

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Другий (Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування

Шифр і назва

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Шифр і назва

Освітня програма 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Шифр і назва

на тему «Метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру»

КВРАКІТ. 2021/062.01.01.ПЗ

Виконав:
студент 2 курсу, група АКІТ_М-21-1



Підпис

Богдан ГОНЧАРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:
д-р техн. наук, проф.



Підпис

Наталія МОРКУН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.



Підпис

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

08 12 2022 р.

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій й

Освітній рівень другий (магістерський)

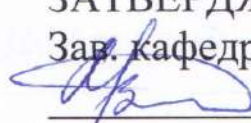
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

 АКТ
Меренко В.В.

« 01 » 04 20 22 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Гончаруку Богдану Петровичу

1 Тема роботи: Метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру

керівник роботи Моркун Наталія Володимирівна, д.т.н, професор.

Затверджено наказом по університету від «1» липня 2022р. № 83.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 02.12.2022р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Мета роботи: впровадження альтернативного методу контролю та керування технологічним процесом на одній із ділянок процесу цукроваріння.

Предмет дослідження: метод та практична реалізація методу вимірювання густини розчину.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Порівняльні характеристики параметрів та сигналів, що впливають на процес керування кристалізацією. Алгоритм процесу кристалізації з точки зору його автоматизації.

Дослідження порівняльного методу вимірювання густини та розробка алгоритму його реалізації. Висновки.





Завдання отримав



Науковий керівник



5.Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	к.т.н,доцент Корецька.Л.О,		
Антиплагіат	к.т.н,доцент Федула.М.В		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	10.09.2022р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2022р.	Виконано
3	Порівняльні характеристики параметрів та сигналів, що впливають на процес керування кристалізацією	15.10.2022р.	Виконано
4	Алгоритм процесу кристалізації з точки зору його автоматизації	30.10.2022р.	Виконано
5	Дослідження порівняльного методу вимірювання густини та розробка алгоритму його реалізації	10.11.2022р.	Виконано
6	Висновки	15.11.2022р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до ДР	20.11.2022р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2022р.	Виконано

Студент

Керівник роботи


Підпис

Підпис

Ініціали, прізвище


Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ ДАНИХ	8
1.1. Аналіз сучасних технологічних процесів для виготовлення цукру	8
1.2. Аналіз обладнання для виготовлення цукру.....	10
Висновки до першого розділу	22
2 ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРІВ ТА СИГНАЛІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС КЕРУВАННЯ КРИСТАЛІЗАЦІЄЮ	23
2.1 Теоретичні аспекти процесу кристалізації	23
2.2 Огляд та оцінка параметрів, що впливають на кристалізацію.....	28
2.3 Аналіз існуючих методів заміру параметрів, що впливають на кристалізацію	31
Висновки до другого розділу	36
3 АЛГОРИТМ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ З ТОЧКИ ЗОРУ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	38
3.1 Аналіз стадій процесу варки в вакуум-апараті.....	38
3.2 Дифузійно-кінетична модель процесу	58
Висновки до третього розділу	62
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ	63
4.1 Суть порівняльного методу вимірювання густини	63
4.2 Вибір обладнання для реалізації порівняльного методу вимірювання густини.....	64
4.2.1 Аналіз доступних варіантів та підбір датчика тиску.....	64
4.2.2 Аналіз доступних варіантів та підбір рівнеміра	77
4.2.3 Аналіз доступних варіантів та підбір обчислювача	81

4.3 Реалізація порівняльного методу вимірювання густини	84
Висновки до четвертого розділу	86
ВИСНОВКИ	87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	89
ДОДАТКИ	91

ВСТУП

Цукрова галузь - найбільший та складний споживач енергетичних ресурсів серед галузей харчової промисловості. Зростання цін на викопні корисні (вуглеводневі) копалини змінило співвідношення цін цукор/паливо і відповідно слід вишукувати потенціали економії паливо енергетичних ресурсів. На сьогоднішній день, рівень питомих витрат палива та енергії при виробництві кінцевого продукту (цукру) в значно впливає на його собівартість, економічний стан цукрових заводів та їх спроможність оновлення виробничих потужностей. При впровадженні заходів по енергозбереженню в цукровій промисловості найбільш раціональним завданням ,насамперед, є зменшення питомих витрат енергії (тепла) у вигляді пари на технологічні потреби, для виробництва якої в ТЕЦ або промислових котельних цукрових заводів витрачається більше 80-85% від загальної кількості придбаного палива. Тому для цукрових заводів України стратегічний напрямком економії ПЕР - зменшення споживання пари (тепла) на всіх етапах технологічного процесу. Тому економія енергоресурсів завжди визнавалася як пріоритетне питання для цукрової промисловості. Згідно статистики до середини «нульових років» серйозні досягнення по зменшенню питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) мали лише деякі цукрові заводи, перш за все ті, що мали більш сучасну технічну базу. Хоча до цього часу вже були випробувані на наших цукрових заводах практично всі технічні заходи для економії ПЕР, що знайшли впровадження на найбільш передових цукрових заводах Європи . Причиною , перш за все, було небажання власників витрачати значні кошти та великі зусилля на удосконалення схем тепловикористання на своїх цукрових заводах. Підвищення цін на мазут, що був основним видом палива в 80-х та на початку 90-х років, не дуже вплинуло на стан речей, бо саме в той відбувся масовий перехід цукрових заводів на використання природного газу як основного джерела енергії. Досить низькі та стабільні ціни на природний газ не стимулювали власників цукрових заводів на активну діяльність в напрямку

енергозбереження. До 2004 року питомі витрати умовного палива практично не змінювалися і були на рівні 6,2- 6,5% до маси буряків. З 2006 року почалося різке зростання цін на природний газ, яке змусило розпочати активну діяльність в напрямку практичного впровадження заходів по енергозбереженню та зменшення питомих витрат палива (рисунок 1).

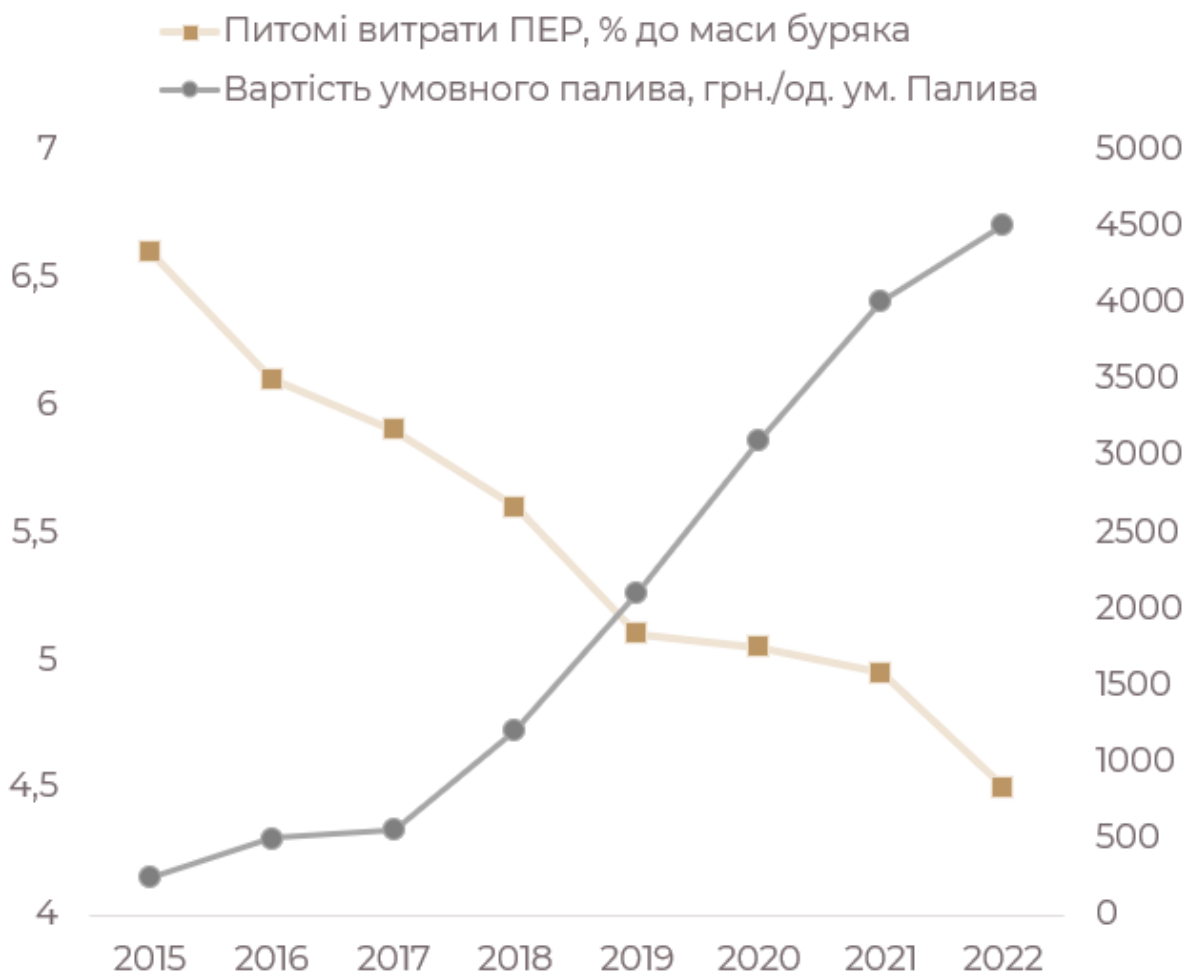


Рисунок 1 - Зміна вартості газу та середньої по галузі величини питомих витрат умовного палива

Причому, якщо в Україні до цього лише Чортківський цукровий завод працював з величиною питомих витрат умовного палива на біля 3,5% до маси буряка, то вже на 2010-2012 рр. стабільно таких показників досягли більше десяти цукрових заводів. Це було досягнуто в через цілеспрямоване

впровадження низки енергозберігаючих заходів як організаційного, так і технічного спрямування. Результат був підсилений закриттям великої кількості працюючих у виробництві цукру заводів. Під закриття потрапили переважно найбільш слабкі у технічному та фінансовому плані заводи і, як правило, малої продуктивності. У зв'язку з цим, а також в зв'язку з реконструкцією багатьох заводів виросла середня потужність задіяних у виробництві цукрових заводів.

