

**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет робототехніки та штучного інтелекту
Кафедра автоматизації та безпілотних систем**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОНТУРОМ
ПІДГОТОВКИ КАРАМЕЛЬНОЇ МАСИ ДО УВАРЮВАННЯ
AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE PREPARATION OF
Caramel MASS FOR BOILING**

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

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АВ - 41
Політько Софія Віталіївна

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Гуменюк Лариса Олександрівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«___» _____ 2026 р.

Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Решетило О. М.

(підпис)

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 15 Автоматизація та приладобудування

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ О. Ю. Повстяной
« ___ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

_____ Політько Софії Віталіївної _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Автоматизована система керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання _____

керівник роботи _____ Гуменюк Лариса Олександрівна, к.т.н., доцент _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 31 " 12 2025 року N 307/01-04

2. Строк подання студентом роботи _____ 1.06.2026 р. _____

3. Вихідні дані до роботи _____ технологічний процес виробництва карамелі _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
_____ Аналіз об'єкта керування, Обґрунтування ФСА, Обґрунтування ТЗА, Обґрунтування та опис принципових електричних схем, Програмне забезпечення системи автоматизації, Розрахунок надійності системи. Техніко-економічне обґрунтування _____

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

_____ графічний матеріал виконано у вигляді презентації, яка складається з 7 слайдів _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 5</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 6</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Розділ 7</i>	<i>Гуменюк Л. О.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>			
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		

7. Дата видачі завдання 31.12.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

N з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Аналіз об'єкта керування</i>	<i>20.02.2026 р.</i>	
2	<i>Обґрунтування вибору функціональної схеми</i>	<i>10.03.2026 р.</i>	
3	<i>Обґрунтування вибору ТЗА</i>	<i>20.03.2026 р.</i>	
4	<i>Обґрунтування і опис принципових електричних схем</i>	<i>1.04.2026 р.</i>	
5	<i>Програмне забезпечення систем автоматизації</i>	<i>10.04.2026 р.</i>	
6	<i>Розрахункова частина</i>	<i>20.04.2026 р.</i>	
7	<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>1.05.2026 р.</i>	
8	<i>Оформлення роботи</i>	<i>1.06.2026 р.</i>	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Політько С. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Гуменюк Л. О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Політько С. В. Автоматизована система керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання, яка забезпечує стабільне підтримання основних технологічних параметрів та досягнення заданих показників якості продукції.

Практична новизна полягає у розробці автоматизованої системи із застосуванням сучасних технологічних засобів автоматизації. Запропонована система дозволяє підвищити точність, надійність та стабільність технологічного процесу.

Обсяг пояснювальної записки становить 30 друкованих сторінок. Об'єм графічної частини кваліфікаційної роботи складає 7 слайдів презентації.

Ключові слова: виробництво карамелі, технологічні параметри, керування, ADAM-4000.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Політько С. В.			Автоматизована система керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Гуменюк Л.О.					4	
Н. контр.		Лапченко Ю.С				ЛНТУ, гр. АВ-41		
Затв.		Гуменюк Л.О.						

ANNOTATION

Politko S. Automated control system for the preparation of caramel mass for boiling. Manuscript.

Qualification work for bachelor's degree in "Automation and computer-integrated technologies". Lutsk National Technical University, Lutsk, 2026.

The bachelor's thesis consists of an introduction, seven chapters, conclusions and suggestions, a list of references and appendices.

The purpose of this work is to develop an automated control system for the preparation of caramel mass for boiling unit that ensures the stable maintenance of key process parameters and achieves specified product quality standards.

The practical innovation lies in the improvement of control strategies specific to jam production. The proposed system allows to increase the accuracy, reliability and stability of the technological process.

The volume of the explanatory note is 30 printed pages. The volume of the graphic part of the master's work is 7 slides of the presentation.

Key words: caramel production, technological parameters control, ADAM-4000.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	9
1.1 Опис та аналіз об'єкта керування	9
1.2 Перелік задач контролю та керування процесом	10
1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації	11
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	14
РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	15
3.1 Вибір датчиків	15
3.2 Вибір виконавчих пристроїв	17
3.3 Вибір пристроїв управління	18
3.4 Вибір джерел живлення	19
РОЗДІЛ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ	21
РОЗДІЛ 5 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ	22
5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління	22
5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера	23
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ...	28
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	31
ВИСНОВОК	33
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36
ДОДАТКИ	39

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасна харчова промисловість це одна з найважливіших галузей виробництва оскільки протягом всієї історії людства саме забезпечення людей продуктами харчування було основною задачею. З плином часу вимоги до виготовленої продукції, в тому числі і карамелі, значно збільшились, тому в сучасних умовах автоматизація саме цього процесу є дуже. Впровадження автоматизації в дану галузь дозволило отримувати більш якісний результат прикладаючи менше зусиль. Також це дозволило зменшити вплив людського фактору, значно здешевити виробництво, збільшити об'єми отриманого продукту, а також покращити його якість.

Одним з важливих етапів виробництва карамелі є його підготовка до уварювання і тому автоматизація системи керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання має ряд переваг, а саме:

- зменшить людський вплив на виробництво, тим самим мінімізує використання ручної праці та людський вплив на отриманий результат, що також дозволить зменшити кількість поломок та несправностей,
- дозволить розширити асортимент готової продукції та покращити його якість, оскільки підвищить точність вимірювання показників, що дозволить зменшити до мінімуму відхилення показників від початкового плану,
- дозволить збільшити об'єми виробленої продукції оскільки час витрачений на приготування початкової маси суттєво зменшиться. Також це дозволить розширити асортимент та зменшити витрати.

Таким чином, виходячи з описаного вище, дана тема є актуальною та потребує подальшого розгляду.

Метою роботи є розробка та модернізація автоматизованої системи керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання, підвищення її якості та оптимізація виробничого процесу.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є технологічний процес підготовки карамельної маси до уварювання.

Предметом дослідження є параметри автоматизованої системи керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання.

Практична новизна полягає у розробці автоматизованої системи із застосуванням сучасних технологічних засобів автоматизації. Запропонована система дозволяє підвищити точність, надійність та стабільність технологічного процесу.

