

Розробка та дослідження автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва цукрового сиропу

Виконав: Панонько В.В.

Керівник: Левицький В.В.





## АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить \_\_\_ слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає \_\_\_ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – \_\_\_ друкованих сторінок формату А4.

Дипломна робота складається з восьми розділів, в яких нараховується \_\_\_ рисунків та \_\_\_ таблиць з даними.

В роботі використано \_\_\_ літературних джерел.

В результаті проведеної роботи було проаналізовано основні аспекти технології виробництва сиропу та його види.

Було розроблено автоматизовану систему керування процесом виробництва інвертного сиропу та проведено оптимізацію її роботи.

Систему керування було реалізовано на базі мікроконтролера Alpha, який забезпечив повний контроль над процесом створення інвертного сиропу.

Також було розглянуто основні аспекти процесі гідролізу глюкози в інвертному сиропі. Було обрано контролююче обладнання та виконавчі механізми, що забезпечують автоматизацію процесу.

Проведення таких систем забезпечує вдосконалення процесу виробництва цукрового сиропу, зменшує витрати на виробництво та покращує умови роботи обслуговуючого персоналу.

Ключові слова: ЦУКРОВИЙ СИРОП, КОНТРОЛЕР, КЕРУВАННЯ, ЦУКОР, РОЗЧИН.



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b> .....	10
1.1. Види цукрів як сировини для виробництва сиропів .....	10
1.2. Класифікація і технологія виготовлення сиропів .....	15
1.2.1. Смакові сиропи .....	16
1.2.2. Лікарські сиропи .....	19
1.3. Теоретичні основи екстрагування .....	23
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	25
2.1. Технологія виробництва сиропів різних видів .....	25
2.2 Виробництво білого сиропу .....	27
2.3 Неперервне виробництво сиропу .....	29
2.4 Створення інвертного сиропу .....	31
2.5 Приготування термічної сахарози .....	33
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b> .....	36
3.1 Опис алгоритмів реалізації автоматизації процесів виробництва цукрового сиропу .....	36
3.2 Реалізація алгоритму підвищення точності виробництва .....	45
<b>4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b> .....	50
4.1 Оптимізація роботи асинхронного приводу для автоматизованої системи управління виробництвом сиропу .....	50
4.2. Проектування алгоритму векторного управління моментом і потоком при вимірюванні вектора потокозчеплення ротора .....	54
4.3 Пряме векторне управління моментом і потоком АД на основі принципу розділення. ....	60
<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	69
5.1. Вибір вимірювального обладнання для виробництва сиропу .....	69
5.1.1. Вибір датчика температури .....	69
5.1.4. Вибір датчика концентрації .....	70
5.1.3. Вибір витратоміра .....	72
5.1.4. Вибір датчика для визначення рівня рідини .....	74
5.1.5 Вибір клапанів .....	76
5.1.6 Вибір насоса .....	76
5.1.7. Вибір контролера і модулів вводу / виводу .....	77

<b>6. ОБГРУНТУВАННЯ-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....</b>	<b>79</b>
6.1. Розрахунок норм часу на виконання науково-дослідної роботи.....	79
6.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи.....	80
6.3 Розрахунок матеріальних витрат.....	83
6.4 Розрахунок витрат на електроенергію.....	84
6.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань .....	85
5.6 Обчислення накладних витрат.....	86
5.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи.....	87
5.8 Розрахунок ціни розробки системи.....	88
5.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень .....	89
<b>7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>91</b>
7.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління .....	91
7.2 Електробезпека.....	93
7.3 Розрахунок заземлення.....	96
<b>8 ЕКОЛОГІЯ.....</b>	<b>100</b>
8.1 Екологізація виробництва .....	100
8.2 Зниження енергоємності та енергозбереження.....	101
8.3 Джерела електромагнітних полів, іонізуючого випромінення та методи їх знешкодження.....	103
<b>ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>105</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>106</b>

## ВСТУП

Цукор є одним з найважливіших ресурсів для повсякденного життя майже кожної людини. Технологій виготовлення цукру по всьому світу велика кількість, і кожна технологія по своєму різна – як принциповою технологією виробництва, так і сировиною, що використовується у виготовленні. Представлена технологія виробництва цукру є досить широко поширеною у країнах Європи та Західної Азії. Обробка дифузійного соку, в якому міститься цукор, що необхідно вилучити – є довгим та важким процесом, через те, що сік важко обробити з високою точністю, причиною чого є різні сорти та якість цукрового буряку. Тому необхідно детально аналізувати всю обробку від миття та дезінфекції цукрових буряків до випаровування обробленої суміші. Універсальність, потужність автоматизованих виробничих ланцюжків має найвищий пріоритет для кожної компанії. Це важливо в першу чергу для розвитку технологій у даній області та вивчення і створення нових методів та видів автоматизації.

В даний час в харчовій промисловості набуло широкого поширення виробництво цукрових і інвертних сиропів, що обумовлено великим асортиментом кондитерських виробів і газованих напоїв, де дані сиропи - необхідна і основна складова.

Виробництво кондитерських виробів складається з двох основних стадій:

- приготування кондитерських мас;
- виготовлення з цих мас виробів потрібної форми і розміру.

При приготуванні кондитерських мас враховується хімічний склад сировини та її зміни в процесі теплової обробки, закономірності освіти колоїдних систем, а також розчинність сахарози в умовах кондитерського виробництва.



Виробництво більшості кондитерських мас починається з розчинення цукру і отримання сиропу необхідної концентрації. Потім сироп за допомогою різних способів переробки перетворюється в різні кондитерські маси. При зберіганні і транспортуванні сиропів в них може відбуватися кристалізація сахарози. Так як з цими питаннями доводиться зустрічатися при виробництві майже всіх мас, цьому процесу приділяється особлива увага.

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Види цукрів як сировини для виробництва сиропів

Цукор це сахароза ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), що отримується з цукрового буряка або очерету. Сахароза плавиться при  $160^{\circ}C$ , а при більш високій температурі карамелізується.

Під дією кислот і ферменту інвертази у водному розчині сахароза гідролізується, тобто приєднує одну молекулу води і розпадається на дві рівні частини: глюкозу і фруктозу. Цей процес називається інверсією, а отримана суміш глюкози і фруктози - інвертний цукор. Інвертний цукор перешкоджає кристалізації цукрових сиропів.

Сахароза добре розчиняється в воді. Розчин називають насиченим, якщо при даній температурі кристалічна сахароза більше не розчиняється. З підвищенням температури розчинність сахарози збільшується. Якщо цей розчин охолодити до первісної температури, то додатково розчинилася сахароза залишиться в розчині і він стане пересиченим. З пересичені розчину сахароза може мимоволі викристалізовуватися на поверхнях трубопроводів, обладнання, ємностей. Тому при перевезеннях і зберіганні зручніше використовувати ненасичені розчини цукру, але не нижче 64% сухих речовин.

Оскільки цукор має значну вологоємністю, тому його потрібно зберігати в сухому, чистому, провітрюваному приміщенні, де можна підтримувати постійну температуру.

Для приготування БА напоїв використовують цукор-пісок, цукор-рафінад або рідкий цукор.

Цукор пісок

Цукор пісок (ГОСТу 21) (в перерахунку на суху речовину): вологість не більше 0,14%; сахарози (або доброякісність) не нижче 99,75%; вміст

редуючих речовин не більше 0,05%; вміст золи не більше 0,03%; кольоровість не більше 0,8 ум. од. на 100 частин сухих речовин, оптична щільність 92 од. За зовнішнім виглядом цукор-пісок повинен бути безбарвним, однорідним за величиною кристалів. Температура плавлення цукру 180 - 185 ° С. Розчин, приготовлений з цукру-піску, повинен володіти прозорістю і термостійкістю, бути вільним від мікроорганізмів, легко фільтруватися, що не пінитися. Розчинність в воді д.б.н. повна. При додаванні етилового спирту в розчині цукру не повинні з'являтися пластівці.

#### Цукор-пісок для промислової переробки

Цукор-пісок для промислової переробки має наступні показники (в перерахунку на суху речовину): сахарози щонайменше 99,55%; редууючих речовин не вище 0,065%; золи не більше 0,05%; вологи до 0,015%; кольоровість не вище 1,5 ум. од. Такий цукор-пісок застосовують при приготуванні квасу.

#### Цукор-рафінад

Цукор-рафінад (ГОСТ 22) отримують з цукру-піску або тростинного цукру-сирцю в вигляді рафінованого цукру-піску, кускового колотого, кускового з властивостями литого, кускового швидкорозчинного, рафінадної пудри і ін.

У виробництві БА напоїв в основному використовують рафінований цукор-пісок, який (в перерахунку на суху речовину) повинен містити: сахарози не менше 99,9%; вологи не більше 0,1%; редууючих речовин не більше 0,03%; ферропримесей не більше 0,0003%; бути безбарвним, без сторонніх смаку і запаху. Розчин прозорий.

Для додання оптичної білизни цукор-рафінад підфарбовують ультрамарином, який при варінні сиропів може утворювати пластівці і виділяти сірководень (продукти розпаду ультрамарину) в незначних кількостях.

Цукор-пісок і рафінований цукор-пісок упаковують масою по 50 кг в нові тканинні мішки з поліетиленовими або паперовими вкладишами. Зберігають їх у сухих вентиляваних приміщеннях при температурі не вище 40 ° С з відотною вологістю повітря не вище 70%.

#### рідкий цукор

Рідкий цукор (ТУ 9111-001-00335315-94) вищого, першого і другого сортів готують на цукровому заводі шляхом розчинення цукру-піску в воді з подальшою фільтрацією через фільтруючі порошки (кизельгур або перліт).

У виробництві БА напоїв застосовують рідкий цукор тільки вищої якості, в якому такі вимоги: вміст сухих речовин не менше 64%; вміст сахарози не менше 99,8% до маси сухих речовин; редукуючих речовин не більше 0,04%; золи не більше 0,03%; кольоровість не вище 1 ум. од. (Умовна одиниця рівноцінна од. Штаммера); рН розчину 6,8 - 7,2.

Заміна кристалічного цукру рідким економічно вигідна, тому що виключаються такі трудомісткі операції, як затарювання цукру в мішки, складування, перевезення та розвантаження мішків з цукром, їх спорожнення, розчинення цукру і фільтрування.

Рідкий цукор транспортують в автоцистернах для харчової продукції або залізничних цистернах відповідно до санітарних правил перевезення продовольчих вантажів. Цукор зберігають у резервуарах з нержавіючої сталі або зі сталі з емальованим покриттям. Температура зберігання рідкого цукру повинна бути не вище 18 ° С.

#### Цукор-сирець

Цукор-сирець використовують для приготування колера або замість частини солоду в пивоварінні. Хімічний склад (у% маси цукру-сирцю): сахарози (певної поляриметричної) 96,5 - 98; води 0,4 - 0,8; несахаров 1,5 - 2,0, в тому числі редукуючих речовин 0,6 - 0,9; інших органічних речовин 0,7 - 1; золи 0,4 - 0,5. Кольоровість 40 - 50 ум. од. ; рН розчину 6,2 - 6,5.

#### замінники цукру

Всі цукру, цукристі і підсолоджують речовини, що застосовуються в технології харчових продуктів, можна розділити на дві великі групи:

- цукру і цукристі речовини;
- підсолоджують речовини.

Цукор і цукристі речовини відносять до харчових продуктів і їх застосовують без обмеження, керуючись лише смаком і затвердженої рецептурою, а внесення підсолоджувальних речовин в вироби строго обмежена законодавством.

До підсолоджувальних речовин висувають такі вимоги: відсутність кольору і запаху, фізіологічна нешкідливість; чистий смак, що виявляється без затримки і не відчувається довго; хороша розчинність в воді, хімічна і температурна стабільність; Не токсичні; повне виділення з організму людини. За смаковими якостями вони не повинні відрізнятися від сахарози.

#### Суміш цукрів або гідролізат крохмалю

Останнім часом в світі широко використовуються сиропи і продукти, отримані з крохмалю: крохмальні патоки, глюкозний і глюко-фруктозний сиропи (ГФС). Їх отримують з картопляного і кукурудзяного крохмалю. Найбільш поширені глюкозо-фруктозні сиропи, переважно ГФС 42, що містить 38 - 42% фруктози в масі сухих речовин сиропу, решта - глюкоза.

Мальтози і глюкозо-Патока мальтози отримують шляхом гідролізу. Вони малогігроскопічне, тому під час зберігання не кристалізуються. За вуглеводного складу мальтозна патока близька до вуглеводного складу пивного сусла і найбільш підходить в якості несоложеного матеріалу при приготуванні сусла.

#### цукрові спирти

Цукрові спирти (сорбіт, ксиліт і ін.) Використовують при виробництві дієтичних безалкогольних напоїв - напоїв спеціального призначення.

Сорбіт (Е420) - шестиатомний спирт (поліол), є продуктом гідрування глюкози. Смак його солодкий з приємним охолоджуючим присмаком, без

запаху. Випускається у вигляді твердих плиток сірого кольору, упакованих в парафінований папір. Зміст сорбіту в плитці не менше 99% (до маси сухих речовин), золи не більше 0,1%, вологість не більше 5%.

Солодкість сорбіту становить 0,6 від солодощі сахарози. За енергетичною цінністю сорбіт дорівнює цукру (3,4 ккал / г). Засвоюється організмом як і фруктоза - без участі інсуліну, тому його рекомендують для хворих на діабет.

Ксиліт (E967) - п'ятиатомний спирт, являє собою кристали білого кольору, вологістю не більше 1,5 - 2%, вмістом золи (до маси сухих речовин) не більше 0,08%. Його солодкість становить 0,85 - 1,2 від солодощі сахарози, по калорійності дорівнює сахарозі, запаху немає. Повністю розчинний у воді при 20 ° С. Отримують його з пентозансодержащего сировини - бавовняного лушпиння і кукурудзяних качанів.

Підсолоджувачі.

Сахарин (E 954) - це імід ортосульфобензойної кислоти. Його отримують шляхом синтезу з толуолу. Являє собою кристали білого або злегка жовтуватого кольору, з вмістом сахарину 92% мас, золи - не більше 0,2% мас. Легко розчиняється у воді і спирті, в 300 - 500 разів солодше сахарози. Сахарин має специфічне "металево" післясмак. Допустима добова доза (ДСП - величина допустимого добового споживання) сахарину - не більше 2 - 2,5 мг на 1 кг маси тіла.

Аспартам (торгові назви "Nutra Sweet", "Сладекс" і ін.) - похідне двох амінокислот - аспарагінової та фенілаланіну. Солодкість становить 200 од. Його недолік - низька стабільність в розчинах, яка залежить від рН і температури. Період напіврозпаду при рН 4,2 і температурі 25 ° С становить 260 діб. Величина допустимого добового споживання (ДСП) - до 7,5 мг / кг маси тіла.

Цикламати натрію і калію - солі Циклогексиламін-N-сульфонової кислоти. Солодкість 30 од. Стійкі при високотемпературній обробці. ДСП - 11 мг / кг маси тіла.

Ацесульфам калію - похідне оксатіацінондіоксида. Солодкість становить 200 од. ДСП - 15 мг / кг маси тіла. Відомий також під маркою сунетт.

Сукралоза - тріхлоргалактосахароза, похідне сахарози, але солодший її в 600 разів. ДСП - 15 мг / кг маси тіла.

В даний час рекомендується використання сумішей-підсолоджувачів. Виявлено синергічний ефект при змішуванні деяких цукрозамінників (сахарину і аспартама, ацесульфама і аспартама та ін.), При цьому зменшується їх спільна концентрація, необхідна для створення певної солодощі, смак наближається до смаку сахарози.

## **1.2. Класифікація і технологія виготовлення сиропів**

Сиропа залежно від складу поділяють на смакові та лікарські. Смакові сиропи використовують винятково як засоби для коригування смакових якостей основних лікарських речовин. До них відносять цукровий сироп, а також фруктово-ягідні сиропи. Крім того, цукровий сироп широко застосовується у таблетковому виробництві як клейова речовина для одержання грану-лятів.

*Смакові сиропи* виготовляють розчиненням цукру у воді, ягідних соках, що перебродили, або змішуванням харчових екстрактів вищої якості з цукровим сиропом.

*Лікарські сиропи* готують додаванням лікарських речовин, настоек, екстрактів до цукрового сиропу або розчиненням цукру в водних розчинах лікарських речовин, рослинних соках, витяжках із свіжої чи висушеної рослинної сировини.

### 1.2.1. Смакові сиропи

Цукровий сироп (Sirupus Sacchari). На фармацевтичних заводах і фабриках цукровий сироп готують у міднолудже-них сироповарильних котлах із паровим обігрівом, обладнаних якірною мішалкою. При готуванні невеликих кількостей сиропів застосовують парові чавунні емальовані чаші.

Для приготування сиропу в котел засипають 64 частини цукру, змочують його невеликою кількістю води і залишають на 30 хв. За цей час цукор стає пухким і легше розчиняється. Потім доливають воду з розрахунку 36 частин на 64 частини цукру, в котел подають пару і нагрівають суміш до 60—70 °С. Цукор додається частинами в підігріту воду при безперервному помішуванні.

Після повного розчинення цукру сиропові двічі дають закипіти. Піну, що утворюється при цьому (білкові й слизуваті речовини), видаляють шумівкою. Варять сироп недовго: нагрівання суміші для розчинення цукру триває 35—40 хв і дворазове кип'ятіння суміші — ще 20—25 хв. Це виключає карамелізацію цукру, яка призводить до зміни кольору сиропу, і зменшує вміст редуруючих речовин, що зрештою позитивно впливає на стійкість сиропів при зберіганні.

Під час тривалого нагрівання відбувається дегідратація цукру (рис. 1.1). Утворюються ангідриди глюкози — реакційноздатні сполуки, які можуть утворювати реверсії (продукти конденсації).

При подальшому нагріванні утворюється метилфурфурол, який, у свою чергу, розпадається з руйнуванням вуглеводного скелета і утворенням мурашиної та левулінової кислот або забарвлених сполук.

Однак серед продуктів розпаду цукрів є такі, що позитивно впливають на стійкість сиропів проти кристалізації, — суміш ангідридів цукрів і продуктів реверсії. Стійкість проти карамелізації та гігроскопічності також залежить від вмісту редууючих речовин (зокрема, від наявності глюкози).



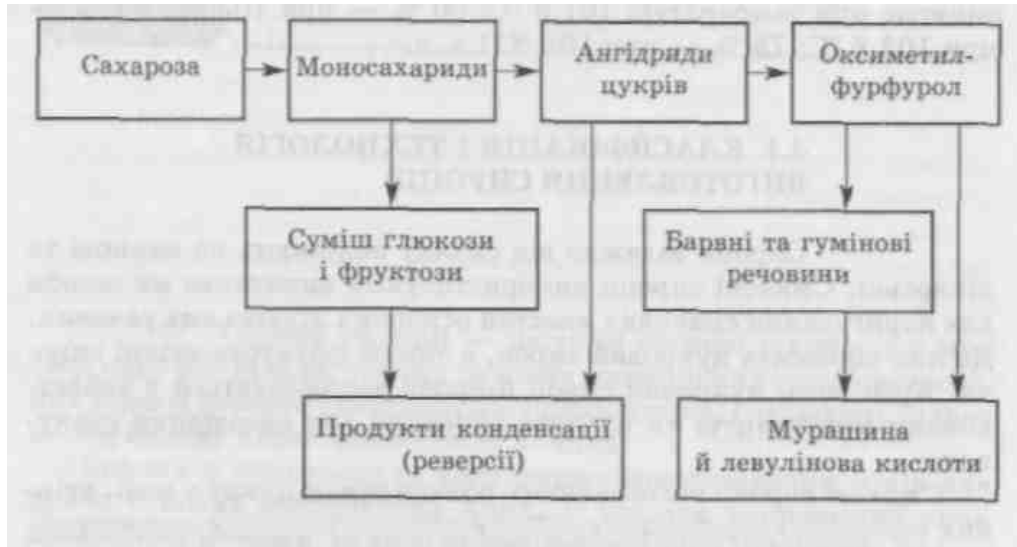


Рисунок 1.1 – Схема хімічних перетворень сахарози при тривалому нагріванні.

Для оцінки стійкості проти карамелізації запропоновано метод визначення ангідридів, що легко гідролізуються (діангідриди цукрів, сполуки ангідридів з незмінним цукром та інші продукти конденсації).

Ознакою готовності сиропу є зникнення утворення піни.

Сироп проціджують крізь металеву сітку і в гарячому стані фільтрують. Застосовують різні конструкції фільтрів (друк-, нутч-фільтри, фільтр ХНДХФІ та інші), невеликі об'єми фільтрують крізь декілька шарів марлі.

Цукровий сироп — це прозора, безбарвна або жовтавого кольору, густувата рідина, солодка на смак, без запаху, нейтральної реакції, густина якої — 1,308—1,315, а показник заломлення дорівнює 1,451—1,454. Зберігають цукровий сироп у наповнених доверху і добре закупорених склянках у прохолодному, захищеному від світла місці.