Мета роботи - впровадження альтернативного методу контролю та керування технологічним процесом на одній із ділянок процесу цукроваріння.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити завдання:

- варка утфелю з висококонцентрованих сиропів з високим виходом кристалічного цукру із звареного утфелю за рахунок використання вакуум-апаратів з циркуляторами та їх оснащення сучасною системою автоматизації;
- комплексна автоматизація технологічних і теплотехнічних процесів на певних ділянках технології;

Об'єкт дослідження – автоматизація процесу керування кристалізацією цукрози.

Дуже складним в технології виробництва цукру являється процес кристалізації. Цей процес від початку та до завершення вимагає постійного та максимально точного контролю за параметрами і від результатів вимірювань впливу на процес чинниками згідно напрацьованого алгоритму .

Процес кристалізації (варки утфелю) проходить під розрідженням в спеціальних посудинах з подачею в теплообмінник теплоносія(пари). Ці посудини називаються вакуум-апаратами.

Параметрами, що контролюються в вакуум-апаратах, є:

- температура;
- тиск (розрідження);
- рівень;
- вміст сухих речовин;
- густина.

Предмет дослідження – метод та практична реалізація методу вимірювання густини розчину.

Згідно технології варки утфелю, основним параметром по якому проводиться контроль та регулювання являється густина розчину. Тому до приладу, що вимірює густину (густиноміру) ставляться певні умови щодо точності, надійності, а також до ціни.

Наукова новизна отриманих результатів:

Розроблено метод контролю та керування технічним процесом на одній із ділянок процесу цукроваріння, який дозволяє підвищити точність та швидкодію вимірювання густини утфелю у вакуум-апаратах при виробництві цукру.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ ДАНИХ

1.1. Аналіз сучасних технологічних процесів для виготовлення цукру

Виробництво цукру з цукрових буряків є дуже важливою галуззю агропромислового комплексу і має стратегічне значення для держави. Цукор являється цінним харчовим продуктом і завдяки смаковим та фізичним властивостям є одним із найважливіших продуктів у харчуванні людини та сировиною для багатьох підприємств харчової, хімічної та фармацевтичної промисловості, а також являється важливою складовою експорту. Виробництво цукру і його споживання людиною почалось багато століть тому. Початковою сировиною для отримання цукру була цукрова тростина, батьківщиною якої вважається Індія. Появу нової альтернативної тростині культури історики пов'язують з епохальним відкриттям німецького вченого-хіміка, члена Пруської академії наук О.С. Маргграфа (1705–1782). На засіданні Берлінської академії наук в 1747 р. він доповів результати своїх досліджень по отриманню кристалічного цукру із буряків. Перший цукровий завод в Україні було збудовано в 1825 р. в с. Макошино Сосницького повіту Чернігівської губернії. Цукрова галузь України за роки незалежності зазнала великих втрат. На початку незалежності в Україні працювало 192 цукрових і 5 цукрорафінадних заводів, 7 машинобудівних заводів, що займалися випуском та ремонтом устаткування. За кількістю виробленого бурякового цукру Україна посягала перше місце в світі (5,5 млн. т), виробляючи 13–20 % світового виробництва, а в окремі роки цей показник сягав 22–23 %. Станом на 2022р в Україні працює 28 цукрових заводів.

З початку промислового виробництва цукру технологія його виробництва суттєво не змінювалась. Значні зміни пройшли в устаткуванні, тепловій схемі і кардинальні зміни виробництва пов'язані з автоматизацією технологічних процесів.

Основними технологічними операціями у виробництві цукру можна вважати:

1.2. Аналіз обладнання для виготовлення цукру

Після доставки цукрового буряка на завод, його подають на переробку з кагатних полів та з бурячних за допомогою води по гідравлічних транспортерах або стрічковими транспортерами (суха подача). В Домішки, такі, як гичка, солома, каміння відокремлюються за допомогою каменевловлювачів та соломовловлювачів різних типів.

Кінцеве очищення буряків відбувається в бурякомийках. Бурякомийки бувають кулачкового або барабанного типу. Принципом роботи яких є механічне перемішування буряка в певній кількості води. При подачі буряків за допомогою гідротранспортера частина механічних домішок відокремлюється, але залишаються домішки у вигляді землі, що прилипла, та ін. Процес миття повинен проводитися дуже ретельно, так як домішки, що залишилися після миття, погіршують роботу бурякорізок і забруднюють дифузійний сік.

Для гравітаційного спуску на автоматичні порційні ваги, після бурякомийок буряк піднімають у верхнє відділення заводу на висоту до 20 м. ваги необхідні для технологічного та комерційного контролю. Над транспортером розташований магнітний сепаратор (потужний електромагніт) для очищення буряка від феромагнітних домішок.

Цукрозу із буряків видобувають дифузійним способом (розчиненням у воді). Для повнішого вилучення цукрози буряк подрібнюють стружку певної товщини, що має жолобчасту або пластинчасту форми. Товщина пластинок бурякової стружки повинна бути в межах 0,5...1 мм, а ширина смужки жолобчастої стружки – 4...6 мм, пластинчастої – 2,5...3 мм.

Вирішальний вплив на роботу дифузійного апарату має якість бурякової стружки, що служить для вилучення цукру зі стружки у водний розчин. Оцінкою якості являється довжина 100г стружки, вираженої в метрах, або співвідношення маси стружки довжиною більше 5 см до маси стружки менше 1 см, взятої з певної масової проби. Для якісної стружки по першому методу довжина її повинна бути 9...15 м, а по другому співвідношення має бути не нижче 8.

Для подрібнення буряків найбільш поширені відцентрові буряки, у вирізах вертикальних циліндричних корпусів яких нерухомо закріплено 12 або 16 ножових рам. Буряк надходить у обертовий ротор-равлик бурякорізки, обертається разом з ротором, відцентровою силою притискається до ножів і ріжеться. Бурякорізки бувають з горизонтальним або вертикальним розміщенням ротора. Потім бурякова стружка стрічковим транспортером надходить у відділення для отримання дифузійного соку.

Одержання дифузійного соку

Дифузійний процесу у цукровому виробництві служить для вилучення з бурякової стружки максимальної кількості сахарози. Сахарозу з буряка видобувають екстракцією дифузійним способом (дифузійним способом), який полягає у обробці бурякової стружки гарячою водою протитоком. При цьому сахароза та розчинні цукри переходять (дифундують) у воду, внаслідок чого їх вміст у стружці знижується, а у воді підвищується. Такий рух розчинних речовин відбувається під впливом концентрації градієнта. При підвищенні температури дифузія прискорюється, тому процес добування цукрів проводять при температурі 70...74°C. При більш високій температурі розчин переходить частина пектинових речовин. Таким чином, вміст цукрів у стружці в процесі екстракції знижується з 18,3 до 0,3%, а в дифузійному соку - підвищується до 13,4%.

На цукрових заводах України процес вилучення сахарози із бурякової стружки здійснюється у автоматизованих дифузійних установках безперервної дії. Перебування стружки в дифузійному апараті (тривалість процесу дифузії) становить не більше 80 хв, тому що збільшення часу перебування призводить до підвищення вмісту небажаних розчинних пектинових речовин у дифузійному соку та його в'язкості, а також до створення перешкод для подальшого очищення.

Якщо температура процесу дифузії знижується до 70 ° С інтенсивно розвиваються мікроорганізми. Зі збільшенням витрати води на знецукровування стружки знижуються втрати цукрів у жому, але на практиці, для економії палива, що витрачається на випарювання зайвої води при згущенні соку, обмежують його величиною 120...130% від маси стружки, що йде на дифузію.

Дифузійний сік є сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів, що надходять разом із буряком та водою. Розвиток мікроорганізмів пригнічують покращенням відмивання буряків, забезпеченням чистоти дифузійної установки та живильної води, а також ритмічною роботою. Крім того, дифузійний апарат періодично подають розчин формаліну.

У дифузійному соку, що виходить з дифузійного апарату, міститься багато пульпи (дрібних частинок стружки), що погіршує подальшу переробку соку. Тому дифузійний сік перед подачею подальшу переробку очищають від пульпи на спеціальних пристроях - пульповловлювачах.

Стружка після процесу екстракції (жом) виводиться з верхньої частини дифузійного апарату і подається в прес. Масова частка сухих речовин у стружці перед пресуванням становить приблизно 8%. Жом після пресування в шнекових пресах має масову частку сухих речовин 12...14%, якщо вона в сирому вигляді згодуватиметься худобі, або її пресують до 22...25% сухих речовин і направляють на висушування до масової частки сухих речовин 86%. Для збереження та підвищення кормової цінності жом збагачують добавками та брикетують. У середньому вихід сушеного жому становить 4,5...5% маси буряків.

Отримання дифузійного соку (екстракція цукру). Вилучення цукру з буряку на перших етапах розвитку цукрової промисловості здійснювали віджиманням соку на пресах. Після промислового освоєння екстракторів, стало економічно вигідним і екстраційне вилучення цукру, яке здійснюється гарячою водою у так званих дифузійних апаратах. Починаючи з середини XIX століття цукрові заводи були оснащені установками періодичної дії (дифузійними батареями). Сучасні бурякоцукрові заводи обладнані дифузійними установками безперервної дії різних типів: одноколонні, двоколонні, нахилені, ротаційні, одно- і двопоточні дифузійні апарати. Застосування апаратів безперервної дії створює умови для повної автоматизації процесу, зменшує кількість обслуговуючого персоналу, скорочує витрати води, знижує втрати цукру.

