже в 1.5 раза більше, ніж у м'язах, що мало працюють.

У м'язах тварин одразу після забою міститься 0.3-0.9% (іноді до 2%) глікогену і 0.5% глюкози.

Мінеральні речовини. У м'язовій тканині присутні мінеральні речовини. Вміст їх у м'язовій тканині великої рогатої худоби наведено в

табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Вміст мінеральних речовин у м'язовій тканині великої рогатої худоби

Мінеральна речовина	Відсотковий вміст
Фосфор	0.20
Калій	0.34
Магній	0.019
Залізо	0.0027
Натрій	0.065
Цинк	0.0034
Кальцій	0.01
Алюміній	0.0005
Мідь	0.00011
Свинець	0.008
Марганець	0.000024
Хром	0.011
Кобальт	0.000004
Фтор	0.03
Молібден	0.0075
Йод	0.014
Нікель	0.008

Порівняно з іншими мікроелементами особливо багато в м'язовій тканині калію і фосфору. Значна частка калію і кальцію пов'язана з білками.

Взаємодія калію, магнію і кальцію з актином, міозином і АТФ має важливе значення в процесах скорочення і розслаблення міофібрил.

Вітаміни. У м'язовій тканині є майже всі водорозчинні вітаміни, але, практично, відсутній вітамін С. У ліпідній частині м'язів міститься невелика кількість вітамінів А (2...10.4 %) і D (10...6 %). Кількість вітамінів залежить від виду тварин та їхнього стану.

Екстрактивні речовини. Під час обробки водою з м'язової тканини екстрагується низка органічних речовин (крім білків і ліпідів), їх називають екстрактивними.

Розрізняють азотисті та безазотисті екстрактивні речовини. До безазотистих екстрактивних речовин належать вуглеводи, продукти їхнього обміну, а також вітаміни й органічні фосфати. Продуктами обміну вуглеводів є глюкоза, мальтоза та органічні кислоти (молочна, піровиноградна,

бурштинова тощо). Найбільша кількість припадає на частку молочної кислоти.

Азотовмісні екстрактивні речовини – це речовини, що містять азот, але не належать до білків. Серед них кінцеві продукти білкового обміну (сечовина, сечова кислота, амонійні солі) і проміжні (пуринові основи, амінокислоти тощо). У м'язовій тканині також присутні азотовмісні речовини, які за життя тварини виконують специфічні функції в процесі обміну речовин та енергії.

Після забою тварини екстрактивні речовини та продукти їх перетворень беруть участь у створенні специфічного смаку і запаху м'яса.

М'ясо – сприятливе середовище для розвитку мікроорганізмів і за звичайних умов зберігання (за кімнатної температури) швидко псується внаслідок їхньої життєдіяльності та розвитку фізико-хімічних і біохімічних процесів. Для запобігання псуванню м'яса необхідно обмежити або виключити розвиток мікроорганізмів і загальмувати ферментативні процеси. З відомих способів консервування швидкопсувних продуктів тваринного походження найпоширеніше поширення набуло збереження їх за знижених

температур, з використанням штучного холоду. Цей спосіб найбільш універсальний, ефективний і надійний. Крім того, м'ясо при холодильному консервуванні того, м'ясо під час холодильного консервування не змінює свого хімічного складу, на відміну від процесів посолу, копчення, сушіння і теплової стерилізації.

М'ясо, що приймається на холодильник, за способом обробки має відповідати чинним стандартам і технічним умовам.

Ветеринарно-санітарну експертизу м'яса і м'ясних продуктів, що надходять на холодильник, а також ветеринарно-санітарний контроль на холодильнику здійснює ветеринарний лікар відповідно до чинних "Правил ветеринарного огляду забійних тварин і ветеринарно-санітарної експертизи м'яса та м'ясних продуктів".

Холодильна обробка та зберігання м'яса і м'ясних продуктів, а також утримання холодильника та його обладнання здійснюються з дотриманням чинних "Санітарних правил для підприємств м'ясної промисловості" та "Інструкції з миття та профілактичної дезінфекції на підприємствах м'ясної та птахопереробної галузей промисловості".

Санітарні заходи, яких вимагають ці правила та інструкція, є невід'ємною частиною технологічного процесу.

На якість м'яса після забою значний вплив мають його термічний стан і умови зберігання. Залежно від температури в товщі м'язів стегна м'ясо в тушах, напівтушах і чвертинах поділяють на:

- парне;
- охолоджене;
- охолоджене;
- підморожене;
- заморожене;
- розморожене.

До парного відносять м'ясо, безпосередньо, після забою та переробки худоби, що має температуру не нижче 35 °С.

НУБІП УКРАЇНИ

Остиглим вважають м'ясо після оброблення туш із температурою не вище 12°C .
Охолодженим – м'ясо після оброблення туш, температура якого становить від 0 до 4°C .

НУБІП УКРАЇНИ

До підмороженого відносять м'ясо після холодильної обробки, що має температуру в стегні на глибині 1 см $-3..5^{\circ}\text{C}$, а на глибині 6 см $0..2^{\circ}\text{C}$. Під час зберігання температура по всьому об'єму напівтуші має бути від -2 до -3°C .

НУБІП УКРАЇНИ

Заморожене м'ясо охолоджують до температури в товщі м'язів не вище -8°C .
Розморожене м'ясо повинно мати температуру не нижче 1°C . Стан м'яса з температурою в товщі м'язів стегна від 35 до 12°C і від -3°C до -8°C є проміжним. У першому випадку, м'ясо підлягає холодильній обробці до охолодженого або замороженого стану, у другому – до замороженого.

НУБІП УКРАЇНИ

М'ясо та інші продукти забою охолоджують, заморожують і зберігають в охолоджуваних приміщеннях - холодильних (морозильних) камерах; заморожують також і в морозильних апаратах. Холодильні камери добре ізольовані для зменшення втрат холоду та обладнані пристроями для розміщення продуктів (підвісними шляхами, стелажками тощо). Охолодження давальним середовищем є повітря, яке охолоджується за допомогою різних приладів, що встановлюються в камері або поза нею.

НУБІП УКРАЇНИ

Охолоджувані камери обладнують приладами для дистанційного визначення в них температури повітря з центрального пульта, встановленого в компресорному цеху м'ясокомбінату, і повіреними термометрами в металевих оправах, що встановлюються на спеціальних металевих або дерев'яних стійках.

НУБІП УКРАЇНИ

Температуру повітря в камерах холодильної обробки вимірюють: при циклічній роботі перед початком завантаження, наприкінці холодильної обробки м'яса і в процесі її – через кожні чотири години, у разі безперервної роботи - перед початком завантаження, а надалі - через кожні чотири години,

у камерах зберігання – двічі на добу (у 8 і 16 год). Відносну вологість повітря в камерах зберігання замороженого м'яса та м'ясних продуктів вимірюють у міру необхідності, але не рідше одного разу на місяць, у камерах зберігання охолодженого м'яса – один раз на добу.

1.2. Сучасна практика переробки замороженої м'ясної сировини

Нині м'ясопереробні підприємства використовують на виробництві заморожені блоки м'яса [1]. Приблизно 70 % використовуваної сировини становить заморожене м'ясо (у вигляді блоків і обвалених безкісткових відрубів).

Заморожені блоки м'яса можна переробити двома шляхами.

– перший – розморозити, а потім починати переробку та виготовлення м'ясопродуктів;

– другий – не розморозжуючи, відправити на механічне подрібнення.

Розморозжування м'ясної сировини зазвичай використовується при виробництві суцільнокускових делікатесів, а при виробництві ковбасної продукції та шинок вдаються до механічного подрібнення заморожених блоків. Попереднє розморозжування блоків призводить до втрати м'ясного соку, і це позначається на якості продукції, що випускається. Також найчастіше технологічні інструкції на виробництво рубаних напівфабрикатів, різних ковбас допускають або вимагають підтримки температури фаршу нижче 0 °С, що говорить про певні переваги подрібнення без проведення розморозжування [2].

1.2.1. Розморозжування блоків.

Розморозжування м'ясної сировини – це досить делікатний процес. це досить делікатний процес.

Його метою є максимальне відновлення вихідних властивостей замороженого продукту з мінімальними втратами поживних речовин.

Способи розморозжування можна розділити на дві великі групи:

перша – методи, засновані на підведенні теплоти до поверхні продукту, інакше кажучи, класичні методи розморожування, що здійснюються при підведенні теплого повітря або пари, зрошення або занурення в рідке середовище;

друга – електричні способи розморожування, суть яких полягає в тепловиділенні в об'ємі продукту.

Більш широке застосування для розморожування м'ясної сировини з електричних способів отримало мікрохвильове розморожування.

Методи розморожування, засновані на зануренні в рідке середовище широкого застосування в м'ясній промисловості не знайшли. Розморожування широко застосовується на рибно- і птахопереробних підприємствах. Заморожені свинячі відруби розморожуються приблизно протягом 10 год за температури розсолу $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а втрати м'ясного соку сягають 0.9% .

Процес передачі тепла відбувається досить інтенсивно, особливо, якщо розморожування супроводжується струшуванням, пульсуванням і перемішуванням. Це також дає змогу уникати злежування продукту й уникати температурного розшарування. Розморожування в рідкому середовищі диктує свої обмеження на процес. Процес відбувається в розсолі, тому так розморожувати можна м'ясо, що піддається засолу, причому процес має супроводжуватися постійною зміною розсолу з гігієнічних міркувань, що призводить до додаткового утворення стічних вод [3]. На основі підведення

теплоти до поверхні заснований також метод повітряного розморожування. Це один із найтриваліших методів розморожування. Для більш швидкого нагріву, а також поліпшення контролю температури і вологості, зазвичай використовується рух повітря. Також використовують двоступеневе повітряне розморожування: перший ступінь – розморожування при високій початковій температурі повітря, другий ступінь – розморожування при температурі повітря нижче $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Незначна тривалість першого високотемпературного ступеня – від 1 до 2 годин – дає змогу уникнути

надмірного росту бактерій, натомість збільшення кількості тепла, що передається протягом цього часу, значно зменшує загальний час протікання процесу.

Одним із широко вживаних методів повітряного розморожування методів повітряного розморожування залишається "просто" розкладання сировини на спеціальних стелажах, або підвісних шпяхах (розморожування напівтуш), що супроводжується обдувом повітрям або паром (рисунок 1).

Цей спосіб можливо використовувати за наявності спеціально спроектованих приміщень. Під час будівництва ці приміщення забезпечують необхідною ізоляцією, правильним розподілом теплових потоків, каналізаційних зливів. На жаль, на деяких підприємствах зі збільшенням обсягів переробки замороженої сировини ще доводиться стикатися з неналежною організацією процесу розморожування (м'ясо лежить на піддонах або підлозі в абсолютно не призначених приміщеннях без регулювання температурно-вологісних режимів).

У методу повітряного нерегульованого розморожування, мабуть, найдовший перелік негативних сторін. Для нього характерна найбільша тривалість процесу (до 36 годин), найбільш значні втрати маси, нестабільна температура сировини після закінчення процесу, погіршення мікробіологічного стану м'яса, яке може супроводжуватися небажаними змінами органолептичних характеристик (кольору, запаху), низький рівень гігієни в приміщеннях унаслідок втрати м'ясного соку. При цьому методі використовується велика кількість площ для викладання кожної одиниці продукції, він супроводжується високими експлуатаційними витратами, перебуває у великій залежності від людського фактора. Через економічні втрати, погіршення якості і зниження термінів придатності готової продукції цей метод визнано малорентабельним.

У зв'язку з цим, на м'ясопереробних підприємствах найпоширеніший спосіб розморожування у камерах із регульованими параметрами повітря (температурою і вологістю). Камери є найбільш універсальним засобом

розморожування, застосовуваним для різних видів харчової сировини. Як теплоносія в камері застосовується підігріте повітря або за рахунок розпилення на поверхню продукту води і підігріву паром низького тиску.

На сьогоднішній день пристрій у камері дає можливість отримати задану температуру сировини з досить високою точністю завдяки застосуванню датчиків, що вводяться в продукт. У них розморожують різні види м'ясної сировини: блочного м'яса, напівтуці, субпродуктів.

У камерах, що працюють із підігрітим повітрям, відбувається досить велика втрата продукту у зв'язку з його підсиханням і утворенням кірки.

Для уникнення цього, наприклад, блочне м'ясо розморожують в упаковці, але це не дає змоги уникнути втрат м'ясного соку, який накопичується в упаковці та під час подальшої обробки втрачається. Також

під час розморожування блоків в упаковці виникає "парниковий ефект", що

погіршує мікробіологічні показники стану сировини. Певних трудовитрат потребує також завантаження та розміщення сировини. Камери зі зрошенням водою дають змогу запобігти підсиханню поверхні продукту за рахунок

створення підвищеної вологості та циркуляції пароводяної суміші. Втрати в

таких камерах становлять від 1 до 3 %, вони також дають на виході досить

високу якість розмороженого продукту. Камери виготовляють різної продуктивності: від шаф на 200 кг до великих камер із завантаженням до 20 тон (рис. 1.1).

Фірма FINNCOLD пропонує на російський ринок дефростаційні камери і контейнери FINNCOLD продуктивністю від 300 кг до 15 тон для розморожування упакованого і неупакованого м'яса, птиці, риби, олії, овочів і будь-яких інших продуктів. У цих камерах застосовується патентований

метод повітряно-крапельної дефростації у вітровому тунелі з логічним

управлінням процесом і контролем температур, що дає змогу створювати оптимальні умови для відведення тепла, не допускаючи при цьому перегріву або пересихання поверхні продукту.



Рисунок 1.1 Камери для розморожування Kometos: шафа невеликої продуктивності та камера на кілька тонн

М'ясо в блоках розморожують на стелажах або в коробках на піддоні, між шарами коробок прокладають пластикові решітки. М'ясо в напівтушах розморожують на підвісному шпильку. М'ясо птиці можна доводити до температури $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ безпосередньо в пакуванні, а за заданої температури вище $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ це краще робити в перфорованих пластикових ящиках, на стелажах або візках однакової висоти.

Конструкційно камери виготовляють із розробленого та схваленого для застосування в харчовій промисловості ST-сендвіч-елемента. ST-сендвіч-елемент - це несучі панелі покритого пластиком водостійкого поліістрольного ізолятора. Процес постійно контролюється датчиками температури в продукті, на поверхні продукту, а також у камері. До досягнення заданої температури в продукті логічна система керування постійно контролює температуру поверхні продуктів і швидкість потоків повітря, що охолоджують поверхню продуктів. Внаслідок цього температура поверхні ніколи не перевищує допустимої величини. Після закінчення процесу, камера автоматично переходить у режим зберігання за заданої температури і діє як склад до моменту вимкнення програми. Так само камеру можна тримати в

режимі зберігання за заданій температурі до моменту початку процесу, який визначається таймером.

Практика довела, що для низки продуктів більш зручно, економічно і рентабельно застосовувати масажери-дефростери.

Масажери-дефростери бувають двох типів: із прямим уприскуванням пари і з сорочкою нагріву/охолодження.

Випускаються також комбіновані машини. Обидва типи масажерів можуть бути використані як для дефростації, так і для посолу/масування м'ясної сировини. Масажери з сорочками складніші технічно, час дефростації в них вищий на 20...25%.

У зв'язку з цим і деякими іншими аспектами найпоширенішими є дефростери з безпосереднім уприскуванням пари в масажер.

Розморожування в масажерах дає чудові результати під час розморожування м'ясних блоків, висівок, окремо заморожених продуктів (наприклад, тушок птиці), використовується для дефростації кісткових і безкісткових продуктів до плюсових температур, але не застосовується для дефростації напівтуш і таких делікатних субпродуктів, як печінка.

Розморожування в масажерах має цілу низку переваг перед іншими методами. Цей спосіб розморожування дає найвищі показники зі скорочення втрат сировини під час розморожування. Втрати м'ясного соку мінімальні, при правильній організації процесу можуть становити не більше 1%.

Звичайно, велике значення має розмір продукту, що розморожується, його склад, але в цілому, процес розморожування у дефростерах-масажерах на порядок швидший, ніж за інших способів розморожування. Використання дефростерів такого типу дає змогу мінімізувати необхідні виробничі площі та

зменшує кількість обслуговуючого персоналу. Контроль за процесом відбувається автоматично, відбувається постійне відстеження температури всередині барабана, що попереджає перегрів продукту. Під час наповнення парою замкнутого простору барабана і постійному перемішуванні відбувається рівномірне нагрівання сировини. Під час роботи на масажерах-

дефростерах стає можливим отримати розморожений продукт із певною температурою, однаковою в будь-якій точці сировини. Під час роботи в даних дефростерах створюються умови вакууму, що покращує санітарний стан продукту.

Одним із виробників вакуумних масажерів-дефростерів для розморожування під парсю є фірма LUTETIA (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 Масажер-дефростер фірми LUTETIA

Розморожування ґрунтується на контрольованій подачі пари у вакуумне середовище в барабані під час обертання останнього. Пар низького тиску харчової якості інжектуються прямо в масажер, із заздалегідь набраним вакуумом, де знаходиться заморожений продукт. Конденсуючись, ця пара передає своє латентне тепло продукту, що забезпечує ефективну дефростацію.

За низького тиску пара конденсується на поверхні продукту за низької температури. Таким чином, при 50 мбар конденсація пари відбувається при 33 °С. Ця температура недостатньо висока, щоб викликати коагуляцію на поверхні м'яса. Обертання барабана прискорює роз'єднання блоків і сприяє вирівнюванню температур.

Дефростація може також здійснюватися в масажері з подвійною сорочкою. У цьому разі передача латентного тепла здійснюється завдяки конвекції (подвійна сорочка), що обмежує утворення конденсату на

розморожуваному продукті. Процес у масажері LUTETIA ґрунтується на двох діях, які відбуваються одночасно: поступове підігрівання сировини завдяки інжектуванню пари в масажер під контрольованим вакуумом;

роз'єднання блоків і створення рівномірності температур завдяки обертанню

масажера. Для попереднього роз'єднання блоків на великі шматки перед завантаженням у масажер фірма пропонує декомпактор. Виробники цих масажерів заявляють про скорочення часу дефростації в 4...8 разів, про

підвищення виходу розмороженого продукту на 5...8 %, про зменшення енергоспоживання, а також про можливість поєднання операцій дефростації, посолу і варіння м'ясної сировини.

Найшвидшими за часом технологічного процесу на ринку обладнання для розморожування м'ясної сировини є високочастотні та мікрохвильові

дефростери (рис. 1.3). В основі роботи цих дефростерів лежить нагрівання

продукту за допомогою електрики. У машинах цього типу виробляють так зване "отеплення" продукту від температури -20°C до температури $-4...-2^{\circ}\text{C}$, процес розморожування можливо здійснювати як в упаковці, так і без неї.

Кінцева температура всередині блоків коливається, оскільки блоки не мають

досить однорідної структури. Процес отеплення на цьому обладнанні

відбувається дуже швидко, протягом декількох хвилин, але вимагає великих витрат електроенергії. Зате, у зв'язку з високою швидкістю розморожування, зменшується ризик погіршення мікробіологічного стану продуктів,

скорочуються втрати м'ясного соку. Цікавим рішенням для прискорення

процесу дефростації м'ясної сировини при великих продуктивності є об'єднання в лінію мікрохвильових дефростерів і масажерів-дефростерів.

На перших проводять отеплення м'ясної сировини до -2°C , а потім доводять до плюсової температури в масажерах.

Відігріте до температури $-4...-2^{\circ}\text{C}$ сировина або повністю розморожена м'ясна сировина, доведена до температури близько $+2^{\circ}\text{C}$

находить на подальшу переробку відповідно до поставлених технологічних відповідно до поставлених технологічних завдань.



Рисунок 1.3 – Мікрохвильовий дефростер AmTek

Багато фізичних способів розморожування (омічний нагрів, діелектричний нагрів, використання радіочастот, ультразвуку) давно досліджуються вченими, однак досі вони не знайшли широкого застосування в м'ясній промисловості. Так, наприклад, основним недолком методу СВЧ-розморожування поки що залишається використання дорогого та енергоємного обладнання [4].

1.2.2. Подрібнення блоків без попереднього розморожування.

Існує також варіант переробки замороженого м'яса в блоках, в якому відтавання відбувається в процесі їх подрібнення [4]. Блокове м'ясо, темпероване від температури зберігання до середньооб'ємних температур $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, піддається швидкісному подрібненню. У процесі механічного впливу ножів м'ясо "розігрівається" до $-3...-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ а отримана м'ясна стружка відправляється на подальшу переробку. Крім цього, останніми роками все ширше почали застосовувати роки все ширше почали застосовувати обладнання (блокорізки, дзиги), які дають змогу починати роботу із замороженою сировиною без проведення її темперування та дефростації.

Сучасні подрібнювальні машини можуть подрібнювати м'ясну сировину з температурою $-20...-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для крупного та середнього подрібнення замороженого блочного м'яса використовують блокорізки. Залежно від конструкції робочих органів блокорізки можна розділити на гільйотинні, роторні та дзиги-блокорізки [5].

Усі три групи блокорізок дають різний кінцевий результат за формою і структурою подрібненої сировини.

Найбільш "традиційний" варіант – гільйотинні блокорізки. При роботі на цих машинах можливо подрібнювати сировину за температури до -25 до -18°C і отримувати заморожені м'ясні пластини, смужки, кубики, брикети.

Іноземні виробники гільйотинних блокорізок - Laska, Magurit (рис. 1.4), Ruehle GmbH, Kilia вітчизняні блокорізки виробляє фірма Unity Food Machinery.



Рисунок 1.4 – Гільйотинні блокорізки: а) загальний вид Magurit Fromat, б) процес подрібнення м'яса на блокорізці Magurit Fromat;

в) приклад сировини, подрібненої на Magurit Fromat

На рис. 1.5 представлена роторна блокорізка та її робочий вал. В [4] наведено інші варіанти виконання роторів блокорізок. Робочим органом даного типу блокорізок служать обертові вали, зі встановленим на них подрібнювальними механізмами. В цих машинах залежно від форми насадок на вал здійснюється вплив, аналогічний "розламуванню" і одночасному "зрізанню тонкого шару" з поверхні блоку. У результат виходять "м'ясні пластівці" різних типорозмірів і форм. Дані машини можуть переробляти м'ясні блоки за температури від -25 до -18°C .

Ще один вид обладнання для подрібнення замороженого м'яса - кутові дзиги, або дзиги-блокорізки (рис. 1.6) На відміну від класичних дзиг, деякі кутові дзиги дають змогу переробляти неподрібнене м'ясо. Дзиги дають змогу переробляти неподрібнені м'ясні блоки за температури -25°C у фарш із

розмірами шматків до 5 мм. Температура фаршу на виході з дзиги становить близько $-3...-1$ °С. Деякі виробники пропонують кутові дзиги, на яких можна переробляти заморожену м'ясну сировину температурою до -18 °С,

попередньо подрібнену на блокорізці до шматків розміром не більше 1 кг

(рис. 1.7). Це більш компактні і менш потужні машини.