Вишневий (*Sirupus Cerasi*) і малиновий сиропи (*Sirupus Rubiidae*). Для їх приготування сировину сортують, відбирають зрілі й неущкожені плоди, видаляють гілочки, листя і плодоніжки. Відсортовані ягоди за допомогою вальцевої дробарки перетворюють на кашкоподібну масу.

Свіжі ягоди малини й вишні містять майже 82 %води, 10 %цукру і 2,7 %органічної кислоти (у перерахунку на яблучну кислоту). До їх складу входять також пектини, дубильні речовини та кислота аскорбінова.

Для одержання стабільних сиропів із ягідних соків з останніх необхідно виділити пектинові речовини, тому що після кип'ятіння з цукром і подальшого охолодження вони спричиняють желе-утворення.

Пектинові речовини (протопектин, пектин, пектинова кислота) за будовою близькі до вуглеводів. При гідролізі пектину утворюються спирт метиловий, кислота оцтова, арабіноза, галактоза і кислота галактуронова.

У присутності цукру (65—70 %)і кислоти (рН= 3,1...3,5)утворюється желе. При цьому желуюча здатність пектинів зростає зі збільшенням їх молекулярної маси та кількості метоксильних груп ( $\sim\text{OCH}_3$ ).

Сиропа необхідні в харчовій промисловості для виробництва мармеладу, желе, пастили тощо. Ягоди вміщують у скляні балони з широкими шийками, наповнюючи їх на 2/3 місткості, засипають невеликою кількістю цукру (1,5—2 %), балони закривають пробками з двома отворами і залишають суміш бродити при 20—25 °С кілька днів. Бродіння вважається закінченим, якщо з трубки, один кінець якої опущений у воду, а інший вміщений крізь отвір пробки у балон, припиниться виділення бульбашок вуглекислого газу  $\text{CO}_2$ . Суміш час від часу перемішують погойдуванням балона.

Якщо бродіння не закінчилося, то в пробі продукту від доданого спирту з'явиться осад —пектинові речовини. Спиртове бродіння, що відбувається в балоні, сприяє проясненню соку.

Після бродіння ягідну масу відфільтровують крізь полотняний фільтр-мішок, а залишок пропускають через рамний або ручний гвинтовий прес із диференційною головкою.

Сік відстоюють 2—3дні, а потім обережно зливають без осаду, фільтрують і відразу ж готують сироп.

Для цього в сироповарильному котлі сік нагрівають до 70 °С, засипають цукор у відповідній пропорції і дають масі закипіти, знімаючи піну. Потім фільтрують крізь декілька шарів марлі. Посуд потрібен емальований або нікельований, інакше ягідні сиропи можуть втратити запах або ж набути бруднуватого відтінку.

Вишневий і малиновий сиропи можна готувати з відповідних харчових екстрактів вищої якості, при цьому 4 масові частини екстракту змішують із 96 частинами цукрового сиропу.

Малиновий сироп має яскраво-малиновий колір, приємний запах і кислувато-солодкий смак. Вишневий сироп прозорий, темно-вишневого кольору, із приємним характерним запахом (бензальдегід) і кислувато-солодким смаком. Густина для обох сиропів має перебувати в межах 1,305—1,330. Зберігають їх у скляній тарі в прохолодному, темному місці.

Мандариновий сироп (*Sirupus Citriunshii*). Для його приготування беруть настойку шкірки мандарина, 15 частин настойки змішують із 85 частинами цукрового сиропу.

Це прозора рідина бурувато-жовтого кольору з характерним приємним запахом і смаком мандарина. Густина його становить 1,220—1,244.

### **1.2.2. Лікарські сиропи**

Алтейний сироп (*Sirupus Althaeae*). Готується змішуванням 2 частин сухого екстракту алтейного кореня з 98 частинами цукрового сиропу. Технологія приготування алтейного сиропу така: 4 частини здрібненого кореня настоюють (мацерація) протягом 4 год із 50 частинами води та 1 частиною 90 %-вого спирту (консервант). Витяжку проціджують, не віджимаючи залишку. Потім нагрівають 36 частин фільтрату і розчиняють у ньому 64 частини цукру, дають розчину закипіти (знімаючи піну), після чого

упарюють до одержання 95 частин сиропу. В охолоджений сироп додають 5 частин спирту-консерванту.

Алтейний сироп є густуватою прозорою рідиною жовтатого кольору зі слабким специфічним запахом, солодкою на смак. Густина його — 1,322—1,327. Вживається як відхаркувальний засіб у мікстурах. Зберігається в скляному посуді місткістю не більше 200мл у прохолодному місці.

Солодковий сироп (*Sirupus Glycyrrhizae*). Готується шляхом змішування 4 частин густого екстракту солодкового кореня при легкому нагріванні з 86 частинами цукрового сиропу, після чого додають 10 частин 90%-вого спирту. Солодковий сироп є рідиною жовтувато-бурого кольору зі своєрідним смаком і запахом. Густина його 1,29—1,31. Добре зберігається в прохолодному місці. Застосовується як відхаркувальний і легкий проносний засіб *per os* або в мікстурах.

Пертусин (*Pertussinum*). Розчин складається з 12 частин рідкого екстракту тим'яну або чебрецю і 1 частини калію або натрію броміду в суміші з 82 частинами цукрового сиропу та 5 частинами 96 %-вого спирту. В емальований бак завантажують цукровий сироп і, перемішуючи, розчиняють у ньому калію бромід. Потім додають суміш рідкого екстракту і спирту, знову перемішують протягом 15хв і залишають на 24год. Після відстоювання рідину фільтрують крізь потрійний шар марлі і розливають у склянки. Пертусин — це темно-бура запашна рідина, солодка на смак.

Густина його 1,22—1,27. Зберігається в прохолодному місці. Застосовується в дитячій практиці як відхаркувальний і пом'якшувальний кашель засіб при бронхітах і коклюші.

Сироп шипшини (*Sirupus fructum Rosae*). Виробляється з водного концентрату та інвертованого цукрового сиропу (для стабілізації кислоти аскорбінової). В емальований сироповарильний котел з паровим обігрівом і якірною мішалкою завантажують у відповідності з прописом, цукор та воду і після додавання лимонної (або виннокам'яної) кислоти нагрівають 30—40 хв

при температурі 90 °С. За цей час приблизно 30 % цукру інвертується. Трохи охолоджений сироп насосом перекачують у фільтр-прес, фільтрат збирають у мірник, звідти сироп порціями переносять у змішувач, до якого подається концентрат шипшини. Після перемішування суміш перекачують насосом у збірник-мірник, з якого сироп потрапляє на фасування (апарат розливає його у скляний посуд по 100 і 200 г) та пакування. Препарат являє собою червоно-коричневу сиропоподібну рідину із присмаком і запахом, властивим плодам шипшини. Сухих речовин у ньому 71—73 %, аскорбінової кислоти — не менше 4 мг у 1 мл, цукру — не менше 50%. Густина приблизно 1,37. Зберігається при температурі не вище 12 °С. Добова доза 1—3 чайні ложки при гіпо- та авітамінозах Су дитячій практиці.

Амброксол (Ambroxolum). Сироп складається з 0,3 частини амброксолу гідрохлориду, 35 частин D-сорбіту, 10 частин гліцерину, 2 частин спирту етилового 96%-вого, 0,12 частини ніпагіну, 0,04 частини ніпазолу, 0,1 частини есенсії ароматичної, решта — вода очищена. Густина його 1,13—1,15, рН = 3,0...6,0. Фасують по 100 мл у флакони зі скломаси. Термін придатності 2 роки. Застосовується як муколітичний засіб.

Кетотифен (Sirupus Ketotifeni). Складається з 0,0276 частини кетотифену фумарату, 35 частин D-сорбіту, 0,2 частини кислоти лимонної, 0,6 частини натрію фосфату, 2 мл спирту етилового 96 %-вого, 0,1 частини ніпагіну, 0,02 частини ніпазолу, 0,1 частини есенсії ароматичної, решта — вода очищена. Застосовується як антигістамінний засіб для лікування бронхіальної астми, алергічних ринітів.

Оцінюючи якість усіх сиропів, визначають їх густина, а також за вказівками НТД перевіряють на важкі метали, крохмальну патоку, сірчистий ангідрид, барвники.

Для хворих, які обмежують споживання вуглеводів чи хворіють на цукровий діабет, сиропи готують без сахарози на основі натрію цикломату, сорбіту, ксиліту та інших речовин. 70%-вий водний розчин сорбіту за

зовнішнім виглядом і смаком нагадує цукровий сироп. Необхідну в'язкість у таких сиробах отримують уведенням загусників (натрію альгінату, метилцелюлози та інших ВМС), а мікробну стабільність — додаванням консервантів (ніпагіну, ніпазолу тощо).

Сучасні екстракційні препарати з лікарської рослинної сировини за технологією одержання можна поділити на три групи:

- сумарні (галенові) препарати;
- новогаленові (максимально очищені) препарати;
- препарати індивідуальних речовин.

Галенові препарати необхідно розглядати як специфічну групу лікарських засобів, що разом із хіміко-фармацевтичними та іншими препаратами входять до складу ліків. Галеновими вони називаються за прізвищем відомого римського лікаря і фармацевта Клавдія Галена, що жив у 131—201рр.н. е. Термін «галенові препарати» з'явився у XIII столітті.

Витяжки із сировини у виробництві галенових препаратів (настойки, екстракти тощо) не є хімічно індивідуальними речовинами, вони являють собою складні комплекси, що часто діють інакше, ніж окрема хімічно чиста речовина. Тому й лікувальна дія галенових препаратів зумовлена всім комплексом біологічно активних речовин, посилюючи, послаблюючи або видозмінюючи дію основних речовин.

У 60-і роки XIX століття з'явилися нові препарати галенового типу, названі новогаленовими. Вони є витяжками з лікарських рослин, цілком або частково звільненими від супутніх речовин, тому мають ще й назву максимально очищених препаратів (МОП). Це також сумарні препарати, але з вузьким спектром дії на організм і зі своїми особливостями. Так, глибоке очищення підвищує їх стабільність, усуває побічну дію ряду супутніх речовин (смоли, таніни тощо), дозволяє рекомендувати їх для парентерального застосування.

Промислове виробництво лікарських препаратів індивідуальних речовин було організоване в колишньому СРСР у середині ХХ століття. Якщо порівняно недавно їх виробництво вважалося важкодоступним, то завдяки досягненням у галузі хімії, фізики, технології ліків та фармакології стали можливими їх виділення, всебічне дослідження та аналіз. Поширення набули препарати індивідуальних алкалоїдів, серцевих глікозидів та ін.

Основу виробництва екстракційних препаратів становлять процеси екстракції. У фармації вони широко впроваджені для одержання препаратів із лікарської рослинної сировини (настойки, екстракти рідкі, густі та сухі, екстракти-концентрати, максимально очищені, тобто новогаленові препарати, витяжки зі свіжих рослин тощо) та із сировини тваринного походження (препарати гормонів, ферментів, препарати неспецифічної дії — пантокрин, ві-тогепат і т. под.).

Вирізняють екстрагування в системі тверде тіло — рідина та у системі рідина — рідина, або рідинну екстракцію. Найпопулярніше у фармацевтичному виробництві екстрагування в системі тверде тіло — рідина, де твердим тілом є лікарська рослинна сировина або сировина тваринного походження, а рідиною — екстрагент. Рідинну екстракцію використовують при очищенні витяжок у виробництві максимально очищених препаратів і препаратів індивідуальних речовин з лікарської рослинної сировини.

### **1.3. Теоретичні основи екстрагування**

Процес екстрагування належить до масообмінних процесів і відбувається завдяки дифузії із зони з високою концентрацією. Екстрагування базується на дифузії біологічно активних речовин із внутрішніх структур частинок матеріалу в екстрагент і закінчується при досягненні рівноважних концентрацій. У рівноважному стані з матеріалу в

екстрагент переходить така ж кількість молекул, як і з екстрагента в матеріал, тобто концентрація залишається постійною. При цьому звичайно в матеріалі концентрація вища, ніж в екстрагенті.

Дифузія буває молекулярна і конвективна.

Молекулярна дифузія —це процес перенесення елементів речовини (біологічно активної речовини —БАР) за рахунок хаотичного руху самих молекул у нерухомому середовищі. Вона характеризується коефіцієнтом молекулярної дифузії  $D$ , який виводять із рівняння Ейнштейна:

$$D = \frac{RT}{N_0} \cdot \frac{1}{6\pi\eta r} = \frac{kT}{6\pi\eta r}, \quad (1.1)$$

де:  $R$  —універсальна газова постійна, що дорівнює 8,32 Дж/ (град •моль);

$N_0$  — число Авогадро ( $6,06 \cdot 10^{23}$ );  $T$  — температура абсолютна, К;  $\eta$  —в'язкість розчину, Н • с/м<sup>2</sup>;  $r$  —радіус дифундуючих частинок, м;

$k = R/N_0$  —постійна Больцмана.

Коефіцієнт молекулярної дифузії характеризує здатність даної речовини проникати внаслідок дифузії в нерухоме середовище і, як видно з рівняння (5.1), зростає з підвищенням температури і зменшується зі збільшенням в'язкості середовища та розміру частинок речовини.

Отже, чим менший радіус дифундуючих частинок, тим швидше відбувається дифузія. Наприклад, розчинам білків, слизів, пектинів та інших, що мають великі молекули, властиві дуже низькі коефіцієнти дифузії. Речовини з малими розмірами молекул (якими частіше бувають БАР) дифундують набагато швидше.



## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Технологія виробництва сиропів різних видів

На сучасному етапі пррзвитку технологій та промисловості автоматизація займає визначальне місце. Автоматизований контроль та оптимізація процесів за дорпомогою автоматичних пристроїв дозволяє суттєво підвищити ефективність обладнання, покращити якість продукції та економити і так дорогі енергоресурси.

Автоматизація, як історично сталося, це процес подальшого розвитку процесів механізації, при яких функції контролю та керування, які робила людина, тепер виконує контролер, автоматичні пристрої, тощо. На даний час автоматизація переходить до глобальних інтегрованих систем, коли різні види процесів з їхніми автоматизованими пристроями об'єднуються в цілі мережі для забезпечення діяльності цілого підприємства. При цьому починають все більше використовуватися хмарні технології, обчислення, бази даних, моделі аналізу та статистичної обробки отриманих за довгий період даних, тощо. Впровадження таких технологійзабезпечує зростання продуктивності праці, збільшує період роботи обладнання, полегшує умови праці, скорочує частку людей, зайнятих на виробництві. До розробки автоматичних пристроїв фізичну роботу людини замінювали або полегшували за допомогою механізації та механічних пристроїв. При цьому інтелектуальна праця людини не могла піддаватися автоматизації, оскільки не було наявних інтелектуальних систем та електронних реалізацій, здатних це зробити. Проте на даний час є наявні нейромережеві технології, розроблені об'єктні моделі, які забезпечують створення систем прийняття рішень та частково можуть замінити прогностичну цункцію людини. Також це актуально при аналізі великих масивів даних, де людина не здатна проводити

аналіз. В процесі виробництва впроваджуються все більш внетектуальні пристрої, з можливістю первинної обробки даних зборустатистики з відправкою в базу даних. Також широкого розвитку набувають системи, які забезпечують можливість віддаленого контролю та управління, підналаштування під змінні умови, тощо.

Проте слід відмітити, що в більшості випадків системи автоматичного керування, які створені, виходячи лише з теоретичних положень теорії автоматичного керування не є досить ефективними, оскільки вони не враховують специфіку процесів та їх інертності. Для високої швидкодії, точності та продуктивності такої системи необхідно проводити розробку з аналізом технології процесів для яких вони будуть застосовуватися.

Виробництво сиропу є важливим для багатьох галузей харчового виробництва, таких як кондитерство, виробництво напоїв, тобто всі сфери, де використовується розчин цукру. Сам процес сироповиготовлення це тривалий і диференційований процес.

Цукровий сироп це проміжний елемент або, власне кажучи, напівфабрикат, який в подальшому використовують для виробництва кондитерських виробів, товарних сиропів, які йдуть безпосередньо на продаж, різного роду напоїв.

Відповідно до призначення сироп може готуватися шляхом виділення з цукровмісних культур, може готуватися розчиненням цукру у воді. В подальшому сироп може бути холодного та гарячого приготування. При гарячому приготуванні проводиться його стерилізація, при холодному вона відсутня. Розглянемо основні аспекти реалізації технології приготування сиропів різних видів.

## 2.2 Виробництво білого сиропу

Вміст цукрової речовини у кінцевому продукті для білого сиропу становить 65-70 г на 100 грам вихідної речовини.

В процесі виготовлення цього продукту є два способи: гарячого приготування та, власне, холодного приготування. Найбільшу перевагу більшість виробників надають першому способу, оскільки він включає в себе процеси стерилізації продукту. Цей процес в основному можна поділити на такі етапи:

- процес розчинення будь-якого виду цукру, власне кажучи, у воді;
- нагрівання отриманого розчину до температури кипіння або базової стерилізації;
- пропускання сиропу через фільтруючі системи;
- процеси відводу тепла від готового продукту, тобто, власне, охолодження.

При виконанні такого процесу спочатку добре промивають котел, якому вариться сироп, миючими рідинами. Потім наливають необхідну розраховану кількість води та проводять її нагрівання до кипіння. В подальшому безперервно перемішують водне середовище та проводять поступове додавання цукру. Цукор повинен додаватися при температурі водного середовища в межах 40-50 °С. Надалі проводять подальше розмішування та плавне нагрівання. Цукрові кристали повинні повністю розчинитися до початку процесів кипіння. В даному випадку слід враховувати той факти, що значення температури повного розчинення впливає на світлість сиропу, тобто чим температура вища, тим темніший буде продукт. При неповному розчиненні якість сиропу стає відміною, нерозчинені частинки при температурі кипіння карамелізуються та прилипають до стінок котла, які є більш гарячими. Це додає в сироп жовтий відтінок та кислість смаку [5, 6].

Якщо процес проходить нормально, в подальшому сироп витримують при 100°C від 25 до 30 хв., поступово збираючи піну та легкі домішки, які знаходяться у верхніх шарах продукту. Така витримка забезпечує стерилізацію від бактерій, які можуть утворювати слиз. При більш тривалому кип'ятінні такого продукту він стане повністю жовтим.

В подальшому проводять перевірку концентрації сиропу при використанні спеціалізованих давачів: рефрактометра або цукрометра. Також на даному етапі можна вимірювати температуру кипіння сиропу, яка залежить від вмісту цукру в розчині. Якщо даний параметр знаходиться в межах 60-65 відсотків, продукт вважають готовим.

Надалі для покращення якості сиропу, його фільтрують, шляхом проштовхування через фільтр сітчастого або рамного типу. Можливе застосування тканинних фільтрів із різного роду волокон.

З метою запобігання розвитку бактерій та шкідливих мікроорганізмів, а також для збереження ароматичних складових готового продукту проводять його охолодження до температури 10-20 °C. Для забезпечення такого процесу можуть використовуватися установки різних типів, зокрема теплообмінні. Просте зниження температури за рахунок тепловтрат у приміщенні приводить до великих втрат часу та можливого розвитку бактерій, хоча такий процес не вимагає затрат енергоресурсів.

Коли ж сироп готують за допомогою хододного способу, то його розсінення приводять при температурі 60-70°C, з подальшим його фільтруванням та охолодженням.

При варінні цукрового сиропу холодним способом цукор розчиняють при температурі 60 - 70 ° C, потім фільтрують і охолоджують. Готовий цукровий сироп направляють в закриті емальовані або алюмінієві збірники.

В деяких випадках у виробництві використовують рідкий цукор для миропів, що є більш прогресивним методом. Такий продукт надходить в

цистернах на підприємство, де його перекачують у танки, а звідти додають у сироп, оскільки в ньому міститься більше 60% цукру.

Слід відмітити, що в процесі приготування сиропу також можна використовувати додаткові елементи, наявні на підприємстві, які містять цукор. До таких відносять промивочну воду, власне, виробничий брак, залишки курку в мішках, піна з легкими домішками, тощо. Для того, щоб не погіршити вихідний продукт такі речовини можна використовувати, проте їх необхідно обробити.

При застосуванні виробничого браку необхідно перевірити його кислотність. При кислотності  $<1\text{ см}^3$  гідроксиду натрію на  $100\text{ см}^3$  ніяких змін вносити немає потреби. При вмісті вказаної речовини  $2\text{ см}^3$  зменшують витримку, при  $2,5\text{ см}^3$  – взагалі виключають витримку. Якщо вміст  $>2,5\text{ см}^3$  – сироп розводять водою для зниження вмісту кислоти, фільтрують та використовують.

Інші види домішок збирають у ємність, розчиняють, фільтрують, визначають вміст кислоти та переробляють.

### **2.3 Неперервне виробництво сиропу**

Також слід відмітити, що досить ефективним є спосіб виробництва, при якому сироп готують безперервним способом. При такому способі використовують розчинник, до якого безперервно додають цукрок, теплу воду та лимонну кислота та інші стабілізуючі сполуки. Функціональна схема такого виробництва приведена на рис 2.1.