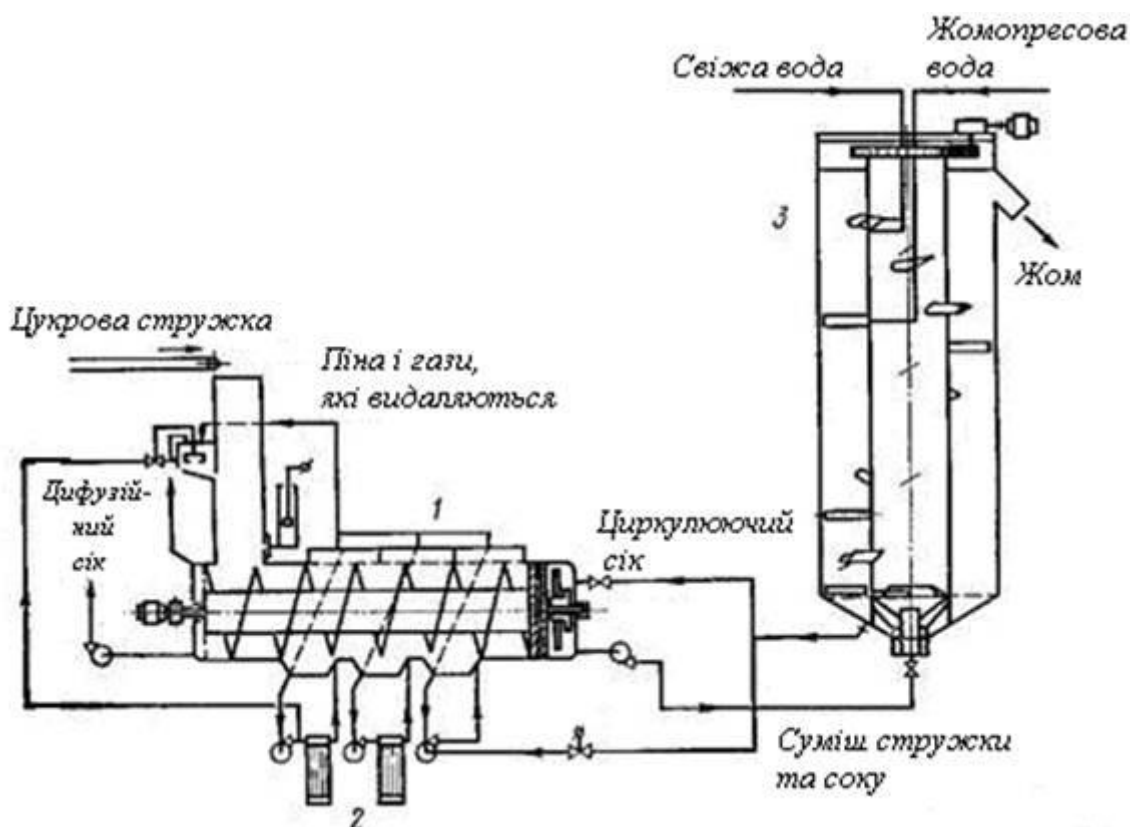


Рисунок 1.2 - Дифузійна установка типу КДА: 1 – ошпарювач; 2 – підігрівач насоси; 3 – вертикальний колонний дифузійний апарат.

На рисунку 1.2 зображено схему однієї з дифузійних установок безперервної дії типу КДА (колонний дифузійний апарат), яка складається з горизонтального ошпарювача і вертикальної дифузійної колони. Бурякова стружка надходить до шахти, де обробляється гарячим дифузійним соком з температурою (85...90) °С. Збагачений цукром сік проходить крізь решітчасту лобову кришку ошпарювача і спрямовується на останнє очищення. Підігріта в шахті ошпарювача стружка переміщується шнеком до вихідної її частини. Під час цього переміщення стружка нагрівається соком, що циркулює, до температури (70...80) °С.

Сік відбивається з кількох точок по довжині ошпарювача, тобто, підігрівання відбувається в перехресних потоках стружки і соку. Сокостружкова маса відбирається з розвантажувальної частини ошпарювача і надходить до нижньої частини дифузійної колони. В середині дифузійної колони є пустотілий лопатевий вал діаметром 200 мм, який здійснює (0,6... 1,0) об/хв. Стружка, що

надходить до колони, переміщується знизу вгору у кільцевому просторі між стінкою колони і пустотілим валом за допомогою лопатей. Щоб стружка не оберталася разом з валом у проміжках між лопатями, встановлено нерухомі контрлопати. Зверху колони подається екстрагуюча суміш гарячої і жомопресової води. Тут же виводиться і знецукрена стружка. Далі стружка надходить на транспортер жомовіджимного пресу, де окремо вилучають частку води. Продуктивність апаратів КДА (1500...3000) т буряку на добу. Частково віджатиий жом використовують на корм худобі у зволоженому, або в просушеному вигляді.

Очищення дифузійного соку

З буряка в дифузійний сік переходить майже вся цукроза і до 90% розчинних нецукрів. Крім того, в дифузійному соку міститься багато дрібних частинок буряка (пульпи), які на повітрі швидко темніють і піняться.

З такого соку без очищення важко виділити цукрозу, так як нецукри істотно уповільнюють швидкість кристалізації і збільшують вміст цукру у відходах (мелясі). Одна частина нецукрів утримує у мелясі до 1,5 частин сахарози. Щоб отримати максимальний вихід цукру-піску і низький вихід меляси, з дифузійного соку необхідно видалити якнайбільше нецукрів і довести його до слаболужної реакції, в якій найбільш стійка цукроза до розкладання. Проводиться досить складне і багатоступінчасте очищення дифузійного соку (рисунок 1.3).

Першим етапом очистки дифузійного соку є переддефекація. При цьому дифузійний сік додають вапняне молоко в кількості 0,2...0,3% СаО від маси буряків рівномірно в часі протягом 20...30 хв при температурі 40...60°C. Метою переддефекації є укрупнення частинок колоїдної дисперсії для виведення їх із розчину.

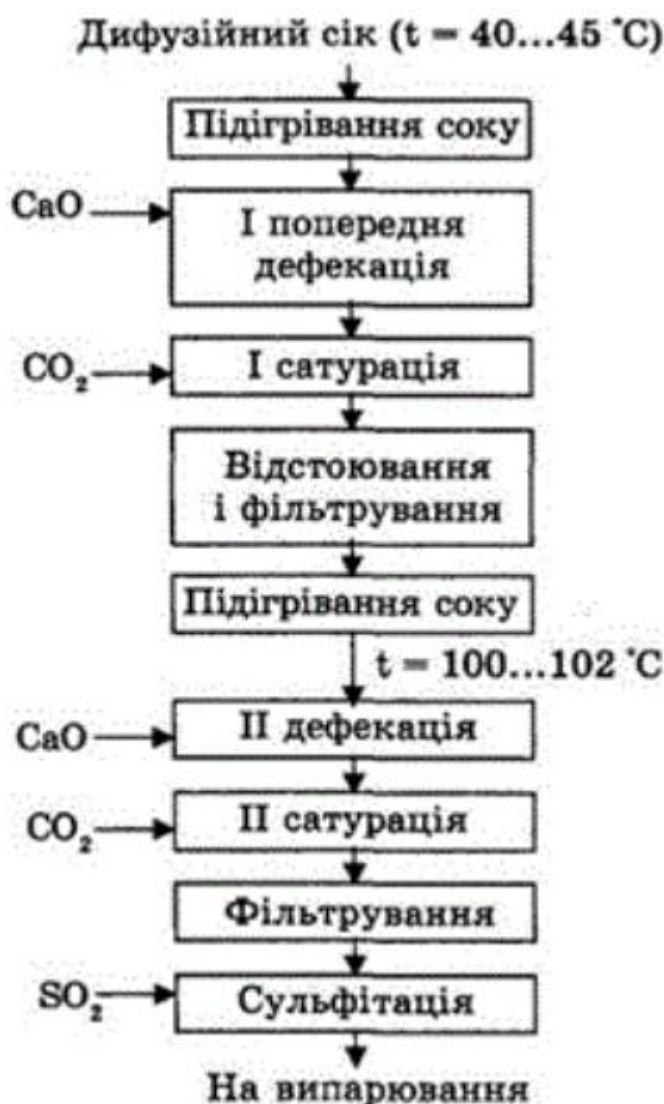


Рисунок 1.3 - Функціональна схема очищення дифузійного соку

Далі провадиться основна дефекація. Метою основної дефекації є вторинна обробка дифузійного соку надлишком вапна відразу після переддефекації. Основною дефекацією досягаються повне розкладання амідів кислот, редукуючих та пектинових речовин, солей амонію, омилення жирів, а також створення надлишку вапна, необхідного для отримання достатньої кількості карбонату кальцію при подальшому очищенні – на 1-й сатурації. Загальна кількість активного вапна, що витрачається на переддефекацію та основну дефекацію, становить 2,2...2,5% CaO від маси буряків. Температура, тривалість процесу і доза вапняного молока визначаються лабораторією в залежності від якості буряків, що переробляються в даний момент.

Відразу після дефекації проводиться перша сатурація. Після основної дефекації нефільтрований сік, що містить вапно (меншу частину – в розчині і більшу частину – в осаді), надходить на 1-у сатурацію, де його обробляють сатураційним газом (сумішшю газів, що містять у великій кількості діоксид вуглецю). Діоксид вуглецю (CO_2) вступає в реакцію з гідроксидом кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) та утворює карбонат кальцію (CaCO_3). На позитивно зарядженій поверхні свіже утворених кристалів CaCO_3 адсорбуються цукром соку, в тому числі продукти розпаду пектинових та інших речовин, що несуть негативний заряд.