Задачами, які необхідно вирішити в процесі виконання роботи, є:

- виконати аналіз технологічного процесу як об'єкта керування,
- розробити функціональну схему автоматизованої системи керування,
- обрати технічні засоби автоматизації,
- виконати розробку схеми керування мікропроцесорними модулями,
- розробити принципові електричні схеми,
- виконати розрахунок надійності системи,
- провести розрахунок техніко-економічного обґрунтування.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Опис та аналіз об'єкта керування

Карамельна маса – це один з найбільш використовуваних продуктів в кондитерській сфері. Досі невідомо коли саме виникла карамель, проте є припущення, що приблизно 3000 років тому люди вже вміли випарювати сік з цукрової тростини, а потім карамель для наших предків була не тільки десертом, а і використовувалась як ліки від кашлю чи для заспокоєння горла. Рецепт змінювався залежно від епохи та місця приготування, але за популяризації більш класичної її версії ми вдячні французам, які у XVII столітті винайшли більш звичний для нас рецепт, а також додали до нього вершки що і допомогли винайти більш ніжну варіацію – вершкову карамель. Завдяки розвитку технологій зараз карамель широко використовується в харчовій промисловості а також займає значну долю ринку [1].

Сфери використання карамелі дуже різноманітні. Часто карамельну масу використовують , як один із складників десерту, а саме як топінги та ароматизатори, як начинку для тортів, а також як барвник для виготовлення напоїв.

Процес приготування карамельної маси включає в себе: приготування карамельного сиропу, його уварювання до карамельної маси та охолодження. Промисловий рецепт зазвичай включає [2]:

- цукор-пісок: 60-70 %;
- патока: 30-40 % (допускається заміна на інвертний сироп);
- вода: 15-20 % від маси цукру (до випаровування);
- ароматизатори/барвники за потреби.

Після підготовки всіх інгредієнтів, їх переміщують у бункер, де вони змішуються протягом 180 с. Далі, отримана сировина потрапляє в герметичну ємність в якій її уварюють при температурі 65-70 °С. Нагрів забезпечує парова

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сорочка, при тому важливо контролювати, щоб сироп нагрівався під тиском 0,4 МПа. В процесі нагрівання сироп перемішують, та контролюють концентрацію сухих речовин. При досягненні густини 1,30-1,45 г/см³ (300-1450 кг/м³) карамельний сироп готовий до наступних маніпуляцій та уварювання до консистенції карамельної маси [3].

1.2 Перелік задач контролю та керування процесом

Розглянемо процес керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання. Параметри необхідні для процесу керування системою, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри процесу автоматизації

№	Назва параметра	Допустимі межі	Відхилення
1	Цукор-пісок, кг	600	± 6-12
2	Патока, кг	350	± 3,5-7
3	Вода, кг	140	± 1
4	Ароматизатор, кг	3	± 0,1-0,2
5	Час змішування, с	180	± 5-10
6	Тиск , МПа	0,4	± 0,02-0,05
7	Температура виварювання, °С	65-70	± 2
8	Густина, г/см	1.30–1.45	± 0,02-0,05

Задачі автоматизації:

- контроль і регулювання кількості складових;
- контроль рівня суміші в ємності;
- контроль і регулювання тривалості змішування суміші;
- контроль і регулювання температури в герметичній ємності;
- контроль тиску в герметичній ємності;
- контроль і регулювання густини сиропу в герметичній ємності;
- автоматичне керування запірними клапанами установок;

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- автоматичне керування двигунами насосів;
- індикація аварійних та технологічних повідомлень.

1.3 Критичний аналіз існуючої системи автоматизації

Підготовчий процес приготування карамельної маси включає в себе різні вхідні, вихідні, збурюючі та керуючі фактори, які впливають на однорідність та якість кінцевого продукту.

Проаналізуємо основні вхідні фактори, які впливають на якість карамельного сиропу.

Вхідні фактори:

- маса цукру (кг): один з найголовніших інгредієнтів, якість і кількість якого впливає на текстуру, колір та смак,
- маса патоки: її додають аби уповільнити процес кристалізації, для досягнення однорідності маси,
- маса води: кількість і жорсткість впливає на консистенцію,
- маса ароматизатору: тип, кількість і якість впливає на смак та колір.

Вихідні фактори є результатом роботи системи керування, тому їх також необхідно проаналізувати.

Вихідні фактори:

- органолептичні показники: на солодкість впливає співвідношення інгредієнтів а також їх якість,
- колір: він залежить від температури та часу змішування і уварювання,
- густина: залежить від кількості складників та часу їх виварювання, прив'язую вологість,
- маса сиропу: від маси інгредієнтів а також від часу і температури уварювання, оскільки велика кількість води в процесі випаровується.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Збурюючі фактори впливають на продуктивність виробництва та якість готової сировини, тому потрібно їх розглянути.

Збурюючі:

- мінливість сировини: хороша сировина впливає не тільки на смак а і на консистенцію,
- жорсткість води: для приготування сиропу вода повинна бути обов'язково очищена,
- технічні неполадки: в сучасних умовах неможливо повністю передбачити всі технічні несправності, проте найчастіші потрібно врахувати, оскільки вони впливають на кожен параметр процесу.

Керуючі фактори необхідно враховувати та аналізувати, оскільки дотримання вказаних показників є основною задачею автоматизації.

Керуючі:

- температура: один з найважливіших показників яких впливає на однорідність сиропу, а також сприяє повному розчиненню всіх інгредієнтів,
- час змішування : контроль часу дуже важливий, оскільки навіть маленька похибка вплине на колір та якість отриманого продукту,
- швидкість обертання мішалки: від швидкості обертання лопастей залежить рівномірний нагрів та розчинення.