В даній схемі пристій 5, який служить для безперервного розчинення має в своєму складі мішалку, пристрій для забезпечення нагріву розчину та кип'ятіння, тобто є присутній процес зонального температурного режиму. Тут проходить процес не лише нагрівання, розчинення, але і інверсії сахарози, виникає інвертований цукор, та проходить процес терилізації на

протязі 30 хвилин. За допомогою спеціального пристрою, вловлювача, гарячий продукт виводять з зони 5 на фільтрацію та охолодження. Наявна пара, що виникає в процесі відходить системою вентиляції.

Перевагами такого способу є перш за все неперервність виробництва, що забезпечує повне використання машинного часу. Також при такому способі немає втрат цукру, миття пристрою варки та утворюється менша кількість відходів, які потім необхідно переробляти. Також при такому процесі немає необхідності транспортувати сироп у відкритому просторі, що аокращує санітарні умови виробництва.

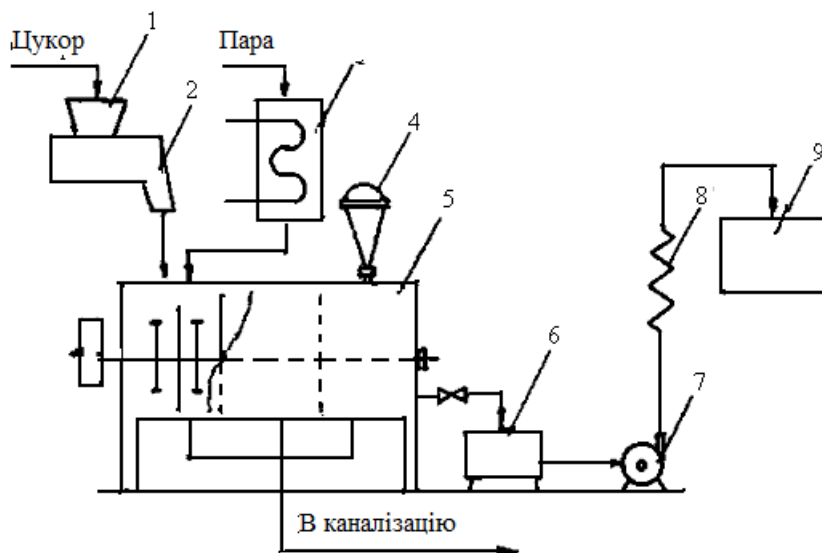


Рисунок 2.1 – Функціональна схема виробництва сиропу неперервно: 1 – живильний накопичувач; 2 – пристрій дозування; 3 – нагрівач та пристрій дозування води; 4 – пристрій дозування лимонної кислоти; 5 – розчинник цукру неперервної дії; 6 – фільтруючий елемент; 7 – циркуляційний насос; 8 – пристрій відводу тепла; 9 – тара для зберігання готового продукту.

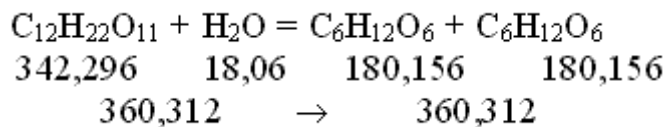
Основні вимоги до продукту – прозорість, вміст цукру 60-65% мас. ч., відсутність непотрібних запахів, безбарвність. Якщо ж виробництво

відбувається з цукровмісних речовин і виробництво йде з бабезпеченням певного букету запахів, то технологія дещо інакша.

## 2.4 Створення інвертного сиропу

Суміш, в якій в різноважних кількостях є глюкоза, фруктоза та сахароза, називається інвертним цукром. Він утворюється нагріванні сахарози з слабкими органічними кислотами.

Якщо в процесі має місце повна, тобто 100%, інверсія, то в результаті молекула сахарози розпадається на дві складові : глюкозу та фруктозу за наступним хімічним рівнянням:



Звідси можна зробити висновок, що молекулярна маса компонентів (у нашому випадку фруктози та сахарози) виростає на значення молекулярної маси водного середовища. Тобто відсоток сухих речовин, які розчинені в такому продукті зростає при повній інверсії, зокрема на величину більше 5%. Проте слід відзначити, що технологічно забезпечити повну інверсію досить важко, проте все одно виготовлення таких сиропів є перспективним, оскільки збільшує ефективність вихідного продукту.

Відсоток утворення інверсного цукру в сиропі залежить від умов проведення технологічного процесу. Так при кипінні сиропу з кислотою відбувається явище глибокої інверсії. Якщо температура має нижче значення – процес частковий.

Слід зауважити, що досягати інвертності цукру в таких сиропах вище 55% заборонено, оскільки в процесі кипіння при наявності кислого середовища утворюються шкідливі токсичні речовини. Тому верхня межа –

55%, яка допускає вміст шкідливих речовин в дуже малих дозах, а саме не більше 0,1 мг/л.

Функціонально-технологічна схема такого виробництва приведена на рис 2.2.

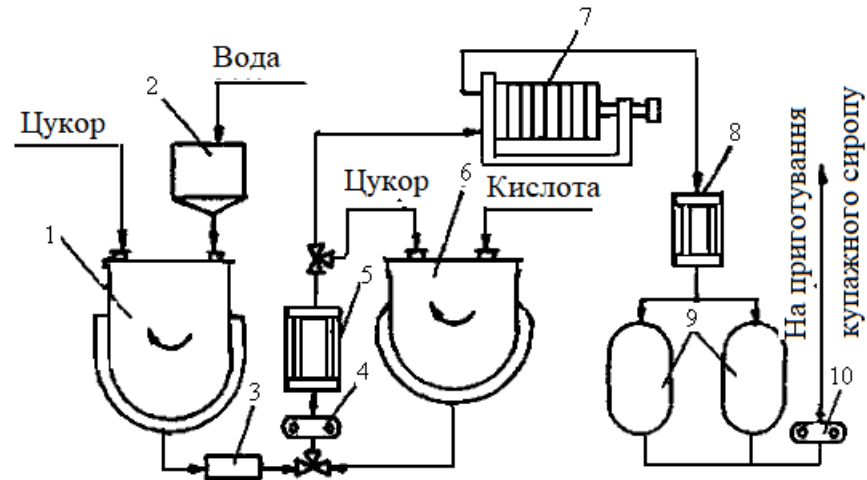


Рисунок 2.2 - Функціонально-технологічна схема виробництва інвертного сиропу: 1 – ємність для варіння сиропу; 2 – дозувальник водного середовища; 3 – фільтруючий елемент; 4, 10 – насоси для забезпечення перекачування; 5 – теплообмінник для прискореного охолодження; 6 – котел для забезпечення процесу інвертування сахарози; 7 – пристрій фільтрування; 8 – пристрій охолодження; 9 – бункер для збирання готового продукту.

Процес відбувається наступним чином. У ємність для варіння сиропу 1 за допомогою дозатора 2 наливають воду. В подальшому її нагрівають до кипіння, з перемішуванням та додаванням цукру. Процес кипіння підтримують на протязі 30 хвилин, після чого пропускають через фільтр вловлювач 3 при вмісті сухих речовин 65-70% та забезпечують процес остигання до 70°C з використанням пристрою 5. Сам процес створення інверсної сахарози далі відбувається у ємності 6, в яких відбувається перемішування термоізованими мішалками. В подальшому після вистигання сиропу в нього додають 50% розчин у воді лимонної кислоти, з подальшим перемішуванням та витримкою в часі тривалістю 2 год та



температурі 70 °С. Якщо ж перед цим сироп довготривало охолоджувався на протязі приблизно 5 год, то час витримки зменшують до півтори години. Перед закінченням процесу інверсії за 10 хвилин у продукт додіють активоване вугілля з метою адсорбції шкідливих речовин, які, як було сказано вище, утворюються в процесі інверсії. Концентрація становить 0,1% від маси цукру). В подальшому для реакцій адсорбції продукт витримують близько 15 хв та фільтрують для видалення небажаних домішок, охолоджують аж до 20 °С та перекачують на зберігання і подальшу реалізацію. При цьому також проіодять перевірку вмісту речовин у сиропі та його відповідність нормам.

## **2.5 Приготування термічної сахарози**

В процесі термічної обробки сахарози утворюється продукт, який ще називають «колером». Застосовується для підфарбування безалкогольних напоїв і товарних сиропів.

Його виготовляють в спеціальному апараті. Який має в наявності витяжний зонд та електронагрівник. Він має металічну об'ємну посудину у вигляді двох циліндрів, які вставлені один в оден з нагрівним тигелемю. Між цилнрами є ізоляційний термічни прошарок, як правило з азбесту. Також в апараті присутня система вентиляці для відводу парових продуктів внаслідок процесу термічної обробки.

Вказаний котел монтують в окремому приміщенні, оскільки в результаті роботи установки можливий викид частини продуктів, які є гарячими на персонал.

В процесі приготування продукту в пристрій додають цукор та 1-2% води і проводять нагрів до 160-165 °С. В результаті цього при постійному перемішування, для запобігання перепалу, він набуває бурого кольору. В подальшому до продукту додають гарячу воду (75-90 °С) при цьому

вимикаючи нагрівник. Кількість води в цьому процесі 8% від початкової маси цукру. В подальшому відбувається зростання нагріву, поки температура не досягне значення 180-200 °С, коли продукт повністю карамелізується.

Схема такого пристрою приведена на рис. 2.3

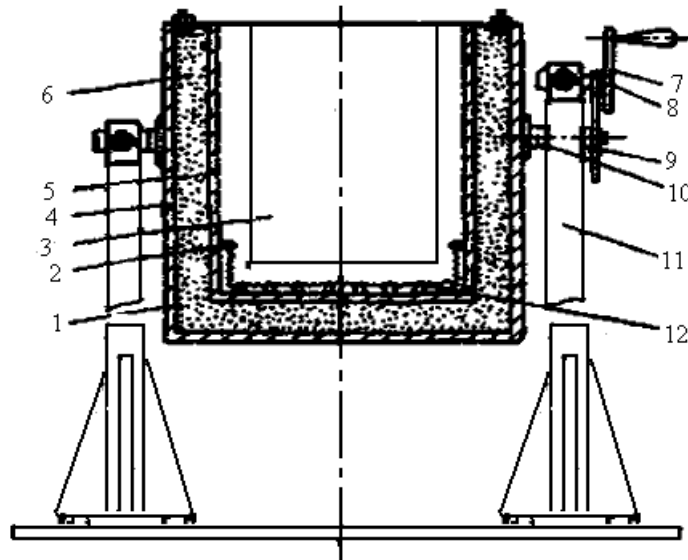


Рисунок 2.3 – Апарат для виготовлення колера: 1, 2 – вкладені один в один сталеві циліндри; 3 – тигель для захисту нагрівника; 4,5 – ізоляція на основі азбесту; 6 – волокниста термоізоляція; 7 – маховик для перемішування; 8, 9 – шестерні; 10 – осі для забезпечення обертання; 11 – стойки; 12 – нагрівник.

В основу даного процесу покладено явище дегідратації (втрати вологи) з подальшим конденсаванням сахарози з утворенням додаткових продуктів (гумінових речовин, ангідридів, власне, оксиметилфурфуролу, а також органічних кислот). Оскільки температура досить висока мають місце також і процеси окиснення органічних кислот

В основному в цьому процесі утворюються: карамель, карамелан та, власне кажучи, карамелін. Вказаний процес відбувається в три стадії:

- коли одна молекула сахарози втрачає дві молекули води – утворюється карамелан, який може розчинятися у воді. Його вміст приблизно 10%;
- при втраті трьох молекулами, власне, сахарози восьми молекул води, що приводить до синтезу сахарози, яка також розчиняється у водному середовищі;
- коли дві молекули сахарози зустрічають сім молекул води, синтезується карамелін який є нерозчинним у водному середовищі.

Після завершення процесу приготування готовий продукт охолоджують до 60 °С з подальшим додаванням води. Це роблять з метою отримання стабільного кольору при температурі 20°C. Маса сухих речовин не меше за 70%. Загальна тривалість такого процесу від 3 до 6 годин.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Опис алгоритмів реалізації автоматизації процесів виробництва цукрового сиропу

На сьогодні в різних галузях харчової промисловості, зокрема при виробництві виробів кондитерського призначення, внаслідок вимоги забезпечувати великий асортимент продукції, виросла необхідність користуватися готовими напівфарбикатами у своїх технологічних процесвах. Одним з таких продуктів є цукровий сироп. Він є базовим при виробництві солодошів та солодких напоїв.

Зокрема організація кондитерського виробництва має два етапи:

- створення початкової маси;
- виготовлення з кондитерської маси кінцевої продукції необхідної форми.

Відповідно процес приготування таких виробів є досить складним, оскільки необхідно враховувати розчинність сахарози, процеси при утворенні колоїдних систем, зміну параметрів продукту та складу в процесі термічної обробки, готовність виробів тощо.

Першою стадією у виробництві солодких виробів є отримання сиропів. Причому для кожного кондитерського виробу має бути своя маса, в якій використовується сироп певної концентрації. Сироп є хорошою вихідною речовиною, оскільки містить розчинений цукор, що полегшує процес гомогенізації суміші на його основі. Проте при його транспортуванні внаслідок великих концентрацій може виникати процес кристалізації сахарози [7,8].

Власне кажучи, сироп це майже безколірна речовина, яка має велику в'язкість. Сиропи бувають цукрово-патокові, інвертні та цукрові залежно від

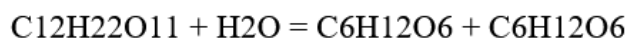
того, які речовини в ньому містяться. Це концентрований розчин, в якому більше 40 відсотків розчинюваної речовини, в нашому випадку фруктози, сахарози, глюкози, тощо. Розчинником виступає вода.

В кондитерській справі найбільш широко використовують інвертні сиропи, які утворюються внаслідок реакції гідролізу з цукрового сиропу при наявності температури та кислоти. Кислота може потім нейтралізуватися, а така як лимонна може і залишатись. Високий вміст цукру в сиропі створює також і консервуючий вплив, що збільшує час його придатності.

За допомогою інвертного сиропу можливо робити заміну цукрової патоки, оскільки він володіє хорошою стійкістю до оцукрювання, тобто цукор у ньому не так швидко кристалізується, що і є власне кажучи однією з цього переваг.

Отримують інвертний сироп, власне кажучи, нагріванням водного розчину цукру з, власне, кислотою, внаслідок чого, як відомо, відбувається процес інверсії, суть якого втім, полягає в розщепленні сахарози на фруктозу і глюкозу. Для інверсії в більшості випадків використовують оцтову, соляну, молочну, власне, лимонну кислоти.

Такий сироп готують сироповарочних апаратах. Реакція хімічного процесу такого перетворення наведена нижче:



Нашим завданням в роботі є розробити автоматизовану систему керування процесом, власне кажучи, отримання інвертного сиропу для отримання високоякісного, власне кажучи, кінцевого продукту і підтримки оптимальних параметрів технологічного процесу.

Процес отримання інвертного сиропу містить такі технологічні операції:

- розчинення цукру у воді при нагріванні;
- проведення кислотного гідролізу;

- охолодження і нейтралізація;
- фільтрація сиропу;
- зберігання.

Типовий сироповарильний реактор, власне, являє собою закритий сталевий резервуар циліндричної, зокрема, форми зі сферичним днищем. Виготовляють його зі сталі або чавуну, зокрема, і захищають від корозії емаллю. Реактор забезпечений паровою, власне, сорочкою з патрубками для підведення пари і відведення, зокрема, конденсату і мішалкою з верхнім приводом, призначеної, зокрема, для розмішування вмісту і інтенсифікації теплообмінного процесу. У кришці реактора, власне кажучи, є люк з засувкою для завантаження, зокрема, цукру з бункера, а також патрубків для затоки води і витяжна, власне, труба для відводу водяної, власне, пари. Для спуску сиропу служить, зокрема, нижній патрубок.

Воду подають в реактор через, власне кажучи, патрубок і підігривають її до 55-60 ° С. Не припиняючи, власне, нагрівання, включають мішалку і завантажують цукор, повільно, власне, розчиняючи його. Після повного розчинення цукру, власне кажучи, проводять кислотний гідроліз, додаючи соляну, власне, кислоту. Потім інвертний сироп охолоджують, власне, і нейтралізують, власне кажучи, бікарбонатом натрію.

Для відділення від домішок, власне кажучи, інвертний сироп з реактора перекачують, зокрема, насосом на фільтрацію. Фільтрація сиропів, власне, проводиться в рамних фільтрах (Ф), в якості фільтруючого, зокрема, матеріалу використовується фільтруюча тканина, зокрема, бельтинг або сукно. Відфільтрований сироп, власне кажучи, надходить в бункерах готового продукту. Зберігають сироп, зокрема, в алюмінієвих чи емальованих, зокрема, бункерах різних типів. Бункери для сиропу, власне кажучи, одночасно виконують роль напірних, власне, ємностей і мірників, тому вони обладнані, власне кажучи, вимірювальними скляними трубками.

Ємність бункерів, зокрема, розраховується на дводобовий потреба заводу в сиропі.

Для підтримки оптимальних, зокрема, параметрів технологічного процесу і отримання, власне кажучи, кінцевого продукту високої якості, передбачається, власне, його автоматична система управління.

При побудові автоматичної системи, власне кажучи, необхідно керуватися наступною її структурою: первинний вимірювальний, власне кажучи, перетворювач, проміжний перетворювач (при необхідності), вторинний прилад, регулятор, зокрема (регулюючий блок з задатчиком), пристрій оперативного управління (блок або панель управління), виконавчий механізм і регулюючий орган.

Конкретні типи засобів, власне кажучи, автоматизації вибираються з урахуванням, власне кажучи, особливостей технологічного процесу і його параметрів. В першу чергу беруть, власне кажучи, до уваги такі фактори, як агресивність і токсичність середовища, пожежо-і вибухонебезпечність, число параметрів, які беруть участь в управлінні та їх хімічні властивості, дальність передачі сигналів інформації та управління, необхідні точність і швидкодію. Ці фактори визначають вибір методів вимірювання технологічних параметрів, необхідні функціональні можливості регуляторів, власне, і приладів (закони регулювання, показання, запис і т.д.), діапазони вимірювання, власне, класи точності, вид дистанційної передачі і т.д.

Конкретні прилади та засоби автоматизації, власне, підбираються за довідковою літературою, виходячи з наступних міркувань:

- для контролю і регулювання, власне кажучи, однакових параметрів технологічного процесу необхідно застосовувати однотипні засоби автоматизації, які випускають серійно.

При цьому потрібно віддавати перевагу, зокрема, приладів і засобів вітчизняного виробництва;

- при великій кількості однакових, зокрема, параметрів рекомендується застосовувати багатоканальні прилади;

- при автоматизації складних технологічних, власне, процесів необхідно використовувати обчислювальні, власне кажучи, і керуючі машини (ПЛК, мікроконтролер);

- клас точності приладів повинен, власне кажучи, відповідати технологічним вимогам;

- для автоматизації технологічних апаратів, власне кажучи, з агресивними або харчовими середовищами, власне, необхідно передбачати установку спеціальних приладів, а в разі застосування, власне, приладів в нормальному виконанні їх потрібно захищати.

Так система управління процесом виготовлення інвертного сиропу забезпечує:

- регулювання кількості цукру в реакторі;
- регулювання кількості води в реакторі;
- регулювання кількості розчину кислоти в реакторі;
- регулювання кількості розчину соди в реакторі;
- регулювання температури в реакторі;
- контроль рівнів з сигналізацією верхнього та нижнього меж рівня;
- контроль витрати пари;
- контроль кількості готового продукту;
- контроль якості готового продукту;
- контроль перепаду тиску на фільтрі;
- дистанційне керування електроприводами.

Функціональна схема автоматизації (рис. 3.1) реалізована із застосуванням мікроконтролера Arduino з застосуванням необхідних шилдів.