Таким чином, якщо на попередній та основній дефекаціях хімічне очищення здійснювалося шляхом коагуляції, осадження та розкладання нецукрів, то на 1-й сатурації проводиться фізико-хімічне очищення соку адсорбцією, що і є основною метою 1-ї сатурації. Крім того, кристалічний осад CaCO_3 , що утворюється, служить основою для створення фільтруючого шару при фільтрації соку.

Осад CaCO_3 , що утворився, з адсорбованими нецукрами відфільтровують.

Нефільтрований сік 1-ї сатурації містить 4-5% зважених частинок, які необхідно відокремити, щоб продовжити подальше очищення соку. Фільтрування найчастіше проводять на листових саморозвантажувальних фільтрах-згущувачах періодичної дії. Сік 1-ї сатурації на фільтрі поділяється на фільтрований сік і згущену суспензію.

Відфільтрований сік містить на виході з фільтра не більше 1 г/л твердої фази без контрольного фільтрування направляється на 2-ю сатурацію. Згущену суспензію соку 1 сатурації повторно фільтрують у камерних вакуум-фільтрах, на яких осад промивається гарячою водою і просушується повітрям або парою. Розведений сік, який отримується на першій стадії промивання, приєднують до відфільтрованого соку. Сильно розбавлений сік, що отримується на остаточній стадії промивання осаду, використовують в інших технологічних процесах. У фільтрованому осаді міститься 75-80% карбонату кальцію і 20-25% органічних і неорганічних нецукрів. Він використовується у сільському господарстві для

вапнування кислих ґрунтів. Втрати сахарози у фільтрованому осаді становлять приблизно 1% його маси. На промивання фільтрованого осаду витрачається 105...110% води маси осаду.

Ретельно відфільтрований, чистий сік піддають 2-ї сатурації для того, щоб перевести гідроксиди кальцію, калію і натрію у вуглекислі солі, що залишилися після 1-ї сатурації в розчині, і вивести їх в осад, а також вивести в осад кальцій, пов'язаний з органічними кислотами у комплекси.

Для підвищення якості до соку перед 2-ою сатурацією додають невелику кількість вапна (0 ... 0,5% CaO від маси соку), що сприяє не тільки додатковому розкладу нецукрових, але і збільшенню адсорбційної поверхні в результаті більшого утворення карбонату кальцію. Перед 2-ї сатурацією сік нагрівають до температури 93...95°С протягом 10 хв сатурують (продують CO₂). При сатурованні із соку випаровується понад 1% води, і він охолоджується на 2...5°С. Для додаткового видалення кальцію з розчину сік після сатуратора слід піддати "дозрівання" протягом 10 ... 15 хв при інтенсивному перемішуванні в окремій посудині, що знижує накип утворення у випарній установці.

Після "дозрівання" сік 2-ї сатурації фільтрують на листових фільтрах так само, як і сік 1-ї сатурації. Фільтрат направляють на сульфитування, а згущену суспензію – на переддефекацію.

Сульфитацією називається обробка цукрових розчинів діоксидом сірки (SO₂), який одержують спалюванням комової сірки на повітрі у спеціальній печі. У сульфитаційному газі міститься 10...15% SO₂, повітря - 85...90%.

Діоксид сірки – безбарвний газ із різким запахом, отруйний, викликає задуху, добре розчинний у воді, але лише невелика частина розчиненого діоксиду сірки реагує з водою, утворюючи сірчисту кислоту.

Цілями сульфитації є: знебарвлення соку, зниження його в'язкості, а також знезараження. При пропущенні сульфиду сірки через сік утворюється сірчиста кислота, що є сильним відновником. Вона частково перетворюється на сірчану кислоту; при цьому виділяється молекулярний водень, який відновлює органічні забарвлені речовини. Дія сірчистого газу продовжується і при випаровуванні, що

сприяє меншому потемнінню сиропу. Коефіцієнт використання діоксиду сірки становить 70-80%, оптимальне значення рН сульфітованого соку становить 8,5-8,8.

Згущення соку до сиропу

Після очищення соку в ньому міститься близько 15% СВ (сухих речовин), отже води міститься - 85%. Щоб отримати сахарозу в кристалічному вигляді шляхом кристалізації з пересиченого розчину, його необхідно згустити, тобто. видалити велику кількість води. Видалення води із соку завжди проводиться у два етапи:

- спочатку видаляють воду на випарній установці до вмісту сухих речовин (СВ) у сиропі 65%;

- потім густий сироп змішують з клеруванням (розчином жовтого цукру), обробляють адсорбентами, направляють на сульфітацію (рН=7,5), підігрівають у пластинчастих теплообмінниках, фільтрують і направляють у вакуум-апарати, де концентрацію сухих речовин доводять до 92,5% .

Причиною дворазового випарювання води із соку є те, що на випарній установці при видаленні води із соку та збільшенні його концентрації розчинність деяких нецукрів знижується, і вони випадають в осад, тому їх необхідно видалити шляхом фільтрації сиропу. Крім того, при знаходженні у випарній установці колір сиропу збільшується, тому його необхідно додатково знебарвити шляхом сульфітації і також піддати фільтрації.

Згущення соку до сиропу-процес отримання сиропу з очищеного сульфітованого соку випарюванням з нього води у випарній установці до вмісту СВ=60-65%. Усього з очищеного соку випарюють 110-115% води до маси буряка. Випарювання соку ведуть у багатокорпусних випарних установках, що дозволяє знизити витрату палива приблизно 2,5 рази. На цукрових заводах переважно застосовують чотирикорпусні випарні установки із концентратором. Нагрітий у розбірних пластинчастих теплообмінниках до температури кипіння 126 0С сульфітований сік направляється в перший корпус випарної установки, де з нього випаровується частина води утворюючи вторинну пару, послідовно сік проходить

з першого корпусу в другій, з другого в третій, з третього в четвертий і потім концентратор згущується до заданої густини. Багаторазове використання теплоти пари можливе за умови зниження температури кипіння соку та тиску, починаючи від першого до останнього корпусу випарної установки. Сироп після випарної установки сульфітують до рН 7,8-8,2 при температурі 80-85 °С, нагрівають в пластинчастих розбірних теплообмінниках до температури 85-90 °С і фільтрують. Фільтрований сік направляють на уварювання утфелів 1 кристалізації.

Кристалізація цукру

Кристалізація є завершальним етапом цукрового виробництва. Кристалізація цукру – процес виділення цукрів у вигляді кристалів шляхом випарювання води або охолодження кристалізованої маси. Для максимального вилучення цукру за мінімальних витрат палива кристалізацію сахарози ведуть багаторазово. Раціональною є трикристалізаційна схема з афінацією цукру 3-ї кристалізації першим відпливом утфелю 1-ї кристалізації. Ця схема з урахуванням використання досконалого обладнання забезпечує отримання цукру стандартної якості за мінімального вмісту цукру в мелясі.

Технологічні процеси у продуктовому відділенні проходять у наступній послідовності:

1) Уварювання та центрифугування утфелю 1-ї кристалізації.

Утфель перший уварюють із сиропу з клеровкою. Зміст СВ=60-65%, рН 7,8-8,2, кольоровість трохи більше 40 одиниць. Утфель уварюють у періодично діючих вакуум-апаратах у 4 етапи:

- a) згущення сиропу до пересиченого розчину;
- b) заведення кристалів цукру;
- c) нарощування кристалів цукру;
- d) остаточне згущення та спуск утфелю.

Щоб запобігти розкладу сахарози, сироп уварюють випарюванням при залишковому тиску 0,02 мПа і температурі 70-72 °С. У міру згущення сиропу до вмісту СВ 80-82% температура його кипіння при тому розрядженні підвищується до 74-76 °С, коефіцієнт пересичення до 1,25-1,3. Коефіцієнт пересичення показує

у скільки разів у даному сиропі розчинено сахарози більше, ніж у насиченому розчині за тих самих умов. При цьому коефіцієнт пересичення знаходиться в нестійкому стані, в цей момент роблять заводку кристалів, вводять в апарат тонкоподрібнену цукрову пудру в кількості 50 г на 40 тонний апарат. Після заводять необхідну кількість кристалів і нарощують їх для того, щоб росли кристали, що утворилися, але не утворювалися нові, постійно у вакуум-апарат вводять сироп, підтримуючи при цьому коефіцієнт пересичення на рівні 1,12-1,15. Коли кристали сахарози досягнуть необхідної величини утфель доводять до концентрації СВ=92-92,5%, температура становить 70-73 0С, час уварювання 170 хв, вміст кристалів в утфелі 1-му 50-55%. Потім утфель подають до автоматизованих центрифуг періодичної дії. В результаті центрифугування одержують міжкристальний розчин утфелю, який називається зеленою патокою І продукту. На поверхні кристалів цукру залишається тонка плівка, що надає жовтуватий колір, щоб видалити її в центрифугі ведуть пробілку цукру гарячою артезіанською водою 85-90 0С, витрата води 3-3,5% до маси утфелю. При цьому частина кристалів розчиняється та утворюється другий відтік (біла патока), який разом із зеленою патокою йде на уварювання 2-го утфелю. Вміст вологи у вивантаженому з центрифуги цукрі-піску становить 0,9-1%, температура 55-600С. Вологий цукор направляють на сушильно-охолоджувальну установку, цукор сушать гарячим повітрям 105-1100С. Температура висушеного цукру має бути не більше 22-250С, вологість не більше 0,14%. Висушений цукор направляється на упаковку та зберігання в поліпропіленові мішки масою 50 кг (тарний метод) або силосні вежі масою 10 тис. тонн (бестарний метод).