На рисунку 1.1 зображено схему взаємодії всіх наведених факторів, а також їх вплив на кінцевий результат.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

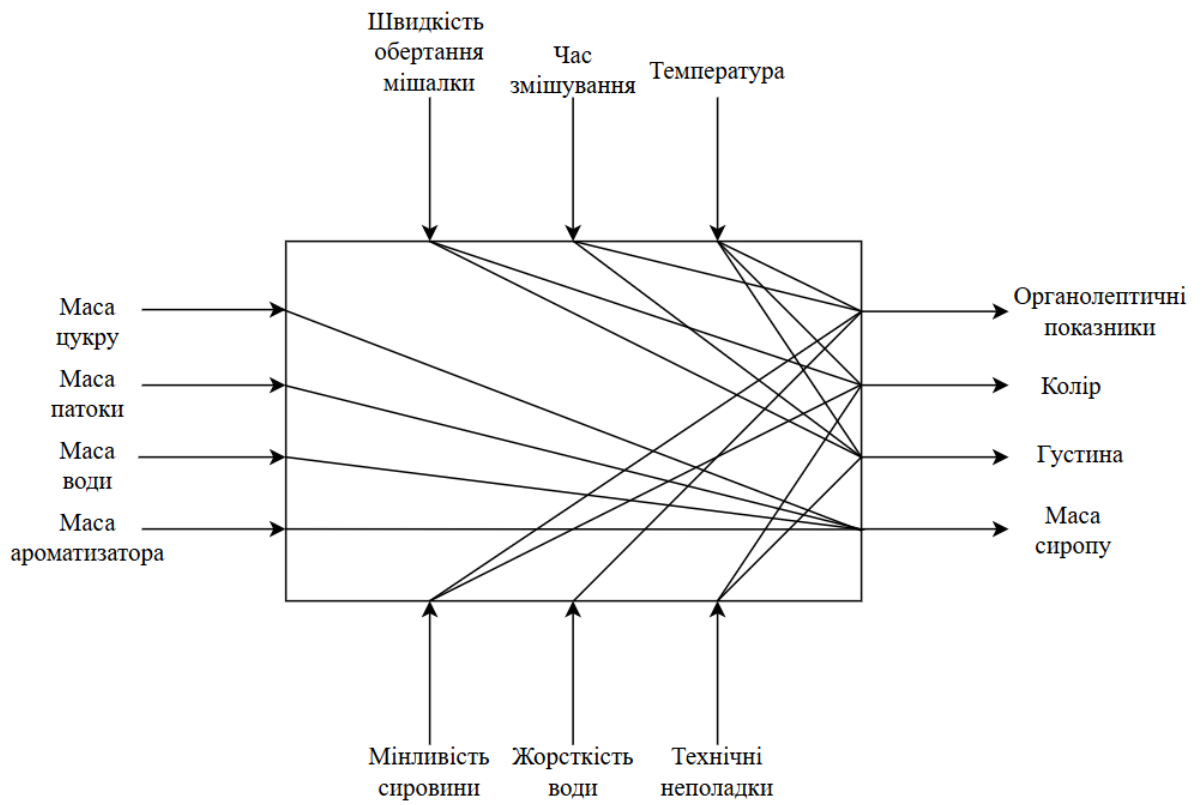


Рисунок 1.1 – Схема взаємодії параметрів

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Відповідно до функціональної схеми процес змішування та підготовки інгредієнтів до подальших маніпуляцій, наведено опис процесу.

Пускач 1-3 включає двигун 1-4, який запускає насос для подачі води, кількість води контролює витратомір 1-1, разом з цим мотором 1-6 запускається змішувач. Після того як вода потрапила в ємність для змішування, туди засипають цукор, патоку та ванільну есенцію, при тому масу цукру та патоки контролюють витратоміри 2-1 та 3-1, тоді як для подачі ванільної есенції пускач 4-3 включає насос 4-4, який запускає насос, кількість поданої маси контролює витратомір 4-1. Після того як всі інгредієнти потрапили у змішувач, запускається таймер 5-1, після спрацювання таймера подається сигнал на двигун 6-4, який включає насос для перекачування маси у ємність для підігріву. Кран 6-4 закривається, коли спрацьовує датчик рівня, який показує що рівень досягнуто, також пускач 6-5 запускає двигун для перемішування сиропу. Далі, аби було досягнуто консистенції карамельного сиропу, масу потрібно підігріти, за допомогою парової сорочки, температура у якій контролюється датчиком температури 7-1. Відповідно до показів датчика 7-1 відкривається або закривається клапан 7-4, який подає пару у парову сорочку. Тиск в герметичній ємності контролюється датчиком тиску 8-1. При перевищенні тиску пускач 8-3 відкриває клапан 8-4 для відведення надлишкової пари. Коли густиномір 9-1 сигналізує що досягнуто відповідної густини, двигун 9-4 запускає насос для перекачування карамельної маси на наступні етапи.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір датчиків

Проаналізувавши функціональну схему було визначено, що для її коректної роботи потрібно фіксувати та керувати певними показниками, а саме:

- витратою;
- рівнем;
- часом;
- температурою;
- тиском;
- густиною.

Для досягнення поставленої задачі далі в тексті надано та обґрунтовано вибір датчиків.

Датчик витрати. Для контролю витрати було обрано Endress+Hauser Proline Promag H. Його вибір обґрунтовано тим, що цей датчик прекрасно підходить для роботи з компонентами, які необхідні для виробництва карамелі. Його вибір обґрунтовано тим, що цей датчик прекрасно підходить для роботи з компонентами, які необхідні для виробництва карамелі. Принцип роботи даного приладу базується на явищі електромагнітної індукції, що дозволяє йому не бути залежним від таких факторів, як наприклад температура чи тиск. Даний тип витратоміра, як зазначено виробником характеризується точністю вимірювання, а також має високий ступінь захисту (IP66/67) [4]. Технічні характеристики наведено в додатку А.1.

Датчик рівня. Оскільки технологічний процес потребує вимірювання мінімального і максимального рівня сировини, було обрано Siemens SITRANS LVL100 Level Switch. Це двоточковий датчик рівня який контролює граничні

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення рівня продукту, який допомагає запобігти переповненню ємності а також сигналізує про відсутність сировини [5]. Технічні характеристики наведено в додатку А.2.

Датчик маси. Для контролю маси компонентів було обрано Zemic H8C. Це тензодатчик навантаження, що широко використовується в промисловості. Метеріал виконання датчика сталь з нікелевим покриттям, а також клас захисту IP67. Завдяки цим характеристикам буде забезпечено стабільність а також точність вимірювання всіх компонентів в процесі приготування продукту [6]. Технічні характеристики наведено в додатку А.3.