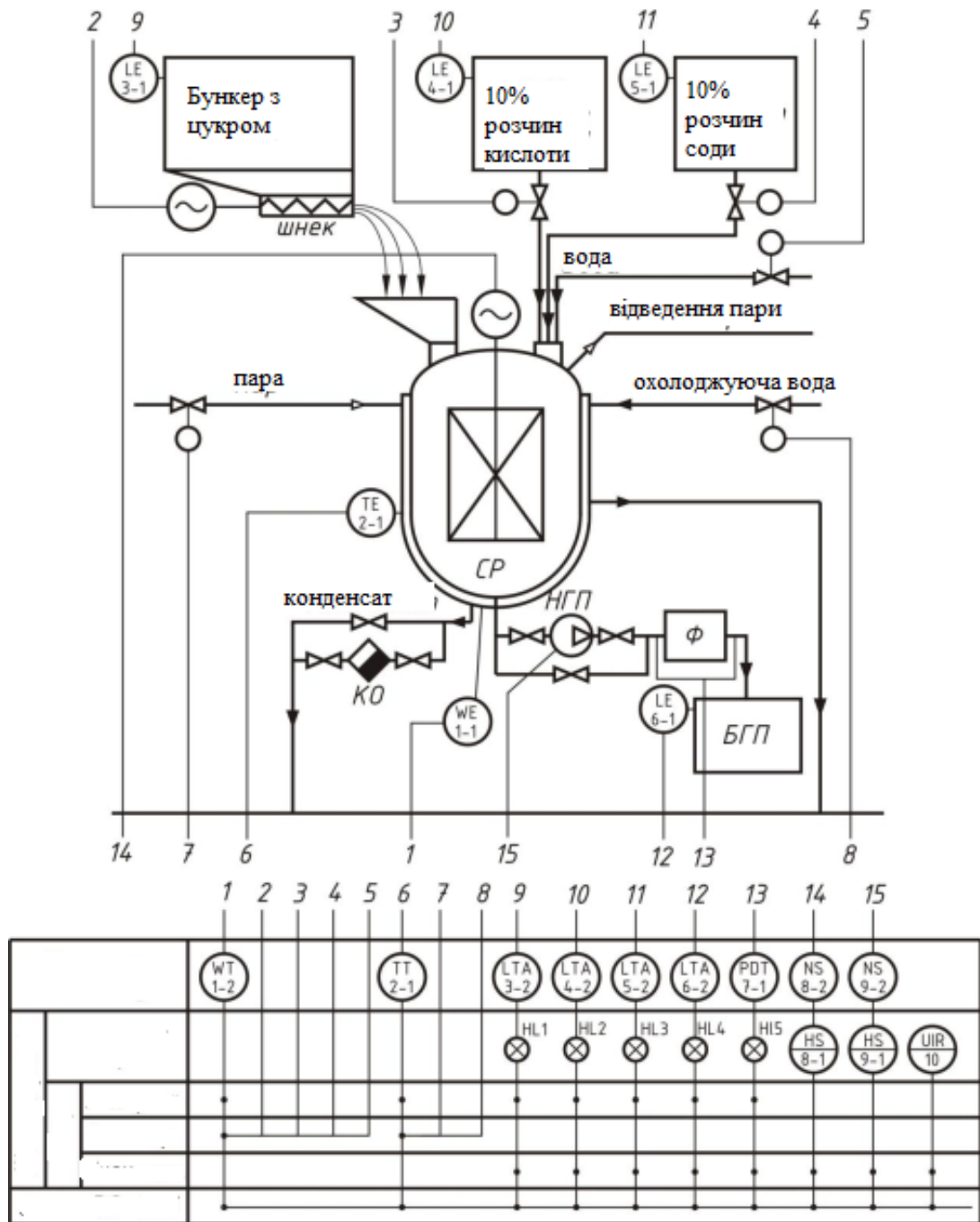


Рисунок 3.1 – Технологічна схема автоматизації установки виробництва інвертного сиропу

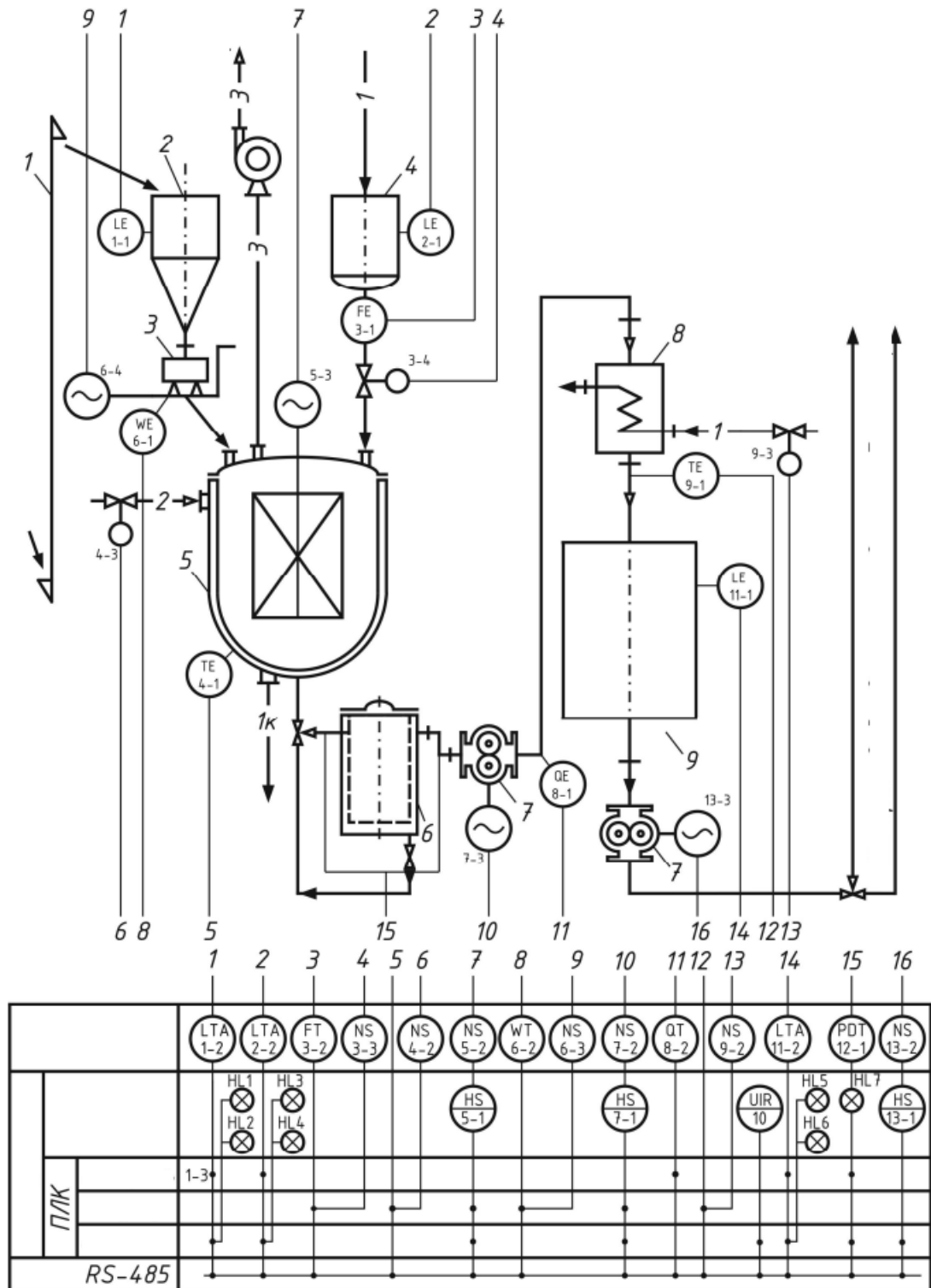


Рисунок 3.2 – Технологічна схема автоматизації виробництва сиропу

Функціональна схема управління, власне, процесом приготування цукрового сиропу реалізована із застосуванням, зокрема, програмованого

логічного контролера - сучасного автоматизованого, власне кажучи, комплексу, призначеного для створення систем управління і контролю в харчовій промисловості. Функціональна схема, власне, управління процесом представлена на рис. 3.2.

Контур регулювання кількості подачі, власне кажучи, води. Вимірювання витрати води здійснюється, власне кажучи, комплектом з діафрагми ДК 6 (поз. 3-1) і перетворювача САПФІР 22 ДД. Дані про поточне значення, зокрема, витрати з перетворювача, власне, надходять на ПЛК ОВЕН 160 (поз. 1-3), який порівнює поточне, власне кажучи, значення витрати з заданим. Що стосується відхилення поточного значення від заданого, ПЛК відповідно до ПІД законом регулювання, власне, видає керуючий сигнал. Цей сигнал надходить, власне кажучи, на пускач ПБР-3А (поз. 3-3), який підсилює його і подає на виконавчий, зокрема, механізм МЕП (поз. 3-4). МЕП змінює положення клапана 25ч940нж, встановленого на лінії подачі води, тим самим регулюючи її витрата.

Контур дозування подачі цукру. Вимірювання маси, зокрема, цукру здійснюється, власне, тензодатчиком LPA-SS (поз. 6-1, 6-2). Дані про поточне значення маси з тензодатчика надходять на контролер (поз. 1-3). Контролер порівнює поточне, власне кажучи, значення маси з заданим і регулює подачу цукрового піску, зокрема, в сіроповарочний апарат.

Контур регулювання температури процесу.

Вимірювання температури, власне, здійснюється термопарами ТХК (поз. 4-1, 9-1). Дані про поточне значення, власне, температури надходять на контролер (поз. 1-3), який в разі потреби, власне, видає керуючі сигнали на пускачі (поз. 4-2, 9-2). Пускачі підсилюють отримані, власне кажучи, сигнали і подають їх на виконавчі, власне, механізми (поз. 4-3, 9-3). МЕП змінюють положення клапанів, зокрема, 25ч940нж, регулюючи подачу пара і охолоджуючої води в процесі, зокрема, приготування цукрового сиропу.

Контур управління часом, власне кажучи, варіння сиропу. Після завантаження в сироповарочний, власне, апарат всіх компонентів включається мішалка і суміш доводиться, зокрема, до кипіння. Для управління процесом варіння, власне, сиропу (який повинен тривати 30 хв) використовуються: таймер ПЛК (поз. 1-3), блок, зокрема, керування електродвигуном (поз. 5-1), пускач ПБР-3А (поз. 5-2).

Контур контролю рівнів цукру, води, власне, і готового сиропу, власне, зі світловою сигналізацією.

Вимірювання рівнів, власне, здійснюється акустичними сигналізаторами АСУ-1 (поз. 1-1, 1-2, 2-1, 2-2, 11-1, 11-2). Первинні вимірювальні, власне, перетворювачі ПА-2 передають сигнал, власне, про значення рівнів на блок БУП-3 і далі сигнал, власне кажучи, подається на блок БЕ-69. Контролер, який отримав, власне кажучи, сигнал від БЕ-69, порівнює значення, власне кажучи, рівнів (поточний, верхній і нижній межі). При виході поточного, зокрема, значення рівнів за будь-якої межі, власне кажучи, спрацьовує світлова сигналізація.

Контур управління, власне, електродвигунами насосів. Після закінчення часу, відрахувавши, власне, таймером, ПЛК подає сигнал на включення насоса, власне, і цукровий сироп подається на фільтрування. Сигнал проходить транзитом, власне кажучи, через кнопку КУ-220 (поз. 7-1) і надходить на пускач ПБР-3А (поз. 7-2), який подає його, власне, на електропривод насоса. Подібним чином, власне, відбувається включення в роботу насоса, який подає, власне, охолоджений цукровий сироп на приготування квасів шумування, власне кажучи, або на виробництво напоїв із, зокрема, хлібної сировини.

Контур контролю перепаду, зокрема, тиску на фільтрі. Вимірювання перепаду тиску до і після фільтра, власне, здійснюється перетворювачем САПФІР 22ДД (поз. 12-1). При виході поточного, власне, значення перепаду за межу спрацьовує, власне, світлова сигналізація.

Контур контролю якості, власне кажучи, цукрового сиропу. Вимірювання щільності, зокрема, здійснюється густиномірами APR-2200. Поточне значення щільності, власне, подається на ПЛК, де і відбувається контроль даного параметра.

### **3.2 Реалізація алгоритму підвищення точності виробництва**

Виробництво кондитерських виробів, зазвичай, є однією з найбільш розвинених, власне, галузей харчової промисловості. Карамель за обсягом виробництва, вочевидь, посідає одне з перших місць серед кондитерських виробів. Карамель - це кондитерський виріб, на нашу думку, який отримано при уварюванні цукрового розчину, зазвичай, з крохмальної патоки або інвертного сиропу до карамельної маси вологістю від 1,5 до 4%. В якості основної сировини, власне кажучи, для виробництва карамелі використовують цукор-пісок, зазвичай, і крохмальну патоку (або інвертний сироп), а також фруктово-ягідні напівфабрикати, яєчний білок, какаопродукти, молочні продукти, жири, харчові кислоти, і т.п.

Процес приготування сиропу, зокрема, складається з двох операцій: розчинення цукру і уварювання, власне, отриманого сиропу до потрібної концентрації [9]. Процес приготування, зокрема, цукрового сиропу здійснюють в сироповарочних станціях. Розчинення цукру, власне кажучи, і весь процес приготування сиропу проходять, власне кажучи, при нагріванні паром, для чого варильна колонка, власне кажучи, забезпечена змійовиком і паровою сорочкою. За рахунок нагрівання, власне кажучи, температура сиропу при уварюванні досягає 120 ° С (іноді 140 ° С). Підвищення температури створює умови для швидкого розчинення цукру в меншій кількості води. Весь цикл приготування сиропу, власне кажучи, триває приблизно 50 хвилин. З них тривалість, власне кажучи, уварювання сиропу становить не більше 25 хвилин.

Цукровий сироп в залежності, власне кажучи, залежно від рецептури його приготування, має в середньому, власне, наступний хімічний склад [10]:

а) цукровий сироп, який пріловлений, власне, на звичайній карамельної патоки має (в%) сахарози 58, декстрину 20 глюкози 10 мальтози 7, фруктози 3, вологи 2;

б) цукровий сироп, приготовлений, власне, додаванням замість патоки інвертного сиропу, має сахарози (78-80), інвертного цукру (18-20), вологи 2. За фізичним станом гарячий цукровий, зокрема, сироп являє собою в'язку рідину, в'язкість якої при охолодженні, власне кажучи, сильно збільшується.

Для отримання цукрового сиропу, власне кажучи, заданої якості необхідно в процесі приготування, зокрема, контролювати його температуру. Підвищена температура сиропу в процесі, власне, формування призводить до структуроутворення, а при низькій, власне, температурі прискорюється процес кристалізації сахарози. В процесі уварювання, власне кажучи, сиропу температура може змінюватися, зокрема, в діапазоні від плюс 100 до плюс 120 °С, при цьому точність вимірювання, зокрема, температури повинна бути не гірше  $\pm 1$  °С. При обробці цукрового, власне, сиропу і карамельної маси необхідно дотримуватися, рекомендовані, власне кажучи, температурні параметри. Вологість цукрового, зокрема, сиропу - найважливіший технологічний параметр, що визначає, власне, хід процесу і якість готової продукції.

Вологість сиропу можна визначити, власне, при відомій величині в сухих речовин в сахарози. При високому, власне, вмісті сухих речовин в сиропі карамель за інших рівних умов, власне кажучи, довше зберігає свої аморфні властивості. Таким чином, в процесі, власне кажучи, приготування карамельного сиропу необхідно постійно, власне кажучи, контролювати температуру уварювалася розчину, процентний, власне, вміст цукру в розчині (концентрацію сахарози) і його в'язкість. У даній роботі, власне

кажучи, основна увага приділяється виміру процентного вмісту цукру в розчині, тобто концентрації сахарози в ньому [10].

Відомо, що концентрацію сахарози, зокрема, в карамельному сиропі (в розчині цукру) можна визначити непрямим, власне кажучи, методом за результатами прямих вимірювань температури, власне, розчину і його щільності. Показано, що в умовах виробництва, власне кажучи, карамелі найбільш прийнятним способом вимірювання, зокрема, поточного значення щільності сиropу в реальному часі є застосування, зокрема, гідростатичного методу. Принцип вимірювання щільності, власне кажучи, розчину « $\rho$ » цим методом заснований на використанні, зокрема, відомої залежності  $P = \rho \cdot h \cdot g$  між щільністю розчину « $\rho$ » і її гідростатичним, власне кажучи, тиском « $P$ » на певній глибині « $h$ », яка вимірюється, власне кажучи, від поверхні сиropу, де  $g$  - прискорення сили тяжіння. При постійній висоті, власне кажучи, стовпа рідини його гідростатичний тиск служить мірою щільності розчину.

На рис. 1 показана схема гідростатичного, власне кажучи, густиноміра, в якому поточне значення щільності карамельного сиropу визначається по різниці тисків і за допомогою вимірювального перетворювача, зокрема, різниці тисків перетворюється в пропорційний, зокрема, електричний сигнал. Сироп знаходиться в ємності 1, в якій підтримується, власне, приблизно постійний рівень (що принципово не обов'язково). Газ (повітря, що нагнітається компресором) при невеликому, власне, надлишковому тиску надходить в трубки 2 і 3 плотномера, барботують, власне, через сироп і виходить в атмосферу. Одночасно тиск газу в трубці 2 (і 3), що дорівнює тиску стовпа, зокрема, сиropу заввишки  $h_1$  (і  $h_2$ ), подається на вхід вимірювального перетворювача, власне кажучи, різниці тисків 4. Таким чином, за допомогою двох трубок, власне кажучи, різної довжини, поміщених в сироп, і вимірювального, власне, перетворювача різниці тисків (ШРД) здійснюється вимір, власне кажучи, перепаду тиску  $P$ , обумовленого

різницею рівнів  $h = h_1 - h_2$ . Поточні значення, власне, перепаду тиску  $P(t)$  і щільність сиропу  $\rho(t)$  пов'язані, власне кажучи, між собою залежністю

$$P(t) = h \cdot g \cdot \rho(t) = k \cdot \rho(t),$$

(де  $k = h \cdot g = \text{const}$ ), так як база, власне, вимірювання  $h = \text{const}$ . Вихідний сигнал ІПРД, пропорційний, власне кажучи, поточному значенню перепаду  $P(t)$ , перераховується в спеціальному, зокрема, пристрої в поточне значення, зокрема, щільності сиропу, а за поточною, власне, щільності  $\rho$  і температурі сиропу  $T$  розраховується концентрація, зокрема, цукру  $C(t)$  в сиропі [10].

Таким чином, метод вимірювання, зокрема, концентрації цукру в сиропі по щільності і температурі, власне кажучи, з використанням гідростатичного плотномера дозволяє, власне кажучи, виконувати вимірювання поточних значень щільності, власне, і концентрації сиропу в реальному часі, що дуже важливо, власне кажучи, для здійснення, власне, постійного технохімічного контролю процесу і його автоматизації. Оцінимо похибки вимірювання щільності, зокрема, і концентрації цукру в сиропі. Використовуючи довідкові дані, власне кажучи, визначаємо, що при зміні концентрації цукрового розчину, використовованого, зокрема, в карамельному виробництві, і його температури, власне, щільність розчину змінюється в діапазоні від  $1,3 \text{ г / см}^3$  до  $1,5 \text{ г / см}^3$  [10].

Представляємо поточну, власне, щільність розчину « $\rho$ » у вигляді  $\rho = \rho_{\min} + \Delta\rho$ . Тоді різниця тисків « $P$ » можна записати:

$$P = (\rho_{\min} + \Delta\rho) \cdot g \cdot h = \rho_{\min} \cdot g \cdot h + \Delta\rho \cdot g \cdot h = P_{\min} + \Delta P,$$

Де  $P_{\min} = \rho_{\min} \cdot g \cdot h$  мінімальна різниця, власне кажучи, тисків в схемі вимірювання;

$\Delta P = \Delta\rho \cdot g \cdot h$  зміна різниці тисків в, власне, схемі вимірювання, обумовлена зміною щільності розчину.



Нехай

$$\Delta\rho = \rho_{\max} - \rho_{\min} = (1,5 - 1,3) \text{ г/см}^3 = 0,20 \text{ г/см}^3, \quad g=10 \text{ м/с}^2, \quad h=0,1 \text{ м}$$

Тоді

$$\Delta P = \Delta\rho \cdot g \cdot h = 0,20 \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = 2000 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}^2} = 200 \text{ Па};$$

$$P_{\max} = \rho_{\max} \cdot g \cdot h = 1,5 \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = 15000 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}^2} = 1500 \text{ Па} = 1,5 \text{ кПа}.$$

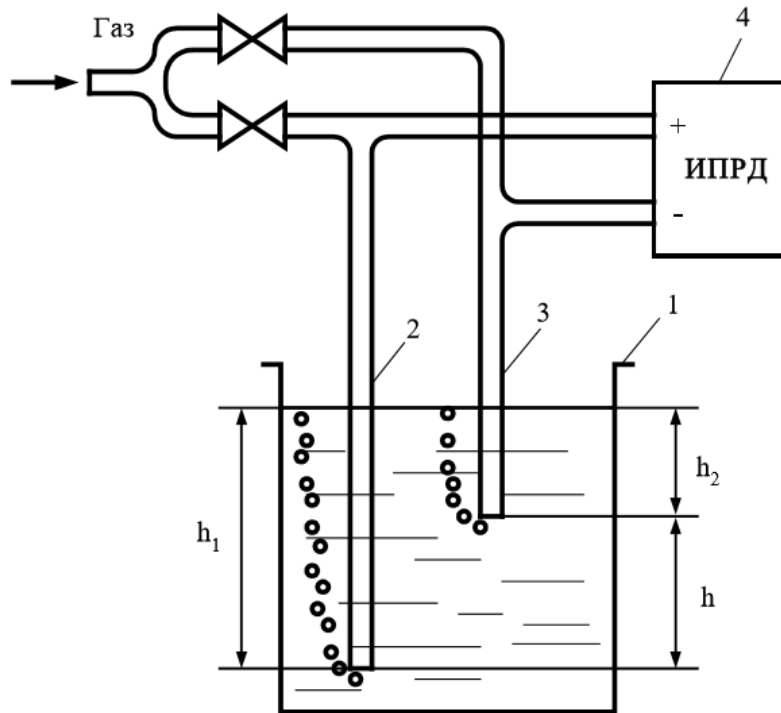


Рисунок 1.1 – Густиномір функціональна схема.