2) Уварювання та центрифугування утфелю 2-ї кристалізації.

Отримані після центрифугування утфелю 1 кристалізації відтоки є насиченими розчинами сахарози, їх використовують для уварювання другого утфелю. Зелену та білу патоки перед вакуум-апаратами попередньо нагрівають у пластинчастих розбірних теплообмінниках. Уварювання проходить 4 цикли. Заводку кристалів проводять за допомогою цукрової пудри (60-65 кг на 40 тонн утфелю). Після нарощування згущують до вмісту СВ = 93%. Утфель другий центрифугують у центрифугах безперервної дії. При центрифугуванні другого утфелю отримують цукор 2-ї кристалізації (жовтий цукор) і міжкристальний відтік. Цукор пробілюють чистою гарячою водою у кількості 1% до маси утфелю та отримують другий відтік, час уварювання становить 300 хв.

3) Уварювання та центрифугування утфелю 3-ї кристалізації.

Утфель третій уварюють з першого і другого відтоків утфелю другого і афінаційного відпливу, які попередньо нагрівають в пластинчастих теплообмінниках. Для травлення кристалів використовують цукрову пудру в кількості 150-200 г на 40 тонн утфелю, утфель уварюють до СВ=94,5-96%. З вакуум-апарата через приймальну утфелемішалку надходить у кристалізаційну установку. Утфель охолоджується холодною водою, що рухається назустріч усередині валу. За час кристалізації температура утфелю знижується з 70-75 0С до 35-40 0С, за зниження температури коефіцієнт пересичення збільшується до 1,20-1,25. За рахунок збільшення коефіцієнта пересичення викристалізовується в утфелемішалка додаткова кількість цукру. Таким чином, процес кристалізації сахарози відбувається у два етапи:

- кристалізація при випаровуванні у вакуум-апараті;
- при охолодженні утфелю в утфелемішалках.

Перед центрифугуванням нагрівають утфель до температури 45-500С і центрифугують в центрифугах безперервної дії без пробілювання цукру водою. При центрифугуванні одержують жовтий цукор 3-ї кристалізації та один відтік – мелясу.

Афінація жовтого цукру 3-ї кристалізації. Для підвищення якості цукру 3-ї кристалізації його змішують з розбавленим першим відпливом утфелю 1-ї кристалізації до вмісту СВ=89-90%, перемішують в утфелемішалці протягом 20 хв при температурі 70-75 0С, в результаті цього частина нецукрів, що містяться в плівці покриває кристали цукру, перейде в розчин, що афінує, і при центрифугуванні буде отриманий більш чистий афінований цукор (Ч=97%).

4) Клерування жовтих цукрів.

Афінований жовтий цукор 3-ї та 2-ї кристалізації розчиняють (клерують) очищеним соком 2-ї сатурації при температурі 80-85 0С до вмісту СВ=60-65%, змішують з сиропом з випарної установки, сульфітують і подають на уварювання утфелю 1 -й кристалізації.

Висновки до першого розділу

1. Кожен етап процесу технології видобування цукру потребує безперервного контролю за параметрами потоку та управлятися згідно регламенту та технологічної та теплотехнічної карти на станціях керування. Тим більше кожна окремо взята станція не може працювати відокремлено, адже подача буряка, різка, екстракція, очистка соку, згущення соку, кристалізація зв'язані в єдиний ланцюжок, кожна ланка якого впливає на інші. При узгодженій роботі кожної станції як окремо так і в взаємодії з іншими, досягаються одні з показників ефективної роботи заводу : стабільність та ритмічність. Цього допомагає досягти максимальна автоматизація з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій. Виробництво цукру на заводі це трудомісткий, багатоступінчатий процес, який важко уявити без автоматизації та прогресивних технологій.

2. Автоматизація цукробуряковому виробництві дозволяє:

- покращити якість цукру;-спростити трудомісткі процеси;
- скоротити втрати сировини;
- знизити собівартість цукру;
- покращити фінансові показники.

2 ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРІВ ТА СИГНАЛІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС КЕРУВАННЯ КРИСТАЛІЗАЦІЄЮ

2.1 Теоретичні аспекти процесу кристалізації

Розглянемо роль вимірювання густини утфелю, як одного з основних параметрів, який являючись функцією пересичення розчину, є показником навколо якого будується алгоритм роботи автоматизації процесу кристалізації цукру.

Процес кристалізації має значення у цукровій промисловості, та у як без кристалізації неможливо отримати цукор у чистому та зручному для застосування вигляді. Кристал є найбільш високоорганізованим представником неживої природи. Він характеризується тим, що його атоми розташовані у строгому просторовому порядку. Відстань між атомами в кристалі є постійними та характерними для цієї речовини. Процес кристалізації складається з двох стадій: виникнення кристалів та зростання їх до необхідного розміру. Якщо процес утворення кристалів протікає швидко і безперервно, то осад випадає велика кількість дрібних кристалів. Якщо ж на початку процесу утворюється невелика кількість центрів кристалізації і надалі процес протікає без додаткового утворення нових центрів, то осад складатиметься з однорідних великих кристалів.

При періодичному проведенні процесу, якщо бажано отримати однорідні за величиною кристали, доцільно утворювати якнайбільше центрів кристалізації в початковий момент. Утворення центрів кристалізації можна досягти шляхом додавання в кристалізатор з насиченим або перенасиченим розчином необхідної кількості зародків, найчастіше у вигляді роздроблених кристалів. Зародки можуть утворюватися дома під час процесу. Нові центри кристалізації можуть бути різними шляхами.

- 1) Утворення центрів кристалізації в результаті стирання кристалів, що знаходяться в розчині.

При сильному перемішуванні рідини, що кристалізується, від кристалів можуть відламуватися не великі шматки; дроблення кристалів може відбуватися в результаті розтріскування під впливом нагріву. Шматки та уламки кристалів швидко відновлюють свою початкову форму, є таким чином центрами кристалізації.

2) Утворення центрів кристалізації внаслідок механічного впливу.

Енергійне перемішування, зіткнення кристалів у розчині один з одним або зі стінками кристалізатора, з паровою камерою також можуть викликати утворення нових центрів.

3) Утворення центрів кристалізації в результаті затравного впливу кристалів, що вже перебувають у розчині. Цей метод кристалоутворення є, мабуть, найважливішим для практики.

4) Утворення центрів кристалізації в обмежених зонах розчину внаслідок локальної зміни концентрації.

Наприклад, відведення тепла через стінку судини призводить до виникнення температурних градієнтів поблизу них, що сприяє пересиченню розчину; останнє, своєю чергою, прискорює процес освіти зародків. Сильному пересичення концентрації поблизу поверхні розчину та утворення центрів кристалізації сприяє процес випаровування. Процеси утворення кристалів внаслідок стирання, локального зниження температури та концентрації розчину потрібно по можливості пригнічувати. Вплив механічного впливу пристроїв, що перемішують, на кристалізацію залежить від швидкості перемішування, числа і розміру кристалів. Перемішування необхідно проводити без значних динамічних навантажень на кристали цукру, що утворилися. Перемішування має значно важливіший ефект – ефект затравки. Так, наприклад, підвищення швидкості перемішування сприяє більш однорідному розподілу кристалів у розчині, що, у свою чергу, збільшує їх затравний вплив. Перемішування підвищує швидкість утворення центрів кристалізації більше, ніж швидкість зростання кристалів. У більшості випадків промислового ведення процесів кристалізації для отримання однорідного продукту використовують розчини із затравкою. Затравка вноситься

в момент, коли концентрація розчину досягне певного пересичення, що відповідає утворенню нових зародків. Після першого внесення в розчин затравки слід уникати подальшого утворення центрів кристалізації в процесі росту кристалів. Це дозволяє отримати однорідні за величиною кристали.

Швидкість осадження кристалічного матеріалу залежить від поверхні кристалів, що ростуть, і від ступеня пересичення розчину. Ця швидкість повинна бути рівномірною по всьому об'єму кристалізатора і відповідати швидкості видалення розчинника, щоб ступінь пересичення залишалася нижчою від точки інтенсивного утворення центрів кристалізації. Зростання кристалів та утворення центрів кристалізації йдуть одночасно і продовжуються протягом усього циклу роботи вакуум-апарата. При малих ступенях пересичення розчину зростання кристалів проходитиме швидше, ніж утворення зародків, хоча швидкість обох процесів залишатиметься низькою. Ці процеси значною мірою залежать від таких факторів, як швидкість перемішування, температура, концентрація, розмір і кількість кристалів, присутніх у розчині, наявність домішок та утворення центрів кристалізації на поверхнях розділу. Зазвичай прагнуть забезпечити максимальну швидкість зростання кристалів, сумісну з низькою швидкістю утворення центрів кристалізації. Такий процес проводять при ступенях пересичення, близьких до зони різкого зростання швидкості утворення центрів кристалізації, тобто. приблизно там, де на кривій швидкості утворення центрів кристалізації зазначена точка (рисунок 2.1). Однак не завжди вигідно працювати за таких умов, так як інші фактори можуть виявитися важливішими.

При ступенях пересичення, що відповідають швидкому зростанню швидкості утворення зародків, є тенденція до агломерації, кристали значно менш міцні порівняно з кристалами, отриманими при продуктивності, що відповідає меншому ступеню пересичення.

Розглянемо процес варіння утфелю першого продукту у традиційному вакуум – апараті без рециркуляційної мішалки (рисунок 2.1).