Рисунок 1.5 – Роторна блокорізка Magurit



Рисунок 1.6 – Кутова дзига фірми PSS, модель SCG

З фаршу, отриманого у дзигах-блокорізках, можна одразу виготовляти

напівфабрикати, або відправляти його на дорозморожування і додаткове

подрібнення на класичну дзигу або в куттер.

Виробники обладнання прагнуть створювати не просто окремі одиниці обладнання, а автоматизовані лінії, а також забезпечувати

технологічний процес засобами автоматичного контролю робочих характеристик, при цьому мінімізувати кількість робочої сили.



Рисунок 1.7 – Дзига для подрібнення замороженого м'яса

Unity Food Machinery

Компанія Darfotech пропонує автоматизовану систему дефростації сировини, що забезпечує її попереднє подрібнення під суворим контролем за температурою і можливістю адаптації під виробництва різної потужності

(рис. 1.8). Оператор розпаковує заморожені м'ясні блоки та розміщує їх на конвеєрі.

Залежно від виду блоків їхня початкова температура перебуває в інтервалі від -18°C до -12°C . Заморожений блок проходить через вхідне вікно в дільник м'ясних блоків. Поділ блоків у дільнику відбувається у два етапи.

Пресом відбувається початкове замикання і здавлювання блоку в камері дільника, при відході пресувального пристрою відбувається

опускання блоку на 90° , до нього вдруге підходить прес і вже відбувається стиснення в новому положенні. За рахунок таких стиснень відбувається

"розсіпання" блоку на складові частини. Розробники цього обладнання також заявляють про те, що розламування блоку відбувається без

пошкодження волокон і оболонок. Шейно прес знову відходить у вихідне положення, поверхня, на якій знаходиться "розламаний" на частини блок, розкривається і шматки блоку потрапляють на конвеєр.

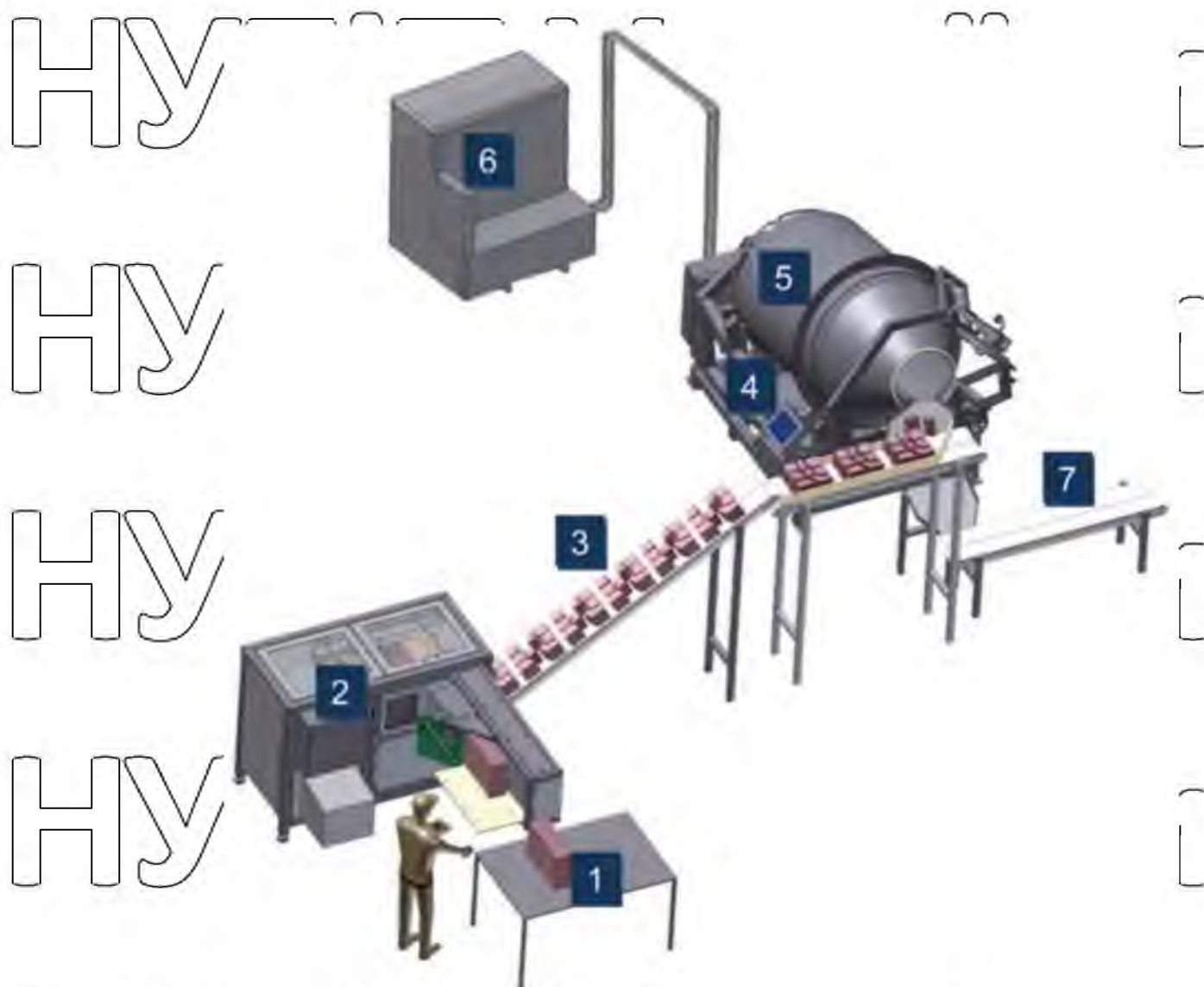


Рисунок 1.8 – Схема автоматизованої лінії для розморожування блочного м'яса. 1. Підання блоків у дільник. 2. Прес для блоків. 3. Конвеєр. 4. Панель керування. 5. Тумблер для м'яса. 6. Нагрівально-охолоджувальна система. 7. Розвантажувальний конвеєр

Шматки м'яса по конвеєру подаються в тумблер. Залежно від продуктивності лінії можливе встановлення декількох тумблерів. Завдяки попередній обробці на пресі заповнюваність тумблерів становить від 50 до 55 %. У тумблерів передбачена можливість "жорсткого" і "м'якого" тумблювання, залежно від швидкостей і напрямків обертання з оптимальним розподілом енергії (як тепла, так і холоду). Після обертання в тумблері відсутні побитості м'яса, а також під час масажування розсіл повертає сік у

м'ясо, тому втрати продукту мінімальні. Лінія забезпечена системою контролю температури на вході та виході (-4° до 0° C), регулювання температури нагріву та охолодження. По розвантажувальному конвеєру продукт може бути спрямований на подальшу обробку (тендерування, ін'єктування, подрібнення).

Виробники заявляють, що в порівнянні з розморожуванням у воді, за допомогою повітря, пари або мікрохвильовим способом, розморожування на даній лінії дає кращі результати, скорочуються втрати сировини, відсутній перегрів продукту, на виході виходить продукт стабільної якості.

1.3. Опис об'єкта управління та стан його автоматизації

На підприємстві проходження практики встановлено блокорізку моделі BP-01 фірми ROZFOOD (рис. 1.9-10).



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд блокорізки моделі BP-01 фірми ROZFOOD

НУБІП України
 Роторна моделі BR-01 фірми ROZFOOD – це сучасне промислове обладнання для м'ясопереробки з чудовим співвідношенням ціни та якості.

Використовується на м'ясопереробних виробництвах для подрібнення заморожених блоків м'яса перед їхньою подальшою переробкою в куттері або дзизі, які розміщені в лінії для виробництва ковбас.

Блокорізки розроблені для дбайливого подрібнення заморожених блоків м'яса. В процесі роботи це обладнання не завдає шкоди структурі волокон і не руйнує білкові сполуки. Подрібнення харчової продукції в замороженому вигляді виключає можливість розвитку шкороботворних мікроорганізмів і збільшує терміни зберігання кінцевої продукції. При цьому м'ясо зберігає яскравий насичений колір і всі основні поживні властивості.



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд панелі місцевого керування блокорізки моделі BR-01 фірми ROZFOOD

Блоки замороженого м'яса подаються в агрегат за допомогою спеціального пневматичного штовхача. Це мінімізує ймовірність отримання обслуговуючим персоналом виробничої травми, підвищуючи загальний рівень безпеки. Дане обладнання оснащено вологозахисним консольним пультом управління і автоматичною системою (рис. 1.10), що зупиняє роботу дробарки при відкриванні захисної кришки блоку ножів.

Модель БР-01 забезпечує швидке і якісне подрібнення заморожених блоків будь-якої продукції температурою від -18 до 0 °С (табл. 1.2). Її використання автоматизує і прискорює виробничий процес, а також виключає необхідність в дефростації. Ця машина може застосовуватися на м'ясопереробних підприємствах для подрібнення замороженого м'яса, риби, птиці, олії та багатьох інших харчових продуктів.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики блокорізки моделі БР-01

Технічні характеристики	Одиниці виміру	Показники
Технічна продуктивність, щонайменше	кг/година	8000
Встановлена потужність, не більше	кВт	15
Маса шматків подрібненого продукту, не більше	г	300
Мінімальна температура продуктивного блоку		-18
Висота до завантажувального вікна	мм	1285... 1305
Висота вивантаження подрібненого продукту в візок	мм	720... 755
Розміри завантажуваних блоків, не більше	мм	600x400x200
Довжина	мм	1125
Ширина	мм	1080
Висота	мм	1670... 1700
Маса, не більше	кг	705

Товщину скибочок можна регулювати. Передбачено 3 види регулювання: 6, 20, 35 мм.

Як робочий орган виступає обертовий вал із закріпленими на ньому П-подібними ножами (рис. 1.11).

Роторний тип робочого органу оптимально підходить для дрібного подрібнення м'ясної сировини, яка надалі використовується у виробництві сосисок, сардельок, пащтетів, вареник і варено-копчених ковбас, а також іншої, аналогічної безструктурної продукції. Крім того, завдяки делікатному розрізанню м'язових волокон може використовуватися для розробки сировини під сирокопчені ковбаси та іншу структурну продукцію.



Рисунок 1.11 – Загальний вид ротора блокерезки зі встановленими ножами

Відмінні особливості та переваги моделі:

- виконання – повністю з харчової нержавіючої сталі марки SUS 304;
- відсутність необхідності в попередній дефростації сировини, що значно скорочує час виробничого циклу і знижує втрати;
- ефективні твердосплавні ножі П-подібної форми – дають змогу домогтися подрібнення замороженої сировини на маленькі шматочки та скибочки, які здатні переробити дзиги та култери;

подача блоків у зону різання за допомогою штовхача, що приводиться в рух електроциліндром – забезпечує рівномірне подрібнення з високою продуктивністю;

– високий рівень безпеки за рахунок багаторівневої системи захисту і

блокування;
– може працювати в автоматичному режимі.
Подрібнену сировину можна вивантажувати в стандартний 200-літровий візок.

Висновки за розділом.
Мета роботи: Автоматизація керування процесом подрібнення замороженої м'ясної сировини в блокорізці шляхом реалізації енергоощадних режимів, підвищення енергетичної та технологічної ефективності.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:
провести аналіз процесів подрібнення замороженого м'яса як об'єкта керування та визначити шлях вдосконалення системи автоматичного керування;
розробити та дослідити математичну модель подрібнення заморожених м'ясних продуктів для керування режимами блокорізки;
розробити автоматичну систему і комплекс технічних та програмних засобів, для забезпечення раціональних режимів роботи подрібнювача;
провести техніко-економічні розрахунки системи та визначити капітальні вкладення та строк окупності системи.

Об'єктом дослідження є процеси подрібнення заморожених м'ясних блоків в блокорізці та система керування ними.

Предметом дослідження є режими роботи блокорізки і процес керування навантаженням на ротор.

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ

2.1. Моделювання динаміки різання м'ясної сировини та інформаційний аналіз процесу.

Значний об'єм серед готових до споживання м'ясопродуктів займають ковбасні вироби. Під час приготування фаршу для ковбас м'ясо піддають інтенсивному ручному і машинному обробленню. Ряд конструкцій м'ясоподрібнюючих машин запозичений з інших галузей промисловості, де необхідне подрібнення, наприклад, мінеральної сировини [6].

Інтенсивна механічна дія робочих органів м'ясоподрібнюючих машин на сировину призводить до втрат нативних властивостей м'яса і навіть до його фізико-хімічної деструкції [6]. Фарш ковбас, отриманий за допомогою таких машин має рихлу консистенцію, спонукає жирОВО-волянні підтікання в батонах при термічній обробці, а готовий продукт має незадовільні органолептичні показники. Тому при конструюванні м'ясоподрібнювальних машин потрібно враховувати біологічне походження м'яса і його складну фізико-хімічну будову. У зв'язку з цим робочі органи м'ясорізальних машин повинні мати геометричні параметри і забезпечувати такі режими подрібнення, які б не впливали на хімічний склад сировини і подрібнювали її високоякісно, з необхідним ступенем дисперсності та з мінімальними затратами енергії.

Значна частина енергії, яка витрачається на процес подрібнення, розсіюється в продукті і перетворюється у теплоту, яка провокує зміни нативних властивостей м'ясопродуктів. Білки м'ясного фаршу частково денатуруються, інколи коагулюються, що негативно впливає на якість готового продукту [6]. Тому розробка м'ясоподрібнюючих машин має

проводитись на підґрунті детальних досліджень процесів різання м'яса з урахуванням діючих силових та енергетичних показників.

З досліджень процесів різання м'яса [6] видно, що більшість з них

направлені на оптимізацію загальних енергетичних показників процесу для

конкретних умов роботи м'ясоподрібнюючих інструментів. Разом з тим

установлено [6], що складний процес різання м'ясопродуктів можна

розділити на ряд більш простих: руйнування структури сировини,

деформування продукту в зоні різання, тертя інструментів між собою і по

сировині та ін. Якраз детальне вивчення основних елементарних складових

процесу різання сприятиме поглибленню знань в області подрібнення

біологічної сировини і більш цілеспрямованій роботі над створенням та

удосконаленням м'ясорізальних машин з метою впровадження

енергозберігаючих технологій приготування високоякісних фаршів для

ковбас.

Аналітична оцінка енергетичних показників вільного різання м'яса, зокрема в кутерах, і визначення напрямів подальшого удосконалення

робочих органів подрібнюючих машин для зменшення енергоспоживання і

забезпечення високої якості фаршу у переробці м'ясної сировини має

важливе наукове і прикладне значення. Вона потребує узагальнення знань з

областей фізики твердого тіла, фізико-хімічної механіки матеріалів, теорії

різання матеріалів різної природи для оцінки впливу вагомих чинників на

енергетичні показники різання м'ясної сировини.

В процесі різання м'ясопродуктів до різальних органів машини безперервно підводиться енергія від її приводу. Таким чином, у

локальну область взаємодії ножа і продукту підводиться зовнішня сила і таку

систему «ніж-продукт» не можна вважати замкнутою. Крім того відбувається

значна дисипація енергії в прилеглих до зони різання об'ємах продукту. Це

значить, що до відокремленої системи «ніжпродукт» не може бути

застосований закон збереження енергії [7].

Разом з тим різання лезом можна подати як процес утворення тріщини, бокові поверхні якої навантажені розподіленим напруженням, яке зумовлене силами, виникаючими при дії клина ножа на продукт. Для такої

тріщини можна застосовувати умови класичної рівноваги та рівняння імпульсів [8,9]. Сили, що виникають при контакті клиноподібного

інструменту з продуктом, під час його руху виконують деяку роботу і передають енергію розрізанним частинкам м'яса.

Згідно з теоремою «живих» сил для суцільного середовища повний приток зовнішньої енергії можна подати як суму робіт для виконання елементарних процесів, супроводжуючих подрібнення (розривання структурних зв'язків, деформування, тертя та ін.).

Виходячи з аналізу рівнянь, приведених у монографії Л.С. Мороза [10], що описують подрібнення твердих тіл, а також на підґрунті інших

досліджень [6] можна зробити висновок, що загальна робота, що витрачається на різання м'яса, є сумою таких складових:

$$\sum_{i=1}^5 dA = dA_1 + dA_2 + dA_3 + dA_4 + dA_5, \quad (2.1)$$

де dA_1 – елементарна робота на переборення сил зчеплення структурних зв'язків продукту;

dA_2 – елементарна робота на в'язкопластичну деформацію продукту, розташованого в зоні радіуса округлення різального леза інструмента перед розрізом;

dA_3 – елементарна робота на зміщення боковин розтину і деформування продукту поблизу цих боковин;

dA_4 – елементарна робота на переборення сил тертя інструмента по боковинах розтину;

dA_5 – елементарна робота на надання кінетичної енергії відрізанним кускам продукту.

Очевидно, що елементарна робота dA_5 виконується лише при різанні твердих м'ясопродуктів (наприклад заморожених), коли подрібненні куски викидаються з зони різання з деякою швидкістю.

Роботу на переборення сил зчеплення структурних зв'язків продукту можна визначити зі співвідношення:

$$A = \sum_{i=1}^n dA = \int_0^l \int_0^c \sigma_n(l) dl dr, \quad (2.2)$$

де $\sigma_n(l)$ – питоме зусилля розривання структурних зв'язків, Н/м;

l – довжина різального леза, м;

V_n – швидкість впровадження різального леза в продукт, м/с;

τ – швидкість впровадження різального леза в продукт, м/с.

За міру величини питомого зусилля руйнування структурних зв'язків прийнята середня інтегральна величина зусилля розривання структурних зв'язків, яка може бути найбільш точно визначена емпіричним шляхом. Але в самій природі його визначення закладено надзвичайно багато чинників (ступінь затуплення різального інструменту, його форма, шорсткість поверхні тощо), які дозволяють провести розрахунки лише для конкретної ситуації і за наявності експериментальних даних.

Швидкість впровадження інструмента в продукт може бути постійною по всій довжині леза і тоді процес схожий на рубання, або змінною при деяких видах ковзного різання.

При ударних режимах взаємодії різального інструмента з продуктом сила в зоні контакту зростає стрибкоподібно (рис. 2.1).

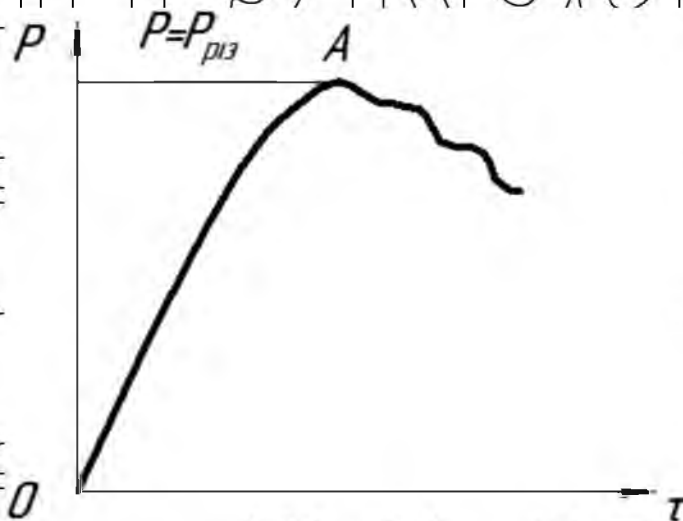


Рисунок 2.1 – Зростання зусилля при ударній взаємодії інструмента з продуктом

Для наближеної оцінки зусилля в довільний момент перерізу продукту дільницею наростання сили ОА можна апроксимувати четвертою частиною синусоїди гармонічного закону коливальних процесів [11]:

$$P = P_0 \sin(\omega t), \quad (2.3)$$

де $P_0 = \sigma_H(l)l$ – величина сили різання, Н;

$\sigma_H(l)$ – питома зусилля різання, Н/м;

l – довжина різального леза, що приймає участь у різанні, м;

ω – поточна величина кутової швидкості, рад/с.

Враховуючи, що дівіатор тензора напружень при деформуванні в'язко-пружних тіл пропорційний дівіатору тензора переміщень [6], будемо вважати, що переміщення таких тіл при деформуванні перед перерізуванням також має гармонічний характер, а тому:

$$x = x_0 \sin(\omega t - \varphi), \quad (2.4)$$

де x_0 – шлях, який проходить лезо при зануренні його в продукт перед перерізуванням;

x_0 – відставання деформації від фази росту сили;

ω – поточна величина кутової швидкості різального леза, рад/с.

Робота, яку виконує гармонічна сила на малому переміщенні dx дорівнює $P dx$, або

$$P \frac{dx}{dt}$$

Очевидно, що робота на попередню деформацію продукту перед

перерізуванням при гармонічному законі зміни сили різання дорівнює:

$$\begin{aligned} A_2 &= \int_0^{\pi/2} P \sin(\omega t) x_0 \omega \cos(\omega t - \varphi) dt = \\ &= P x_0 \omega \int_0^{\pi/2} \sin(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) dt = \\ &= P x_0 \omega \int_0^{\pi/2} \sin(\omega t) (\cos \omega t \cos \varphi + \sin \omega t \sin \varphi) dt \end{aligned} \quad (2.5)$$

Враховуючи, що $\sin^2(\omega t) = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t)$ та інтегруючи рівняння (2.5) по частинах, отримаємо:

$$A_2 = \frac{\pi}{4} P_0 x_0 \sin(\varphi). \quad (2.6)$$

Величина φ постійна для заданих режимів різання, але вона залежить від швидкості взаємодії різального леза з продуктом. За допомогою метода накатаних сіток [6] було встановлено, що для статистичних режимів різання

$\varphi = 90^\circ$, а зі зменшенням швидкості різання φ поступово зменшується і при переміщенні гострого леза з швидкістю більшою за $3 \dots 5 \text{ м/с}$ величина φ наближається до нуля ($\varphi \approx 0$).

Робота по ущільненню продукту перед перерізанням є змінною величиною. Вона найбільша при статичних режимах різання, коли величина деформації сягає найбільшого значення, і зменшується при збільшенні швидкості різання [6]. Крім того, величина зовнішньої сили достатня для перерізання продукту залежить від ряду чинників, зокрема від радіуса заокруглення різального леза.

Експериментально встановлено [6], що величина зусилля різання при впровадженні різального леза у продукт поступово збільшується до забезпечення руйнування структурних зв'язків. Робота цієї сили може бути знайдена із співвідношення:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{dA}{2} = \int_0^n \frac{\sigma(\rho, l) V}{n} dr dl. \quad (2.7)$$

де $\sigma_d(\rho, l)$ – питома величина лінійної сили пере різання, Н/м;

r – термін занурення різального леза до перерізання структурних зв'язків продукту за даних режимів, с;

l – довжина різального леза, м;

ρ – радіус заокруглення леза інструменту, м.