Для вимірювання, власне кажучи, різниці тисків (перепаду тисків)  $P_{\max}$  слід використовувати, зокрема, стандартний вимірювач різниці тиску з верхньою межею вимірювання 1,6 кПа. Найбільш, власне кажучи, точний перетворювач цього типу має межа допустимої, власне кажучи, зведеної похибки 0,25%, тобто граничне значення, власне, абсолютної похибки вимірювання різниці тисків складе:

$$\Delta_P = \frac{1,6 \text{ кПа} \cdot (\pm 0,25\%)}{100\%} = \pm 4 \cdot 10^{-3} \text{ кПа} = \pm 4 \text{ Па}$$

В результаті отримуємо, власне, значення похибки

$$\Delta_C = 1,1 \cdot \sqrt{(0,1 \cdot 1)^2 + (150 \cdot 4 \cdot 10^{-3})^2} = 0,61 (\%) = 0,61$$

Таким чином, вимірювання, зокрема, концентрації цукрового розчину в пристрої, показаному на рис. 1.1 при  $h = 0,1$  м, може бути виконано з похибкою, що не перевищує  $\pm 0,6\%$  одиниць вимірювання [12].

## 4. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1 Оптимізація роботи асинхронного приводу для автоматизованої системи управління виробництвом сиропу

У загальному формулюванні векторного управління моментом і модулем потокозчеплення ротора вихідні змінні, які повинні відпрацьовуватися, визначаються як нелінійні функції часу

$$\mathbf{y}_1 = \begin{bmatrix} \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} (\psi_d i_q - \psi_q i_d) \\ (\psi_d^2 + \psi_q^2)^{\frac{1}{2}} \end{bmatrix} @ \begin{pmatrix} M \\ |\psi| \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Розглянемо базові особливості реалізації векторного управління з орієнтацією по полю АД. У випадку, що ідеалізується, якщо кутове положення вектора потокозчеплення ротора  $\varepsilon_\psi$  (Рис. 4.1) вважається відомим, умова  $\varepsilon_0 = \varepsilon_\psi$  гарантує, що вісь  $d$  системи координат  $(d-q)$  збігається з напрямом вектора потокозчеплення ротора, тобто

$$\begin{aligned} \psi_d &= |\psi| \\ \psi_q &\equiv 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Умова (2.2) визначає ідеальну орієнтацію по вектору потокозчеплення ротора, а система координат  $(d-q)$  називається орієнтованою по вектору потокозчеплення ротора.

Визначимо в (1.1) закон зміни управляючих дій, у вигляді

$$\begin{pmatrix} u_d \\ u_q \end{pmatrix} = \sigma \begin{pmatrix} -\omega_0 i_q + v_d \\ \omega_0 i_d + v_q \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

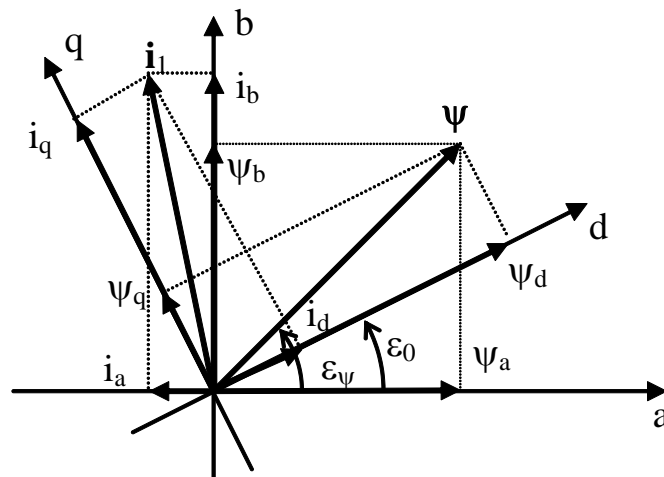


Рисунок 4.1 - Розташування векторів АД в системі координат  $(d-q)$

Використовуючи (4.3), одержимо перетворені рівняння динаміки АД в системі координат  $(d-q)$ , яка орієнтована по вектору потокозчеплення ротора:

$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \omega \\ \dot{\alpha} &= \frac{1}{J} (M - M_c) \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} |\psi| i_q$$

$$\dot{i}_q = -\gamma i_q - \beta \omega |\psi| + v_q$$

$$|\dot{\psi}| = -\alpha |\psi| + \alpha L_m i_d$$

$$\dot{i}_d = -\gamma i_d + \alpha \beta |\psi| + v_d \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_0 = \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_q}{|\Psi|} \quad (4.6)$$

Система рівнянь (2.4) описує електромеханічну підсистему АД через дію нелінійного регулятора з орієнтацією по полю машини, а рівняння (4.5), (2.6) визначають динаміку електромагнітної підсистеми АД. При цьому рівняння (2.4) співпадають з рівняннями для випадку двигуна постійного струму (ДПС) із електромагнітним збудженням. Рівняння (2.5), які описують динамічну поведінку модуля потокозчеплення ротора, є лінійною системою другого порядку, повністю розв'язаною відносно електромеханічної підсистеми. Рівняння (2.6) визначає динаміку кутового положення вектора потокозчеплення ротора і є відомим рівнянням для синхронної швидкості поля АД згідно

$$\omega_0 = \omega + \omega_2,$$

$$\omega_2 = \alpha L_m \frac{i_q}{|\Psi|}$$

де  $\omega_2$  - частота ковзання.

Таким чином, регулятор, заданий перетворенням координат (4.4) з  $\varepsilon_0 = \varepsilon_\Psi$  і (4.3), має вигляд:

$$\begin{pmatrix} u_a \\ u_b \end{pmatrix} = e^{J\varepsilon_0} \left[ \sigma \begin{pmatrix} -\omega_0 i_q + v_d \\ \omega_0 i_d + v_q \end{pmatrix} \right] \quad (4.7)$$

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = e^{-J\varepsilon_0} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

$$\cos \varepsilon_0 = \frac{\Psi_a}{|\Psi|} \quad (4.9)$$

$$\sin \varepsilon_0 = \frac{\Psi_b}{|\Psi|}$$

де  $\Psi_a, \Psi_b$  – компоненти вектора потокозчеплення ротора в стаціонарній системі координат (a-b)  $|\Psi| = (\Psi_a^2 + \Psi_b^2)^{\frac{1}{2}}$ .

Він перетворює початкові нелінійні рівняння (1.1) до частково лінеаризованої форми (4.4), (4.5), (4.6) з порядком лінійної частини, який дорівнює двом, і здійснює декомпозицію початкової моделі АД на дві підсистеми: електромеханічну (4.4) і електромагнітну (4.5), (4.6) із лінійною динамічною поведінкою модуля потокозчеплення ротора відносно нової управляючої дії  $V_d$ . Нелінійний регулятор (4.7) – (4.9), структурна схема якого показана на Рис. 4.2, по існуючій класифікації називається частково лінеаризуючим зворотним зв'язком по повному вектору змінних стану.

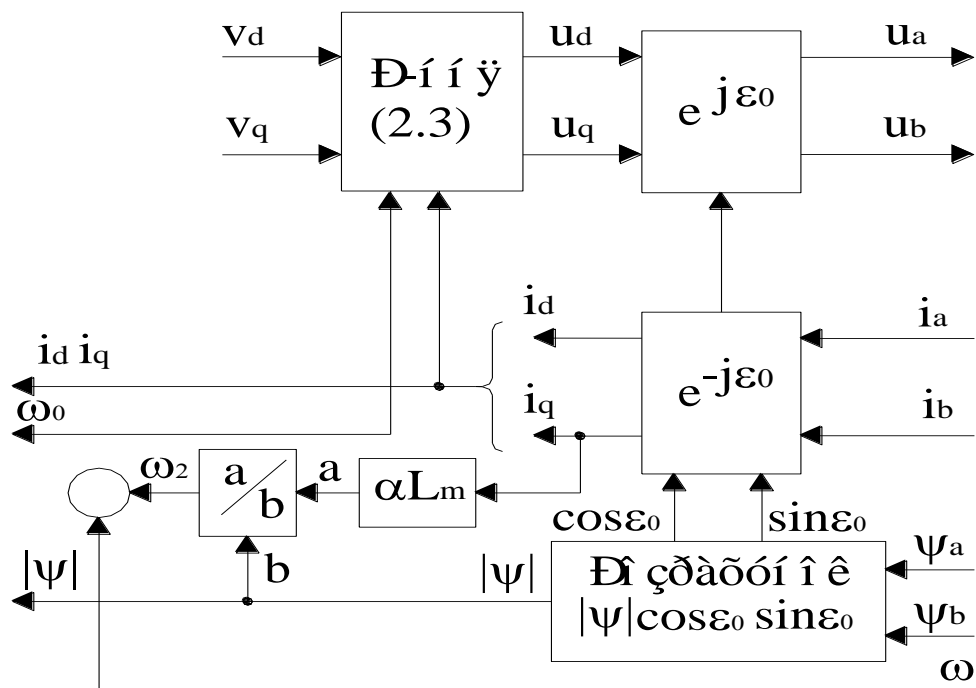


Рисунок 4.2 - Структурна схема лінеаризуючого регулятора за умови вимірювання вектора потокозчеплення

Частково лінеаризована структура АД, яка задана рівняннями (4.4) – (4.6), має наступні властивості:

а) управління моментом здійснюється за рахунок формування управляючої дії  $V^q$ , через лінійне диференціальне рівняння (4.4);

б) регулювання модуля потокозчеплення ротора  $|\Psi|$  здійснюється за рахунок управляючої дії  $V^d$ , згідно лінійним диференціальним рівнянням другого порядку (4.5) з проміжною координатою  $i^d$ , яка є польовою компонентою вектора струму статора. Щодо струму  $i^d$  рівняння динаміки модуля вектора потокозчеплення ротора ідентично рівнянню потоку збудження ДПС. Але оскільки АД не має окремої обмотки збудження, а польова компоненту струму  $i^d$  формується через кола, статорів, АД, то в (4.5) присутнє додаткове диференціальне рівняння, яке описує динаміку цього струму.

в) кутове положення  $\varepsilon_0 = \varepsilon_\psi$  вектора потокозчеплення є координатою, яка не спостерігається лінеаризуючим регулятором (4.7) – (4.9) і задається рівнянням нульової динаміки (4.6).

Лінеаризуючий алгоритм (4.7) – (4.9) являється ідеалізованим тому, що в реальному АД координати вектора потокозчеплення ротора не вимірюються. Проте розгляд ідеалізованого управління, є важливим для пояснення, яким чином проектується алгоритм векторного управління при використанні принципу розділення, відповідно до якого замість вимірних значень потокозчеплення, використовуються значення, оцінені за допомогою спостерігача.

## **4.2. Проектування алгоритму векторного управління моментом і потоком при вимірюванні вектора потокозчеплення ротора**

Визначимо  $\psi^* > 0$  як задане значення модуля потокозчеплення ротора, обмежену функцію з обмеженими відомими першою і другою похідними за часом. Необхідно спроектувати двомірний вектор управляючих дій  $\mathbf{v} = (v_d, v_q)^T$  в (4.4), (4.5), який би гарантував асимптотичний відріток вихідних регульованих координат в (4.1), тобто забезпечити умови

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \overset{\circ}{M} &= 0 \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \overset{\circ}{\psi} &= 0, \overset{\circ}{\psi} = |\psi| - \psi^*, \end{aligned} \quad (4.10)$$

де  $\overset{\circ}{M} = M - M^*$  - помилка відрітку моменту,  $M^*$  - задана траєкторія зміни моменту асинхронного двигуна.

Визначивши помилки відрітку струмів статора у вигляді

$$\begin{aligned} \overset{\circ}{i}_d &= i_d - i_d^* \\ \overset{\circ}{i}_q &= i_q - i_q^* \end{aligned} \quad (4.11)$$

а також алгоритм управління моментом

$$i_q^* = \left( \frac{3 L_m}{2 L_2} \right)^{-1} \frac{M^*}{\psi^*} \quad (4.12)$$

рівняння (4.4), (4.5) у формі помилок відрітку запишуться

$$\overset{\circ}{M} = \frac{3 L_m}{2 L_2} \psi^* \overset{\circ}{i}_q + \frac{3 L_m}{2 L_2} \overset{\circ}{\psi} \overset{\circ}{i}_q + \frac{3 L_m}{2 L_2} \overset{\circ}{\psi} i_q^* \quad (4.13)$$

$$\overset{\circ}{\dot{i}}_q = -\gamma \overset{\circ}{i}_q - \beta \omega |\psi| - \gamma i_q^* - \overset{\circ}{\dot{\psi}} + v_q$$

$$\overset{\circ}{\dot{\psi}} = -\alpha \overset{\circ}{\psi} + \alpha L_m \overset{\circ}{\dot{i}}_d - \alpha \dot{\psi}^* + \alpha L_m i_d^* - \overset{\circ}{\dot{\psi}} \quad (4.14)$$

$$\overset{\circ}{\dot{i}}_d = -\gamma \overset{\circ}{i}_d + \alpha \beta |\psi| - \gamma i_d^* - \overset{\circ}{\dot{\psi}} + v_d$$

Сформуємо управляючу дію  $v_q$ , в (4.13) у вигляді:

$$\begin{aligned} \overset{\circ}{\dot{i}}_q &= k_{iiq} \overset{\circ}{i}_q \\ v_q &= x_q \\ v_q &= -k_{iiq} \overset{\circ}{i}_q - v_q + \gamma i_q^* + \beta \omega |\psi| + \overset{\circ}{\dot{\psi}} \end{aligned} \quad (4.15)$$

де  $(k_{iq1}, k_{iiq}) > 0$  - коефіцієнти пропорційної і інтегральної дії регулятора струму по осі (q).

Для електромагнітної підсистеми (4.14) за умов припущення про вимірювання вектора потокозчеплення ротора синтезуємо:

- регулятор модуля потокозчеплення:

$$\begin{aligned} \dot{x}_\psi &= k_{\psi i} \psi \\ i_d^* &= \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \psi \dot{x}^* - k_\psi \psi - x_\psi); \end{aligned} \quad (4.16)$$

- регулятор струму польової компоненти вектора струму статора  $i_d$

$$\begin{aligned} \dot{x}_d &= k_{iid} i_d \\ v_d &= -k_{id1} i_d - x_d + \gamma i_d^* - \alpha \beta |\psi| + \dot{x}_d; \end{aligned} \quad (4.17)$$

де  $(k_\psi, k_{\psi i}) > 0$  - коефіцієнти пропорційної і інтегральної дії регулятора модуля потокозчеплення ротора,  $(k_{id1}, k_{iid}) > 0$  - коефіцієнти пропорційної і інтегральної дії регулятора струму по осі (d).

Після підстановки алгоритмів відробітку моменту (4.15) і модуля потокозчеплення ротора (4.16), (4.17) в (4.13), (4.14), одержимо рівняння динаміки помилок відробітку:

- моменту АД

$$\begin{aligned} M &= \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} (\psi^* i_q^* + \psi \dot{\alpha}_q^* + \dot{\psi} \alpha_q^*) \\ \dot{x}_q &= k_{iiq} i_q \\ \dot{i}_q &= -k_{iq} i_q - x_q \end{aligned} \quad (4.18)$$

- модуля потокозчеплення:



$$\begin{aligned} \dot{x}_\psi &= k_{\psi i} \psi \\ \dot{\psi} &= -(\alpha + k_\psi) \psi - x_\psi + \alpha L_m i_d^* \end{aligned} \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_d &= k_{iid} i_d^* \\ \dot{i}_d &= -k_{id} i_d - x_d \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\text{де } k_{iq} = \gamma + k_{iq1} \quad k_{id} = \gamma + k_{id1}.$$

Підсистема відробітку моменту (4.18) є одноконтурною, заданою системою диференціальних рівнянь другого порядку. Рівняння динаміки помилок відробітку струму  $i_q$  лінійні і асимптотично стійкі  $\forall (k_{iq}, k_{iiq}) > 0$ . Підсистема відробітку модуля потокозчеплення (4.19), (4.20) – двоконтурна, із зовнішнім контуром регулювання модуля потокозчеплення, динаміка якого описується рівнянням (4.19), а також внутрішнім контуром регулювання струму  $i_d$ , що описується рівнянням (4.20). Виходячи з цього, може бути застосована стандартна процедура синтезу параметрів настройки регуляторів потоку (4.16) і струму (4.17), яка використовується для багатоконтурних систем із підлеглим регулюванням параметрів. Лінійна система (4.19), (4.20) є асимптотично стійкою для всіх  $(k_\psi, k_{\psi i}) > 0$  і  $(k_{id1}, k_{iid}) > 0$ . Динамічні властивості кожного з ізольованих контурів регулювання в (4.19) і (4.20) визначаються динамічною системою другого порядку. Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків пропорціонального  $(k_{iq}, k_{id})$  і інтегрального  $(k_{ii})$  складників регуляторів струму визначається за допомогою співвідношень:

$$\begin{aligned} k_{ii} &= \frac{k_i^2}{2} (\xi = 0.707) \\ k_{ii} &= \frac{k_i^2}{4} (\xi = 1), \end{aligned} \quad (4.21)$$

де  $k_i$  – коефіцієнт пропорціональної складової регуляторів струму по осях  $d$  і  $q$ .

Аналогічно для регулятора потокозчеплення маємо:

$$k_{\psi i} = \frac{(\alpha + k_{\psi})^2}{2} \text{ при } \xi = 0,707$$

$$k_{\psi i} = \frac{(\alpha + k_{\psi})^2}{4} \text{ при } \xi = 1,$$
(4.22)

де  $\xi$  коефіцієнт демпфування.

Необхідне поділ в часі процесів в зовнішньому контурі потокозчеплення і внутрішньому контурі струму досягається умовою:

$$\omega_{0c} \geq (2 \div 3) \omega_{0\psi}$$
(4.23)

де значення власної частоти недемпфованих коливань контурів регулювання струму  $\omega_{0c}$  і потокозчеплення  $\omega_{0\psi}$  визначається відомими рівняннями:

$$\omega_{0c}^2 = k_{iid}$$

$$\omega_{0\psi}^2 = k_{\psi i}$$
(4.24)

Дві підсистеми відробітку координат в електромеханічній підсистемі (4.18) і електромагнітної (4.19), (4.20) є лінійними, повністю розв'язаними і асимптотично стійкими, тобто:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{x}_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} (x_{\psi}, \psi, x_d, i_d^0)^T = 0$$
(4.25)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{x}_1 = \lim_{t \rightarrow \infty} (x_q, i_q^0)^T = 0$$
(4.26)

Об'єднання умов (4.25) і (4.26) визначає з рівняння (4.18), що

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \mathcal{M} = 0$$

із експоненціальним рівнем збіжності в нуль. Тобто завдання відробітку моменту і модуля потокозчеплення АД за умов вимірювання вектора потокозчеплення ротора (ідеальної орієнтації по вектору

потокозчеплення ротора) забезпечується глобально. Відзначимо також, що початкові умови в системі (4.18) – (4.20) звичайно виникають лише за рахунок формування  $\Psi^* > 0$ . При цьому з рівняння (4.18) виходить, що:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M = M^* \quad \text{якщо} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{x} = 0 \quad (4.27)$$

$$\text{де } \mathbf{x} = (\mathbf{x}_1^T, \mathbf{x}_2^T)^T.$$

Повний алгоритм відробітку моменту і потокозчеплення ротора АД при ідеальній орієнтації по вектору потокозчеплення ротора задається рівняннями (4.7) – (4.9), (4.12), (4.15) – (4.17).

Як впливає з розгляду ідеалізованого алгоритму векторного управління, який базується на припущенні про вимірювану вектора потокозчеплення ротора, спрощення початкової моделі АД (1.1) до простішої форми (4.4) – (4.6) досягається за рахунок ідеальної орієнтації системи координат  $(d-q)$  по вектору потокозчеплення ротора, яке визначається умовами (4.2). Оскільки пряме вимірювання вектора потокозчеплення неможливе, то можна говорити лише про асимптотичне досягнення умов орієнтації по вектору потокозчеплення ротора, тобто:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_d = |\psi| \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = 0 \quad (4.28)$$

Базуючись на розглянутій концепції орієнтації по полю машини, а також розв'язуючих властивостях лінеаризуючого алгоритму управління (4.7) – (4.9), який забезпечує декомпозицію початкової моделі (1.1) на дві підсистеми: електромеханічну (4.4) і розв'язану відносно неї електромагнітну (4.5), сформулюємо завдання відробітку моменту і модуля потокозчеплення таким чином. Для моделі АД, яка задана в системі координат  $(d-q)$  рівняннями (1.1), спроектувати управляючу дію  $\mathbf{u}_1^{(d-q)} = (u_d, u_q)^T$  на основі вимірюного вектора змінних стану  $\mathbf{y} = (\theta, \omega, i_d, i_q)^T$ , такі, які гарантують

асимптотичний відріток заданих траєкторій змін моменту  $M^*$  і модуля потокозчеплення ротора  $\psi^*(t) > 0$  відповідно до (4.10), за додаткової умови досягнення асимптотичної орієнтації по вектору потокозчеплення ротора:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = 0 \quad (4.29)$$

При цьому завдання управління швидкістю розв'язується стандартним шляхом, як формування  $M^*$  у вигляді виходу ПІ-регулятора швидкості.