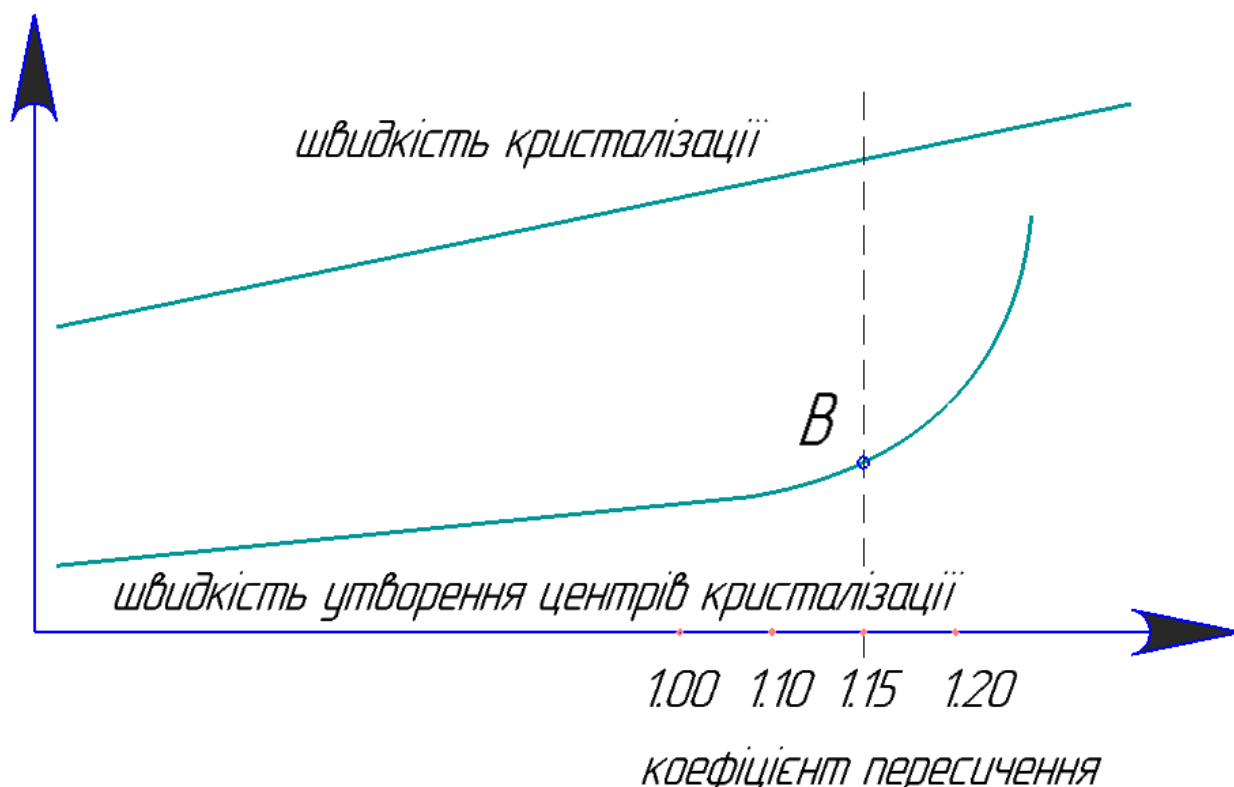


Рисунок 2.1 - Крива швидкості утворення центрів кристалізації

При заповненні до 50-55% обсягу (рівня) у вакуум – апараті йде інтенсивна циркуляція, теплопередача та процес уварювання у цей час можна назвати оптимальним. Температура утфелю в нижній і верхній частині варі має близьку за значенням величину, перепад становить не більше 5°C і коливається від 73 °C (низ вакуум – апарату) до 68 °C (верхня частина утфелю). Швидкість кристалізації невисока (1500-2000мг(хв./м²)). В'язкість порівняно висока і не відрізняється великою різницею по висоті варі. У цей час йде процес першої стадії нарощування кристала цукру.

При збільшенні рівня варі вище 70% параметри утфелю та процеси починають різко змінюватися.

Циркуляція утфелю у верхній частині погіршується. Швидкість руху утфелю у верхній частині поступово скорочується і стає рівною 0,5 см/сек.

За рахунок підвищення гідростатичного тиску, зниження циркуляції та теплопередачі збільшується різниця температур утфелю у верхній та нижній частині вакуум – апарату. Температура утфелю в нижній частині і по всій висоті

парової камери становить 98 °С, а у верхній частині вари температура становить рівної 68 °С

В'язкість утфелю у верхній частині при температурі 68 °С стає максимальною, коефіцієнт пересичення міжкристального розчину дорівнює 1,5.

У зоні парової камери при температурі 98 °С в'язкість утфелю знижується, швидкість кристалізації різко зростає до 4000мг (хв./м²). Тут іде утворення «муки» так як швидкість кристалізації дуже велика, а поверхню кристалів, що утворилися раніше, ще не велика.

У верхній частині вакуум - апарату за рахунок того, що температура утфелю знижується з 98 °С до 68 °С, коефіцієнт пересичення зростає з 1,04 до 1,5, йде інтенсивний процес утворення «муки».

Циркуляцію утфелю можна розділити на дві частини:

-70% у зоні парової камери за рахунок інтенсивного кипіння (підйом через кип'ятильні труби та опускання через циркуляційну трубу, та кільцевий простір між паровою камерою та корпусом)

Тут швидкість підйому утфелю становить 20 см/сек, а опускання по циркуляційній трубі – 35 см/сек;

-30% у верхній зоні вакуум апарату за рахунок теплового напору та розрідження у верхній частині вакуум-апарата. Тут швидкість підйому утфелю вище за рівень 70% поступово знижується і становить у верхній частині апарату-0,5 см/сек.

У верхній частині ВА йде виділення пари з утфелю, утфель густіє, в'язкість збільшується, циркуляція знижується.

Для поліпшення процесу циркуляції та зниження пересичення доводиться додавати до утфелю аміачну воду. Тільки у верхній частині вари відбувається інтенсивне виділення тепла та пари з утфелю. Щоб це компенсувати, доводиться робити розкачку утфелю.

Чим гірша циркуляція утфелю в апараті і більше різниця температур утфелю у верхній та нижній частині, тим більше треба води на розкачку утфелю, а отже і пари на випарювання цієї води. Тут виходить замкнене коло.

Без розкачування утфелю утворюватиметься «мука», але це «неприємний» процес для апаратника, так як утфель з великою кількістю муки буде погано фугуватися.

Процес розгойдування утфелю першого продукту триває протягом другої половини вари і триває 1-1,5 години.

При рівні 85-90% вводять білу патоку. Біла патока, нагріта до 80-83 °С має значну кількість «муки» та дрібних кристалів цукру, які також погіршуватимуть гранулометричний склад утфелю. Апаратник для поліпшення циркуляції тримає вентиль пари максимально відкритим, так як пара є головним двигуном процесу циркуляції поряд із максимальним розрядженням у вакуум - апараті.

Тому і доводиться додавати воду в утфель для розчинення «муки», щоб отримати рівний кристал цукру. Іншого шляху отримання більш-менш рівномірного кристала цукру за традиційного методу варіння утфелю - немає. Все це збільшує витрату пари в 1,5-2,5 рази. Час варіння також зростає на 40 хв. Необхідно нагрівати білу патоку до температури 90-95°С, що дозволить скоротити водні розкачки.

Циркуляція утфелю другого продукту у вакуум – апараті, також дуже важлива так як тут в'язкість значно вища. Циркуляція утфелю на порядок нижче, що призводить до зростання нерівномірного кристала та значного переходу дрібних кристалів цукру до кормової патоки.

2.2 Огляд та оцінка параметрів, що впливають на кристалізацію

Пересичення є рушійною силою і відповідно найважливішим параметром при кристалізації цукру. Добре відома його важливість та вплив на якість та вихід продукту, а також вартість виробництва. Існують інші параметри, такі як вміст кристалів, чистота маточного розчину (або падіння чистоти) та вміст сухих речовин в утфелі («Брікс»), що надають (які надають) важливу інформацію про процес кристалізації. Тому абсолютно несподіваною є відсутність інформації про ці важливі параметри на більшості заводів та підприємств цукроворафінадної

галузі. (Тому дивно, що інформація про важливість цих параметрів процесу досі відсутня на великій частині заводів і переробних підприємств виробництва цукру). Загальноприйнятою практикою контролю (управління) кристалізації у вакуум-апаратах є використання одного датчика (зонда) як основного інструменту різновиди методу спроб і помилок (щось на зразок «методу проб і помилок») для управління. Причина проста: не існує одного інструмента, здатного надавати інформацію в режимі реального часу про величини (який може надати дані в реальному часі про значення) пересичення, найбільш важливого параметра кристалізації. Зворотне твердження абсолютно помилкове, оскільки (Твердження зворотного є відверто помилковим, тому що) пересичення є функцією кількох змінних.

Враховуючи необхідність отримання даних про пересичення та інші параметри утфелю в режимі он-лайн, були розроблені прилади, в даний час (в реальному часі інформації про пересичення та інші параметри утфелю, були розроблені нові інструменти і) вже використовуються на досить невеликій кількості заводів в країнах у всьому світі. Дані, одержувані за допомогою подібного обладнання (таких інструментів) не тільки дозволяють автоматизувати процес введення затравки у вакуум-апаратах, ґрунтуючись на даних про пересичення, але також і впроваджувати високотехнологічні методи управління для циклу варіння цукру.

Масове виробництво будь-якого конкурентоспроможного продукту повинно ґрунтуватися на:

- Використанні сучасного обладнання,
- Знанні особливостей контрольованого процесу, яким необхідно керувати,
- Правильно обраних приладах та контролюючому обладнанні,
- Досвід автоматизації процесів управління.

Не дуже просто відповідати всім цим вимогам. Деякі з них відбивають те, що можна визначити як: організація технологічного управління.