Датчик тиску. Для контролю тиску було обрано NOVUS NP640. Для роботи з карамельним сиропом він підходить тим, що датчик є мембранним і саме це дозволить зменшити рівень засмічення вимірювального елемента , а також відповідає всім вимогам харчової промисловості [7]. Технічні характеристики наведено в додатку А.4.

Датчик густини. Для технічного процесу також важливо знати точну густину сировини, тому для роботи було обрано Digital Tuning Fork Density Meter. Даний густиномір характеризується високою точністю а також не боїться в'язких рідин. Принципом роботи є те, що густина визначається по зміні частоти коливань чутливого елемента, цей метод є класичним для роботи з сиропами [8]. Технічні характеристики наведено в додатку А.5.

Датчик температури. Для контролю температури було обрано Industrial PT100 RTD Temperature Sensor -200 to 600 °C. PT100 є одним з найпоширеніших типів платинових термометрів опору. Ця характеристика, а також те що він має широкий діапазон вимірювання та високою точність, робить його найкращим варіантом для даної роботи [9]. Технічні характеристики наведено в додатку А.6.

Таймер. Контроль тривалості процесу змішування забезпечить таймер, а саме Omron H3CR-A8. Даний пристрій дасть змогу засікати певний інтервал часу та після його завершення сформувати сигнал на вимкнення чи увімкнення

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

певного обладнання. Його використання допоможе системі бути стабільною та забезпечить дотримання заданих параметрів [10]. Технічні характеристики наведено в додатку А.7.

3.2 Вибір виконавчих механізмів

Для стабільної роботи системи необхідні також певні виконавчі механізми, які будуть керувати та регулювати всіма процесами. Опіраючись на функціональну схему було обрано наступні пристрої.

Регулюючі клапани. В харчовій промисловості в процесі виробництва продукту, всі інгредієнти потрібно дозувати згідно рецептури. Саме для цього в даній системі використовують регулюючі клапани та крани для подачі води, цукру, ароматизатору та патоки. Також критично важливими є плавна подача води для водяної сорочки та регулювання тиску. Для подачі пари для парової сорочки було обрано Danfoss AV210C, оскільки він є універсальним та підходять не тільки для рідких, а і для в'язких речовин [11]. Для регулювання тиску Brass Pressure Relief Valve, це компактний запобіжний клапан, який буде автоматично скидати надлишковий тиск та допоможе захистити обладнання від аварії [12]. Технічні характеристики наведено в додатках Б.1-Б.2.

Частотний перетворювач. Для коректної роботи електродвигунів насосів та змішувачів необхідний частотний перетворювач. Його наявність забезпечує стабільність параметрів процесу а також дозволяє керувати інтенсивність та продуктивністю роботи. Крім того частотний перетворювач здатний зробити систему більш енергозатратною та допомагає запобігти швидкому зношуванню обладнання. Для даної системи було обрано Siemens SINAMICS V20, оскільки цей бренд широко використовується в промисловості, а також характеризується високою надійністю та сумісністю з системами автоматизації [13]. Технічні характеристики наведено в додатку Б.3.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пускачі. Для дистанційного керування системі потрібні пускачі, які є комутаційними пристроями. Їх основною задачею є керування технологічним обладнанням, а також їх наявність забезпечує безпеку та стабільність системи. Для даної системи було обрано Schneider Contactor LC1E1201Q5. Пускачі цього бренду є одними з найпопулярніших в промисловості і є простими в користуванні. Компактність, надійність, а також наявність теплового захисту робить його ідеальним для роботи [14]. Технічні характеристики наведено в додатку Б.4

3.3 вибір пристроїв управління

Після аналізу функціональної схеми зрозуміло, що для вибору контролера наявні певні данні, а саме:

- 9 аналогових входів;
- 10 дискретних виходів.

Обираємо контролер ADAM-4000 серії, а саме ADAM-4017 та ADAM-4050, а також модуль перетворення Advantech ADAM-4520.

ADAM-4017. Цей модуль було обрано через його універсальність в застосуванні. Він, на відмінну від інших, не залежить від призначення, а тому ідеально підходить для системи контролю технологічним процесом, оскільки дозволить підключення датчиків температури, рівня а також інших важливих параметрів. ADAM-4017 це восьмиканальний модуль аналогового вводу, але в нас їх дев'ять, тому для системи необхідна наявність двох модулів [15].

ADAM-4050. Цей модуль характеризується універсальністю у використанні, надійність а також простотою в підключенні. Саме ця модель широко використовується для керування виконавчими механізмами. ADAM-4050 має сім дискретних виходів, але в нас їх одинадцять, тому для коректної роботи системи необхідно використати два модулі [16].

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ADAM-4520. Для забезпечення зв'язку між приладами в системі автоматизації необхідний модуль перетворення інтерфейсу. Даний модуль перетворює сигнали RS-232 у RS-422/RS-485, що забезпечує надійну передачу даних між пристроями з різним типом зв'язку. Також ADAM-4520 характеризується наявністю гальванічної ізоляції 3000 В, що значно підвищить надійність системи, оскільки захистить її від перенапруг у лініях зв'язку [17].

Технічні характеристики модулів наведено додатку В.1-В.3.

3.4 Вибір джерел живлення

Вимоги до потужності обладнання автоматизації при підготовці карамельної маси до уварювання є важливими показниками, які потрібно врахувати при виборі джерел живлення. На основі сумарного споживання елементів системи був здійснений вибір.

Модулі ADAM-4520 споживає 1 Вт. Два модулі ADAM-4050 споживають 0,4 Вт. Два модулі ADAM-4017 споживають 2 Вт. Підсумувавши значення, отримаємо загальну потужність всіх модулів ADAM:

$$P_k = 1 + 0,4 + 2 = 3,4 \text{ Вт.}$$

Оскільки система повинна працювати від джерела живлення 24 В, то розрахуємо навантаження по струму, за формулою:

$$I_k = \frac{P_k}{U_k} = \frac{3,4}{24} = 0,14 \text{ А.}$$

Датчик тиску NOVUS NP640 споживає 0,48 Вт, датчик температури PT100 є пасивним і практично не споживає потужності, два витратоміри Endress+Hauser Proline Promag H споживають 20 Вт (було обрано максимальне значення), густиномір Digital Tuning Fork Density Meter споживає 1,2 Вт, датчик рівня Siemens SITRANS LVL100 споживає 2 Вт, два датчики маси Zemic H8C Load Cell споживають 1,2 Вт, Таймер Omron H3CRA8 споживає 2 Вт. Після додавання всіх значень, отримаємо загальну потужність датчиків:

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_d = 20 + 0,48 + 1,2 + 2 + 1,2 + 2 = 26,88 \text{ Вт.}$$

Аналогічно розраховуємо навантаження по струму для датчиків:

$$I_d = \frac{P_d}{U_d} = \frac{26,88}{24} = 1,12 \text{ А.}$$

Отже, додавши загальну потужність модулів та датчиків, ми отримаємо значення потужності, яке необхідно для системи:

$$P = 26,88 + 3,4 = 30,28 \text{ Вт.}$$

Додавши значення по струму для контролерів та датчиків, ми отримаємо загальне значення по струму:

$$I = I_k + I_d = 0,14 + 1,12 = 1,26 \text{ А.}$$

Отриманим значенням відповідає блок живлення Mean Well HDR-60-24 з вихідною напругою 24 В, та максимальним струмом 2,5 А [18]. Технічні характеристики блоку живлення наведено в додатку В.4.

Специфікація засобів автоматизації наведено в додатку Г.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ І ОПИС ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

В даній системі наявно 9 датчиків з аналоговими входами та 10 виконавчих пристроїв з дискретних виходів.

На 0 канал першого модуля ADAM-17 підключений датчик витрати FE 1-1. До 1 каналу модуля ADAM-17 підключений датчик маси WE 2-1. До 2 каналу модуля ADAM-17 підключений датчик маси WE 3-1. До 3 каналу модулю ADAM-17 підключений датчик витрати FE 4-1. До 4 каналу модулю ADAM-17 підключений таймер KS 5-1. До 5 каналу модуля ADAM-17 підключений датчик рівня LE 6-1. До 6 каналу модуля ADAM-17 підключений датчик температури PE 7-1. До 7 каналу модуля ADAM-17 підключений датчик тиску PE 8-1. На 0 канал другого модуля ADAM-17 підключений датчик витрати DE 9-1.

NS 1-3 підключений на 0 канал першого модуля ADAM-4050. NS 1-5 підключений на 1 канал модуля ADAM-4050. NS 2-3 підключений на 2 канал модуля ADAM-4050. NS 3-3 підключений на 3 канал модуля ADAM-4050. NS 3-3 підключений на 3 канал модуля ADAM-4050. NS 4-3 підключений на 4 канал модуля ADAM-4050. NS 6-3 підключений на 5 канал модуля ADAM-4050. NS 6-5 підключений на 6 канал модуля ADAM-4050. NS 7-3 підключений на 7 канал модуля ADAM-4050. NS 8-3 підключений на 0 канал другого модуля ADAM-4050. NS 9-3 підключений на 1 канал модуля ADAM-4050.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка алгоритму функціонування системи управління

Алгоритм керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання починається з того, що насос 1-3 подає воду в ємність для змішування і також мішалка 1-6 починає свою роботу. Дані з датчика FE 1-1 зчитуються і якщо вони відповідають заданому параметру, то насос 1-3 закривається. Далі відкривається клапан NS 2-3 та у ємність потрапляє цукор, витрату якого контролює датчик витрати FE 2-1, якщо значення з датчику відповідають заданому параметру, то клапан NS 2-3 закривається. Паралельно з цим відкривається клапан NS 3-3 та у ємність потрапляє патока, витрату якої контролює датчик витрати FE 3-1, якщо значення з датчику відповідають заданому параметру, то клапан NS 3-3 закривається. Також паралельно насос 4-3 подає ванільну есенцію в ємність для змішування і якщо дані з датчика витрати FE 4-1 відповідають заданому параметру, то насос NS 4-3 закривається. Після того, як у ємність для змішування потрапили всі складники, запускається таймер KS 4-1, по завершенню роботи якого виключається мішалка NS 1-5 відкривається насос NS 6-3, який перекачує отриману суміш в герметичну ємність для підігріву Зчитуємо дані з датчика рівня LE 5-1 і якщо вони відповідають заданому значенню, то виключаємо насос NS 6-3 та запускаємо мішалку NS 6-5. Далі клапан NS 7-3 починає подачу пари у парову сорочку, дані з датчика температури TE 7-1 зчитуються і якщо вони відповідають заданому параметру, то клапан NS 7-3 припиняє подачу пари. Паралельно з цим датчик тиску PE 8-1 перевіряє тиск в герметичній ємності і якщо значення максимальне, то клапан NS 8-1 відкривається. Під час підігріву та змішування суміші датчик густини DE 9-1 контролює густину сиропу і якщо дані з датчика відповідають заданому

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметру, то мішалка NS 6-3 виключається та насос NS 9-3 передає готовий сироп на наступні етапи.

5.2 Розробка програмного забезпечення програмованого логічного контролера

Для розробки програмного забезпечення для контролера використано середовище AdamView. Дане середовище було розроблено компанією Advantech для збору даних та автоматизованого керування процесами.

Блок аналогового входу AI1 використовуємо для зчитування інформації з аналогових датчиків. Керування виконавчими механізмами здійснюється завдяки їх підключенню до дискретних виходів контролера DO.

До блоку AI1 підключаємо витратомір FE 1-1. Встановлюємо блоки DO1 та DO2, які відповідно керують NS 1-3 та NS 1-5. Програмна реалізація алгоритму наведена в лістингу 5.1.

Лістинг 5.1 – Програма зчитування даних з датчика витрати

```
Sub SCR1()  
  outputi 0,1  
  outputi 1,1  
  FE1 = GetTag("TASK1", "AI1")  
  if FE1>FEzad then  
    outputi 0,0  
  else  
    outputi 0,1  
    outputi 1,1  
  end if  
End Sub
```

кінець лістингу 5.1

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зчитування інформації з датчика маси WE 2-1, підключаємо його до блоку AI2. До блоку DO3 підключаємо виконавчий механізм NS 2-3. Даний фрагмент коду наведено в лістингу 5.2.