Робота на переміщення боковин продукту при перерізання в основному вирачається на деформування прилеглих до зони різання об'ємів.

Величина цієї роботи визначається добутком сил, розподілених по робочих гранях клина різального леза, на величину прилеглих до цих граней поверхонь розтину:

$$dA_3 = P_{ij} V_i ds dr, \quad (2.8a)$$

або

$$A_3 = \iint_S \bar{P}_n \bar{V}_i ds dr = \iint_S P_{ij} \bar{n}_j \bar{V}_i ds dr \quad (2.86)$$

де $\bar{V}_i dr$ – величина переміщення поверхні розтину,
 ds – елементарна площа на робочій грані клина;

$\bar{P}_n = P_{ij} \bar{n}_j$ – величина напружень вповдовж нормалі до бокової грані,
 викликаючих переміщення поверхні розтину.

Величина роботи на переміщення бокових розтину продукту у
 загальному випадку дорівнює роботі сил, затрачених на деформування об'єму
 продукту, що прилягає до зони розтину [7]:

$$A_3 = \iiint_V P_{ij} \xi_{ij} dr dV, \quad (2.9)$$

де ξ_{ij} – тензор швидкостей деформацій в об'ємі V ;

$\xi_{ij} dr$ – тензор деформацій в об'ємі V .

Враховуючи, що час релаксації напружень значно більший за час
 контакту інструмента з продуктом, умовно вважаємо, що сили стиснення
 м'ясопродукту лезом інструмента залишаються постійними при подальшому
 (після занурення леза у продукт) русі різального інструмента у в'язко-
 пластичному середовищі.

Очевидно, що розподілені сили P_{ij} викликають при зміщенні бокових
 поверхонь різального клина відносно продукту сили тертя, які також
 виконують деяку роботу:

$$A_4 = A'_4 + A''_4, \quad (2.10)$$

де A'_4 – робота сил тертя продукту по робочих гранях леза;

A''_4 – робота сил тертя продукту по бокових гранях тіла різального
 інструмента.

Або

$$A_4 = 2 \left(\iint_{S_1} f P_{ij} n_j V_i dr dS_1 + \iint_{S_2} f P_{ij} n_j V_i dr dS_2 \right), \quad (2.11)$$

де S_1, S_2 – площі, відповідно, бокової грані леза і бокової поверхні тіла
 різального інструмента;

$f P_{ij} = \sigma_c$ – інтенсивність сил тертя ковзання.

Очевидно, що площі S_1 і S_2 залежать від геометричних параметрів інструмента, а довжина V_{dr} взаємного контакту різального інструменту і продукту визначається з урахування площі перетину продукту. Величина P_{ij}

також може бути визначена експериментально. Сили тертя легко визначаються дослідним шляхом в умовах, що відповідають умовам тертя при різанні.

Робота на надання кінетичної енергії відрізанним шматкам продукту визначається з урахуванням їх маси і швидкості руху:

$$A_5 = \int m_i V_i dV = 0.5mV^2, \quad (2.12)$$

де V_0 – швидкість центра маси відрізаного шматочка;

m – маса відрізаного шматочка продукту;

V_i – швидкість руху i -го шматочка;

V – об'єм шматочка.

Треба пам'ятати, що кінетична енергія окремим кусочкам продукту передається при подрібненні крихких тіл, наприклад, замороженого м'яса.

Таким чином при вільному різанні м'ясопродуктів різальний інструмент виконує роботу, пов'язану з попереднім деформуванням сировини, розриванням її структурних зразків, зміщенням поверхні розрізання від площини різання і всі ці елементарні процеси супроводжуються тертям продукту по поверхнях інструментів. Очевидно, що кожний процес впливає не лише на фізико-хімічні властивості продукту, але і на трансформацію геометричних параметрів інструментів та кінетику різання (рис. 2.2). Причому вплив кожного з цих чинників на всі складові виконуваної роботи далеко неоднозначний.

Тому для оптимізації роботи м'ясорізальних машин, інструменти яких здійснюють вільне різання м'яса, по кількості витраченої на різання енергії необхідно аналізувати вплив кінетичних і геометричних параметрів на кожну складову виконуваної інструментом роботи та впровадити оптимізацію процесу

за сумарними витратами роботи, або енергії. Не менш важливим показником є якість подрібнення.

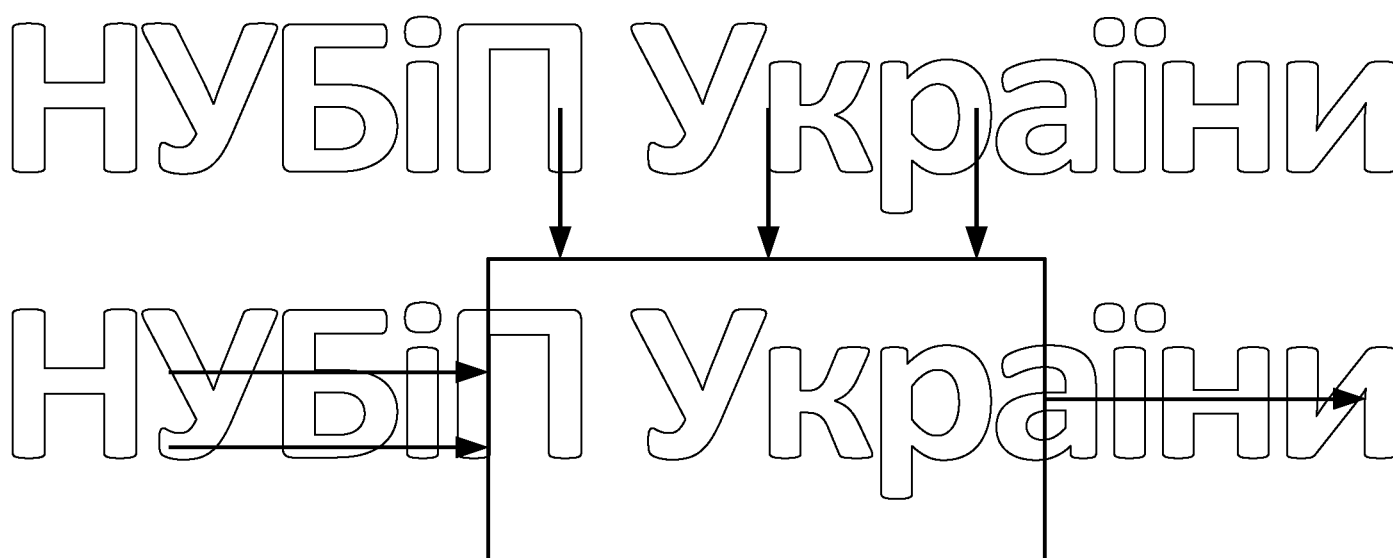


Рисунок 2.2 – Схема інформаційних потоків в блоці

2.3. Аналіз динаміки та визначення передатної функції об'єкта керування.

На відміну від хімічних процесів, які характеризуються безперервними, монотонними кінетичними рівняннями, подрібнення може відбуватись за рахунок ряду окремих актів руйнування матеріалу.

Тому цей процес доцільно подати у вигляді послідовного ланцюга з комірок, кожна з яких характеризується стаціонарними умовами руху, деформування і руйнування матеріалу при незмінних властивостях.

Кожна комірка характеризується певною інтенсивністю і умовами технологічної дії робочих органів на матеріал. При проходженні i -ї комірки вільна поверхня матеріалу змінюється до величини S_{i+1} . В залежності від

виду подрібнювана кількість комірок може складати: $n = 1$ – при одноразовому навантаженні і руйнуванні певного об'єму матеріалу V_m ; $n = k$ – при дискретному деформуванні об'єму V_m k разів; $n = \infty$ – при монотонно

зростаючій інтенсивності деформування протягом часу перебування матеріалу в подрібнювачі.

В залежності від типу структури матеріального потоку і значення подрібнювачі можна класифікувати за схемою, поданою на рис. 2.3.

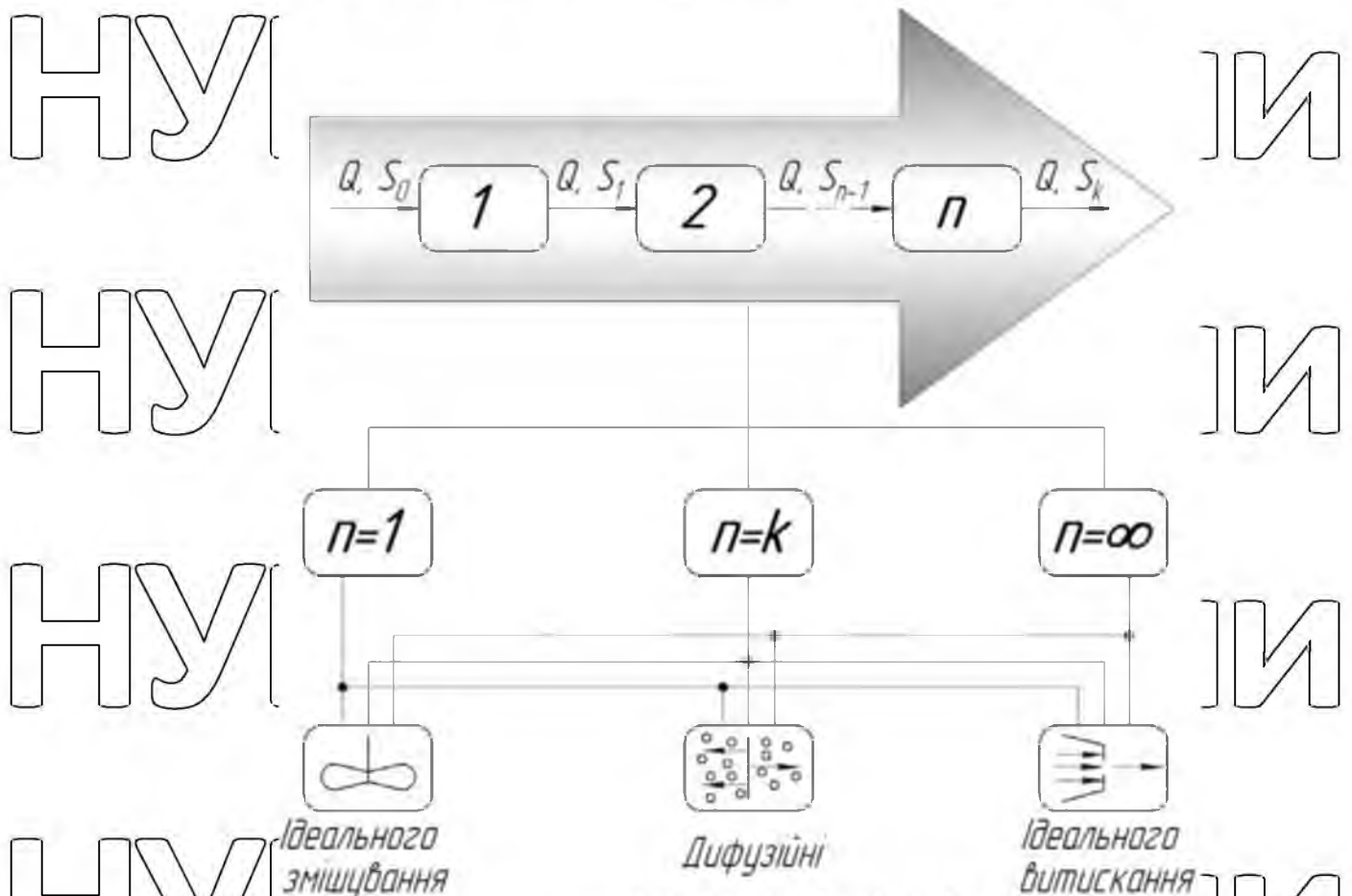


Рисунок 2.3 – Схема класифікації пристроїв для подрібнення по структурі потоків матеріалу

За В.Ю. Сухенко подрібнювачі з дифузійною схемою потоку матеріалу і кратністю механічної дії $n = 1$ характеризується змінною швидкістю утворення нової поверхні (інтенсивністю подрібнення), а руйнування матеріалу відбувається незалежно від координати його розташування відносно робочих органів і приріст поверхні руйнування залежить від миттєвого значення ступеня подрібнення матеріалу, тобто зменшується пропорційно збільшенню значення S_p . Кінетика процесу подрібнення для цих подрібнювачів описується рівнянням:

$$\frac{dS}{dt} = f(t, I(S)) \quad (2.13)$$

До цих подрібнювачів відносяться роторні ножові дробарки, ударні молоткові подрібнювачі, струменеві млини та всі інші, в конструкціях яких є пристрої для часткового виведення матеріалу з зони подрібнення по мірі зменшення дисперсності частинок.

Враховуючи, що інтенсивність механічної дії на матеріал по мірі зменшення розмірів частинок у цих подрібнювачах зменшується, для них існує значне обмеження розмірів кінцевого продукту. Тому для отримання дрібнодисперсних частинок матеріалу такі подрібнювачі не ефективні.

Використовуючи рівняння (2.1) та (2.13), отримаємо розгінну характеристику потужності на валу ротора при дробленні замороженої м'ясної сировини (дані отримані з роботи Сухенко В.Ю. [6]) (рис. 2.4). Всі розрахунки проведено в математичному пакеті MathCAD.

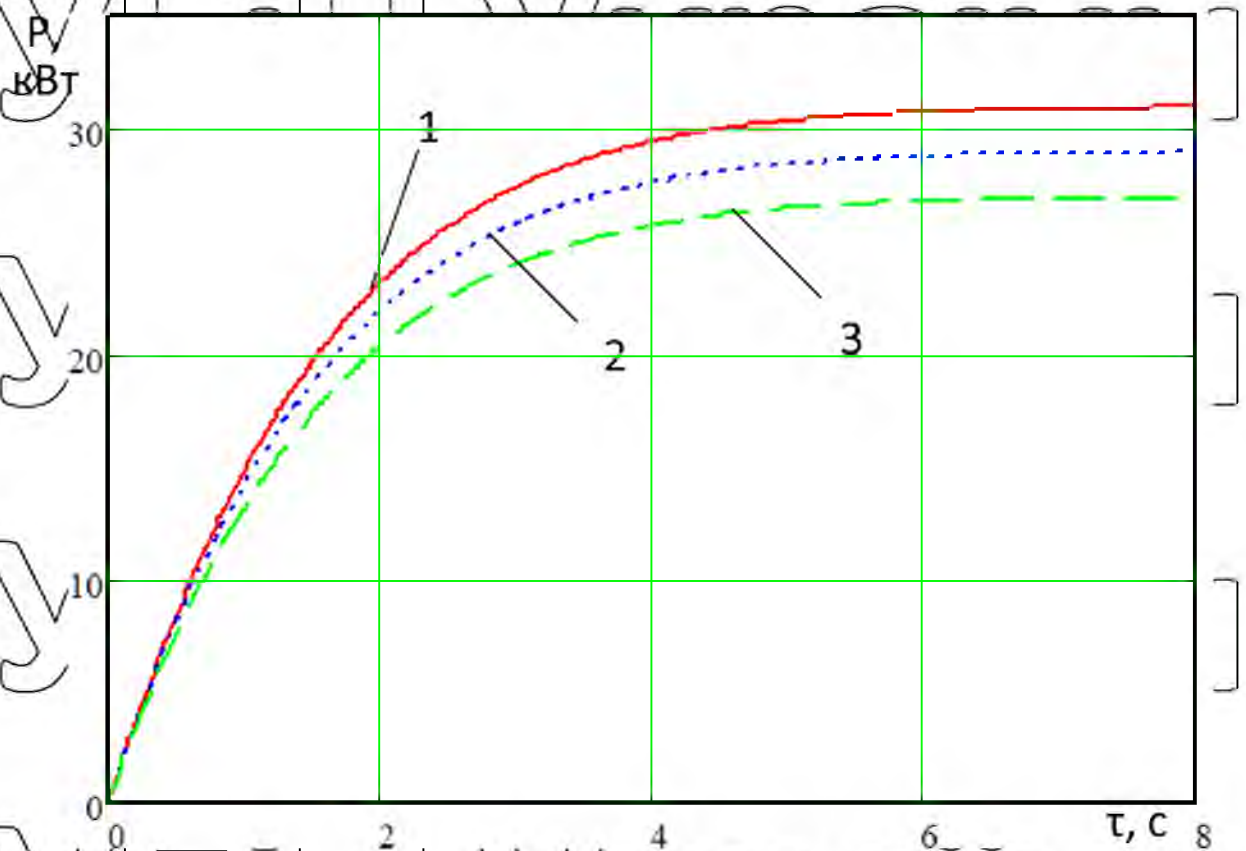


Рисунок 2.4 – Розгінна характеристика при подрібненні замороженого м'яса в роторному подрібнювачі для різного відносного зусилля (F/F_0)

2.4. Визначення передатної функції об'єкта керування.

Для побудови нормованої розгінної характеристики при подрібненні замороженого м'яса в роторному подрібнювачі, як об'єкта автоматизації,

скористуємось формулою для розрахунку нормованої кривої розгону:

$$y_0(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)}, \quad (2.14)$$

де $y(t)$ – значення потужності за час t , м;

$y(0)$ – значення потужності за час $t = 0$, м;

$y(\infty)$ – значення потужності за час $t = \infty$, м.

Використовуючи дані отриманої розгінної характеристики при подрібненні замороженого м'яса в роторному подрібнювачі (рис. 2.4), будемо графік нормованої розгінної характеристики об'єкта керування (рис. 2.5).

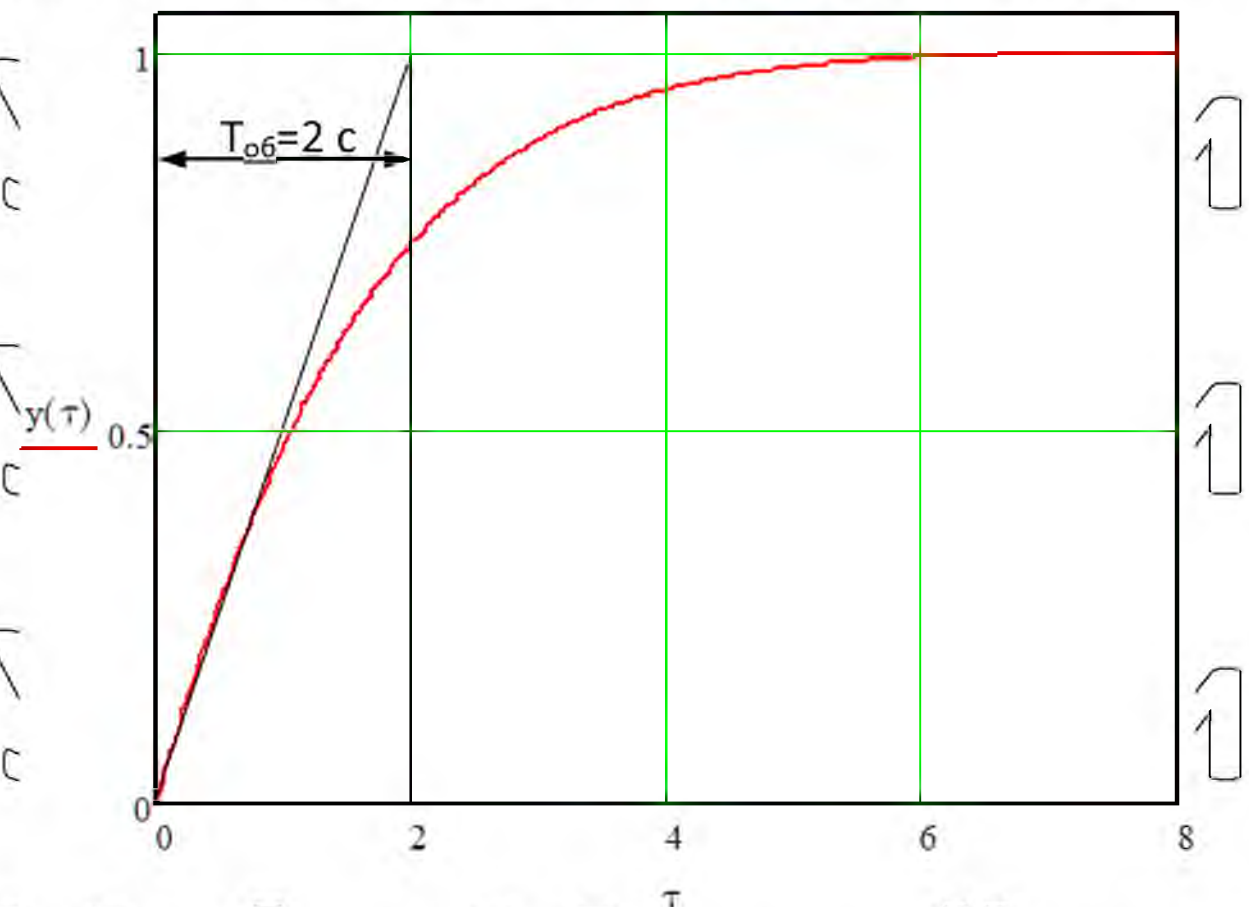


Рисунок 2.5 – Нормована розгінна характеристика подрібнення замороженого м'яса в роторному подрібнювачі (об'єкта керування)

Передатну функцію об'єкту керування визначимо згідно розгінної характеристики при подрібненні замороженого м'яса в роторному подрібнювачі.

Передатна функція при подрібненні замороженого м'яса в роторному подрібнювачі, як статичного об'єкта керування має вид:

$$W_{ok}(p) = \frac{K_{ok} \cdot e^{-p \cdot \tau_{ok}}}{T_{ok} \cdot p + 1} \quad (2.15)$$

де K_{ok} – коефіцієнт передачі об'єкта керування;

T_{ok} – постійна часу об'єкта керування, с;

τ_{ok} – час запізнення об'єкта керування, с.

Постійна часу об'єкта керування та час запізнення визначається графічно, з нормованої розгінної характеристики (рис. 2.5): $\tau_{ok} = 0$ с; $T_{ok} = 2$.

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначається, як відношення приросту потужності на валу ротора до приросту подачі замороженого м'ясного блоку (зміни подачі здійснюється шляхом зміни тиску в електроциліндрі подавача):

$$K_{ok} = \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{11}{25} = 0.44.$$

Запишемо рівняння передатної функції (2.15) при подрібненні замороженого м'яса в роторному подрібнювачі з врахуванням отриманих значень:

$$W_{ok} = \frac{0.44}{2p + 1} \quad (2.16)$$

НУБІП України

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

При розробці функціональної схеми використовуємо ГОСТ 21.404-85 СІДС. «Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах».

Згідно технічного завдання функціональна схема розробляється для процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів в блокорізці та передбачає наявність одного контуру керування подачею заморожених м'ясних блоків для подрібнення з використанням роторних ножів.