### 4.3 Пряме векторне управління моментом і потоком АД на основі принципу розділення.

Властивість глобальної експоненціальної асимптотичної стійкості розглянутого ідеалізованого алгоритму дозволяє перейти від нелінійного управління по повністю вимірюваному вектору змінних стану до управління по вимірюваному вектору змінних  $\mathbf{y} = (\theta, \omega, i_d, i_q)^T$ , використовуючи принцип розділення. Згідно принципу розділення невимірювані змінні  $|\psi|$ ,  $\psi_a, \psi_b$  в алгоритмі управління (4.7) – (4.9) і (4.12), (4.15) – (4.17) замінюються на значення  $|\hat{\psi}|$ ,  $\hat{\psi}_a, \hat{\psi}_b$  що одержуються за допомогою нелінійного асимптотичного спостерігача потокозчеплення з властивостями експоненціальної стійкості. Принцип розділення історично використовувалося в перших системах векторного управління АД, даючи задовільні результати, проте, не маючи строгого математичного обґрунтування. Розглянемо використання простого розімкненого спостерігача потокозчеплення ротора у формі рівнянь роторного кола, записаних в стаціонарній системі координат статора  $(a-b)$  (див. рівняння (1.1) при  $\omega_0 = 0$ ):

$$\begin{aligned}\dot{\psi}_a &= -\alpha\psi_a - \omega\psi_b + \alpha L_m i_a \\ \dot{\psi}_b &= -\alpha\psi_b + \omega\psi_a + \alpha L_m i_b\end{aligned}\quad (4.30)$$

Припустимо, що зовнішні сигнали  $\omega, i_a, i_b$  в (4.30) є обмеженими, тоді розімкнений спостерігач для системи (4.30) матиме вигляд:

$$\begin{aligned}\dot{\hat{\psi}}_a &= -\alpha\hat{\psi}_a - \omega\hat{\psi}_b + \alpha L_m i_a \\ \dot{\hat{\psi}}_b &= -\alpha\hat{\psi}_b + \omega\hat{\psi}_a + \alpha L_m i_b\end{aligned}\quad (4.31)$$

Визначивши помилки оцінювання потокозчеплення, як:

$$\psi'_a = \psi_a - \hat{\psi}_a, \psi'_b = \psi_b - \hat{\psi}_b,$$

їх динаміка згідно (4.30), (4.31) запишеться у вигляді

$$\begin{aligned}\dot{\psi}'_a &= -\alpha\psi'_a - \omega\psi'_b \\ \dot{\psi}'_b &= -\alpha\psi'_b + \omega\psi'_a\end{aligned}\quad (4.32)$$

Для аналізу стійкості системи (4.32) розглянемо функцію Ляпунова у вигляді

$$V = \frac{1}{2}(\psi'^2_a + \psi'^2_b)\quad (4.33)$$

похідна від якої через траєкторії (4.32) дорівнює:

$$\dot{V} = -\alpha(\psi'^2_a + \psi'^2_b) = -2\alpha V\quad (4.34)$$

З (4.33) і (4.34) безпосереднє використання теореми Ляпунова про стійкість свідчить, що положення рівноваги  $(\psi'_a, \psi'_b)^T = 0$  являється глобально експоненціально стійким. Більше того, форма (4.34) дає строгішу оцінку у вигляді:

$$e_\psi(t) \leq \|e_\psi(0)\| e^{-\alpha t}$$

$$\text{де } e_\psi = (\psi'^2_a + \psi'^2_b)^{\frac{1}{2}}$$

Таким чином, модуль помилок оцінювання  $e_\psi(t)$  експоненціально затухає в нуль з швидкістю, яка визначається параметром  $\alpha$  – зворотного постійного часу роторного кола АД. Якщо,  $e_\psi(0) = 0$  то  $e_\psi(t) \equiv 0, \forall t \geq 0$

Для того, щоб побудувати алгоритм векторного управління по вимірюваному виходу з використанням принципу розділення, використовуємо в (4.2), (4.7) – (4.9) заміну реальних потокозчеплень на їх оцінені значення:

$$\begin{aligned} \cos \varepsilon_0 &= \frac{\hat{\psi}_a}{|\hat{\psi}|} \\ \sin \varepsilon_0 &= \frac{\hat{\psi}_b}{|\hat{\psi}|} \end{aligned} \quad (4.35)$$

$$\text{де } |\hat{\psi}| = (\hat{\psi}_a^2 + \hat{\psi}_b^2)^{\frac{1}{2}} > 0.$$

Рівняння АД (1.1) з врахуванням (4.7), і рівнянь спостерігача (4.31), через це перетворення (у системі координат (d-q), орієнтованій по оціненому вектору потокозчеплення ротора) набувають вигляду:

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= \omega \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) \\ M &= \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} (\psi_d i_q - \psi_q i_d) \\ \dot{i}_d &= -\gamma i_d + \alpha \beta \psi_d + \beta \omega \psi_q + v_d \\ \dot{i}_q &= -\gamma i_q + \alpha \beta \psi_q - \beta \omega \psi_d + v_q \\ \dot{\psi}_d &= -\alpha \psi_d + (\omega_0 - \omega) \psi_q + \alpha L_m i_d \\ \dot{\psi}_q &= -\alpha \psi_q - (\omega_0 - \omega) \psi_d + \alpha L_m i_q \\ \left| \frac{\dot{\theta}}{\dot{\psi}} \right| &= -\alpha \hat{\psi} + \alpha L_m i_d \\ \dot{\theta} &= \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_q}{|\hat{\psi}|} \end{aligned} \quad (4.36)$$

Останні два рівняння в (4.36), відповідні спостерігачу (4.31), одержані через перетворення координат (4.35) (1.4).

Для подальшого конструювання алгоритму управління зручно визначити помилки оцінювання потокозчеплень в системі координат (d-q).

$$\begin{aligned}\psi_d^* &= \psi_d - |\hat{\psi}| \\ \psi_q^* &= \psi_q\end{aligned}\quad (4.37)$$

останніх чотирьох рівнянь в (4.36) одержимо диференціальне рівняння для помилок оцінювання в системі координат (d-q):

$$\begin{aligned}\dot{\psi}_d^* &= -\alpha \psi_d^* + \omega_2 \psi_q^* \\ \dot{\psi}_q^* &= -\alpha \psi_q^* - \omega_2 \psi_d^*\end{aligned}\quad (4.38)$$

де  $\omega_2 = \omega_0 - \omega$ .

Очевидно, що система рівнянь (4.38) могла бути одержана шляхом безпосереднього перетворення (4.32) в систему координат (d-q).

Аналогічно, як це було зроблено в разі ідеальної орієнтації по вектору потокозчеплення ротора (див. (4.4) – (4.6)), визначимо електромеханічну підсистему АД, задану рівняннями:

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= \omega \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) \\ M &= \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} (\psi_d i_q - \psi_q i_d) \\ \dot{i}_q &= -\gamma i_q + \alpha \beta \psi_q^* - \beta \omega \psi_d + v_q\end{aligned}\quad (4.39)$$

а також електромагнітну підсистему у вигляді:

$$\begin{aligned}
|\dot{\psi}| &= -\alpha\hat{\psi} + \alpha L_m i_d \\
\dot{x}_d &= -\gamma i_d + \alpha\beta\psi_d + \beta\omega\psi_q^0 + v_d \\
\dot{\psi}_d^0 &= -\alpha\psi_d^0 + \omega_2\psi_q^0 \\
\dot{\psi}_q^0 &= -\alpha\psi_q^0 - \omega_2\psi_d^0 \\
\dot{\omega}_0 &= \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_q}{|\hat{\psi}|}.
\end{aligned} \tag{4.40}$$

Замінімо в алгоритмі управління моментом (4.12), (4.15) і потокозчепленням (4.16), (4.17) реальний модуль вектора потокозчеплення  $|\psi|$  на його оцінене значення  $|\hat{\psi}|$ , а також реальну помилку відробітку модуля потокозчеплення  $\psi^c$  на помилку відробітку оціненого значення модуля потокозчеплення  $\psi^0$ , визначену як:

$$\psi^0 = |\hat{\psi}| - \psi^* \tag{4.41}$$

Після підстановки модифікованих (4.12), (4.15) в (4.39), а модифікованих (4.16), (4.17) в (4.40) одержимо наступні рівняння помилок відробітку моменту:

$$\dot{M}^0 = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} \left[ (\psi^0 + \psi_d^0)(i_q^* + i_q^0) + \psi^* i_q^0 - \psi_q^0 (i_d^* + i_d^0) \right] \tag{4.42}$$

$$\begin{aligned}
\dot{x}_q &= k_{iiq} i_q^0 \\
\dot{i}_q^0 &= -k_{iq} i_q^0 - x_q - \beta\omega\psi_d^0 + \alpha\beta\psi_q^0
\end{aligned} \tag{4.43}$$

і координат електромагнітної підсистеми АД:

$$\dot{x}_\psi = k_{\psi i} \psi^0 \tag{4.44}$$

$$\dot{\psi}^0 = -(\alpha + k_\psi) \psi^0 - x_\psi + \alpha L_m i_d^0$$

$$\begin{aligned}
\dot{x}_d &= k_{iid} i_d^0 \\
\dot{i}_d^0 &= -k_{id} i_d^0 - x_d + \alpha\beta\psi_d^0 + \beta\omega\psi_q^0
\end{aligned} \tag{4.45}$$



$$\begin{aligned}\dot{\psi}_d^0 &= -\alpha\psi_d^0 + \omega_2\psi_q^0 \\ \dot{\psi}_q^0 &= -\alpha\psi_q^0 - \omega_2\psi_d^0\end{aligned}\quad (4.46)$$

$$\dot{\omega} = \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_q}{|\hat{\psi}|}$$

Рівняння динаміки помилок відробітку моменту і потокозчеплення (4.42) – (4.45) порівняно з одержаними при вимірюванні вектора потокозчеплення ротора мають додаткові збурення (компоненти, залежні  $\psi_d^0, \psi_q^0$ ), які є функцією помилок оцінювання потокозчеплення ротора. Оскільки номінальна динаміка (4.42) – (4.45) (при  $\psi_d^0 = \psi_q^0 = 0$ ) являється лінійною і асимптотично стійкою для всіх  $(k_{\psi i}, k_{\psi}, k_{id}, k_{iq}, k_{ii}) > 0$ , то для аналізу стійкості використовуємо Теорему 1 (Додаток А(1)).

Визначивши вектори  $\mathbf{x}_1 = (x_q, i_q^0, x_{\psi}, \psi, x_d, i_d^0)^T$ ;  $\mathbf{u} = \mathbf{x}_2$ ;  $\mathbf{x}_2 = (\psi_d^0, \psi_q^0)^T$ ,

рівняння (4.42) – (4.45) можуть бути записані у формі  $\dot{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{A}\mathbf{x}_1 + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t)$  (див. Додаток А) з наступними виразами для матриць

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & k_{iiq} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -k_{iq} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & k_{\psi i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -(\alpha + k_{\psi}) & 0 & \alpha L_m \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{iid} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -k_{id} \end{bmatrix}\quad (4.47)$$

$$\mathbf{B}(t) = \begin{bmatrix} 0 & -\beta\omega & 0 & 0 & 0 & \alpha\beta \\ 0 & \alpha\beta & 0 & 0 & 0 & \beta\omega \end{bmatrix}^T\quad (4.48)$$

Модуль вектора  $\mathbf{x}_2$  згідно (4.33), (4.34) експоненціально затухає в нуль, тому для всіх обмежених траєкторій кутової швидкості  $\omega$ , матриця  $\mathbf{B}(t)$  є обмеженою. Згідно результату Теорема 1 положення рівноваги  $\mathbf{x}_1 = 0$  є|

експоненціально стійким, а тому з (4.42) робимо висновок, що  $\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_0 = 0$ .  
Тобто завдання асимптотичного відробітку моменту досягається. З іншого боку, оскільки в (4.10)

$$\psi_0 = \psi_0 + \psi_0 \quad (4.49)$$

то також досягаються і цілі відробітку модуля потокозчеплення ротора і умови прямої асимптотичної орієнтації по вектору потокозчеплення ротора  $\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_0 = 0$ . Необхідно відзначити, що алгоритми управління по вимірному виходу на основі спостерігачів діють за принципом управління спостерігачем, а оскільки спостерігач асимптотичний, то межі, управління спостерігачем і реальним об'єктом збігаються. Цей факт наочно представлений в рівнянні (4.49).

Важливим пунктом дослідження нелінійних алгоритмів управління є питання про їх виродження. З рівнянь (4.35) виходить, що умовою невиродженості є  $|\hat{\psi}| > 0 \forall t \geq 0$ . Виходячи з цього, спостерігач магнітного потоку звичайно ініціалізувався таким чином,  $\hat{\psi}_a(0) \neq 0; \hat{\psi}_b(0) = 0$  що еквівалентно  $\hat{\psi}_a(0) = |\hat{\psi}(0)| \neq 0; \varepsilon_0(0) = 0$ . Якщо електрична машина в початковий момент не є збудженою, то,  $\psi_d(0) = \psi_q(0) = 0$  тобто.  $\psi_d(0) = -|\hat{\psi}(0)|, \psi_q(0) = 0$ . Задавши умову,  $\psi^*(0) = \hat{\psi}_a(0)$  одержимо наступні початкові умови для системи (4.42) – (4.46):,  $\psi_d(0) \neq 0$  всі інші змінні мають нульові початкові умови. Можна показати, що при такій ініціалізації системи на етапі збудження АД з  $i_q^* = 0 (M^* = 0)$  в (4.14) і  $\psi^* > 0$  існують коефіцієнти настройки  $(k_{iid}, k_{id}, k_{\psi i}, k_{\psi}) > 0$  такі, що  $|\hat{\psi}(t)| > 0 \forall t \geq 0$ . Наприклад, при достатньо великих значеннях коефіцієнтів посилення регуляторів струму

$(k_{iiq}, k_{iid}, k_{iq}, k_{id})$  рішення системи (4.42) – (4.46) в достатній мірі співпадає з рішенням системи зниженого порядку з  $i_d^0 = i_q^0 = 0$ . Ця умова відома як “струмове управління” і може бути одержана з використанням теорії сингулярно-вироджених систем. З рівняння (4.44) при  $i_d^0 = 0$  встановлюємо, що оскільки,  $(\psi(0), x_\psi(0)) = 0$  то,  $\psi(t) = 0 \forall t \geq 0$  тобто  $|\hat{\psi}(t)| = \psi^*(t) > 0$

Об'єднані рівняння алгоритму відробітку моменту і модуля потокозчеплення ротора записуються, з (4.7), (4.8), (4.9), (4.12), (4.15) – (4.17) із заміною  $|\psi| \rightarrow |\hat{\psi}|$ ;  $\psi_0 \rightarrow \hat{\psi}_0$  і містить наступні функціональні блоки.

Асимптотично лінеаризуючий регулятор по вимірюваному виходу:

$$\begin{pmatrix} u_a \\ u_b \end{pmatrix} = e^{J\varepsilon_0} \begin{pmatrix} u_d \\ u_q \end{pmatrix} \quad (4.50)$$

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = e^{-J\varepsilon_0} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \end{pmatrix} \quad e^{J\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & \sin \varepsilon_0 \\ -\sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} u_d \\ u_q \end{pmatrix} = \sigma \begin{pmatrix} -\omega_0 i_q + v_d \\ \omega_0 i_d + v_q \end{pmatrix} \quad (4.51)$$

$$\hat{\omega}_0 = \omega_0 = \omega + \alpha L_m \frac{i_q}{|\hat{\psi}|} \quad (4.52)$$

Спостерігач потокозчеплення ротора:

$$\begin{pmatrix} \cos \varepsilon_0 \\ \sin \varepsilon_0 \end{pmatrix} = \frac{1}{|\hat{\psi}|} \begin{pmatrix} \hat{\psi}_a \\ \hat{\psi}_b \end{pmatrix} \quad |\hat{\psi}| = (\hat{\psi}_a^2 + \hat{\psi}_b^2) \quad |\hat{\psi}(0)| > 0 \quad (4.53)$$

$$\hat{\psi}_a^* = -\alpha \hat{\psi}_a - \omega \hat{\psi}_b + \alpha L_m i_a \quad (4.54)$$

$$\hat{\psi}_b^* = -\alpha \hat{\psi}_b + \omega \hat{\psi}_a + \alpha L_m i_b$$

Алгоритм відробітку моменту

$$i_q^* = \frac{1}{\mu_1 \psi^*} M^*; \quad (4.55)$$

$$\text{де } \mu_1 = \frac{3 L_m}{2 L_2}.$$

Алгоритм регулювання струму по осі (q)

$$x_q = k_{iiq} i_q^* \quad (4.56)$$

$$v_d = -k_{iql} i_q^* - x_q + \gamma i_q^* + \beta \omega |\hat{\psi}| + \dot{x}_q$$

$$i_q^* = \frac{1}{\mu_1} \left( \frac{M \dot{\psi}^*}{\psi^*} - \frac{M \dot{\psi}^*}{\psi^{*2}} \right) \quad (4.57)$$

Алгоритм регулятора модуля потокозчеплення:

$$i_d^* = \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* + \dot{\psi}^* - k_{\psi} \dot{\psi} - x_{\psi}) \quad (4.58)$$

$$x_{\psi} = k_{\psi i} \dot{\psi}$$

Алгоритм регулятора струму по осі (d):

$$x_d = k_{iid} i_d^* \quad (4.59)$$

$$v_d = -k_{idl} i_d^* - x_d + \gamma i_d^* - \alpha \beta |\hat{\psi}| + \dot{x}_d$$

$$\dot{x}_d = \frac{1}{\alpha L_m} \left\{ \alpha \dot{\psi}^* + \dot{\psi}^* - \alpha L_m k_{\psi} \dot{\psi} + \left[ k_{\psi} (\alpha + k_{\psi}) - k_{\psi i} \right] \dot{\psi} - k_{\psi} x_{\psi} \right\} \quad (4.60)$$

Практична реалізація алгоритму векторного управління (4.50) – (4.60) вимагає чисельної інтеграції у реальному часі диференціальних рівнянь (4.54) спостерігача потокозчеплення ротора. Для того, щоб одержати необхідну точність, період квантування за часом звичайно не повинен бути більше, ніж (100 – 200) мкс, оскільки сигнали, які представлені в рівняннях спостерігача (4.53), є сигналами змінного струму і мають частоту обертання поля АД.

## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1. Вибір вимірювального обладнання для виробництва сиропу.

#### 5.1.1. Вибір датчика температури

Вихідні дані: максимальний робочий значення температури сиропу  $t = 30$  °С. Середовище агресивне, що не руйнує матеріал захисної арматури. Термопреобразователь буде підключатися аналогового входу контролера Міцубісі.

Опис термоелектричного перетворювача

Призначення: перетворювачі термоелектричні ТХК Метран-202 призначені для вимірювання температури рідких і газоподібних хімічно неагресивних середовищ, а також агресивних, які не руйнують матеріал захисної арматури.

Перетворювачі мають розбірну конструкцію, що складається з внутрішнього чутливого елемента, виготовленого на базі термопарного кабелю.

Кількість чутливих елементів: 4.

НСХ: L - для ТХК Метран-204.

Клас допуску: 2 по ГОСТ Р 8.585.

Діапазон вимірюваних температур:

-40 ... 600 °С - для ТХК Метран 202 01 ... 06,

Робочий спай: ізолюваний.

Ступінь захисту корпусу сполучної головки від впливу пилу і води IP65 по ГОСТ 14254.

Кліматичне виконання: У1.1 по ГОСТ 15150, але для значень температури навколишнього повітря від -45 °С до 85 °С; Т3 по ГОСТ 15150,

але для значень температури навколишнього повітря від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $85^{\circ}\text{C}$  з відносною вологістю до 98% при температурі  $35^{\circ}\text{C}$ .

Півроку: періодичність повірки - 1 раз на рік, методика повірки - відповідно до ГОСТ 8.338.

Середній термін служби: не менше 3-х років.

Вид виконання по ремонтпридатності: ремонтується виріб.

Середній час відновлення: 20 хв.

#### 5.1.4. Вибір датчика концентрації

Як датчик для визначення концентрації лугу в миючому розчині, виберемо концентратомір АЖК-3120 (Кондуктометри)/

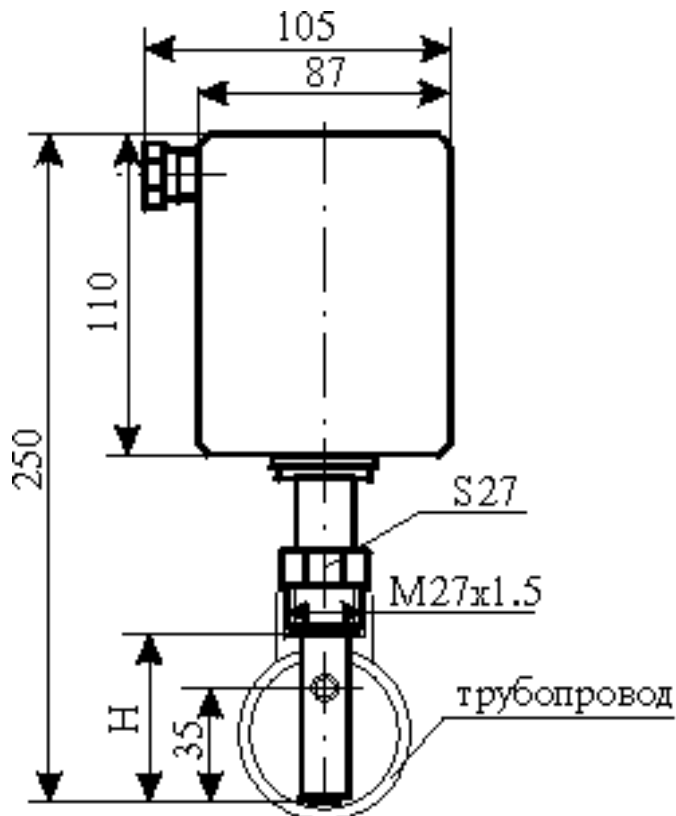


Рисунок 5.1 - Концентратомір АЖК-3120

Області застосування: харчова, молочна, пивоварна промисловість та ін.