Лістинг 5.2 – Програма зчитування даних з датчика маси

```
Sub SCR2()
WE1 = GetTag("TASK2", "AI2")
if WE1>WEzad then
    outputi 2,0
else
    outputi 2,1
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.2

До блоку AI3 підключаємо датчик маси WE 3-1. До блоку DO4 підключено NS 3-3, яким він керує. Фрагмент коду наведено в лістингу 5.3.

Лістинг 5.3 – Програма зчитування даних з датчика маси

```
Sub SCR3()
WE1 = GetTag("TASK3", "AI3")
if WE1>WEzad then
    outputi 3,0
else
    outputi 3,1
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.3

До блоку AI4 підключаємо витратомір FE 4-1. Встановлюємо блок DO5, який керує виконавчим механізмом NS 4-3. Програмна реалізація алгоритму наведена в лістингу 5.4.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг 5.4 – Програма зчитування даних з датчика витрати

```
Sub SCR4()
FE1 = GetTag("TASK4", "AI4")
if FE1>FEzad then
    outputi 4,0
else
    outputi 4,1
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.4

Для зчитування інформації з таймера KS 5-1, підключаємо його до блоку AI5. Виходи DO1 та DO6, керують роботою виконавчих механізмів NS 1-5 та NS 6-3. Програмна реалізація алгоритму наведена в лістингу 5.5.

Лістинг 5.5 – Програма зчитування даних з таймера

```
Sub SCR5()
KS1 = GetTag("TASK5", "AI5")
if KS1>KSzad then
    outputi 1,0
    outputi 5,1
else
    outputi 1,1
    outputi 5,0
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.5

До блоку AI6 підключаємо датчика рівня LE1. Виходи DO6 та DO7, керують роботою виконавчих механізмів NS 6-5 та NS 6-5. Програмна реалізація алгоритму наведена в лістингу 5.6.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг 5.6 – Програма зчитування даних з датчика рівня

```
Sub SCR6()
LE1 = GetTag("TASK6", "AI6")
if LE1>LEzad then
    outputi 5,0
    outputi 6,1
else
    outputi 5,1
    outputi 6,0
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.6

До блоку AI7 підключаємо датчик температури TE 7-1. До блоку DO8 підключено NS 7-3, яким він керує. Фрагмент коду наведено в лістингу 5.7.

Лістинг 5.7 – Програма зчитування даних з датчика температури

```
Sub SCR7()
TE1 = GetTag("TASK7", "AI7")
if TE1>TEzad then
    outputi 7,0
else
    outputi 7,1
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.7

До блоку AI8 підключаємо датчик тиску PE 3-1. До блоку DO9 підключено NS 8-3, яким він керує. Фрагмент коду наведено в лістингу 5.8.

Лістинг 5.8 – Програма зчитування даних з датчика тиску

```
Sub SCR8()
PE1 = GetTag("TASK8", "AI8")
if PE1>PEmax then
    outputi 8,1
```

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
else
  outputi 8,0
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.8

Для зчитування інформації з датчика тиску DE 9-1, підключаємо його до блоку AI10. Виходи DO7 та DO10, керують роботою виконавчих механізмів NS 6-5 та NS 9-3. Програмна реалізація алгоритму наведена в лістингу 5.9.

Лістинг 5.9 – Програма зчитування даних з датчика густини

```
Sub SCR9()
DE1 = GetTag("TASK9", "AI9")
if DE1>DEzad then
  outputi 6,0
  outputi 9,1
else
  outputi 9,0
  outputi 6,1
end if
End Sub
```

кінець лістингу 5.9

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Розрахуємо надійність контуру підготовки карамельної маси до уварювання. На рисунку 6.1 зображені наступні елементи:

- 1 – витратомір FE 1-1,
- 2 – датчик маси WE 2-1,
- 3 – датчик маси WE 3-1,
- 4 – витратомір FE 4-1,
- 5 – KS 5-1,
- 6 – датчик рівня LE 6-1,
- 7 – датчик температури TE 7-1,
- 8 – датчик тиску PE 4-1,
- 9 – датчик густини DE 9-1,
- 10 – пускачі NS.

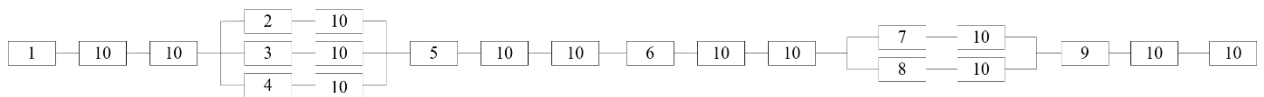


Рисунок 6.1 – Схема з'єднання елементів

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи елементів за формулою 6.1:

$$p = e^{-\lambda t}, \quad (6.1)$$

де λ - інтенсивність виникнення відмов, год⁻¹,
 t - час безвідмовної роботи.

Дані розрахунків для кожного елемента наведено в таблиці 6.1.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Час необхідний для розрахунку становить приблизно 4480 год., це час безперервної роботи обладнання при двозмінній роботі. Отже, $t = 4480$ год.

Таблиця 6.1 – Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи елемента

Тип	Назва	λ , 1/год	P
Витратомір	Endress+Hauser Proline Promag H	0,000025	0,8940
Датчик маси	Zemic H8C	0,000018	0,9225
Таймер	Omron H3CR-A8	0,000015	0,9350
Датчик рівня	Siemens SITRANS LVL100 Level Switch	0,00002	0,9143
Датчик температури	Industrial PT100 RTD Temperature Sensor - 200 to 600 °C	0,000012	0,9477
Датчик тиску	NOVUS NP640	0,00002	0,9143
Датчик густини	Digital Tuning Fork Density Meter	0,000025	0,8940
Пускач	Schneider Contactor LC1E1201Q5	0,00001	0,9562

Ймовірність безвідмовної роботи для паралельного з'єднання розраховується за формулою 6.2:

$$P_{\text{пар}} = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \dots \cdot (1 - P_n) . \quad (6.2)$$

Ймовірність безвідмовної роботи для послідовного з'єднання розраховується за формулою 6.3:

$$P_{\text{пос}} = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n . \quad (6.3)$$

Спочатку розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи першого паралельного контуру:

$$P_{2,10} = 0,9225 \cdot 0,9562 = 0,8821,$$

$$P_{3,10} = 0,9225 \cdot 0,9562 = 0,8821,$$

$$P_{4,10} = 0,8940 \cdot 0,9562 = 0,8548,$$

$$P_{1\text{пар}} = 1 - (1 - 0,8821) \cdot (1 - 0,8821) \cdot (1 - 0,8548) = 0,9979.$$