На функціональній схемі САК процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів наведено схему яка передбачає використання промислового програмованого логічного контролера який буде виконувати операції в автоматичному режимі (рис. 3.1). Для вимірювання струму двигуна приводу роторних ножів використовується трансформатор струму EE1, що передає значення до програмованого логічного контролера EIC який відповідно до заданого значення з використанням електроциліндра штохача змінює навантаження на електричний привод ротору (NS6) шляхом зміни швидкості подачі (притискання) заморожених м'ясних блоків до ножів ротора блокорізки. Регулювання сили з якою притискається заморожений м'ясний блок відбувається завдяки зміні швидкості обертання ротора електродвигуна електроциліндра NS8. Контроль за положеннями електроциліндра здійснюється шляхом спрацювання кінцевих вимикачів з магнітним контактом GA2-3. Для забезпечення безпечної роботи з технологічним агрегатом передбачено встановлення кінцевих вимикачів GA4-6, які контролюють втручання людини в технологічний процес та вимикають привод ротору та електроциліндру після їх спрацювання.

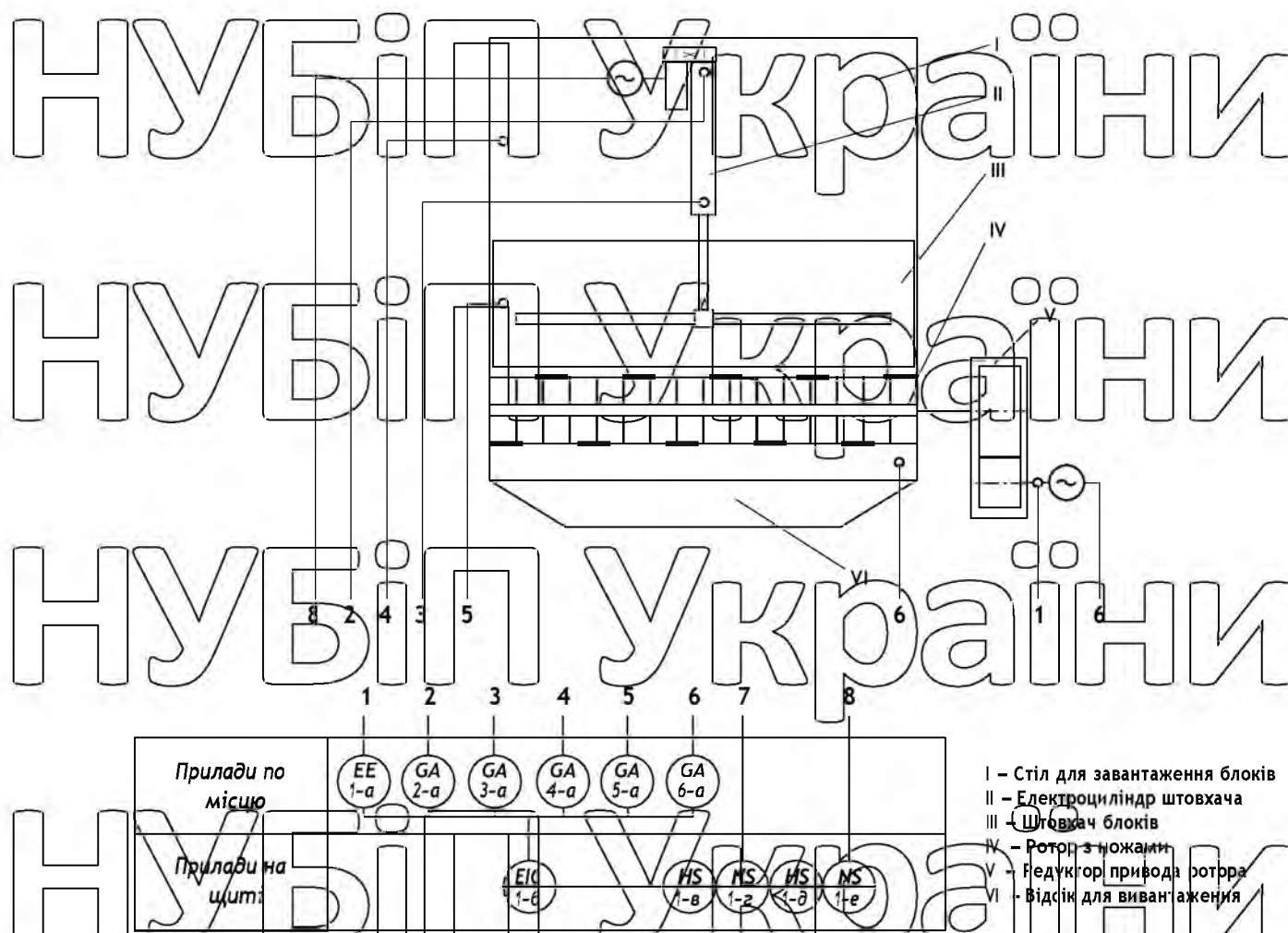


Рисунок 3.1 – Функціонально-технологічна САК процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів

3.1. Вибір регулятора.

У відповідності до поставленої задачі кваліфікаційної магістерської роботи, створення САК процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів, в якості регулятора використовуємо програмований логічний контролер фірми Schneider Electric. Обираючи програмований логічний контролер необхідно звернути увагу на кількість входів-виходів, наявність аналогових входів-виходів, наявність необхідних протоколів для керування частотним перетворювачем, можливість нарощування та заміни модулів. Виходячи з вище перелічених умов, обираємо модульний програмований логічний контролер марки Modicon M238 (рис. 3.2-3).

Цей регулятор програмується за допомогою спеціального програмного забезпечення SoMachine. Універсальний інженернопрограмний пакет SoMachine сумісний з усіма апаратними платформами MachineStructure. Він містить в собі ПЗ для всього життєвого циклу машини: від програмування і експлуатації до діагностики та обслуговування.

SoMachine – це єдине середовище розробки прикладних програм для ПЛК і створення інтерфейсу користувача для панелей оператора. Вона володіє інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом програмування, розробленим спеціально для скорочення термінів навчання людей, не знайомих з цим продуктом раніше. Підтримується п'ять мов стандарту МБК-611-313: IL (Instruction List, список інструкцій), LD (Ladder Diagram, релейні схеми), SFC (Sequential Function Chart, послідовні функціональні схеми), ST (Structured Text, структурований текст), FBD (Function Block Diagram, функціональні блок-схеми) та додатково мову CFC (Continous Function Chart, безперервні функціональні схеми).

Наявність спеціалізованих можливостей, таких як створення вбудованої візуалізації, симулятор програми, робота програми з точками зупину, внесення змін в режимі реального часу, значно полегшує і прискорює налагодження необхідного додатку. А передова можливість віддаленого мережевого підключення до контролера спрощує обслуговування машин і усуває необхідність виїзду інженера налагодчика на об'єкт у разі виникнення екстраординарної ситуації, що значно скорочує терміни відновлення працездатності системи та матеріальні витрати виконавця.

Для підключення аналогових датчиків використовуємо додатковий модуль FM2AMM6NT (рис. 3.4), який підключається до програмованого логічного контролера та має спільну шину даних та живлення (табл. 3.1).

Узагальнена структура підключення до модульного програмованого логічного контролера різноманітних модулів розширення, виконавчих механізмів та датчиків наведена на рис. 3.5. Фрагменти програми та алгоритму роботи наведені в додатку А.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд модульного програмованого логічного контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric

Maximum number of expansions	7	7
Power supply	24 VDC	24 VDC
Serial link	1	2
CANopen master	—	1
Inputs	14/24 VDC, 8/100 kHz	14/24 VDC, 8/100 kHz
Outputs	10 trans; 0.5 A, 4/100 kHz	10 trans; 0.5 A, 4/100 kHz
References	TM238LDD24DT	TM238LFDC24DT

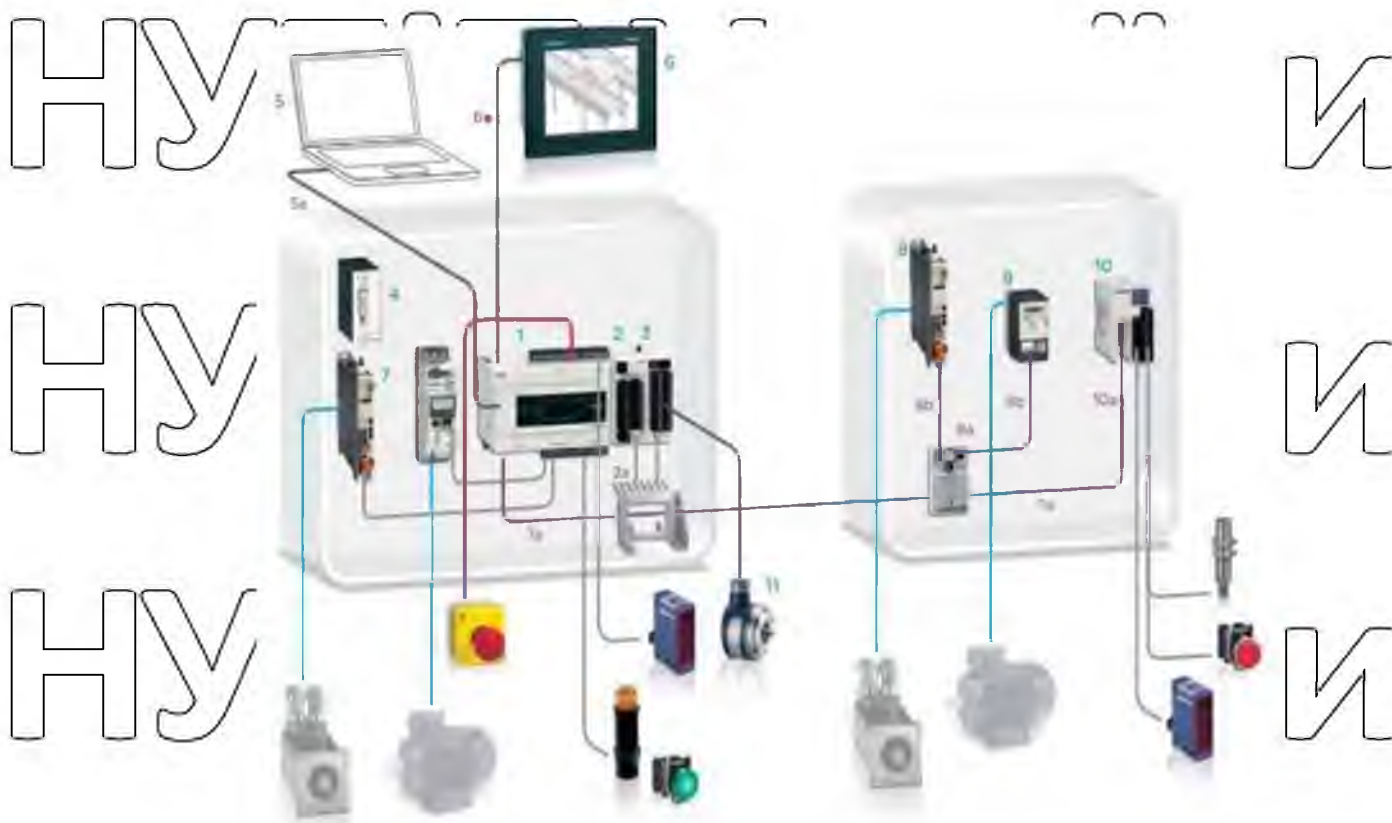
Рисунок 3.3 – Узагальнені технічні характеристики програмованого логічного контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд модуля TM2AMM6NT

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики TM2AMM6NT

Parameter		Value	Default value	Description
Type		Not used 0- 10 V 4 - 20 mA	Not used	This identifies the mode of a channel.
Scope		Normal Customized	Normal	This identifies the range of values for a channel.
Minimum	Normal	0	0	Specifies the lower measurement limit.
	Customized	-32768...32767	-32768	
Maximum	Normal	4095	4095	Specifies the upper measurement limit.
	Customized	-32768...32767	32767	



No.	Device	Reference	Description
1	Logic controller	TM238 LFDC24DT TM238 LFAC24DR	Controller with 24 I/O (including 2 outputs as PTO signals) and integrated CANopen port Controller with 24 I/O (without PTO and PMW functionality)
2	Module with 8 analog inputs	TM2 ARI 8LT	Module with eight 2 or 3-wire temperature probe inputs, connected on 2 screw terminal blocks
3	High-speed counter module	TM200 HSC 206DF	Module with two 60 kHz high-speed counting channels, connected on 2 spring terminal blocks
4	Phaseo 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply	ABL 8REM24●●● ABL 8RPS24●●●	Optimum power supply. ●●●: 030 for I = 3 A, 050 for I = 5 A Universal power supply. ●●●: 050 for I = 5 A, 100 for I = 10 A
5	Programming PC	MSD CHNSFUV20	SoMachine software, 1-station license
6	Magelis HMI terminal (Modbus protocol)	XBT N200/R400 + 6a XBT RT500/RT511 + 6a	Small Panel with keypad for displaying text messages of 2...10 lines. Connection to controller serial port SL2, 5 V $\bar{\text{~}}$ power supply via controller (1)
		XBT N401/N410 + 6b XBT R410/R411 + 6b	Small Panel with keypad for displaying text messages and control/configuration of data, 5.7" screen, external 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply. Connection to controller port SL1 or SL2
		XBT GT11●●/ GT1335 + 6a	Advanced Touch Panel with graphic display, 3.8" screen, external 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply. Connection on COM1 port to controller port SL1 or SL2
	Magelis HMI terminal (SoMachine-Network protocol)	XBT GT2●●0 .7340 + 6c XBT GK●●●0 + 6c	Advanced Touch Panel with graphic display, 5.7" ... 15" screen, external 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply. Connection on COM1 port to controller port SL1 or SL2
7	Lexium 32 servo drive	LXM 32●●●●	Servo drive on CANopen bus, to be used with BRH/BSH motor
8	Lexium 32 servo drive	LXM 32●●●●	Servo drive on CANopen bus, to be used with BRH/BSH motor
9	Altivar 312 variable speed drive	ATV 312●●●●●●	Drive for asynchronous motor (integrated Modbus and CANopen)
10	Advantys OTB distributed I/O	OTB 1C0 DM9LP	CANopen bus interface module, 12 x 24 V $\bar{\text{~}}$ inputs, 2 x 24 V $\bar{\text{~}}$ outputs and 6 relay outputs
11	Osicoder incremental encoder	XCC 14●K/15●Y/19●KN	Rotary \varnothing 40/58/90 mm with Push-pull outputs with extension XCC PM23121●
1a	CANopen cable	TSX CAN CA 50/100/300	Cables for standard environments (50/100/300 m)
2a	Earthing plate	TM2 XMTGB	Connection of cable shielding and functional earth (FE) on modules 2 and 3
5a	Terminal port/PC USB port cordset	TCS XCN AMUM3P	Cordset from USB port on Modicon M238 base to PC terminal USB port (3 m)
6●	Magelis HMI cordsets	6a XBT Z9980 6b XBT Z938 6c XBT Z9008	2 RJ45, RS 485 Modbus connectors (2.5 m) 1 SUB-D25 and 1 RJ45, RS 485 Modbus (2.5 m) 1 SUB-D9 and 1 RJ45, RS 485 Modbus (2.5 m)
8a	IP 20 junction box	VW3 CAN TAP2	IP20 junction box with 2 CANopen RJ45 connectors and 1 diagnostic terminal RJ45 connector
8b	CANopen preassembled cordset	VW3 CAN CARR03/1	Cordset with 1 RJ45 connector at each end (0.3/1 m)
10a	IP20 9-way SUB-D connector	TSX CAN KCDF 90T/180T	Connector with line terminator, straight/right-angled

(1) Except for XBT RT511, connection to controller serial port SL1 or SL2, external 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply.

Рисунок 3.5 – Структурна схема підключень програмованого логічного контролеру Modicon M238 фірми Schneider Electric

3.2. Вибір сприймаючих елементів системи автоматичного керування процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів.

Вимірювальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають, як правило, в два етапи:

- на першому етапі - за типом контрольованого параметра об'єкта управління й умовами його роботи визначається різновид перетворювача;

- на другому етапі - після вибору всіх елементів регулятора за каталогами знаходять його типорозмір.

За технологічними вимогами необхідно підтримувати заданий рівень струму асинхронного двигуна приводу ротора блокорізки в межах технічних характеристик щодо його перевантаження. Виходячи з відповідних технічних характеристик, номінальний струм складає 30 А та пусковий 225 А.

Зважаючи на це та на умови використання, обираємо відповідний трансформатор струму (рис. 3.6) (табл. 3.2).



Рисунок 3.6 – Трансформатор струму МАС012

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики трансформатора струму МАС032

Параметр	Значення
Тип трансформатора	з виходом 4-20mA
Напруга живлення	10-32VDC
Частота мережі	50-60Гц
Серія	МАС032
Вторинний струм	4-20 mA
Клас ізоляції	Клас E
Для шини шириною	30 мм
Залишкова пульсація	0,01
Струм короткого замикання	60 In
Тип	прохідний
Робоча температура	-25°C...+50°C
Тривале перевантаження	1,2
Діапазон	0 - 300A
Температура зберігання	-40°C...+80°C
Отвір для шини	32 x 10 мм
Монтаж на панель	є
Самозатухаючий термопластик	UL 94-V0
Отвір для кабелю	ø23 мм
Фіксація шиною	ні
Ступінь захисту клем	IP 20
Монтаж на DIN-рейку	є
Напруга	0,72кВ
Система фіксації шпильками	є
Напруга випробування	M12
Клас точності	M8
Час відгуку	200 мсек
Тест перенапруги	5кВ, 1,2/50мсек

Загальний опис передатної функції сприймаючого елемента (датчика) можна записати:

$$W_{ce}(p) = \frac{k_{ce}}{T_d p + 1}, \quad (3.1)$$

де k_{ce} – коефіцієнт передачі сприймаючого елемента;

T_d – час термічної реакції, с.

Передатну функцію трансформатора струму можна вважати одиничною ланкою зв'язку з тим, що час його відгуку згідно технічних характеристик є 0,2 с, а вихідний сигнал масштабується у відповідності до необхідного діапазону вимірювання. Запишемо передатну функцію сприймаючого елемента як

$$W_{ce}(p) = 1. \quad (3.2)$$

В якості контактів елементів безпеки використовуємо кінцеві вимикачі 1P3+2NO 24-48V XCSA512 (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Вимикач безпеки кінцевий XCSA512

Для контролю діапазону руху штоку електроциліндра використовуємо магнітні кінцеві вимикачі RMS-301-NC (рис. 3.8) вони встановлюються на корпус та спрацьовують на вбудовані в електроциліндр магніти.



Рисунок 3.8 – Магнітний кінцевий вимикач RMS-301-NC

3.3. Вибір виконавчих механізмів системи автоматичного керування процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів.

В роботі необхідно обрати наступні виконавчі механізми та регулюючі органи: електроциліндр обладнаний сервоприводом для регулювання подачі (штоухання) заморожених блоків м'яса на роторні ножі блокорізки.

Електроциліндр обираємо 6E-080-BS-0500-P32-P (рис. 3.9).

Обчислення проводиться з урахуванням стану регулюючої ланцюга і робочих умов матеріалу за наведеними нижче формулами. Регулюючий електроциліндр повинен бути підібраний так, щоб був здатний регулювати максимальний момент та необхідну довжину в даних експлуатаційних умовах.

З інструкції по експлуатації можна отримати основні динамічні показники електроциліндра (рис. 3.10-11).