Загальні характеристики концентратомера АЖК-3120:

Вимірюваний компонент молоко, кальцинована сода, каустична сода, розчин лугу NaOH, розчин кислоти HNO<sub>3</sub>

Контрольованому середовищі молоко, водні розчини, розчини лугів і кислот; T + 5 ... + 95 ° C

Форма подання інформації 2 світлодіодних індикатора; вихідний сигнал: 0 ... 5, 4 ... 20мА; 2 дискретних переключаючих контакту - "сухий" контакт; сигналізація нижнього й верхнього рівнів

Межі вимірювання 1 ... 6; 0,2 ... 2; 0,1 ... 1; 0,2 ... 1,5; 0,2 ... 1%

Похибка ± 4%

Принцип дії кондуктометрический

Виконання пиловологозахищений: IP65

Конструкція датчик проточний / занурювальний;

матеріал датчика 12Х18Н10Т;

D трубопроводу - 50; 80мм

Склад первинний перетворювач (ПП);

вимірювальний прилад (П)

Маса, кг 1,8 (ПП)

Вихідні сигнали із вимірювального приладу:

Аналоговий, мА

2 дискретних.

сигналізація нижнього і верхнього рівнів

Ступінь захисту первинного перетворювача від води і пилу по ГОСТ 14254 0..5; 4..20

перекл сухий контакт

2 світлодіодних індикатора IP65

### 5.1.3. Вибір витратоміра

Вихідні дані: задану витрату складає 6 м<sup>3</sup> / год.

Як датчик вимірювання витрати лугу був узятий витратомір змінного перепаду тиску Метран-350-М.

Даний витратомір має наступні граничними значеннями вимірювання об'ємної витрати:

$$Q_{\min} = 0.8 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$Q_{\max} = 49137 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Витратоміри на базі усереднюються напірної трубки Annubar призначені для вимірювання витрати рідини, газу, пара в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами в різних галузях промисловості, а також в системах технологічного та комерційного обліку.



Рисунок 5.2 - Витратомір Метран-350-М

Основні переваги:

багатопараметричні вимірювання і обчислення витрат;



установка в трубопровід через один отвір;  
можливість установки в трубопровід без скидання тиску (конструкція Flo-Tap);  
мінімальна ймовірність витоків вимірюваного середовища завдяки інтегральній конструкції;  
низькі втрати тиску в порівнянні з більшістю інших витратомірів;  
істотне зниження вартості монтажу і обслуговування завдяки особливості конструкції Annubar;  
легкість взаємодії з існуючими АСУТП або обчислювачами витрати за допомогою інтелектуального протоколу комунікацій HART;  
простота переналаштування динамічного діапазону;  
висока надійність, відсутність рухомих частин.  
Межі вимірювань масового, об'ємного витрат та об'ємної витрати, зведеного до стандартних умов (СУ по ГОСТ 2939-63:  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 101,325\text{ кПа}$ ).

Час включення.

Заявлені параметри аналогового і цифрового сигналів забезпечуються через 2 с після включення живлення - для витратомірів на базі датчика 3051С або 3051S і через 7-10 с (для сигналу витрати через 10-14 с) - для витратомірів на базі датчика 3095MV.

Час демпфірування:

Час реакції аналогового вихідного сигналу на ступеневу зміну вхідного сигналу встановлюється користувачем: від 0 до 60 с (для витратомірів на базі датчика 3051С або 3051S); від 0 до 29 с (для витратомірів на базі датчика 3095MV). Запрограмоване значення демпфірування додається до часу відгуку модуля сенсора.

Електроживлення від зовнішнього джерела постійного струму для витратомірів на базі датчика 3051С: напруга живлення 10,5 ... 42,4 В без зовнішнього навантаження (при передачі сигналу по 4-20 мА) або з  $R_n$  250

Ом (при передачі сигналу по HART протоколу ) .Для витратомірів на базі датчика 3095MV: напруга живлення 11 ... 55 В без зовнішнього навантаження (при передачі сигналу по 4-20 мА) або з Rн 250 Ом (при передачі сигналу по HART протоколу). Споживана потужність не більше 1,1 Вт.

#### 5.1.4. Вибір датчика для визначення рівня рідини

Вихідні дані: рівень розчину в збірнику повинен підтримуватися на рівні 1 м, відповідно виберемо датчик відповідної конфігурації, здатний працювати з лужними розчинами і мати досить низьку похибку в межах 0,1%.

Для визначення рівня рідини в збірнику з лугом виберемо цифровий контролер рівня серії DLC 3010 FIELDVUE



Рисунок 5.3 - Цифровий контролер рівня DLC 3010

Цифровий контролер рівня типу DLC 3010 встановлюється з безкамерними і камерними рівнемірами серії 249 виробництва компанії Fisher.

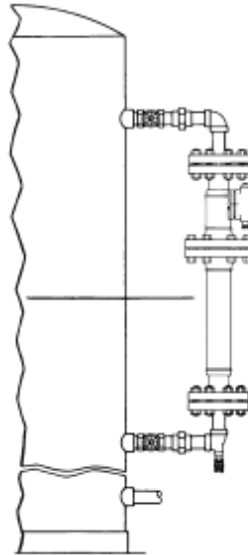


Рисунок 5.4 - Типова установка рівнеміра (зліва - камерного, праворуч - безкамерного)

Вхідний сигнал: рівень, рівень розділу або щільність: обертальний рух вала торсіонної трубки пропорційно змінам рівня, рівня розділу або щільності, які змінюють плавучість буйка.

Вихідний сигнал:

Аналоговий від 4 до 20 мА постійного струму (пряма дія - підвищення вихідного сигналу рівня, рівня розділу або щільності - збільшує вихідний сигнал; або зворотне - зменшує вихідний сигнал)

Висока насичення: 20.5 мА

Низьке насичення: 3.8 мА

Високий рівень сигналу тривоги: 24.5 мА

Високий рівень сигналу тривоги: 3.7 мА

У даній конфігурації доступно тільки одне з перерахованих вище визначень рівня сигналу тривоги. Відповідає умовам NAMUR NE 43, коли обраний високий рівень сигналу тривоги

Цифровий: HART частотна маніпуляція на 1200 бод.

Вимоги до живлення від 12 до 30 В постійного струму, прилад має захист від зворотної полярності. Для зв'язку по протоколу HART 17,75 В.

### 5.1.5 Вибір клапанів

Відсічний клапан призначений для швидкого відключення трубопроводу або його частини при аварійній ситуації або за технологічними вимогами. Відсічний клапан Серії VIP типу "відкрито-закрито" має запатентовану конструкцію (клапан і пневмопривід об'єднані в один корпус), малі габарити і вага, широкий спектр конструкцій і розмірів, мале споживання повітря, повнопрохідний перетин. Існує можливість монтування в будь-якому просторовому положенні.

Відсутня залежність від рівня вхідного і вихідного тиску.

Можлива модифікація з герконовими датчиками.

### 5.1.6 Вибір насоса

Для подачі продукту зі збірки 1 в секцію регенерації тепла трисекційного пластинчастого теплообмінника на підігрів. Витрата продукту становить 1.5 т / год. Продуктом є різні рідини, яким необхідна пастеризація, наприклад: пиво, молоко і т.д ..

З огляду на умови роботи був обраний відповідний насос: Grundfos durietta 0.



Рисунок 5.5 - Насос Grundfos durietta 0

Технічні дані:

Витрата - до 6 м<sup>3</sup> / год

Робочий тиск - до 8 бар

Діапазон температур - від 0 0С до 90 0С

Галузь застосування:

Гігієнічне виконання і приємним матеріал дозволяють використовувати duritta 0 харчової промисловості.

конструкція

Насоси durietta 0 являють собою одноступінчасті або

багатоступінчасті консольні відцентрові насоси. У вертикальному виконанні насоси обладнані спеціальними монтажними опорами з закріпленням всмоктуючим патрубком.

Насоси сумісні з системами безрозбірного миття СІР. Деталі насоса, виготовлені з шаруватої нержавейоющей стали.

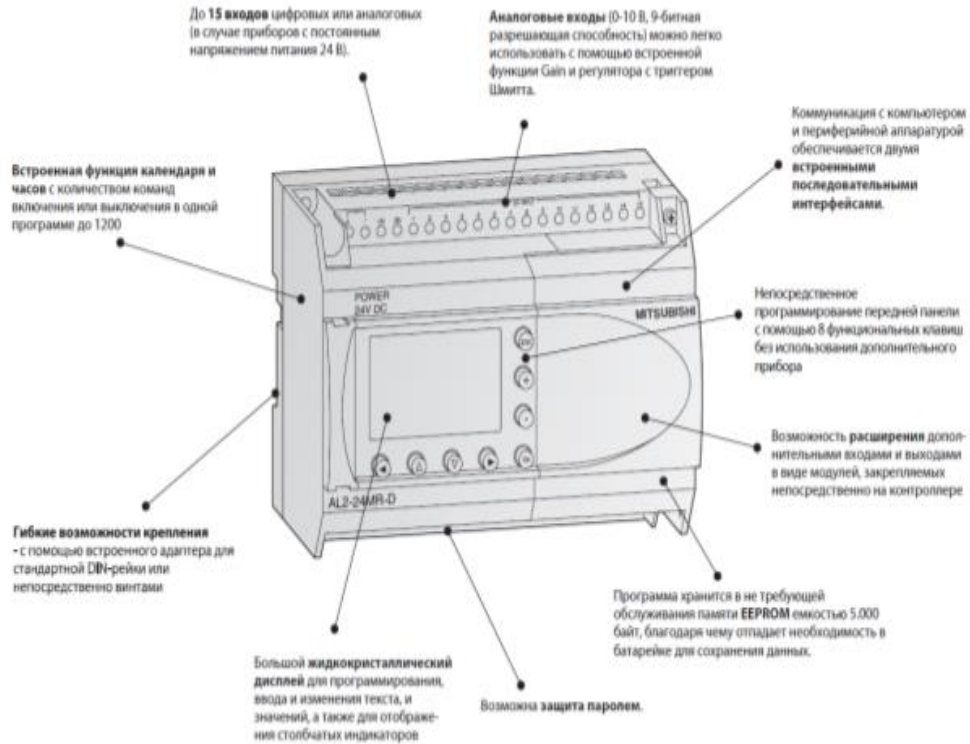
### **5.1.7. Вибір контролера і модулів вводу / виводу**

Контролери серії Alpha - лінійка недорогих компактних програмованих логічних контролерів для малих завдань автоматизації.

Серед усього розмаїття продукції контролер ALPHA - це проміжна ланка між окремими компонентами і програмованим контролером. У його компактному корпусі укладені всі переваги програмованого контролера. ALPHA можна з успіхом використовувати як альтернативу для реле і контакторів, економлячи місце і витрати.

Серія ALPHA особливо підходить для застосувань в машино і апаратобудуванні, а також в автоматизації будівель. Важливими особливостями ALPHA 2, є обсяг програми, що становить в цілому 200 функціональних блоків, великий дисплей, можливість розширення і другий комунікаційний інтерфейс. Перелік команд включає в себе функціональні

блоки (наприклад, арифметичні операції), функції передачі SMS. Це відкриває нові можливості, зокрема, для прикладних задач з аналогової обробкою (наприклад, регулювання температури) автоматичний датчик концентрація клапан.



## 6. ОБГРУНТУВАННЯ-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1. Розрахунок норм часу на виконання науково-дослідної роботи

Реалізація проекту інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів складається з низки послідовних та взаємопов'язаних етапів.

Норми часу на виконання науково-дослідницької роботи розраховуватимуться на основі середнього часу виконання стадії в годинах, що наведені в таблиці 5.1 разом із інформацією про виконавців і сумарною кількості затраченого часу.

Таблиця 6.1

Операції технологічного процесу та їх час виконання

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1	Підготовча стадія	Проектний менеджер	10
		Інженер-програміст	
2	Технічна пропозиція	Проектний менеджер	10
		Інженер-програміст	
3	Створення технічного завдання	Проектний менеджер	20
		Інженер-програміст	
4	Проектування системи	Інженер-програміст	200
5	Практична реалізація	Інженер-програміст	200
6	Тестування системи	Тестувальник	20
7	Верифікація системи	Тестувальник	20
		Інженер-програміст	
		Проектний менеджер	
8	Створення документації	Інженер-програміст	50
9	Заключна стадія	Проектний менеджер	20
Разом			650

Кожен із етапів реалізації проекту характеризується метою та змістом, оцінкою часу виконання, кількістю та спеціалізацією виконавців, а також приблизною оцінкою вартості.

Реалізація інформаційної системи управління безпекою об'єкту складається із підготовчого етапу, етапу технічної пропозиції, створення технічного завдання, проектування системи, практичної реалізації, тестування, верифікації та заключного етапу.

В підсумку на реалізацію проекту інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів необхідно 650 людино-годин, залучення трьох спеціалістів та виконання дев'яти різноманітних стадій реалізації проекту.

## **6.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи**

Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи прямо залежить від кількості витраченого працівниками часу на роботу, ставки в годину чи місяць, кількість відрахувань на соціальні заходи встановлених в законному порядку на час розрахунку.

В результаті розрахунку потрібно визначити основну та додаткову заробітну плату, витрати на соціальні заходи та на основі цих даних визначити сумарні витрати на оплату праці.

Основна заробітна плата нараховується за виконану роботу за тарифними ставками, відрядними розцінками чи посадовими окладами.

Додаткова заробітна плата – це складова заробітної плати працівників, до якої включають витрати на оплату праці, не пов'язані з виплатами за фактично відпрацьований час.



При розрахунку заробітної плати кількість робочих днів у місяці слід в середньому приймати – 24,5 дні/міс., або ж 196 год./міс. (тривалість робочого дня – 8 год.).

Наймані працівники для розробки інформаційної системи управління доступом з використанням інформаційних технологій розпізнавання образів працюють згідно контракту, який в якому вказано їхню погодинну ставку. Тобто розрахунок заробітної плати працівників відбуватиметься на базі тарифної ставки та кількості відпрацьованих годин.

У штаті найманих працівників для розробки інформаційної системи залучено проектного менеджера, інженера-програміста і тестувальника.

Тарифні ставки учасників процесу розробки інформаційної системи:

Проектний менеджер – 150 грн./год.

- Інженер-програміст – 130 грн./год.

- Тестувальник – 100 грн./год.

Основна заробітна плата розраховується за формулою 5.1:

$$Z_{\text{осн.}} = T_c * K_{\Gamma}, \quad (6.1)$$

де  $T_c$  – тарифна ставка, грн.;  $K_{\Gamma}$  – кількість відпрацьованих годин.

Оскільки всі види робіт в виконує три спеціаліста, то основна заробітна плата буде розраховуватись за даною формулою 6.1;

$$Z_{\text{осн.}} = 150 * 80 + 130 * 530 + 100 * 40 = 84900 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10–15 % від суми основної заробітної плати й визначається за формулою 6.4.

Коефіцієнт додаткових виплат працівникам становить 0,1.

$$Z_{\text{дод.}} = Z_{\text{осн.}} * K_{\text{допл.}} \quad (6.2)$$

де  $K_{\text{допл}}$  – коефіцієнт додаткових виплат працівникам

$$Z_{\text{дод.}} = 84900 * 0,1 = 8490 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці (фонд заробітної плати) визначаються за формулою 6.3:

$$V_{\text{о.п.}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{дод.}} \quad (6.3)$$

$$V_{\text{о.п.}} = 84900 + 8490 = 93390 \text{ грн.}$$

З цієї суми утримуються обов'язкові відрахування на заробітну плату:

- Єдиний соціальний внесок (ЄСВ), що становить 22%%;
- Військовий збір (ВЗ), що становить 1,5%%;

Сума відрахувань становить 23,5%% від фонду оплати праці та визначається за формулою 5.4:

$$V_{\text{с.з.}} = \Phi_{\text{оп}} * 0,235 \quad (6.4)$$

де  $\Phi_{\text{оп}}$  – фонд оплати праці, грн.

$$V_{\text{с.з.}} = 93390 * 0,235 = 21946,25 \text{ грн.}$$

Усі витрати обчислюються детально наведені в таблиці 6.2 та обчислюються за формулою 6.5:

$$B_{\text{зн}} = \Phi\text{ЗП} + \Phi\text{ОП} \quad (6.5)$$

$$B_{\text{зн}} = 93390 + 21946,25 = 115336,65 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Розрахунки витрат на оплату праці

№з/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додаткова заробітна плата, грн.	Нарахув. на ФОП, грн.	Всього витрати на плату праці, грн. (6=3+4+5)
		Тарифна ставка, грн.	Кількість відпрацьованих год.	Фактично нарах. з/пл., грн.			
А	Б	1	2	3	4	5	6
1.	Проектний менеджер	150	80	12000	525	-	-
4.	Інженер-програміст	130	530	68900	2600	-	-
3.	Тестувальник	100	40	4000	300	-	-
Разом		380	650	84900	8490	21946,25	115336,25

Опираючись на розрахунки витрат на оплату та зведену таблицю результатів 6.2 видно, що всього витрати на плату праці становлять 115336,25 грн.

### 6.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати є невід'ємною частиною розробки інформаційної та визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни за формулою 6.6:

$$M_{ei} = q_i \cdot p_i, \quad (6.6)$$

де:  $q_i$  – кількість витраченого матеріалу  $i$ -го виду;  $p_i$  – ціна матеріалу  $i$ -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати можна визначити за формулою 6.7:

$$Z_{м.в.} = \sum M_{ei}. \quad (6.7)$$

Результати проведених розрахунків наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків матеріальних витрат.

№ п/п	Найменування матеріальних ресурсів	Од. виміру	Фактично витрачено матеріалів	Ціна одиниці, грн.	Загальна сума витрат, грн.
1	CD диски	шт.	2	7,45	14,90
2	Папір для друку	листів	500	0,15	75,00
3	Чорнила для принтера	шт.	1	80,00	80,00
Всього					169,90

Згідно проведених розрахунків, матеріальні витрати становлять 169,90 грн.

#### 6.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Однією із статей витрат є витрати на електроенергію під час проходження усіх етапів реалізації кінцевого продукту.

Затрати на електроенергію одиниці обладнання визначаються за формулою 6.8:

$$Z_e = W * T * S, \quad (5.8)$$

де  $W$  – необхідна потужність, кВт;  $T$  – кількість годин на реалізацію розробки;  $S$  – вартість кіловат-години електроенергії.

Вартість кіловат-години електроенергії слід приймати згідно існуючих на даний час тарифів. Отже, 1 кВт з ПДВ коштує 2,42 грн.

Потужність комп'ютерів для реалізації кінцевого продукту – 400 Вт, кількість годин роботи обладнання згідно таблиці 6.1 – 650 годин.

Визначимо витрати на електроенергію згідно формули 6.11:

$$Z_e = 0,4 * 650 * 2,42 = 629,20 \text{ грн.}$$

Згідно формули затрати на електроенергію становлять 629,20 грн.

### **6.5 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань**

Для будь якої діяльності характерною є властивість зношування на зниження якості властивостей інструментарію та фондів за допомогою яких ведеться діяльність.

Для вирішення проблеми із відновленням даних фондів використовується амортизація, що являє собою процес трансформації вартості основних фондів на вартість продукції, яка щойно була створена, задля повного відновлення основних фондів.

Для визначення амортизаційних відрахувань використовується формула 6.9:

$$A = (B_B * H_A) / 100\% \quad (5.9)$$

де,  $B_B$  – балансова вартість обладнання, грн;

$H_A$  – норма амортизаційних відрахувань в рік, %%;

– річний робочий фонд часу, год;

– фактичний час роботи обладнання по написанню програми, год.

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Для цієї групи річна норма амортизації дорівнює 60 %% (квартальна – 15 %%).

Річний робочий фонд становитиме 2352 годин, так як робочий день становить 8 годин, а кількість робочих днів в місяці становить 24,5 годин.

Для даної розробки засобом розробки є комп'ютер. Його сума становить 18500 грн. Отже, амортизаційні відрахування будуть рівні:

$$A = 18500 \cdot 5\% / 100\% = 925 \text{ грн.}$$

Згідно проведених обчислень амортизаційні відрахування становлять 925 грн.