Таблиця 2.1 - Параметри утфелю та аналізатори, які можуть надати ці дані у реальному часі

Важливі параметри	Аналізатори , що використовуються
Пересичення	Відсутній
Вміст сухих речовин в сиропі та утфелі	НВЧ, ізотопний
Вміст кристалів	Відсутній
Чистота маточного розчину	Відсутній
Середній розмір кристалів	Відсутній
Концентрація сиропу	Промисловий рефрактометр

У таблиці 2.1 наведено важливі параметри утфелю та аналізатори, які можуть надати ці дані у реальному часі. У таблиці наведено тільки два параметри, які можуть бути вимірювані безпосередньо:

- вміст сухих речовин в утфелі (Брікс) за допомогою популярних НВЧ аналізаторів (ізотопні датчики в багатьох країнах заборонені),
- концентрація маточного розчину з використанням промислового рефрактометра (залежить від чистоти і не є достатньо точним).

Таблиця 2.2. - Прилади для контролю, що використовуються в управлінні кристалізацією

Аналізатор (датчик)	Змінні, що впливають на результат
Провідність	Концентрація рідини, температура, вміст кристалів, вміст нецукрів
Радіочастотний опір	Концентрація рідини, температура, вміст кристалів, зольність
Радіочастотна ємність	Концентрація рідини, температура, вміст кристалів, зольність

Таблиця 2.2. - Кінець таблиці

Ізотопний (в'язкість)	Концентрація рідини, температура, вміст кристалів
В'язкість	В'язкість, вміст кристалів
НВЧ	Концентрація рідини, вміст кристалів
Промисловий рефрактометр	Концентрація рідини

В таблиці 2.2 наведено прилади, що часто застосовуються для контролю, що використовуються в управлінні кристалізацією. Існує тільки два датчики, що представляють які надають інформацію про важливі параметри утфелю і не схильні до впливу інших параметрів процесу.

2.3 Аналіз існуючих методів заміру параметрів, що впливають на кристалізацію

1) Механічний принцип виміру

Механічні системи вимірювання, такі як віскозиметри використовуються в даний час на цукрових заводах. Механічний віскозиметр складається з електродвигуна на валу якого закріплений металевий циліндр або диск, що занурені в досліджуване середовище. Чим більш в'язке середовище, тим більше навантаження на електродвигун. Навантаження електродвигуна якраз і являється функцією в'язкості. Ротаційні віскозиметри вимагають постійного обслуговування, калібрування, заміни ущільнень тощо. Протягом всього процесу варіння, віскозиметри досить чутливі, але при переході з однієї стадії варіння на іншу, спостерігаються перешкоди та збої сигналів, що в результаті позначається на точності результатів вимірювань, зокрема уварювання/кристалізація. При недостатній пропарці вакуум-апаратів потребують періодичного механічного очищення, що досить проблематично.

2) Оптичний принцип: Рефрактометри

Рефрактометри – це прилади, що дозволяють контролювати параметри різних речовин за допомогою вимірювання величини спотворення світла. З точки зору точності вимірювань, простоти та зручності експлуатації оптимальними варіантами є портативні ручні рефрактометри.

У різних галузях промисловості під час проведення будь-яких досліджень, визначенні фізико-хімічних параметрів речовин чи контролі якості готової продукції необхідно знання показника заломлення світла. Для цього існує спеціальний оптичний прилад – рефрактометр.

Назва цього приладу походить від терміну "рефракція" (лат. "refractus" - заломлений), введеного в наукову сферу Ньютоном на початку 18 століття.

Рефрактометр аналізує ступінь відхилення променя світла від прямолінійного напрямку під час переходу з однієї речовини в іншу. Співвідношення кута входження променя та кута його заломлення на межі розділу двох середовищ називається коефіцієнтом заломлення (Рисунок 2.2).

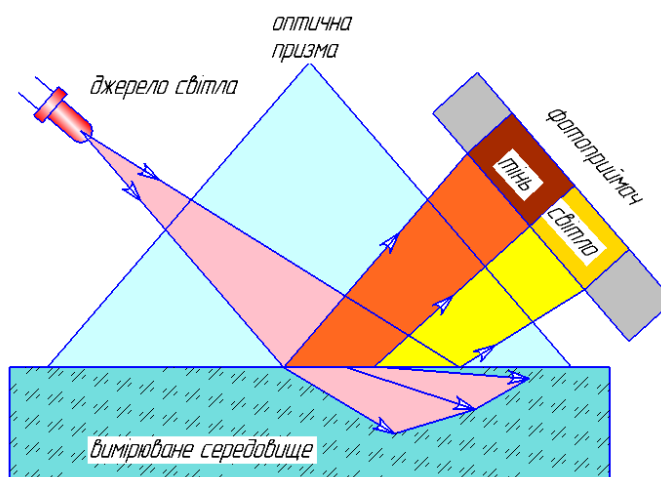


Рисунок 2.2 – Принцип роботи рефрактометра

Цей показник зростає пропорційно до збільшення щільності субстанції. Відносну «вагу» зразка рефрактометр визначає порівняно з дистильованою водою (з її допомогою прилад попередньо відкалібровують). Якість вимірювань залежить від правильного та акуратного калібрування приладу. Різниця температур навколишнього середовища та зразка негативно впливають на

точність показань, тому перед їх зняттям необхідно почекати близько 30 секунд, як описано вище.

Температура повітря при калібруванні в ідеалі повинна становити близько $+20^{\circ}\text{C}$. Однак, якщо пристрій оснащений системою АТС, будь-яка температура буде компенсована.

Рефрактометр не можна опускати у воду, оскільки потрапляння великої кількості рідини всередину приладу може призвести до затуманення шкали.

Не слід вимірювати жорсткі, абразивні та корозійно-активні речовини (хімікати тощо), оскільки вони можуть пошкодити покриття призми.

Очищати інструмент необхідно м'якою тканиною після кожного використання. Забруднення на призмі можуть призвести до помилок під час вимірювання.

Оптичні прилади представлені рефрактометрами, встановленими на вакуум-апарати. Обов'язковою умовою є температурна компенсація. Прилади точні до введення затравки. Контроль концентрації/зростання числа Wgix з початку стадії кристалізації до вивантаження продукту неможливий, так як прилади вимірюють вміст сухих речовин (СР) лише міжкристалічному розчині. До того ж сигнал проходить крізь продукт на призму рефрактометрів, яка постійно забруднюється, внаслідок чого сигнал не стабільний і не точний.

3) Ультразвукові прилади

Принцип вимірювання, що використовується в даному методі промислового аналізу - високоточний вимір швидкості поширення ультразвуку в рідких середовищах та їх температури (рисунок 2.3).

Швидкість звуку в рідкому середовищі залежить від концентрації присутніх у ньому компонентів та, відповідно, від її щільності. Дані залежності швидкості звуку від концентрації та температури у вигляді розрахункових моделей поміщаються на пам'ять контролера з метою подальшої конвертації виміряних фізичних властивостей у дані про концентрацію або густину залежно від поставленого завдання. Ці дані доступні користувачеві. Використовуваний ультразвуковий метод визначення густини та концентрації є безперервним,

безконтактним методом вимірювання, незалежним від прозорості середовища та володіє високою надійністю.

Обов'язковою умовою застосування ультразвукових приладів є високоточна температурна компенсація. Процес калібрування – складний. Перешкоди сигналів відбуваються навіть через невелику кількість бульбашок повітря у сиропі. Принцип ультразвукового згасання високою мірою чутливий до цих бульбашок при змінах концентрації сухих речовин (СР) у процесі кристалізації утфелю.

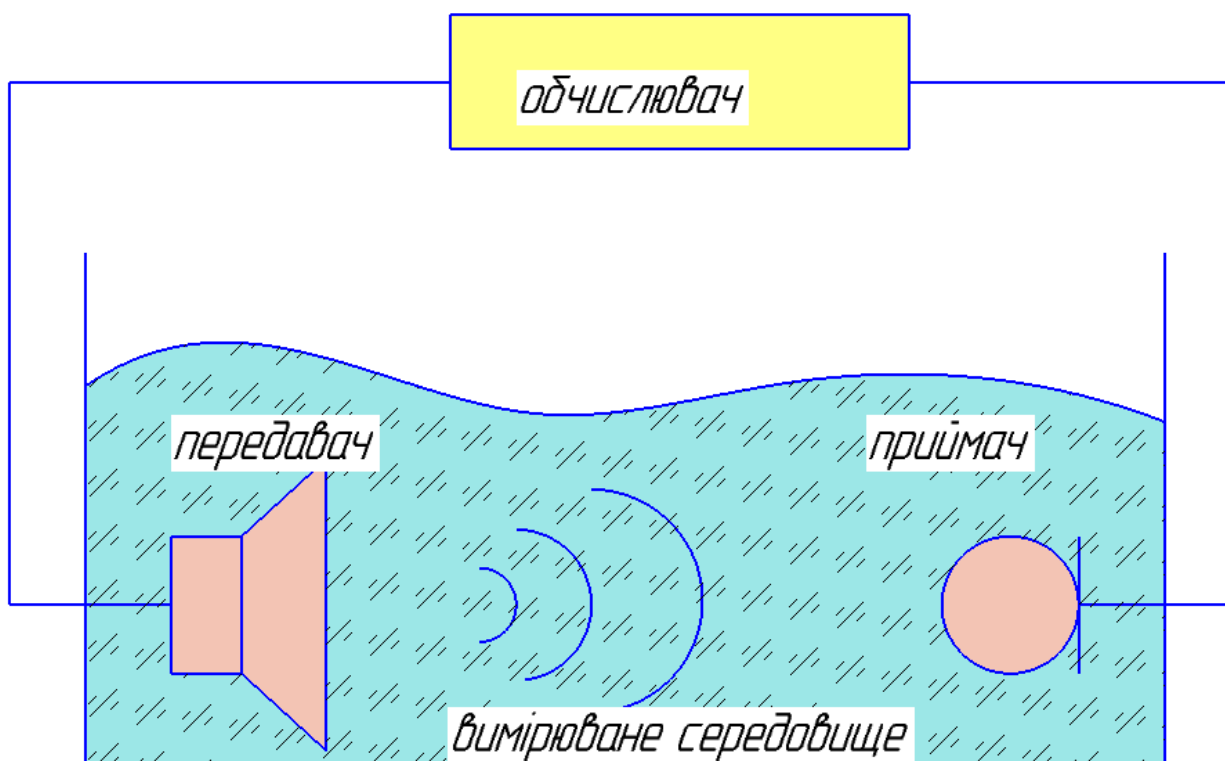


Рисунок 2.3 – Принцип роботи ультразвукового вимірювача густини

4) Радіометричний принцип

Принцип вимірювання заснований на тому факті, що джерело випускає радіоактивне випромінювання, яке слабшає при проникненні крізь різні матеріали та середовище, параметри якого підлягають виміру. При радіоізотопному вимірі рівня межі розділу фаз джерело випромінювання найчастіше вводиться у закрити занурювальну трубку за допомогою кабельного подовжувача. Це виключає

можливість контакту між джерелом радіоактивного випромінювання та технологічним середовищем.