Рисунок 3.9 – Електроциліндр 6E-080-BS-0500-P32-P

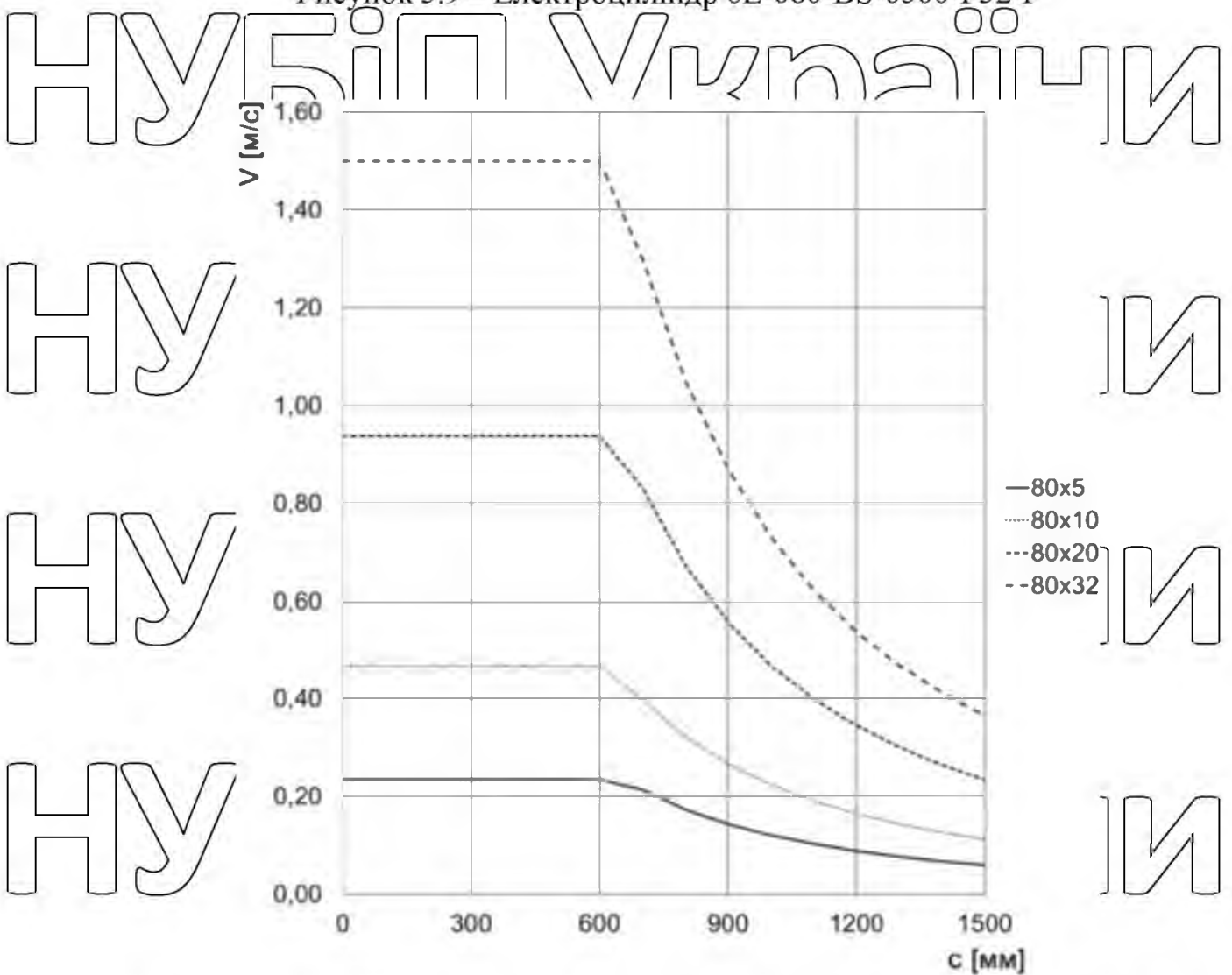


Рисунок 3.10 – Максимальна швидкість (V) циліндра залежно від ходу (с)

НУБІП У КРАЇНИ

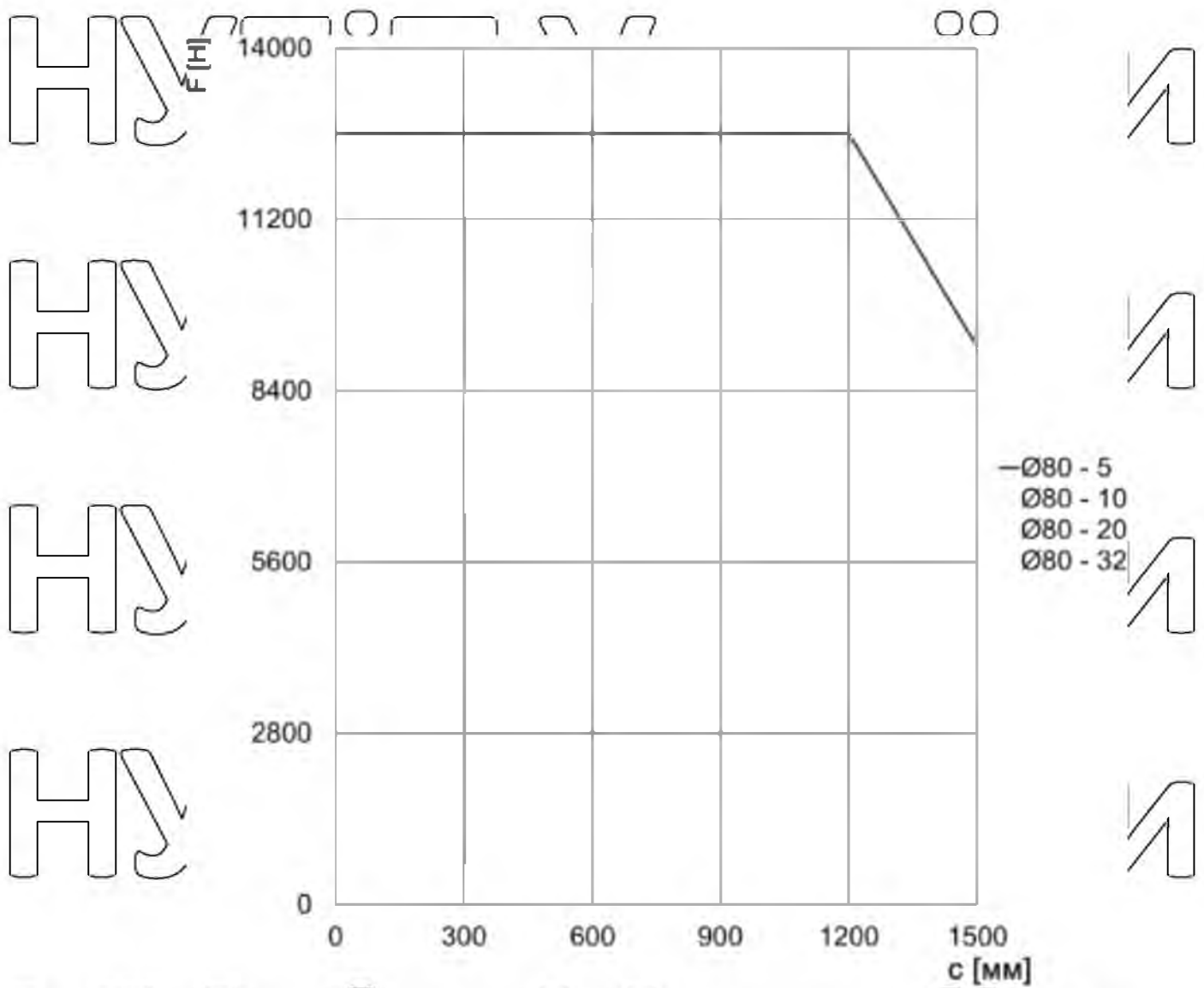


Рисунок 3.11 – Максимальне зусилля (F) циліндра залежимо від ходу (s)

Для приводу електроциліндра обираємо електродвигун МТВ-040-2-F-

Е (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Синхронний серводвигун МТВ-040-2-F-Е

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Потужність	100 Вт Мод. МТВ-010-... 400 Вт Мод. МТВ-040-... 750 Вт Мод. МТВ-075-... 1000 Вт (Мод. МТВ-100...)
Тип двигуна	Синхронний серводвигун з постійними магнітами
Магніти	Неодім, залізо, бор (NdFeB)
Корпус	Алюміній
Колір	Чорний
Клас захисту: двигуна вала двигуна роз'єму	IP65 IP40 IP20
Клас ізоляції	Клас А
Вал	Гладкий
Номінальний крутний момент	0.32 Нм (100 W) - 1.27 Нм (400 W) - 2.4 Нм (750 W) - 4.77 Нм (1000 W)
Макс. крутний момент	3 × номінальний крутний момент
Момент утримання гальмування	0.32 Нм (100 W) - 1.27 Нм (400 W) - 2.4 Нм (750 W) - 4.77 Нм (1000 W)
Термін служби	> 20 000 год. (при номінальному навантаженні)
Підключення: двигуна датчика зворотного зв'язку	Кабель (300 мм) з роз'ємом Кабель (300 мм) з роз'ємом (двигуни з потужністю 1 кВт мають роз'єм на корпусі)
Охолодження	Конвекційне
Термодатчик	-
Датчик зворотного зв'язку	10 000 імпульсів / оберт
Температура навколишнього середовища	0°C ÷ 40°C
Температура зберігання	-15°C ÷ 70°C
Относительная влажность повітря	До 80 %
Макс. висота монтажу	1000 м над рівнем моря

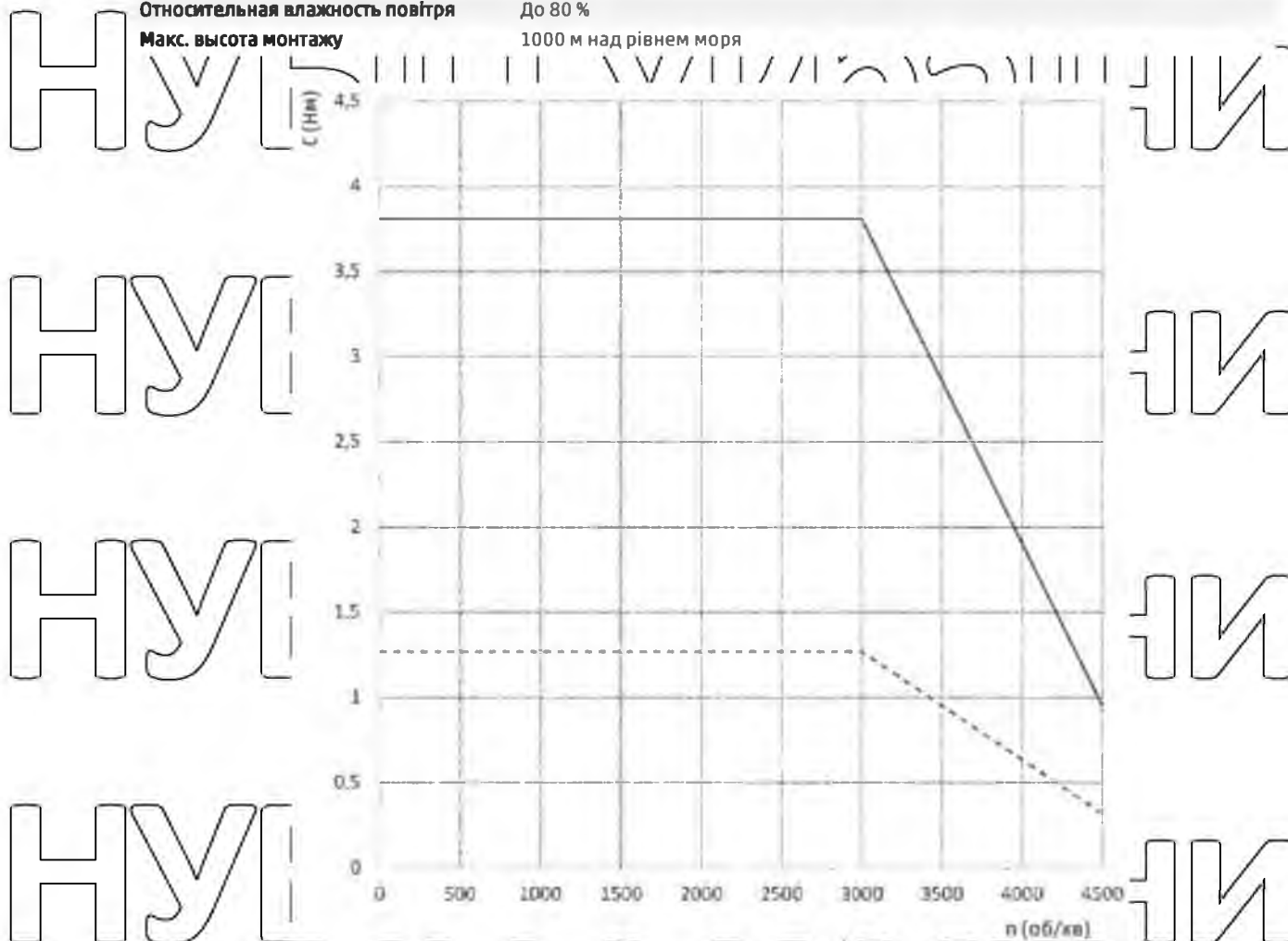


Рисунок 3.13 – Графік момент/швидкості двигуна МТВ-040-2-F-E

Використовуючи стримані данні та паспортні дані залежності швидкості переміщення дають можливість отримати передатну функцію виконавчого механізму:

$$W_{BM}(p) = \frac{3.2}{1.8p + 1} \quad (3.3)$$

В жості двигуна приводу ротора обираємо асинхронний двигун потужністю 15 кВт АИР160S4, зв'язаний для приводу ротора через ремінну передачу (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Асинхронний двигун АИР160S4

Для приводу синхронного серводвигуна МТВ-040-2-F-E використовуємо драйвер DRWB-W04-2-D-E-A. Керування драйвером відбувається шляхом передачі керуючих сигналів по протоколу MODBUS RTU.

НУБІП України



Рисунок 3.15 – Драйвер DRWB-W04-2-D-E-A

3.4. Вибір алгоритму управління та розробки функціональної та структурної схеми САК

Отримана передатна функція об'єкта керування (процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів) та вимоги до комплексу технічних засобів, вимагає використовувати регулятор безперервної дії.

За технічним завданням для керування подачею блоків замороженого м'яса використовуємо електроциліндр під'єднаний до штовхача. Для підвищення якості керування використовуємо регулятор більш складної структури (ПД). Навантаження на вал ротора подрібнювача є швидкодіючим процесом. Підтримання заданих параметрів швидкості подрібнення при неперевисенні струму електродвигуна приводу ротора можливо тільки при використанні ПД-регулятора.

Для розробки структурно-функціональної схеми САК процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів (рис. 3.16) скористуємось отриманими пристроями, на якій зображено: автоматичний керуючий

пристрій (АКП), виконавчий механізм (ВМ); об'єкт керування (ОК); сприймаючий елемент (СЕ); порівнювальний елемент.

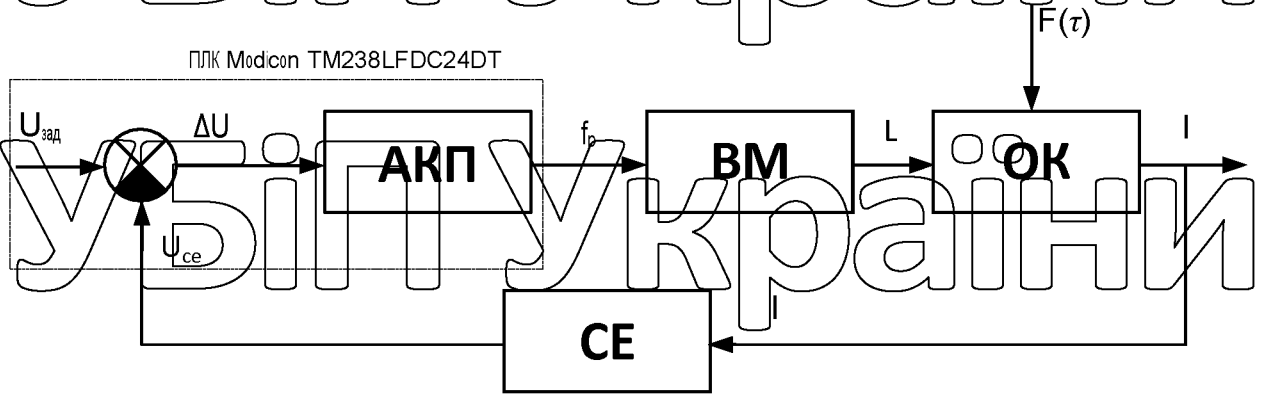


Рисунок 3.16 – Структурно-функціональна схема САК процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів

Маючи функціонально-структурну схему складаємо структурно-алгоритмічну схему процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів (рис. 3.17), визначивши передатні функції основних елементів схеми.

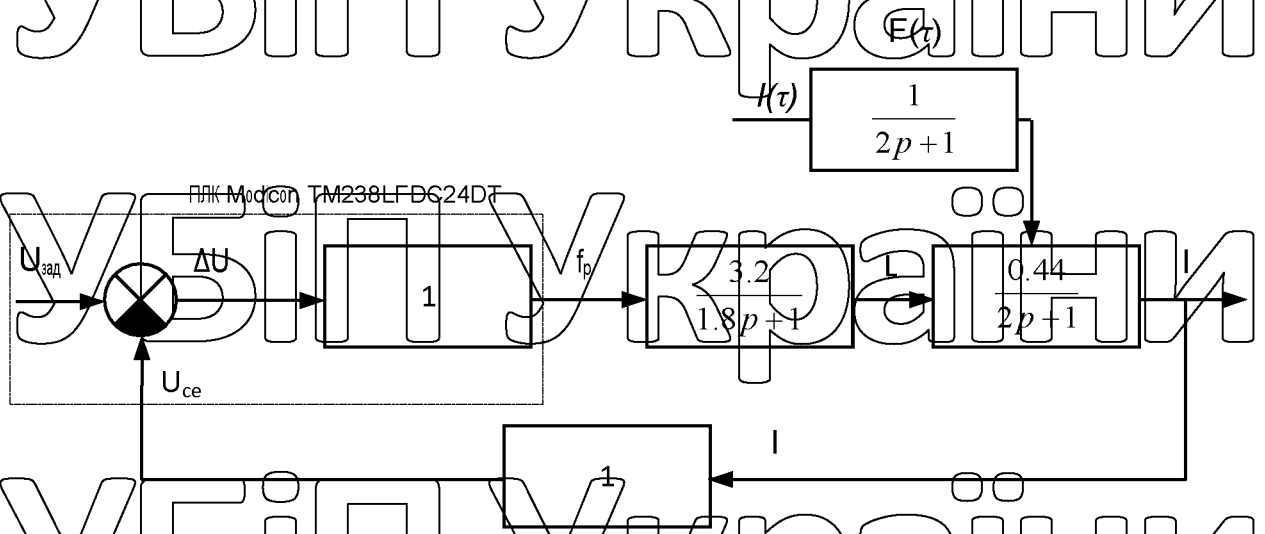


Рисунок 3.17 – Структурно- алгоритмічна схема САК процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів

НУБІП України

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для дослідження САК процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів скористаємось методикою наведеною в курсі «Теорія автоматичного керування». Теоретичний опис методики наведено в додатках. Всі розрахунки проводились в математичній системі MATLAB.

Передатна функція об'єкта керування

$W_{ok} =$

$$H \left[\frac{0.44}{2s + 1} \right]$$

Continuous-time transfer function.

Передатна функція виконавчого механізму (регулюючого органу)

$W_{vm} =$

$$H \left[\frac{3.2}{1.8s + 1} \right]$$

Continuous-time transfer function.

Передатна функція сприймаючого елемента

$W_{se} =$

$$H [1]$$

Static gain.

Передатна функція розімкнутої неперервної частини системи керування

$W_{nc} =$

$$H \left[\frac{0.9997}{3.6s^2 + 3.8s + 1} \right]$$

Continuous-time transfer function.

Передатна функція замкнутої неперервної частини системи керування

$W_{zam} =$

$$H \left[\frac{0.9997}{3.6s^2 + 3.8s + 1} \right]$$

$$H(s) = \frac{3.599 s^2 + 3.799 s + 0.9997}{12.96 s^4 + 27.36 s^3 + 25.24 s^2 + 11.4 s + 2}$$

Continuous-time transfer function.

$$H(s) = \frac{0.2777}{s^2 + 1.111 s + 0.3086}$$

Continuous-time transfer function.

$$H(s) = \frac{w_c}{4.7155}$$

Розрахункова частота квантування
 $w_c = 4.7155$

Розрахунковий період квантування
 $T_k =$

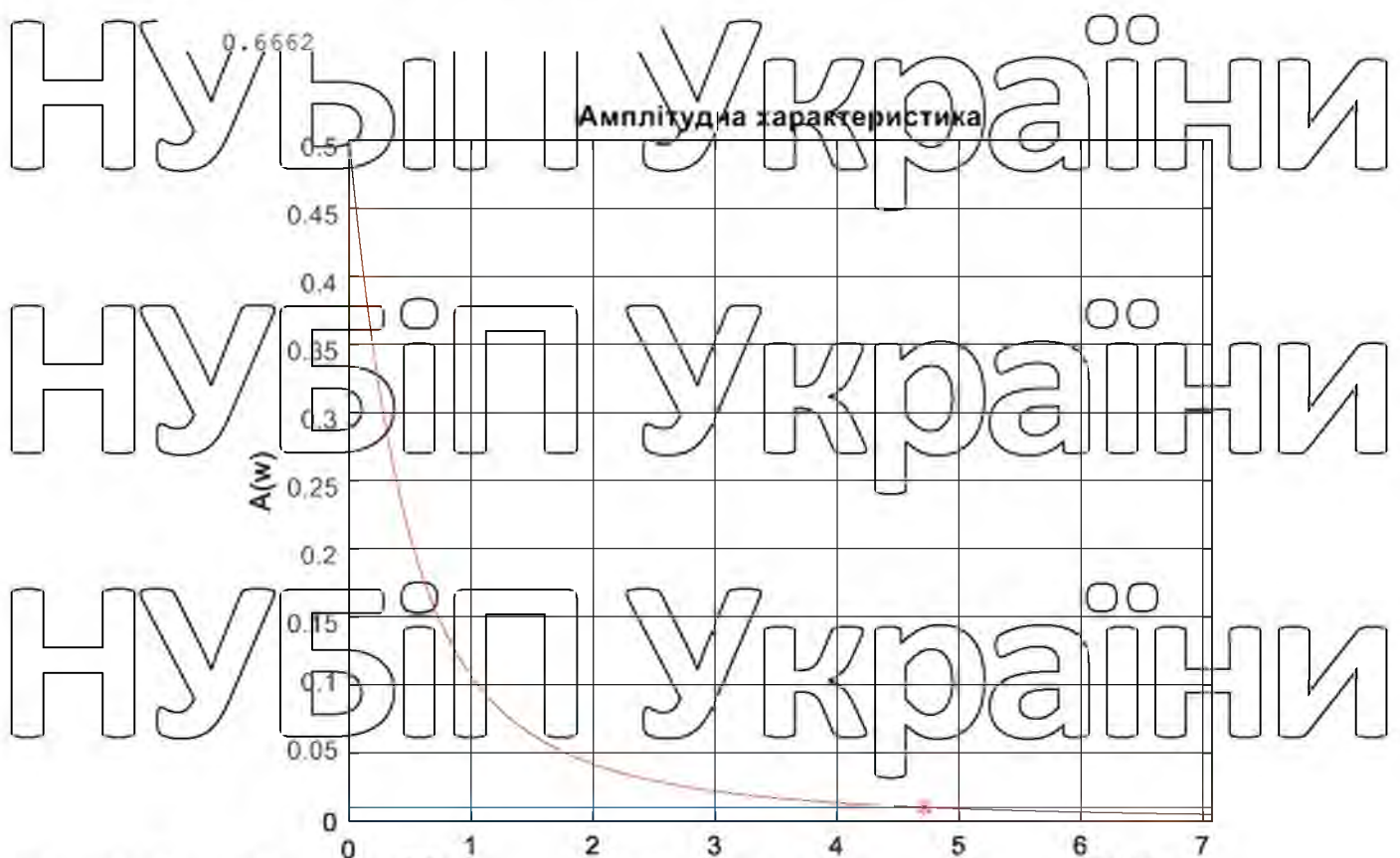


Рисунок 4.1 – Перевірка за теоремою Котельникова

Н Дискретна передатна функція розімкнутої неперервної частини системи керування
 $W_{ncz} =$

$$\frac{0.04892 z + 0.03869}{z^2 - 1.407 z + 0.495}$$

Н Sample time: 0.66623 seconds
 (Discrete-time transfer function.)
 Корені характеристичного рівняння
 $Z_k =$
 0.7167
 0.6906

Н Корені характеристичного рівняння
 $a_1 =$
 3.8
 Корені характеристичного рівняння
 $b_1 =$

Н 0
 Коефіцієнт помилки системи за швидкістю
 $C_1 =$
 0.95

Н Коефіцієнт добротності системи за швидкістю
 $K_v =$
 1.052631605903312512598656790012
 Інтегральний параметр складової ПІД-регулятора
 $K_i =$
 1.053

Н Пропорційний параметр складової ПІД-регулятора
 $K_p =$
 3.6915
 Диференціальний параметр складової ПІД-регулятора
 $K_d =$

Н 2.6395
 ЗіП України

За допомогою критерію Джурі проведемо оцінку стійкості цифрової системи керування процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів. Згідно цього критерію всі корені характеристичного рівняння повинні знаходитися в колі одиничного радіуса на z площині для дійсних коренів

($z_k < 1$ (рис. 4.3), всі корені знаходяться в колі – тобто система є стійкою.