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи другого паралельного контуру:

$$P_{7,10} = 0,9477 \cdot 0,9562 = 0,9061,$$

$$P_{8,10} = 0,9143 \cdot 0,9562 = 0,8742,$$

$$P_{2\text{пар}} = 1 - (1 - 0,9061) \cdot (1 - 0,8742) = 0,9881.$$

Спростивши систему, ми можемо розрахувати повну ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P = 0,8940 \cdot 0,9562 \cdot 0,9562 \cdot 0,8548 \cdot 0,9350 \cdot 0,9562 \cdot 0,9562 \cdot 0,9143 \\ \cdot 0,9562 \cdot 0,9562 \cdot 0,9881 \cdot 0,8940 \cdot 0,9562 \cdot 0,9562 = 0,4709.$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи системи протягом одного року безперервної роботи становить приблизно 47 %. Цей показник недостатній, проте варто зазначити, що на будь-якому виробництві проводяться профілактичні огляди та ремонти, які дозволяють значно підвищити цей показник. Також підвищити надійність можливо за рахунок використання захистів від перепаду напруги, контролю температурних режимів роботи обладнання, а також резервування найбільш важливих елементів системи. З огляду на зазначені рекомендації можна стверджувати, що такий показник є прийнятним для виробництва.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для детального обґрунтування контуру підготовки карамельної маси до уварювання необхідно також розрахувати вартість обладнання та провести розрахунки додаткових витрат на їх транспортування, монтаж та налагодження.

Спочатку розрахуємо загальну вартість засобів автоматизації. Їх розрахунок наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок вартості засобів автоматизації

№	Назва приладу	Тип приладу	Кількість	Вартість одного приладу, грн	Загальна вартість приладів, грн
1	Витратомір	Endress+Hauser Proline Promag H	2	151733	303466
2	Датчик маси	Zemic H8C	2	2258	4516
3	Таймер	Omron H3CR-A8	1	3038	3038
4	Датчик рівня	Siemens SITRANS LVL100 Level Switch	1	14777	14777
5	Датчик температури	Industrial PT100 RTD Temperature Sensor - 200 to 600 °C	1	1283	1283
6	Датчик тиску	NOVUS NP640	1	3540	3540
7	Датчик густини	Digital Tuning Fork Density Meter	1	56667	56667
8	Регулюючий клапан	Danfoss AV210C	1	22810	22810
9	Запобіжний клапан	Brass Pressure Relief Valve	1	4573	4573
10	Частотний перетворювач	Siemens SINAMICS V20	6	15140	90840
11	Пускач	Schneider Contactor LC1E1201Q5	9	9923	89307
12	Блок живлення	Mean Well HDR-60-24	1	1340	1340
13	Контролер	ADAM-4017	2	10199	20398
14	Контролер	ADAM-4050	2	5735	11470
15	Контролер	ADAM-4520	1	4844	4844
Всього					632869

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Виходячи з даних таблиці 7.1, загальна вартість всіх засобів автоматизації складає:

$$V_{\text{заг}} = 632869 \text{ грн.}$$

Розрахуємо транспортно-заготівельні витрати. До них відносяться перевезення, страхування, навантаження та розвантаження, а також витрати на амортизацію. В загальному витрати складають 25 % від вартості обладнання:

$$V_{\text{т}} = 632869 \text{ грн} \cdot 25 \% = 158217,25 \text{ грн.}$$

Витрати на монтажні роботи складають 45 % від вартості всіх приладів. Вони включають в себе витрати на електроенергію, матеріали та заробітну плату працівників:

$$V_{\text{м}} = 632869 \text{ грн} \cdot 45 \% = 284791,05 \text{ грн.}$$

Після монтажу засоби автоматизації потрібно ввести в роботу. Для їх налагодження виділяється 10 % від загальної вартості:

$$V_{\text{м}} = 632869 \text{ грн} \cdot 10\% = 63286,9 \text{ грн.}$$

Підрахуємо загальну вартість, необхідну для запуску автоматизованої системи керування:

$$V = 632869 + 158217,25 + 284791,05 + 63286,9 = 1139164,2 \text{ грн.}$$

Отже, на основі попередніх розрахунків, загальна вартість вкладень для запуску контуру підготовки карамельної маси до уварювання становить 1139164,2 грн.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі розроблено автоматизовану систему керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання. У процесі виконання роботи було вирішено наступні задачі.

При аналізі об'єкта керування були визначені основні параметри процесу, такі, як маса та витрата сировини, час необхідний для змішування інгредієнтів, а також тиск, температура та вологість при нагріванні карамельного сиропу. Також у процесі виконання були сформульовані задачі автоматизованої системи керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання, а саме: контроль і регулювання кількості складових; контроль рівня суміші в ємності; контроль і регулювання тривалості змішування суміші; контроль і регулювання температури в герметичній ємності; контроль тиску в герметичній ємності; контроль і регулювання густини сиропу в герметичній ємності; автоматичне керування запірними клапанами установок; автоматичне керування двигунами насосів; індикація аварійних та технологічних повідомлень. Було проаналізовано основні вхідні, вихідні, збурюючі та керуючі фактори, які впливають на процес та на якість продукту отриманого в результаті. Протягом аналізу було визначено, що основним вхідним параметром є маса інгредієнтів, що впливає на масу отриманої суміші. Керуючими факторами, які впливають на процес підготовки карамельної до уварювання є температура, час та швидкість змішування. У свою чергу, на колір, густину та органолептичні показники можуть вплинути мінливість сировини, жорсткість води, а також різноманітні технічні неполадки.

Для розуміння загальної роботи та для розробки стратегії керування було розроблено функціональну схему автоматизації. Функціональна схема автоматизованої системи керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання має велике значення, оскільки саме вона допомагає забезпечити

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розуміння системи, визначити ключові етапи та параметри, а також допомагає чітко визначити технологічні параметри, які контролюються та регулюються.