## 5.6 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління спілкою та створення необхідних умов праці.

В залежності від організаційно-правової форми діяльності господарюючого суб'єкта, накладні витрати можуть становити 20–60 %% від суми основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$H_e = B_{o.n} * 0,2 \dots 0,6, \quad (5.10)$$

де  $H_e$  – накладні витрати.

Отже, накладні витрати становлять згідно формули 6.10:

$$H_e = 93390 * 0,2 = 18678 \text{ грн.}$$

Накладні витрати згідно розрахунку формули, становить 18678 грн.

## 5.7 Складання кошторису витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи

Результати проведених вище розрахунків наведено у таблиці 6.4.

Таблиця 5.4

### Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат	Сума, грн.	В %% до загальної суми
Витрати на оплату праці	93390	0,69
Відрахування на соціальні заходи	21946,25	0,15
Матеріальні витрати	169,9	0,01
Витрати на електроенергію	256,52	0,01
Амортизаційні відрахування	925	0,01
Накладні витрати	18678	0,13
Собівартість	135365,7	100

Собівартість ( $C_e$ ) програмного продукту розраховуємо за формулою:

$$C_e = B_{o.n.} + B_{c.z.} + Z_{m.v.} + Z_e + A + H_e . \quad (6.11)$$

Отже, собівартість розробки системи дорівнює:

$$C_e = 135365,70 \text{ грн.}$$

Загальний кошторис витрат та визначення собівартості науково-дослідницької роботи становить 135365,70 грн.

## 5.8 Розрахунок ціни розробки системи

Ціну науково-дослідної роботи можна визначити за формулою:

$$Ц = (C_B * (1 + P_{рен}) + K * B_{н.і.}) / K * (1 + ПДВ) \quad (6.12)$$

де  $P_{рен.}$  – рівень рентабельності, 30 %%;  $K$  – кількість замовлень, од. (встановлюється лише при розробці програмного продукту та мікропроцесорних систем);  $B_{н.і.}$  – вартість носія інформації, грн. (встановлюється лише при розробці програмного продукту);  $ПДВ$  – ставка податку на додану вартість, (20 %%).

Оскільки розробка є прикладною, і використовуватиметься тільки для одного підприємства, то для розрахунку ціни не потрібно вказувати коефіцієнти  $K$  та  $B_{н.і.}$ , оскільки їх в даному випадку не потрібно.

Тоді, формула для обчислення ціни розробки буде мати вигляд:

$$Ц = C_B * (1 + P_{рен}) * (1 + ПДВ) \quad (6.13)$$

Звідси ціна на роботу складе:

$$Ц = 135365,70 * (1 + 0,3) * (1 + 0,2) = 211170,49 \text{ грн.}$$

Загальний розрахунок ціни програмного продукту становить 211170,49 грн.



## 5.9 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Економічна ефективність ( $E_p$ ) полягає у відношенні результату виробництва до затрачених ресурсів:

$$E_p = \Pi / C_B \quad (6.14)$$

де  $\Pi$  – прибуток;  $C_B$  – собівартість.

Плановий прибуток ( $\Pi_{пл}$ ) знаходимо за формулою:

$$\Pi_{пл} = Ц - C_{\epsilon} . \quad (6.15)$$

Розраховуємо плановий прибуток:

$$\Pi_{пл} = 211170,49 - 135365,70 = 75804,79 \text{ грн.}$$

Отже, формула для визначення економічної ефективності набуде вигляду:

$$E_p = \Pi / C_B \quad (6.16)$$

Тоді,

$$E_p = 75804,79 / 135365,70 = 0,56.$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень ( $T_p$ ):

$$T_p = 1/E_p \quad (6.17)$$

Термін окупності дорівнює:

$$T_p = 1 / 0,56 = 1,79 \text{ р.}$$

Згідно формул плановий прибуток від розробки становить 75804,79 грн., економічна ефективність дорівнює 0,56, а термін окупності становить 1,79 року що вважається доцільним та економічно вигідним.

## **7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.1 Організація охорони праці при роботі з системою управління**

Охорона праці розглядає проблеми забезпечення здорових і безпечних умов праці. Виявляє і вивчає можливі причини нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж і розробляє систему заходів і вимог з метою виключення цих причин і створення безпечних і сприятливих для людини умов праці.

Завдання охорони праці є зведення до мінімуму імовірності пошкодження або захворювання працівників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Навчання працівників безпеці праці проводять відповідно до вимог ГОСТ 14. 0.004 - 79, який встановлює порядок і види навчання. На всіх підприємствах і в організаціях незалежно від характеру і ступеню небезпеки виробництва навчання працівників проводять при підготовці нових робітників, проведенні різноманітних видів інструктажів і підвищенні кваліфікації.

Контроль за своєчасним і якісним навчанням виконує відділ охорони праці чи інженер з охорони праці, або ІТП, на якого наказом керівника підприємства покладено ці обов'язки. Ті, що вперше поступають на роботу, навчання проходять згідно з "Типовим положенням про підготовку і підвищення кваліфікації робітників". В журналі обліку навчальної роботи реєструють навчальну тему, за якою проводилось навчання.

Інструктаж працюючих поділяють на вступний, початковий, на робочому місці, повторний, позаплановий і початковий.

Вступний інструктаж з усіма, хто поступає на роботу незалежно від їх освіти і стажу роботи по даній професії, проводить інженер з охорони праці за програмою, затвердженою головним інженером підприємства, про проведення вступного інструктажу з обов'язковим підписом того, хто проводив інструктаж і того, хто його отримував.

Початковий інструктаж на робочому місці, повторний, позаплановий і поточний проводить керівник робіт.

Початковий інструктаж на робочому місці проводять при прийомі на роботу нових робітників за інструкцією з охорони праці, розробленою для окремих професій або видів робіт. Всі робітники після цього інструктажу і перевірки знань 2-5 змін (залежно від навичок і стажу роботи) працюють під наглядом бригадира чи майстра, потім оформляється допуск до їх самостійної праці.

Повторний інструктаж проходять всі працівники незалежно від кваліфікації, освіти і стажу роботи через три місяці. Його проводять з метою перевірки знання робітниками правил і норм з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять коли змінилися правила охорони праці або технологічний процес, обладнання, інструмент та інші фактори, що впливають на безпеку праці; коли працівники порушують правила охорони праці, що можуть призвести чи призвели до травм, аварій чи пожежі, вибуху. Його проводять індивідуально чи з групою робітників однієї професії за програмою початкового інструктажу на робочому місці. При його реєстрації вказують причину, яка спричинила його проведення.

Умови праці мають велике значення практично для всіх виробничих показників - продуктивності праці, якості робіт, безпеки працівників та інше.

Санітарно-гігієнічні умови праці характеризуються показниками виробничого середовища - рівнем освітлення, мікрокліматичними

параметрами, загазованістю і запиленістю повітряного середовища, рівнем шуму і вібрації, наявністю іонізуючого випромінювання та інше.

## 7.2 Електробезпека

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку з тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: значення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок має відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину посторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом котельня відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість одночасного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання - можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення.

Згідно ПУЕ 1.7.65 допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 10 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрилі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача. При використанні автоматичних вимикачів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1,25-1,4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках

під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві (перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач через мале значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьбі з статичною електрикою (тобто прилади повинні бути заземлені). Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50 - 60 % за допомогою побутового електрозволожувача.

Підлогу слід виконувати відповідно до ГОСТ 14.4.124-83, використовуючи антистатичне покриття на проходах і біля робочих місць.

Робітникам рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одягу слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

### 7.3 Розрахунок заземлення

Розрахуємо систему заземлення для електроустаткування, яке працює від напруги 220 В.

$$R_{\text{заз}} \leq \frac{U}{I_p} = \frac{220}{66} = 3.3 \leq 4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір ґрунту:  $\rho = k_n * \rho_n = 2 * 200 = 400 \text{ Ом м}$ ,

де  $k_n$  - коефіцієнт підсилення;

$\rho_n$  — питомий опір ґрунту (вибирається з довідкової літератури).

Визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

де  $t$  - відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

$l, d$  - довжина і діаметр стержня заземлювача, м;

$$R_B = 96 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір сталевій полосі, що з'єднує стержневі заземлювачі:

$$R_{II} = (\rho / 2\pi) * \ln(l^2 / dt) = 61 \text{ Ом.}$$

Визначаємо орієнтовне число стержневих заземлювачів:

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / 4 * 1 = 24 \text{ шт.}$$

$r_B$  - допустимий по нормам опір заземляючого пристрою,



$\eta_B$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів (для орієнтовного розрахунку приймається рівним 1).

Приймаємо розміщення вертикальних заземлювачів по контуру з відстанню між сталевими заземлювачами рівним 21. З довідкової літератури визначаємо  $\eta_B = 0,66$  і  $\eta_T = 0,39$ .

Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів

$$n = R_B / [r_B] \eta_B = 96 / (4 * 0.66) = 36$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір аземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоси

$$R = R_B R_T / (R_B \eta_T + R_T \eta_B n) = 3.9 \text{ Ом.}$$

Розрахунок проведено правильно, оскільки виконується умова  $R \leq [r_B]$ .

### Розрахунок штучного заземлення:

Приймаємо, що опір захисного заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_{33} = \frac{R_c R_n}{R_c + R_n} \leq 4 \text{ Ом}$$

де  $R_{33}$  – опір захисного заземлення;

$R_c$  – опір стержневих заземлювачів;

$R_n$  – опір поперечних заземлювачів.

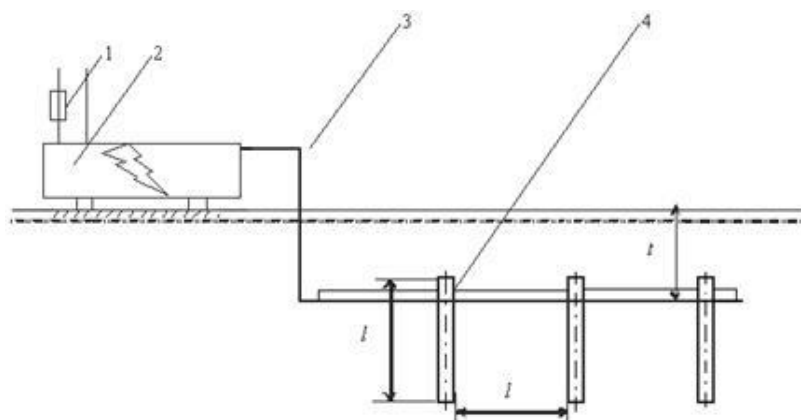


Рисунок 7.1 - Пристрій заземлення

4 – плавка вставка; 2 – електроустановка; 3 – з'єднувальна штаба; 4 – трубчатий заземлювач

Опір одиночного стержневого заземлювача розтіканню електричного струму:

$$R_{oc} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right)$$

де  $h$  – відстань від поверхні ґрунту до заземлювача і становить 0,8 м;

$l$  – довжина стержневого заземлювача 3 м;

$d$  – діаметр стержневого заземлювача 50 мм.

$$R_{oc} = \frac{750}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3}{4 \cdot 0,8 - 3} \right) = 39,8 \cdot (0,18 + 3,43) = 143,8 \text{ Ом}$$

Опір одиночного поперечного заземлювача:

$$R_{ок} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh'}$$

де  $l$  – довжина поперечного заземлювача 2,5 м;

$b$  – ширина полоси заземлювача 30 мм;

$\rho_{\text{г}}$  – розрахунковий опір ґрунту: для поперечних електродів 1000 Ом·м, для стержневих електродів 750 Ом·м.

$$R_{ок} = \frac{1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \ln \frac{2 \cdot 2,5^2}{0,03 \cdot 0,8} = 63,7 \cdot 6,25 = 398,1 \text{ Ом}$$

В наслідок взаємовпливу вводимо коефіцієнт використання заземлювачів:

$$\eta = \frac{R_0}{nR_{\text{д}}}$$

де  $R_{\text{д}}$  – допустимий опір заземлення, що становить 4 Ом;

$R_0$  – опір одиночного заземлювача.

З цієї формули методом ітерацій підбирають  $n$ , при якому  $\eta = 1$ :

<b>n</b>	<b>R<sub>n</sub></b>	<b>R<sub>c</sub></b>	<b>R<sub>o</sub></b>	<b>η</b>
1	398,1	143,8	105,6	26,1
5	398,1	143,8	105,6	5,2
10	398,1	143,8	105,6	2,6
15	398,1	143,8	105,6	1,7
20	398,1	143,8	105,6	1,3
25	398,1	143,8	105,6	1,1
26	398,1	143,8	105,6	1,0
27	398,1	143,8	105,6	0,9

Отже приймаємо кількість одиночних заземлюючих електродів рівною

26.

## **8 ЕКОЛОГІЯ**

### **8.1 Екологізація виробництва**

Екологізація виробництва передбачає наявність взаємозв'язку і взаємозумовленості будь-яких дій з урахуванням екологічних вимог до розвитку НТП. У зв'язку з цим управління господарством країни і його функціонування повинні здійснюватися на основі раціонального природокористування та застосування нової технології, прогресивної організації маловідходних і безвідходних виробництв.

Екологізація виробництва — це розширене відтворення природних ресурсів шляхом вдосконалення технології, організації матеріального виробництва, підвищення ефективності праці в екологічній сфері.

#### **Шляхи впровадження екологізації**

Екологізація народного господарства, підприємств промисловості та АПК припускає інтенсивний розвиток НТП і переклад його на еколого-економічні, економіко-організаційні та еколого-технічні відносини.

Перший напрямок екологізації народного господарства можна здійснювати повсюдно в широких масштабах на діючих основних фондах народного господарства за допомогою екологізації всієї виробничо-господарської діяльності, не перериваючи її. При цьому в основному вирішуються завдання, які не потребують докорінної перебудови основних фондів, але дозволяють досягти суттєвих результатів щодо зниження забруднення навколишнього середовища та ресурсозбереження.

Другий напрямок екологізації господарства здійснюється при відтворенні основних його фондів.

## 8.2 Зниження енергоємності та енергозбереження.

Енергозбереження стосується зменшення споживання енергії за рахунок використання меншої кількості енергетичних послуг. Енергозбереження відрізняється від енергоефективності, яке стосується використання меншої кількості енергії в тій самій послугі. Наприклад, менше користуватись авто – енергозбереження, а пересісти на авто з меншою витратою палива – енергоефективність. Але і енергозбереження, і енергоефективність є техніками зменшення використання енергії.

### Оптимізація освітлення

- максимальне використання денного світла (збільшення кількості, площі та прозорості вікон);
- оптимальне розміщення джерел штучного світла (місцеве, направлене освітлення);
- використання освітлювальних приладів лише за необхідністю;
- підвищення світловіддачі наявних джерел світла (заміна люстр, відбивачів тощо);
- використання приладів управління освітленістю (датчики руху, акустичні датчики, датчики освітленості, таймери, дистанційне керування, дімери);
- запровадження автоматичної системи диспетчерського управління зовнішнім освітленням (АСДУ НО);
- установка інтелектуальних розподілених систем управління освітленням.

### Електропривід

- оптимальний підбір потужності електродвигуна;
- використання частотно-регульованого приводу.

Заходи по зниженню втрат тепла та підвищенню ефективності систем теплопостачання:

*джерело теплопостачання*

- зменшення витрат енергії та тепла на власні потреби;
- використання сучасного обладнання з вищим ККД теплогенерації, напр. конденсаційні котли;
- використання вузлів обліку теплової енергії;
- використання ко- і три- генерації.

*теплові мережі*

- ізоляція мереж для зниження втрат тепла у довкілля;
- скорочення шляху теплоносія від виробника до споживача теплової енергії (напр., міні-котельня у будинку)
- оптимізація гідравлічних режимів тепломереж;
- зменшення протікань.

*споживачі*

- належна ізоляція опалюваних приміщень;
- використання систем місцевого регулювання опалювальних приладів;
- переведення будинків в режим нульового споживання тепла для опалення (температура всередині підтримується за рахунок внутрішнього тепловиділення та гарної ізоляції);
- використання вузлів обліку теплової енергії.

*Економія води*

- встановлення приладів обліку використання води;
- використання води лише коли дійсно необхідно;
- встановлення установка зливних бачків, які мають функцію вибору інтенсивності зливу;
- встановлення автоматичних регуляторів витрат води, аераторів, сенсорних датчиків

### **8.3 Джерела електромагнітних полів, іонізуючого випромінювання та методи їх знешкодження.**

Розрізняють природні та штучні джерела електромагнітних полів (ЕМП). У процесі еволюції біосфера постійно перебуває під впливом ЕМП природного походження (природний фон): електричне та магнітне поля Землі, космічні ЕМП, передусім ті, що генеруються Сонцем. У період науково-технічного прогресу людство створило і все ширше використовує штучні джерела ЕМП. У теперішній час ЕМП антропогенного походження значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, чий вплив на людину з року в рік зростає. Джерелами, що генерують ЕМП антропогенного походження, є телевізійні та радіотрансляційні станції, установки для радіолокації та радіонавігації, високовольтні лінії електропередач, промислові установки високочастотного нагрівання, пристрої, що забезпечують мобільний та сотовий телефонні зв'язки, антени, трансформатори і т. ін. По суті, джерелами ЕМП можуть бути будь-які елементи електричного кола, через які проходить високочастотний струм. Причому ЕМП змінюється з тою ж частотою, що й струм, який його створює.

Ще на стадії проектування повинне бути забезпечене таке взаємне розташування опромінюючих та опромінюваних об'єктів, яке б зводило б до мінімуму інтенсивність опромінення. Потрібно зменшити імовірність проникнення людей у зони з високою інтенсивністю ЕМП, скоротити час перебування під опроміненням. Потужність джерел випромінювання мусить бути мінімально потрібною.

Важливе значення мають інженерно-технічні методи захисту: колективний, локальний та індивідуальний. Колективний захист спирається на розрахунок поширення радіохвиль в умовах конкретного рельєфу місцевості. Економічно найдоцільніше використовувати природні екрани –

складки місцевості, лісонасадження, нежитлові будівлі. Встановивши антену нагорі, можна зменшити інтенсивність поля, яке опромінює населений пункт, у багато разів.

При захисті від випромінювання екрана повинне враховуватись затухання хвилі при проходженні через екран (наприклад, через лісову смугу). Для екранування можна використовувати рослинність. Спеціальні екрани у вигляді відбивальних щитів дороги і використовуються дуже рідко.

Закритими називаються будь-які джерела іонізуючого випромінювання, будова яких виключає проникнення радіоактивних речовин у навколишнє середовище при передбачених умовах їхньої експлуатації і зносу.

Основними принципами забезпечення радіаційної безпеки при роботі із закритими джерелами іонізуючого випромінювання є:

- зменшення потужності джерел до мінімальних значень ("захист кількістю");
- скорочення часу роботи з джерелом ("захист часом");
- збільшення відстані від джерел до людей ("захист відстанню");
- екранування джерел випромінювання матеріалами, що поглинають іонізуюче випромінювання ("захист екраном").

Відкритими називаються такі джерела іонізуючого випромінювання, при використанні яких можливе потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище.



## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

В результаті проведеної роботи було проаналізовано основні аспекти технології виробництва сиропу та його види.

Було розроблено автоматизовану систему керування процесом виробництва інвертного сиропу та проведено оптимізацію її роботи.

Систему керування було реалізовано на базі мікроконтролера Alpha, який забезпечив повний контроль над процесом створення інвертного сиропу.

Також було розглянуто основні аспекти процесі гідролізу глюкози в інвертному сиропі. Було обрано контролююче обладнання та виконавчі механізми, що забезпечують автоматизацію процесу.

Проведення таких систем забезпечує вдосконалення процесу виробництва цукрового сиропу, зменшує витрати на виробництво та покращує умови роботи обслуговуючого персоналу.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
2. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 4. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
3. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
5. <https://mppnik.ru/publ/1088-prigotovlenie-saharnogo-siropa-v-proizvodstve-bezalkogolnyh-napitkov.html>
6. <https://studfile.net/preview/2905735/page:2/>
7. Назаров Н.И. Технология и оборудование пищевых производств / Н.И. Назаров, А.П. Нечаев, В.И. Щербаков. - М.: Пищ. пром., 1977. – 352 с.
8. Общая технология пищевых производств (под ред. Ковальской Л.П.) М., Колос, 1993. – 384 с.
9. Коренев В.Д., Бей С.В. Повышение точности гидростатического измерителя плотности карамельного сиропа. //Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація.-Донецьк: ДонНТУ, 2014.– №23(201).- С. 165–170.
10. Гуцин В.Н. Электронная система контроля параметров сахарного сиропа в производстве карамельной массы / В.С. Гуцин, В.Д. Коренев. -

Наукові праці Донецького національного технічного університету.-Донецьк: ДонНТУ, 2014.– №24(201).- С. 168–180.

11. Литвиненко Е.И. Технология получения сахарного сиропа при производстве кваса / [Е.И. Литвиненко, С.Н. Быканов, А.А. Литвиненко, Б.Д. Данильчук] // Вестник НТУ «ХПИ». – 2014. – № 27. – С. 40 – 45.

12. <http://masters.donntu.org/2012/fkita/biei/diss/indexu.htm>