Корені характеристичного рівняння на Z -площині

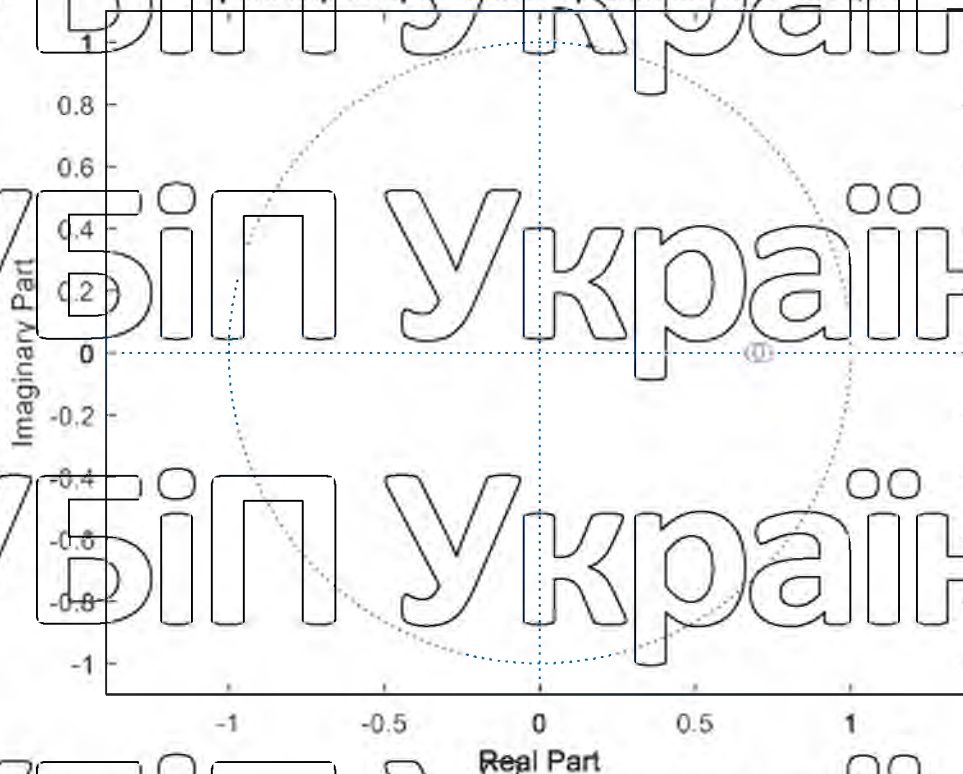


Рисунок 4.3 – Корені характеристичного рівняння на z -площині

Показники якості системи отримаємо побудувавши перехідний процес системи в системі MATLAB (рис. 4.4).

Аналізуючи перехідний процес отримали, час регулювання 12 секунд, коливальність 0, статична похибка 0, тобто відсутні помилки регулювання та перерегулювання.

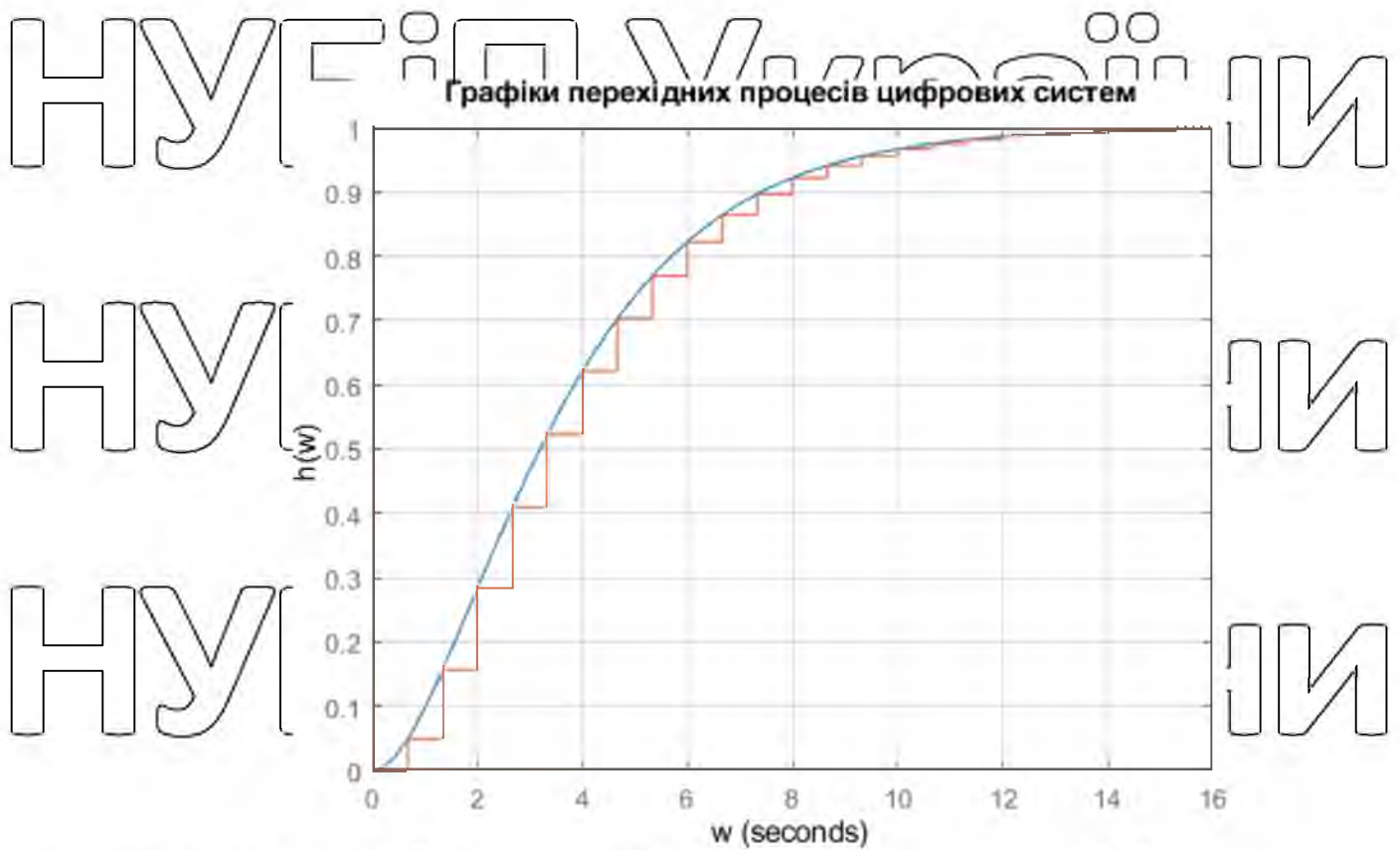


Рисунок 4.4 – Перехідний процес системи автоматичного керування процесом подрібнення заморожених м'ясних виробів

НУБІП України

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СХЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Розробка схем погодження між зовнішніми пристроями та програмованим логічним контролером.

Для введення аналогового сигналу з трансформатора струму використовуємо модуль TM2AMM6HT (рис. 5.1).

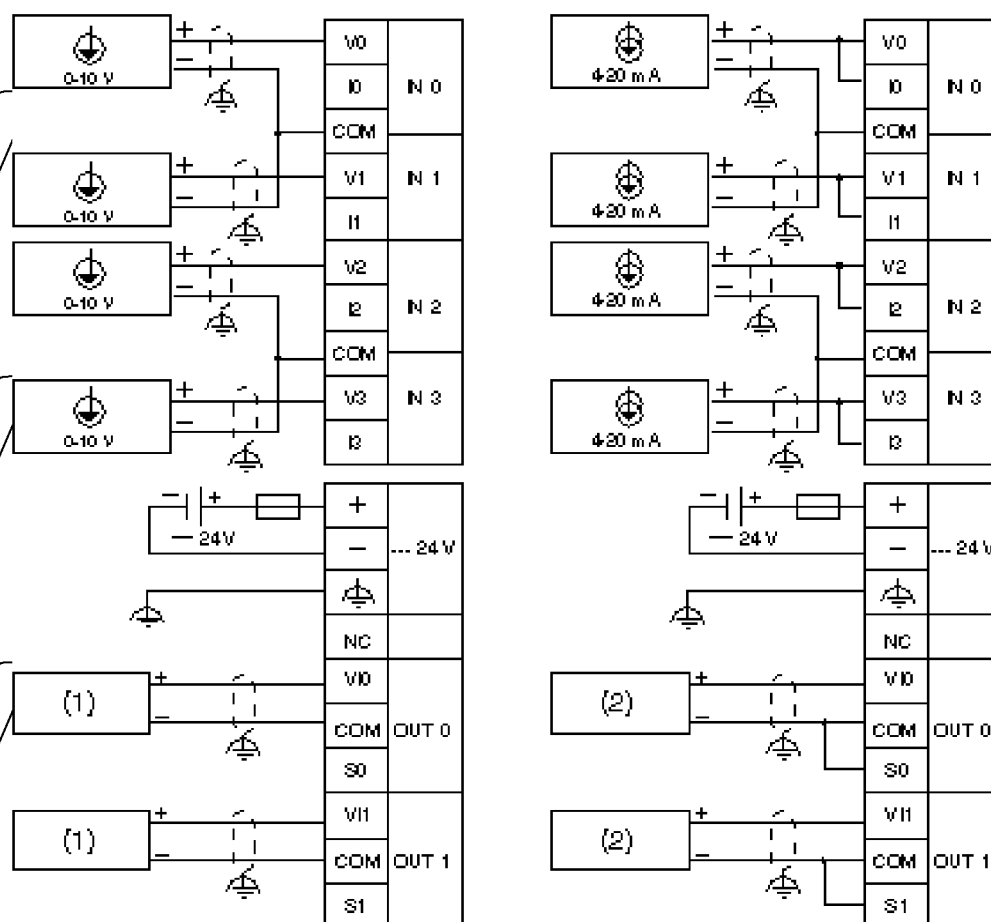


Рисунок 5.1 – Схема підключень модуля TM2AMM6HT

Для підключення програмованого логічного контролера M238 використовуємо типові електричні принципи схеми, що наведені в інструкціях щодо його монтажу (рис. 5.2-5.5).

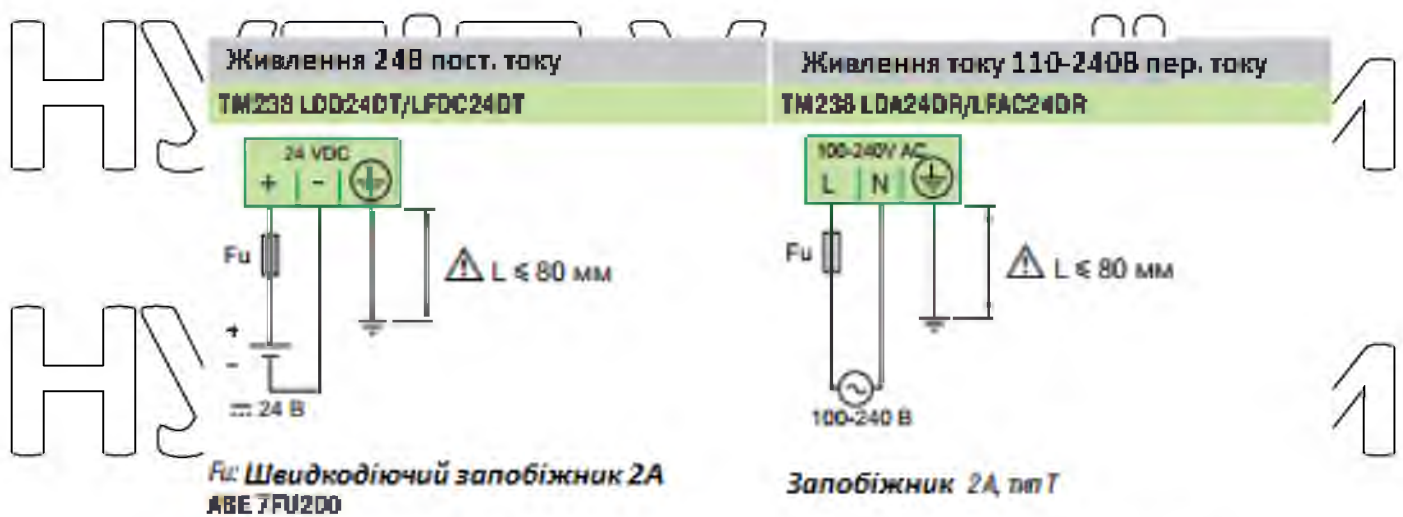
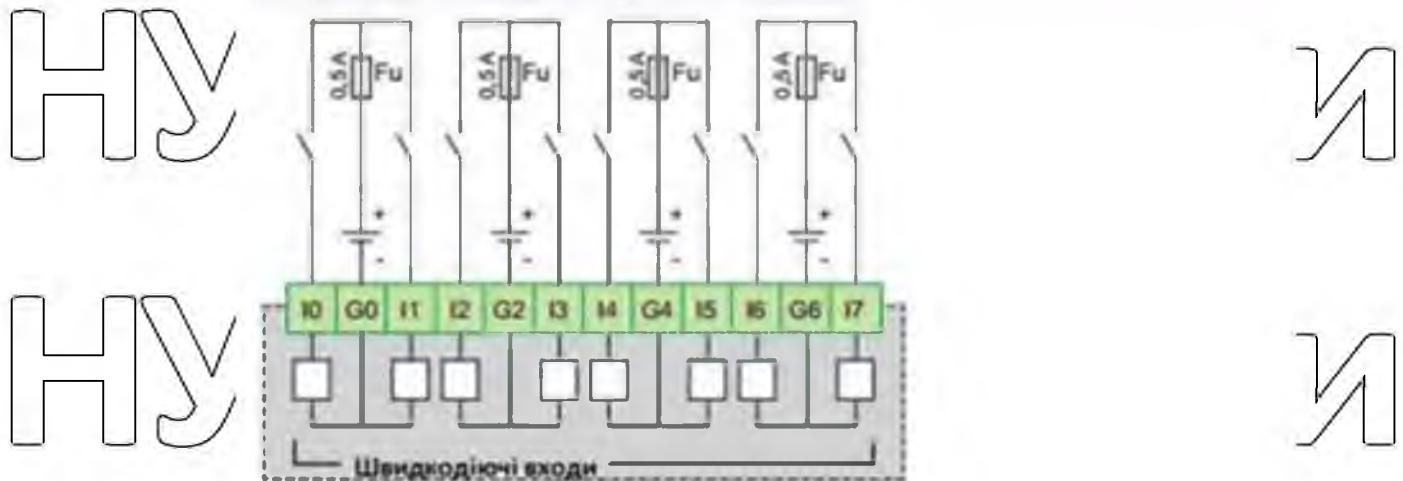


Рисунок 5.2 – Схема підключення до джерела живлення контролера M238

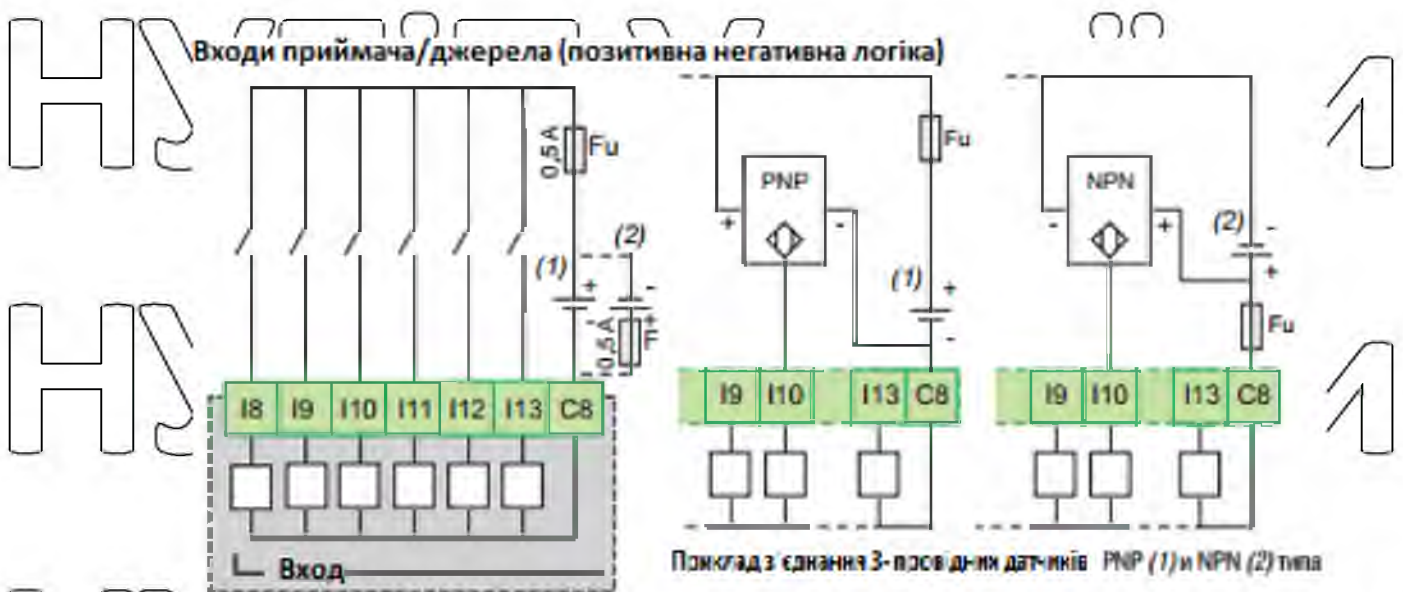
Базові блоки TM238 LDD24DT/LFDC24DT, TM238 LDA24DR/LFAC24DR
Входи 24В пост. току

Швидкодіючі входи приймача (позитивна логіка)



Fu Швидкодіючий запобіжник, 0,5 А

Рисунок 5.3 – Схема підключень швидкодіючого входу приймача контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric



Fu швидкодіючий запобіжник 0,5А

- (1) Входи приймача (позитивна логіка)
- (2) Входи джерела (негативна логіка)

Рисунок 5.4 – Схема підключень входів приймача/джерела логічного контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric

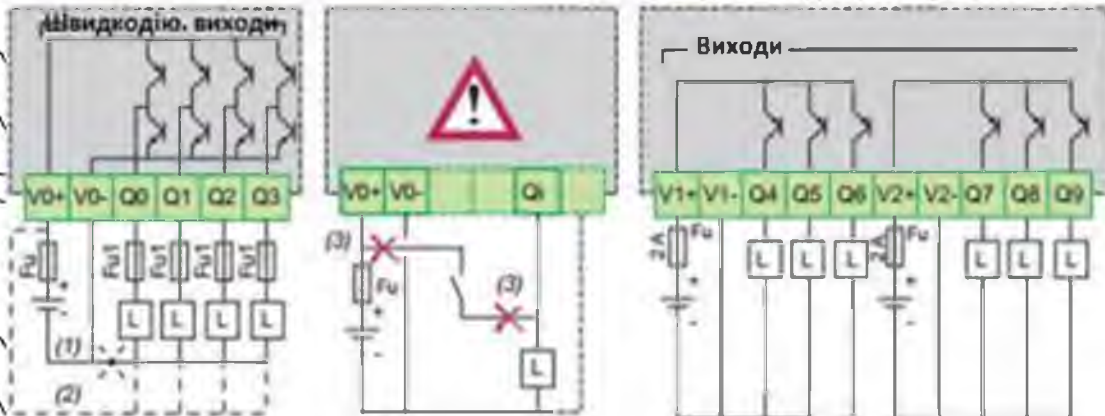
З'єднання (продовження)

Базові блоки **TM238 LDD240T/LFDC240T**

Полупроводникові виходи 24 В пост. тока

Швидкодіючі виходи (позитивна/негативна логіка)

Виходи типу "джерело" (позитивна логіка)



Fu Швидкодіючий запобіжник 2А
Fu Швидкодіючий запобіжник 0,1А

Рисунок 5.5 – Схема підключень швидкодіючих входів контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric

5.2. Розробка принципової схеми.

Принципові електричні схеми – це проектний документ, що визначає повний склад електричних елементів, зв'язків між ними та дає повне уявлення щодо принципів роботи схеми.

У загальному випадку принципові електричні схеми включають:

- умовні зображення елементів і зв'язків між ними;
- пояснювальні надписи;
- частини окремих елементів даної схеми, що використовують в інших схемах, а також елементи з інших схем;
- діаграми перемикачів контактів багатопозиційних пристроїв;
- перелік пристроїв, засобів автоматизації та апаратури, що використовується в даній схемі;
- перелік креслень, що відносяться до даної схеми, загальні пояснення та примітки.

Драйвер для керування серводвигуном привода електроциліндра підключено до ПЛК M238 за допомогою мережі RS485 по протоколу MODBUS RTU.

Принципова електрична схема умовно розділена на три складових: силову частину; підключення програмованого логічного контролера M238 та підключення драйвера серводвигуна.

Принцип роботи системи автоматичного керування подрібнення заморожених м'ясних виробів полягає в керуванні штовхачем за допомогою програмованого логічного контролера M238 (рис. 5.6)

Процес подрібнення блоків замороженого м'яса відбувається згідно технологічних умов. Перед вмиканням установки необхідно встановити ножі необхідного розміру. Після вмикання автоматичних вимикачів з магнітним розчилювачем QF1-2 та автоматичного вимикача QF3 живлення поступає на ПЛК D1.1 який переходить в стан «Робота». Програма очікує який режим роботи буде обрано перемикачем SA1 «Автоматичний/ручний».

Після обрання «Автоматизованого» режиму роботи починається робочий

цикл. Вмикається двигун ротора M1 шляхом ввімкнення проміжного реле KV1, яке вмикає магнітний пускач KM1. Подача живлення на силові контакти драйвера серводвигуна відбувається за тієї ж послідовністю (KV2→KM2→D1.2).

Після ввімкнення основних вузлів та їх діагностики (3 хв) ПЛК очікує на завантаження в приймальний лоток блока та натискання кнопки SB4. ПЛК використовуючи протокол MODBUS RTU дає команду драйверу D1.2 на вмикання серводвигуна M2 привода електроциліндра. Електроциліндр з заданою швидкістю починає подавати блок до ротора, який ножами зрубує з нього частинки м'ясної сировини. Контроль навантаження ротора здійснюється датчиком струму D1.4, що передає інформацію до блоку розширення аналогових сигналів D1.3, який зв'язано внутрішнім зв'язком з ПЛК D1.1. Програма в ПЛК, використовуючи ПД закон регулювання, виробляє відповідні керуючі дії для серводвигуна M2.

Програма оцінює положення штовхача використовуючи енкодер. Ручний режим керування реалізується програмно, тобто відключається підпрограма ПД регулятора. В ручному режимі керування запуск здійснюється з використанням кнопок SB2 та SB3. Пуск та зупинка серводвигуна робиться з використанням кнопки SB5 (утримання). Зупинка САК подрібнення заморожених м'ясних виробів здійснюється шляхом натискання кнопки SB1 (Аварійна зупинка) з фіксацією.