Проаналізувавши функціональну схему автоматизації було обрано необхідні технічні засоби автоматизації, а саме витратоміри Endress+Hauser Proline Promag H, датчики маси Zemic H8C, таймер Omron H3CR-A8, датчик рівня Siemens SITRANS LVL100 Level Switch, датчик температури Industrial PT100 RTD Temperature Sensor -200 to 600 °C, датчик тиску NOVUS NP640, датчик густини Digital Tuning Fork Density Meter, регулюючий клапан Danfoss AV210C, запобіжний клапан Brass Pressure Relief Valve, частотні перетворювачі Siemens SINAMICS V20 та пускачі Schneider Contactor LC1E1201Q5. Для керування контуром було підібрано комплект модулів ADAM-4000 від Advantech, а саме ADAM-4017, ADAM-4050 та ADAM-4520. За результатами проведених розрахунків було обрано блок живлення Mean Well HDR-60-24.

Також була розроблена схема керування мікропроцесорними модулями.

Для керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання у роботі було обґрунтовано необхідність розробки алгоритму функціонування системи керування та створено програму керування в середовищі ADAM View.

У результаті розрахунку надійності контуру підготовки карамельної маси до уварювання було встановлено, що при двозмінній роботі протягом 1 року ймовірність безвідмовної роботи становить 47 %. Це значення менше за необхідний мінімум, проте варто зазначити, що на виробництвах протягом 1 року безперервної роботи обов'язково проводяться профілактичні огляди та ремонти, які значно збільшують цей показник. Також існує ряд рекомендації, застосування який підвищить рівень надійності. Отже, такі показники є цілком прийнятними та підходять для роботи з системою.

Було проведено розрахунки затрат, а саме вартість обладнання, транспортно-заготівельні витрати, витрати на монтажні роботи та вартість

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налагодження. Результати розрахунків показали, що сума необхідна для запуску автоматизованої системи керування становить **1139164,2** грн.

Запропонована модернізація автоматизованої системи керування контуром підготовки карамельної маси до уварювання дозволить підвищити точність вимірювання та регулювання параметрів, зменшити потребу втручання ручної праці в процес виробництва, а також мінімізувати час простою, що дозволить оптимізувати процес та підвищити якість готової продукції.

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The history of caramel and caramel candy. URL: <https://bequetconfections.com/blogs/news/the-history-of-caramel-and-caramel-candy?srsId=AfmBOoq9dJNV7YhTrcxgBH25xdxkP635ZBzfZWvWs8jgmeс3E7p5p-j-> (дата звернення 12.02.2026).

2. Рецептури карамелі. URL: <https://tehnologam.com/retseptura-karameli-pivnyku-na-palychtsi-gost/https://tehnologam.com/key-words/karamel/> (дата звернення 12.02.2026).

3. How caramel are made. URL: <https://www.madehow.com/Volume-6/Caramel.htm> (дата звернення 12.02.2026).

4. Електромагнітний витратомір Endress+Hauser Proline Promag H URL: <https://www.pt.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/electromagnetic-flowmeter-promag-h10-5hbb> (дата звернення 17.02.2026).

5. Датчик рівня Siemens SITRANS LVL100 Level Switch. URL: <https://www.dibiasi.it/Siemens-7ML57451AA611BA0-SITRANS-LVL100-LEVEL-SWITCH-299381-100.html> (дата звернення 17.02.2026).

6. ТензOMETричний датчик маси Zemic H8C. URL: <https://zemic.com.ua/tenzometrychnyi-datchyk-h8c/> (дата звернення 12.02.2026).

7. Датчик тиску NOVUS NP640. URL: <https://www.novusautomation.com/en/product/pressure-transmitters/np640> (дата звернення 17.02.2026).

8. Густиномір Digital Tuning Fork Density Meter. URL: <https://www.ato.com/acid-base-density-meter> (дата звернення 17.02.2026).

9. Промисловий датчик температури Industrial PT100 RTD Temperature Sensor -200 to 600 °C. URL: https://envmart.com/7254-industrial-pt-100-rtd-temperature-sensor-200-to-600-deg-c.html?SubmitCurrency=1&id_currency=23& (дата звернення 17.02.2026).

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Таймер Omron H3CR-A8. URL: <https://trade-control.com.ua/ua/products/omron-h3cr-a8-dc24> (дата звернення 17.02.2026).

11. Регулюючий клапан Danfoss AV210C. URL: <https://designcenter.danfoss.com/uk-ua/products/climate-solutions-for-heating/solenoid-valves-fluid-controls/externally-operated-valves/av210a---av210h/p/042N4454> (дата звернення 19.02.2026).

12. Запобіжний клапан Brass Pressure Relief Valve. URL: <https://www.ato.com/brass-pressure-relief-valve> (дата звернення 19.02.2026).

13. Частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20. URL: <https://www.siemens.com/uk-ua/products/sinamics/v20/> (дата звернення 19.02.2026).

14. Пускач Schneider Contactor LC1E1201Q5. URL: https://lift-spares.se/products/elevator-contactors-contactor-schneider-contactor-12a-3p-380v-coil-lc1e1201q5?srsltid=AfmBOorfxCLKgiD9mw35mnA6THlaPy3PFCa00Xk-slQsokA8MJ3LAvl_ (дата звернення 19.02.2026).

15. Модуль аналогового входу ADAM-4017. URL: https://www.advantech.com/emt/products/gf-5vtd/adam-4017/mod_170c40f4-ебас-485е-9df9-1еbef60f971f (дата звернення 20.02.2026).

16. Модуль дискретного вводу-виводу ADAM-4050. URL: https://www.advantech.com/emt/products/gf-5vwk/adam-4050/mod_02b0d2ad-0bbb-498a-8647-b910ce345125 (дата звернення 20.02.2026).

17. Модуль RS232/485 Advantech ADAM-4520. URL: https://www.advantech.com/emt/products/2fc1d959-0bec-4cb5-a570-7ad14d9b0850/adam-4520/mod_8dcee4b7-fbde-4c5d-9752-ed2f2fbd00bf (дата звернення 20.02.2026).

18. Блок живлення Mean Well HDR-60-24 URL: https://kvar.com.ua/ehlektrotekhnicheskoe_oborudovanie/istochniki_bloki_pitaniya/blok_pitaniya_mean_well_hdr-60-24_60vt_24v_2_5a (дата звернення 20.02.2026).

					АтаБС-009.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		