Додатково передбачено використання кінцевих вимикачів для забезпечення персонала від травмування робочими органами блокоріза. Кінцеві вимикачі SQ1-3 встановлені на внутрішніх поверхнях установки та спрацьовують на відкривання захисних кожухів та сервієних дверцят.

Для обмеження ходу електроциліндра використовуються два кінцевих вимикача SQ4-5 які автоматично спрацьовують на повернення штовхача в початкове положення з використанням блокування проміжним реле KV3.

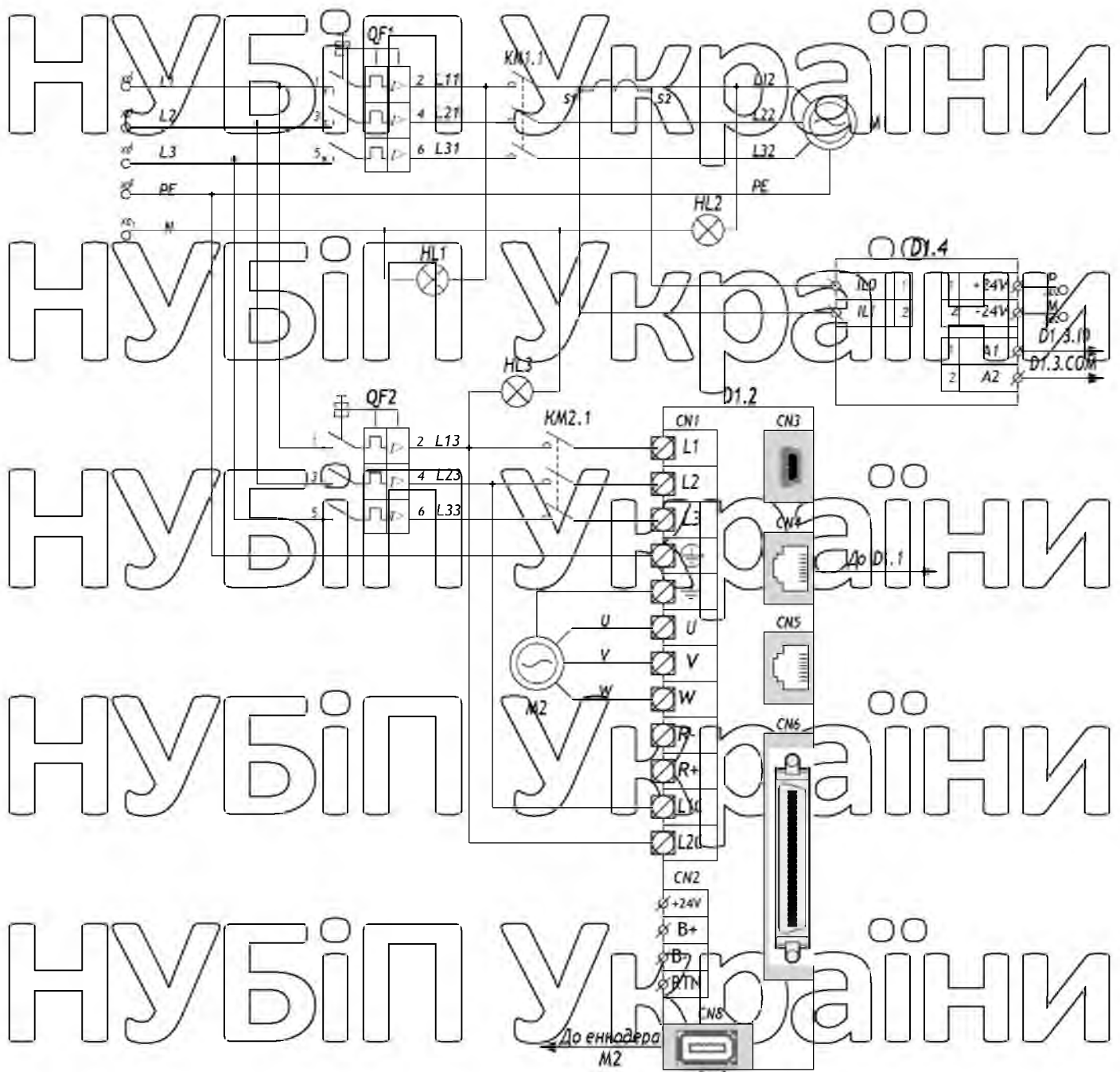


Рисунок 5.6 – Принципова електрична схема системи автоматичного керування подрібнення заморожених м'ясних виробів (силова частина)

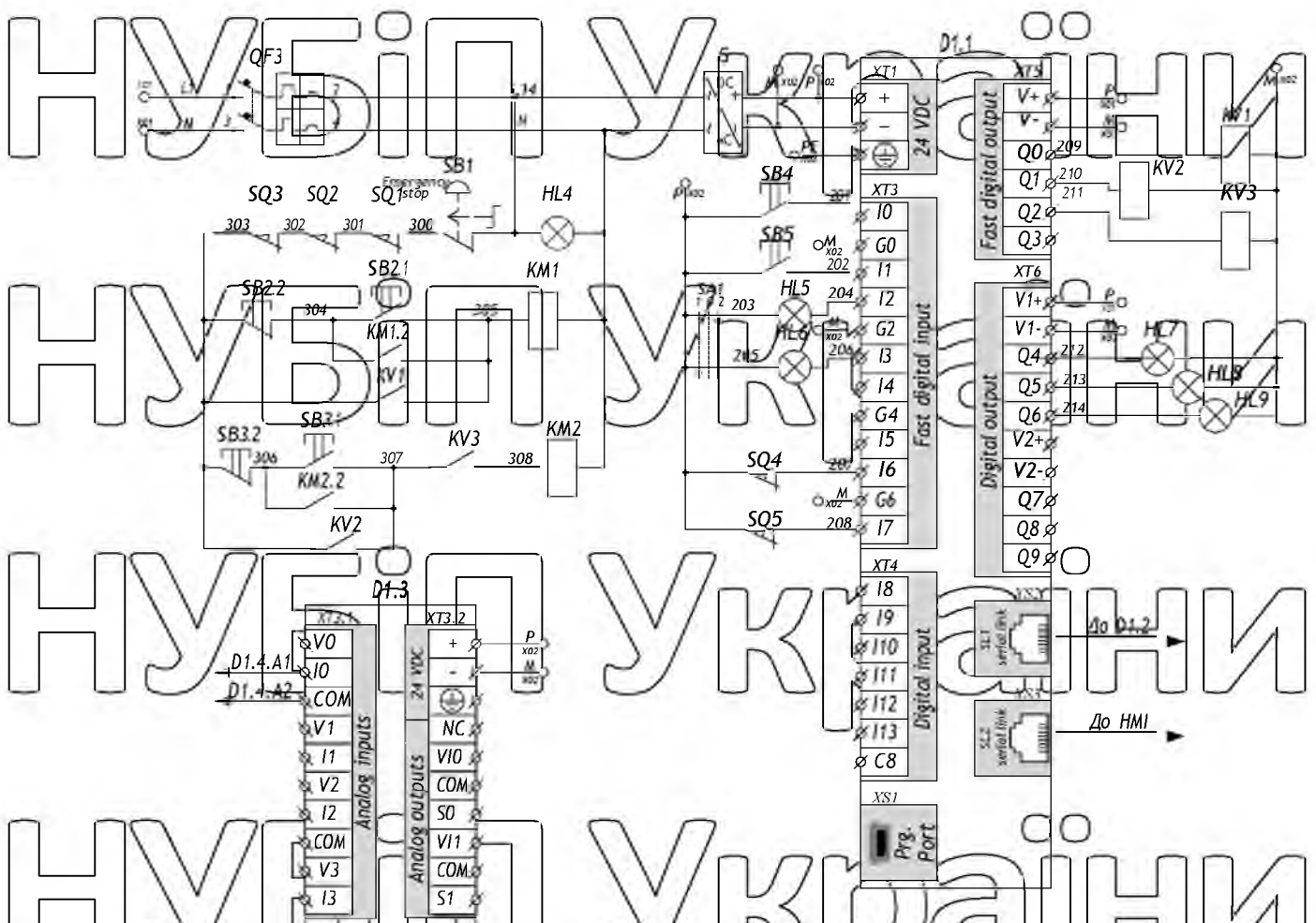


Рисунок 5.7 – Принципова електрична схема САК подрібнення заморожених м'ясних виробів (ПЛК)

5.3. Розробка схеми з'єднань

Згідно з ГОСТ 2.702-75 "Правила виконання електричних схем" схеми з'єднань – це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу. Вони розробляються на основі принципових схем живлення та використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схеми з'єднань виконую на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, статор, станцію керування;

• усі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, мають бути повністю відображені на схемі з'єднань;

• позиційне позначення приладів та засобів автоматизації, а також маркування ділянок кіл, що прийняті на принципових схемах, потрібно зберегти на схемі з'єднань.

Застосовують три способи виконання схем з'єднань: адресний, графічний і табличний. Для перших двох, крім зазначених вище правил, слід виконувати ще декілька:

• щит або шафу керування розвертають в одну площину, показуючи лише ті їхні конструкції, на яких розміщуються прилади та засоби автоматизації при цьому зберігають взаємне розміщення приладів та засобів автоматизації;

• прилади та засоби автоматизації показують спрощено без збереження масштабу у вигляді прямокутників, над якими розміщують кола, розподілені рискою навпіл; цифри над рискою вказують порядковий номер виробу (номера присвоюються попанельно зліва направо і зверху вниз), а під рискою позиційне позначення цього виробу (відповідно до принципової електричної схеми). За потребою показують внутрішню схему апаратів;

• для кількох реле, що розміщені в одному ряду, внутрішню схему показують один раз, якщо вона у них одна й та сама;

• умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами. Слід зазначити, що маркування проводів і позначення затискачів на схемах з'єднань є незалежними;

• платам, на яких розміщуються резистори, конденсатори та інші елементи, присвоюється лише порядковий номер (проставляється в колі над рискою); позиційне позначення елементів розміщують у безпосередній близькості від їхнього умовного графічного позначення.

5.4. Розробка схеми підключень.

Згідно з ГОСТ 2.702-75 схеми вмикання показують зовнішнє підключення апаратів, установок щитів, пультів і т.д. Схеми з'єднань виконують на підставі принципів живлення, специфікацій приладів і обладнання а також креслень виробничих приміщень із розміщенням технологічного обладнання та трубопроводів, використовують під час монтажу проводок, що забезпечують живлення щитів, пультів, установок, приладів та апаратів.

Практично використовують дві побудови схем підключень: графічну та табличну. Більш поширеною є графічна. При цьому умовними графічними позначеннями зображають: відбірні пристрої та первинні перетворювачі; щити, пульти та локальні пульти керування контролю сигналізації та вимірювання; позашитові прилади та засоби автоматизації; з'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців термпари, електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами; вузли приєднання електропроводів і приладів, апаратів та коробок; забірну апаратуру, елементів з'єднання та відгалуження; комутаційні затискачі, розміщені поза щитами; захисне заземлення.

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати зображають у вигляді прямокутників кіл, у середини яких розміщують відповідні надписи.

Зв'язки одного призначення на схемах підключень показують суцільні лінії, і лі в місцях приєднання для приладів виконавчих механізмів та до інших апаратів проводи розділяють, щоб провести їх маркування.

На лініях зв'язку, що означають проводи або кабелі, вказують номер проводки (підключення), марку, переріз та довжину проводів і кабелів (якщо проводка виконана в трубі, то необхідно вказати також характеристику труби).

Проводи, джгути та кабелі показують лініями товщиною 0.4...1 мм. Схеми підключень виконують без збереження масштабу у вигляді, зручному для користування.

Для відводок до окремих електроприймачів, які працюють з постійною потужністю споживання за максимально довгі робочі струми приймають їх номінальний струм, тобто:

$$I_{н.р} = I_n \quad (5.1)$$

Номінальні струми визначаються за формулою:

– для однофазних приймачів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{U_n \cdot \cos\varphi_n} \quad (5.2)$$

для трифазних приймачів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_n} \quad (5.3)$$

– для трифазних асинхронних короткозамкнених електродвигунів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_n \cdot \eta_n} \quad (5.4)$$

де P_n – номінальна потужність споживання електроспоживання, кВт;

U_n – номінальна напруга, В;

$\cos(\varphi_n)$ – номінальний коефіцієнт потужності;

η_n – номінальний ККД електродвигуна.

Поперечний переріз струмопровідних жил проводу вибирають з умов:

$$I_{доп} \geq I_{м.н} \quad (5.5)$$

Для кабелів сигналізації та контролю важливим фактором є опір лінії:

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot F} \quad (5.6)$$

де l – довжина лінії, км;

F – поперечний переріз;

γ – активний питомий опір проводу (для мідних проводів

$\gamma = 53 \cdot 10^6$ Ом/м; для алюмінієвих проводів $\gamma = 23 \cdot 10^6$ Ом/м).

При розробці схеми САК подрібнення заморожених м'ясних виробів використовуємо наступні правила:

- схему з'єднань розроблена на щит R5CE0664 DKC IP55;
- усі елементи QF, KM, KV, D було розміщено на задній панелі щита керування згідно ДСТУ «ГОСТ 2.702:2013 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем»;
- дотримано маркування кабелів, ліній зв'язку з використанням «ГОСТ 2.710-81, ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах».

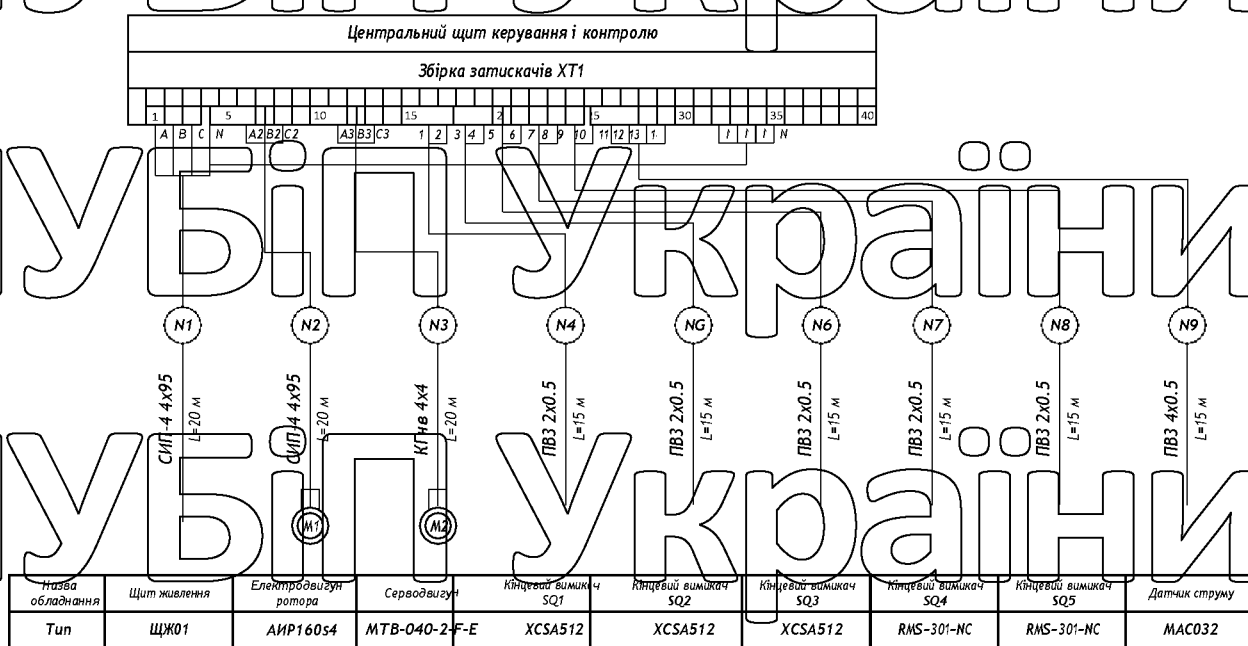


Рисунок 5.8 – Схема електрична підключень САК подрібнення заморожених м'ясних виробів

5.5. Вибір апаратів захисту та керування.

Вибір автоматичного вимикача QF1.

Згідно технічного завдання в схемі використовується електричний двигун для привода ротора потужністю по 15 кВт, тому для його захисту

обираємо автоматичні вимикачі з магнітним і комбінованим розчіплювачем, який розраховані на:

$$U_{nd} = 400V;$$

$$I_{nd} = 30A.$$

Обираємо автоматичний вимикач GV2ME32 (рис. 5.9) з наступними технічними характеристиками: $U_{na} = 400V$; $I_{na} = 32A$; $I_{mr} = 416A$.



Рисунок 5.9 – Автоматичні вимикачі з магнітним і комбінованим розчіплювачем GV2ME22

Вибір автоматичного вимикача QF2.

Згідно технічного завдання в схемі використовується серводвигун для привода електронциліндра потужністю по 0,4 кВт, тому для його захисту обираємо автоматичні вимикачі з магнітним і комбінованим розчіплювачем, який розраховані на:

$$U_{nd} = 400V;$$

$$I_{nd} = 1A.$$

Обираємо автоматичний вимикач GV2ME06 з наступними технічними характеристиками: $U_{na} = 400V$; $I_{na} = 1.6A$; $I_{mr} = 22.5A$.

Вибір автоматичного вимикача QF3.

Згідно технічного завдання в схемі використовуються програмований логічний контролер, 2 магнітних пускачі, тому для захисту обираємо автоматичні вимикач який розраховано на:

$$U_n = 240V$$

$$I_n = 2A$$

Обираємо автоматичний вимикач iK60N (рис. 5.10) з наступними технічними характеристиками: $U_{na} = 240V$; $I_{na} = 2A$.



Рисунок 5.10 – Автоматичний вимикач iK60N

Вибір електромагнітного пускача КМ1-2.

Електромагнітний пускач повинен відповідати наступним вимогам:

$$U_n \geq 380V;$$

$$I_n > 25A;$$

$$U_k = 220V$$

Згідно умов обираємо електромагнітний пускач LC1D323M7 (рис. 5.11) з наступними основними характеристиками: $U_n = 440V$; $I_n = 32A$;

$$U_k = 220V.$$

Вибір проміжного реле КК1-3.

Проміжне реле повинно відповідати наступним вимогам:

кількість контактів 1;

малій струмі обмотки;
 $U_k = 24V$.

НУБІГ України

Використовуючи перелічені умови, обираємо проміжне реле MY4-NS

24V DC (рис. 5.12) з наступними основними характеристиками: кількість

контактів – 4 групи, $I_n = 5A$ при $U_n = 240V$; $U_k = 24V$.



Рисунок 5.11 – Електромагнітний пускач LC1D33M7



Рисунок 5.12 – Проміжне реле MY4-NS 24V DC

Вибір двопозиційного перемикача SA1
 Перемикач повинен задовольняти наступним вимогам: $U_s \geq 24V$;
 $I_s > 0.5A$. Обираємо двопозиційні перемикачі з нульовим положенням

XB5AD33 (рис. 5.13) з наступними основними характеристиками: $U_s = 220V$;

$I_s = 3A$.



Рисунок 5.13 – Двопозиційний перемикач з нульовим положенням XB5AD33

Використовуємо кнопку без фіксації "Старт" зелену ZB5 AA33 (рис. 5.14) та кнопку "Старт-Стоп" ZB5 AW833743 (рис. 5.15).



Рисунок 5.14 – Кнопка без фіксації "Старт" зелена ZB5 AA33



Рисунок 5.15 – Кнопка "Старт-Стоп" ZB5 AW833743

5.6. Розробка програмного забезпечення.

Для програмування ПЛК M238 використовуємо програмне забезпечення SoMachine Logic Builder (рис. 5.13). Для програмування додаємо ПЛК, модуль розширення аналогових входів та панель НМІ. Для реалізації ПІД регулятора використовуємо програму на мові програмування FBD та вбудований блок PID регулятора (рис. 5.13).

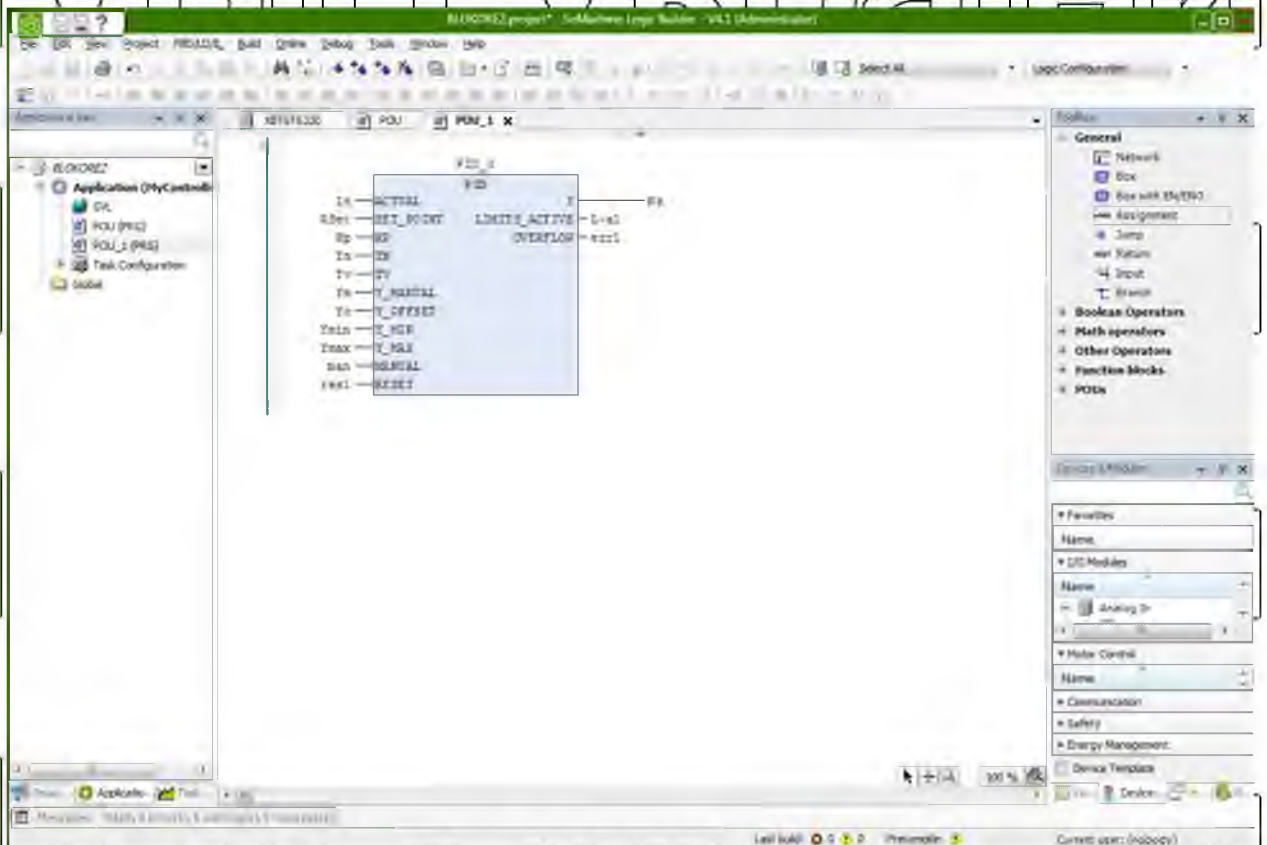


Рисунок 5.13 Програмне забезпечення SoMachine Logic Builder вбудований блок PID регулятора

Режимі автоматичного виконання технологічного процесу перемикається двопозиційним перемикачем з нульовим положенням SA1 та подачею логічної одиниці на вхід ПЛК %I0.2. При цьому відбувається запуск виконання процедури запуску основного обладнання шляхом подачі логічної одиниці на виходи %Q0.0, %Q0.1 та %Q0.2. Сигналізація про початок виконання відбувається шляхом подачі логічної одиниці на вихід %Q0.4. Програмно опрацьовується затримка часу на очікування повного пуску

обладнання на протязі 3 хв та програма переходить в стан виконання, опитується датчик струму %I1.0-%I1.1. Інформація про рівень споживання надходить до програмного суматора з завданням та надходить до PID регулятора. Надалі сформована керуюча дія надходить до порта SL1 по протоколу MODBUS RTU до драйвера серводвигуна який відповідно керує двигуном.

Для розробки СКАДА системи для ГМН панелі оператора скористуємося програмою Vijeo Citect 7.20. Основний екран містить основні складові технологічного процесу: кнопки запуску та зупинки; сигналізацію про роботу виконавчих механізмів; графік струму ретора блокорезки (рис 5.14)

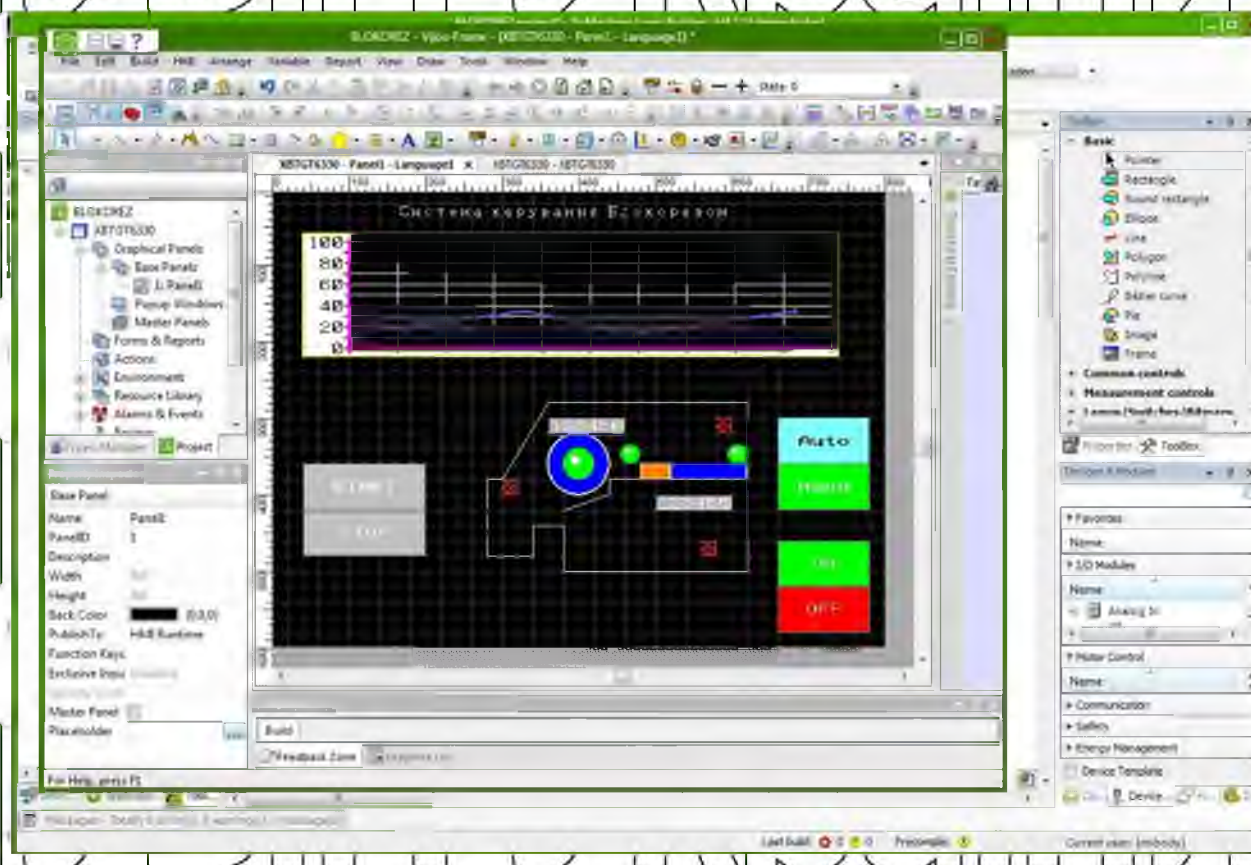


Рисунок 5.14 – СКАДА система технологічного процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів (Vijeo Citect 7.20)

5.7. Розрахунок надійності системи автоматичного керування

Для розрахунку надійності САК подрібнення заморожених м'ясних виробів занесемо в таблицю всі елементи схеми електричної принципової з зазначенням інтенсивності їх відмови (табл. 5.1).

Результуюча інтенсивність відмови всіх елементів буде становити:
 $\lambda_p = 19.13 \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$.

Беремо, що термін експлуатації системи становитиме $T = 1 \cdot 10^3$ год, тобто результуючу ймовірність безвідмовної роботи САК подрібнення заморожених м'ясних виробів визначимо за виразом:

$$P_{\text{рез}}(1000) = \text{EXP}(-19.13 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3) = 0.981.$$

Таблиця 5.1 – Розрахункові параметри САК подрібнення заморожених м'ясних виробів на надійність

№	Найменування	Кількість	Інтенсивність	Рез. інтенсивність
1	Електромеханічне реле	2	0.5	1
2	Контакти	3	0.25	0.75
3	Автоматичні вимикачі	3	0.13	0.39
4	Лампи	9	0.625	5.625
5	Трансформатори	1	0.17	0.17
6	Електродвигуни	2	5.24	10.48
7	Інтегральні мікросхеми	4	0.1	0.4
8	Кнопка	5	0.063	0.315
				19.13

НУБІП України

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Основним завданням автоматизації технологічних процесів в тепличному господарстві є збільшення обсягів виробництва продукції, підвищення продуктивності праці (зменшення витрат праці), зменшення енергозаграт та кінцевої вартості продукції, терміну окупності витрат на створення підприємства в цілому.

Для розрахунків використаємо стандартну методику розрахунків терміну окупності, яка була викладена в курсі «Економіка автоматизованих виробництв в АПК» та заносимо формули та результати розрахунків в EXCEL (рис. 6.1-2).

НУБІП України

№	Назва обладнання	Тип	Кількість	Ціна/шт	Ціна
1	Автомат захисту двигуна	GV2ME22	1	2583.57	2583.57
2	Автомат захисту двигуна	GV2ME06	1	1675.84	1675.84
3	Вимикач автоматичний	iK60N C 2A	1	421	421
4	Програмований логічний контролер	Modicon M238	1	7 954	7954
5	Драйвер серводвигуна	DRWB-W04-2-D-E-A	1	13 751	13751
6	Модуль розширення	TM2AMM6HT	1	5 908	5908
7	Пускач електромагнітний	LC1D40AM7	2	3 070	6140.86
8	Проміжні реле	MY4-NS 24V DC	3	90	270
9	Перемикач на три положення	K1I023NLH	1	1037	1037
10	Кнопка "Старт"	ZB5 A333	2	109	218
11	Кнопка "Старт-Стоп"	ZB5 AW833743	2	180	360
12	Лампа сигнальна червона 220 В	A22-RLF-RT	4	28	112
13	Лампа сигнальна зелена 24 В	AD22-22DS	5	37	185
14	Блок живлення постійного струму	HDR-30-24	1	325.92	325.92
15	Щит керування	ЩЖ1	1	2 896.00	2896
16	Клемна збірка		2	90	180
	Всього				44018.19

Рисунок 6.1 – Загальна вартість технічних засобів автоматизації САК

подрібнення заморожених м'ясних виробів

НУБІП України

Аналізуючи отримані дані (рис. 6.2), бачимо, що прибуток складає 85233.6 грн., а через 0.7 роки САК подрібнення заморожених м'ясних виробів повністю окупається і вже працюватиме на чистий прибуток. Тому робимо

висновок, що установка економічно ефективна і використовувати її доцільно.

	Розрахункові значення	Од.	Відповідний коефіцієнт	Значення
1	Загальна вартість технічних засобів автоматизації			44018.19
2	Торгівельно-транспортні витрати		0.11	4842.0009
3	Витрати на монтаж технічних засобів		0.17	7483.0923
4	Витрати на прокладення проводок	150	17.67	2650.5
5	Інші капітальні витрати 2%		0.02	880.3638
6	Капітальні витрати			59874.147
7	Відрахування на амортизацію		0.15	8981.12205
8	Витрати на поточний ремонт		0.18	10777.3465
9	Витрати на енергоресурси		1.3	2733.12
	потужність автоматизації	1.46		
	кількість годин роботи	1440		
10	Витрати на оплату праці персоналу			86400
	кількість персоналу	2		
	ставка оператора	30		
11	Річні експлуатаційні витрати			108891.589
12	Зведені витрати		0.15	117872.711
13	Чистий прибуток			85233.6
	прибуток за рахунок зменшення персоналу			84153.6
	прибуток за рахунок зменшення браку			1080
	економія за рахунок підвищення якості	0.01%		
14	Термін окупності САК			0.70247117

Рисунок 6.2 – Розрахункова таблиця для знаходження терміну окупності від впровадження САК подрібнення заморожених м'ясних виробів

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Загальні правила техніки безпеки на м'ясокомбінаті.

Територію м'ясокомбінату можна розділити на скотобаза і проммайданчик. Скотобаза – це склад сировини для м'ясокомбінатів, а проммайданчик – головна виробнича будівля, будівлі підсобного виробничого та обслуговуючого призначення, будівлі енергетичного господарства, транспортні споруди, комунікації зовнішнього водопроводу та каналізації.

Головна виробнича будівля м'ясокомбінату включає основні виробничі корпуси – м'ясо-жировий, холодильний, ковбасний, консервний заводи.

Передзаймане утримання худоби проводять у спеціальному приміщенні, що примикає до м'ясо-жирового корпусу або з'єднується з ним і з корпусом технічних і кормових продуктів містками.

Консервні заводи є в основному при м'ясокомбінатах, розташованих у заготівельних районах.

Допоміжні та підсобні приміщення м'ясокомбінату - це лабораторії, побутові та адміністративні приміщення, ремонтно-механічні майстерні, тарні майстерні, склади та холодильні станції. Лабораторії розташовують поблизу від м'ясо-жирового і холодильно-ковбасного корпусів у спільній будівлі (у разі кооперування основних виробництв і побутових приміщень) або в побутовому корпусі.

Побутові приміщення (гардеробні, вбиральні, умивальні, душові, курильні, приміщення для приймання їжі, пральня тощо) мають бути ізольовані від виробничих приміщень. Робітники харчових цехів не повинні проходити через нехарчові цехи, і навпаки.

Обутові приміщення розташовують або в окремій будівлі, пов'язаній з іншими будівлями переходом, або в будівлі, прилепій до них.

Ремонтно-механічні майстерні розташовують у підсобному блоці, при котельні або холодильній станції, недалеко від складу матеріалів. Тарну майстерню розміщують у будівлі підсобних виробництв й складів.

Холодильна станція може розташовуватися в будівлі холодильника, у прибудові до нього або в окремій будівлі. Склад зберігання технічної продукції та матеріалів розміщують в окремій будівлі,

На території м'ясокомбінату відведено місця для руху різного транспорту (гузового, автомобільного, залізничного), крім того, можуть вестися будівельні та ремонтні роботи. Тому, перебуваючи на території м'ясокомбінату, необхідно остерігатися транспорту, що рухається, не ставати

на обірвані дроти, що лежать на землі, тому що вони можуть бути під напругою, не наступати на кришки колодязів підземних комунікацій, не стояти і не проходити там, де проводяться вантажно-розвантажувальні роботи. Необхідно також бути уважним поблизу внутрішньозаводського транспорту, що рухається.

Розводити вогонь на території підприємства без дозволу пожежної інспекції заборонено.

7.2. Охорона навколишнього середовища.

Проект охорони навколишнього середовища розробляється відповідно до вимог Допомоги по зіставленню розділу проекту (робочого проекту) до СНіП «Охорона навколишнього природного середовища».

При складанні даного розділу проекту необхідно керуватися законодавством, керівними матеріалами і нормативно-методичними документами з охорони навколишнього середовища і раціональному використанню природних ресурсів з урахуванням положень СНіПа 1.08.01-85 («Охорона навколишнього природного середовища»), що регламентують і

відображають вимоги з охорони природи при будівництві та експлуатації промислового об'єкта.

Питання охорони природи ірраціонального використання природних ресурсів повинні розглядатися з повним урахуванням особливостей природних умов району розташування проектного підприємства, оцінюється за його вплив на екологію прилеглого району, можливості попередження негативних наслідків в найближчій і віддаленій перспективі.

Охорона навколишнього природного середовища при будівництві і експлуатації промислового підприємства, споруди полягає в здійсненні комплексу технічних рішень щодо раціонального використання природних ресурсів і заходів щодо запобігання негативного впливу проекту цього підприємства на навколишнє середовище.

При проектуванні підприємств, будівель і споруд, створенні та вдосконаленні технологічних процесів і устаткування повинні передбачати заходи, що забезпечують мінімальні валові закидання забруднюючих, шляхом впровадження безвідходних технологій та утилізації відходів підприємства, а також впровадження сучасних методів та обладнання очистки викидів шкідливих речовин в навколишнє природне середовище.

В розділ «Охорона навколишнього природного середовища» необхідно включати, крім економічної оцінки ефективності природно-охоронних заходів, матеріали оцінки впливу проектного промислового комплексу, підприємства або споруди на навколишнє середовище, здоров'я населення і природні ресурси (ОВНС) з економічною оцінкою відшкодування матеріального і соціального збитку.

Для проектів нових підприємств, а також для діючих, реконструюючих підприємств, які не мають інструментальних замірів за діючими джерелами, кількість пилу, що викидається в атмосферу в одиницю часу, визначається технологічними розрахунками.

Для підприємств, їх окремих будівель і споруд з технологічними процесами, явними джерелами виробничих шкідників, передбачена санітарна

НУБІП УКРАЇНИ

класифікація, що враховує потужність підприємства, умови здійснення технологічних процесів, характер і кількість що виділяються в навколишнє середовище шкідливих і неприємно пахнуть, шум, вібрацію.

За санітарною класифікацією сховища і холодильники відносяться до

НУБІП УКРАЇНИ

IV класу з санітарно-захисною зоною 50 м.

Розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ), встановлені в санітарних нормах проектування промислових підприємств, повинні перевірятися

розрахунком забруднення атмосфери в співвідношенні до вимог ОНД з урахуванням перспективи розвитку підприємства і фактичного забруднення

атмосферного повітря. Визначення розмірів санітарно-захисної зони зводиться до комплексного розрахунку розсіювання шкідливих речовин, що

видаляються усіма джерелами (наземними, лінійними і точковими), з урахуванням сумачії їх дії і наявності забруднень, створюваних сусідніми

підприємствами і транспортом.

НУБІП УКРАЇНИ

Отримані за розрахунком розміри санітарно-захисної зони повинні сходитися як у бік збільшення, так і у бік зменшення, в залежності від

середньорічного районного розташування підприємства за додатком Е.

НУБІП УКРАЇНИ

При визначенні розмірів санітарно-захисної зони розрахунки розсіювання шкідливих речовин, що містяться у викидах декількох джерел, розосереджених на пром. майданчику як з урахуванням місцевості, так і без нього, використовуючи створені уніфіковані програми розрахунків забруднення атмосфери (УПРЗА).

НУБІП УКРАЇНИ

Допускається розрахунок розсіювання виконувати вручну за допомогою «Методики розрахунку концентрації в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств».

НУБІП УКРАЇНИ

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній магістерській роботі було проведено дослідження процесу подрібнення замороженої м'ясної сировини з використанням роторних ножів, як об'єкта керування та розроблено систему автоматичного керування подрібнення заморожених м'ясних виробів з використанням технічних засобів фірми Шнейдер Електрик.

Розроблено та досліджено математичну модель та отримано передатну функцію подрібнення замороженої м'ясної сировини з використанням роторних ножів.

Розраховано цифровий ПД регулятор, який має відмінні показники якості та стійкості.

В магістерській роботі використано програмований логічний контролер TM238LFDC24DT, який програмно реалізує ПД алгоритм керування в САК подрібнення заморожених м'ясних виробів.

Розроблено схему електричну принципову САК подрібнення заморожених м'ясних виробів та оцінено її надійність.

Реалізовано СКАДА систему технологічного процесу подрібнення заморожених м'ясних виробів для панелі оператора з використанням Vncio Citect 7.20.

Проведено техніко-економічне обґрунтування САК подрібнення заморожених м'ясних виробів, в результаті якого визначено, що через 0.7 роки установка повністю окупатиметься і вже працюватиме на чистий прибуток.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ивашов, В.И. Современная практика переработки замороженного мясного сырья / В.И. Ивашов, А.Н. Захаров, А.Б. Лисицын, Б.Р. Каповский, О.Е. Кожевникова // Все о мясе. 2014. № 24-29.
2. Шугурова Т.М. Производство фарша из замороженных мясных блоков. //Мясная индустрия, 2005, №9, С. 57-60.
3. Fidel Toldra. HandBook of Meat Industry, 2010, С. 119-120.
4. Рогов И.А., Миклашевский В.В., Данильчук Т.Н. Перспективы использования мороженого мясного сырья. //Мясные технологии, 2011, №5, С. 38-41.
5. Максимов Д.А, Жуков В.Г. Современное оборудование для измельчения замороженных мясных блоков. //Мясная индустрия, 2013, №2, С. 31-33
6. Сухенко В.Ю. Моделювання процесів подрібнення м'яса і синтез технологічних машин: Монографія. Київ. 2013. 227 с.
7. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, т.1, т.2, 1976. 576 с.
8. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругости пластического разрушения. М.: Наука, 1985. 504 с.
9. Слепян Л.И. Механика трещин. Л.: Судостроение, 1981. 296 с.
10. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. Л.: Машиностроение, 1984. 224 с.
11. Приборы и системы для измерения вибрации, шума, удара. Справочник. В 2-х кн. Под ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, кн.1, 1978. 448 с.
12. ГОСТ 21.404-85. СПДС. Автоматизация технологических процессов. Пояснения условных приладів і засобів автоматизації в схемах.
13. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. М.: Агропромиздат. 1986. 387 с.

14/ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТОК А



Програмне забезпечення для налаштування серводвигуна

Задача вибору раціонального періоду квантування T_c є однією з основних проблем реалізації цифрових систем керування. При зменшенні часу керування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає навантаження мікропроцесора. При збільшенні часу квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними вибірками. Тому виникає проблема пошуку раціонального часу квантування T_c , який задовольнив би такі суперечливі вимоги.

Згідно з теоремою Котельникова (імпульсною теоремою) для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати $2\omega_c$, де ω_c – найвища частота вхідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує: якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж ω_c разів, він повністю описується своїми значеннями, вимierzеними у дискретні моменти часу з інтервалом:

У дійсності сигналів з обмеженим спектром у системах керування фізично не існує. Всі фізичні сигнали містять у собі гармоніки, які покривають діапазон частот до ∞ .

Але амплітуди високочастотних складових значно ослаблені, тому при заданій точності відтворення сигналу ми можемо вважати, що він має обмежений спектр. Тоді найвищу частоту вхідного сигналу ω_c (межу спектра) для систем без інтегруючої ланки в неперервній частині визначають як розв'язок рівняння:

$$A(\omega) = A(0)\theta. \quad (2)$$

де $A(\omega) = |W_{zam}|$ – амплітудно-частотна характеристика неперервної частини замкненої автоматичної системи;

θ – максимально допустима похибка квантування, яка повинна бути забезпечена на виході системи (у абсолютних величинах);

$A(0)$ – значення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої автоматичної системи при нульовій частоті $\omega = 0$ (визначає статичну похибку системи).

Для систем з інтегруючою ланкою в неперервній частині $A(0) = 1$, а статична похибка дорівнює нулю, тому для них рівняння (2) має бути таким:

$$A(\omega) = \theta. \quad (2')$$

Тому, для визначення передатної функції неперервної частини розімкненої системи необхідно знайти доданок передатних функцій керуючого елемента (регулятор або контролер), виконавчого механізму та об'єкта керування:

$$W_{nc}(s) = W_{ke}(s)W_{vm}(s)W_{ok}(s). \quad (3)$$

Визначаємо передатну функцію неперервної частини замкненої системи:

$$W_{zam}(s) = \frac{W_{zam}(s)}{1 + W_{zam}(s)W_{ce}(s)} \quad (4)$$

Визначаємо амплітудно-частотну характеристику неперервної частини замкненої системи як модуль її АФЧХ:

$$A(\omega) = |W_{zam}(j\omega)|. \quad (5)$$

Знаходимо значення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої автоматичної системи при нульовій частоті $A(0)$.

Знаходимо праву частину рівняння (2) $A(0)\theta$.

Підставляючи отримані значення в рівняння (2) знаходимо найвищу частоту вхідного сигналу ω_c .

Підставивши отримані вище дані розрахуємо максимально допустимий період квантування використовуючи рівняння (1).

Знаходимо дискретну передатну функцію цифрової розімкнутої системи з отриманим за попередніми розрахунками періодом дискретизації.

Для цього за допомогою пакета MATLAB знайдемо Z -перетворення еквівалентної передатної функції з'єднання неперервної частини системи з фікатором нульового порядку.

Обчислюємо дискретну передатну функцію замкненої системи за аналогією з рівнянням (4).

Викликаємо Simulink і у його середовищі створюємо нове робоче вікно моделі. Створюємо структурну схему системи з неперервною частиною і повністю цифровою. Встановлюємо значення параметрів блоків схеми.

Виконуємо пуск моделі (Start simulation) та отримуємо графік перехідного процесу цифрової системи.