Залежно від діапазону вимірювання та області застосування приладу один або кілька детекторів монтуються зовні резервуару. Середня щільність середовища між джерелом випромінювання та детектором розраховується за інтенсивністю прийнятого випромінювання. Потім з отриманого значення густини можна вивести пряму кореляцію з положенням межі поділу фаз (риснуок 2.4).

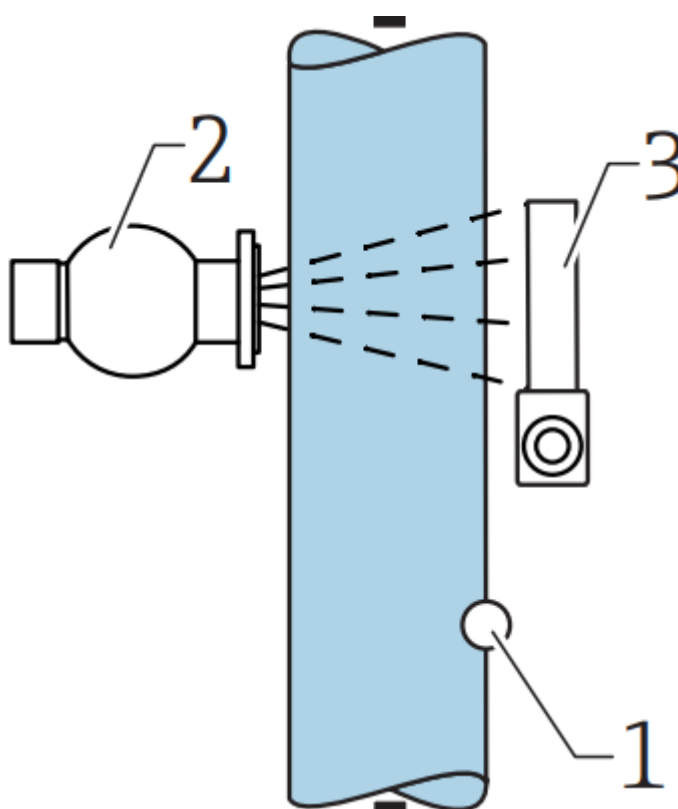


Рисунок 2.4 – Принцип роботи радіометричного вимірювача густини:

1 – контрольна точка, 2 – джерело випромінювання, 3 – датчик
випромінювання

Радіоактивний принцип вимірювання густини переважно підходить для вимірювань у процесі варіння утфелю. Температурна компенсація є обов'язковою. Цей принцип показує досить точні результати під час переходу з одного етапу на інший, але проблеми виникають на фінальних стадіях варіння цукру.

Радіометричні датчики щільності повинні бути захищені від радіації і місце встановлення датчиків має бути промарковане написом «Радіоактивність». Додаткові проблеми з ліцензуванням, транспортуванням, зберіганням та утилізацією ядерних та токсичних джерел завдають чимало проблем при використанні приладів даного типу. До того ж, у низці країн запроваджено заборону на використання ядерних матеріалів у цукровій промисловості.

5) Мікрохвильовий принцип виміру

Мікрохвильовий принцип є непрямим методом виміру. При мікрохвильових вимірах електромагнітні хвилі малої потужності поширюються продукті з допомогою антени. Швидкість поширення хвилі у продукті та ступінь її згасання залежать від діелектричних характеристик контрольованого середовища. Приймальна антена отримує цю хвилю. Потужність та фаза отриманої хвилі є показниками вмісту молекул води, концентрації матеріалу та щільності продукту.

Вода характеризується яскравіше вираженою діелектричним поведінкою (здатністю до поляризації), ніж більшість інших продуктів. Характеристики згасання та зміщення фази електромагнітного НВЧ-сигналу для чистої води відомі. Ґрунтуючись на цих даних і знаючи відстань між антенами, обчислюється реальна кількість води, а отже, і сухих речовин у розчині. Мікрохвильові вимірювання характеризуються високою стабільністю та швидкістю реакції.

Висновки до другого розділу

1. Основним параметром для варки утфелів являється перенасичення розчину. Згідно його величини будується процес кристалізації і відповідно алгоритм згідно з яким працює система автоматизації.

2. На даний момент не існує датчиків та приладів які можуть безпосередньо вимірювати та контролювати величину перенасичення між кристального розчину.

3. Процес кристалізації цукрози в вакуум-апаратах цукрових заводів проводиться по параметрах, що в основному являються функціями або похідними пересичення. Ними являються в'язкість, густина, вміст сухих речовин.

4. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки.

3 АЛГОРИТМ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ З ТОЧКИ ЗОРУ ЙОГО АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Аналіз стадій процесу варки в вакуум-апараті

Уварювання утфелів першого продукту проходить в вакуум-апаратах з природною або примусовою циркуляцією. Процес варки утфелю першої кристалізації поділяється на наступні стадії:

- набір вакууму (розрідження)
- попередній набір (наповнення вакуум-апарату сиропом вище рівня розташування нагрівальної камери);
- згущення ;
- кристалоутворення (введення затравки);
- ріст кристалів;
- розкачка;
- уварювання;
- вивантаження;
- пропарка.

Алгоритм процесу уварювання утфелів показаний на рисунку 3.1.

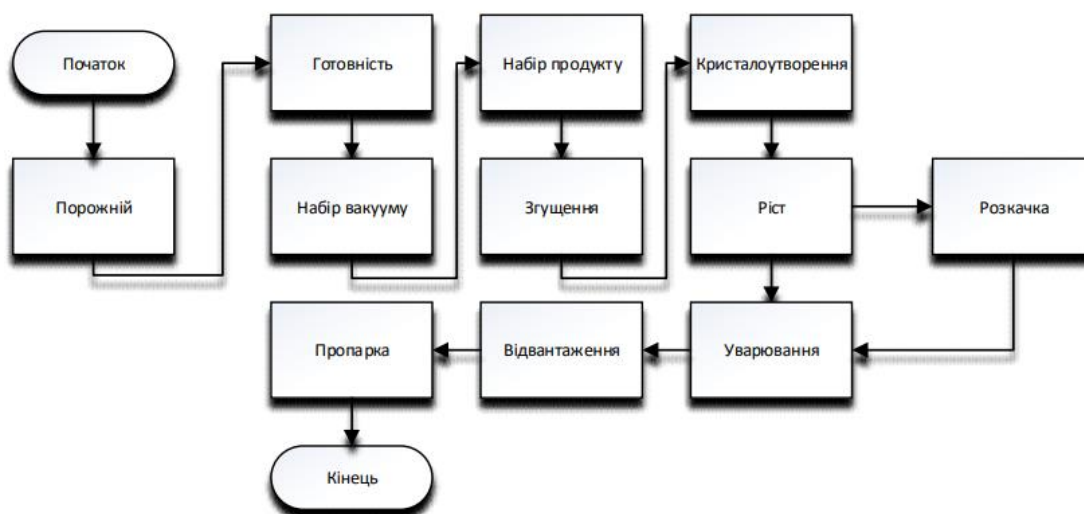


Рисунок 3.1 - Алгоритм процесу уварювання утфелів

Традиційним методом на всіх етапах процесу отримання утфелю є періодичне введення у вакуум-апарат сиропу вихідного розчину (сиропу) – так звані «підкачки». «Підкачки», окрім дискретного режиму, можуть проводитись в режимі аналогового сигналу, в якому виконавчий пристрій подає сироп не порціями, а постійно, відслідковуючи заданий параметр – густину. Але таке технічне рішення з використанням безперервно діючих виконавчих пристроїв через високу густину вихідних розчинів ускладнює алгоритм керування. Вихідним розчином являється сироп із клеровкою (так званий стандарт-сироп) та біла та зелена патоки (відтоки утфелю першого продукту, що центрифугується). Гріючою парою являється, згідно із тепловою схемою заводу, вторинна пара третього корпусу випарної станції (ВС), яка характеризується відносно низьким потенціалом (0,02– 0,04 МПа), а також частково пара наступного корпусу ВС. Уварювання утфелю відбувається під розрідженням.

Принципова схема системи автоматичного керування вакуум апаратом періодичної дії (з циркулятором) зображена на рисунку 3.2.

Вакуум апарат періодичної дії має ряд особливостей як об'єкт керування. У ньому існують перехресні зв'язки змінних та значна кількість впливів збурюючих, тому автоматичний контроль великої кількості яких є дуже складним, оскільки пов'язаний із якісним складом розчинів, що подаються та продукту у ВА. значний вплив на вихідні змінні має тиск гріючої пари, який йде як вторинний із третього корпусу випарної станції. Крім того в процесі варки вакуум-апаратів витрати граючої пари є нестабільними і залежать від стадії варки та конструктивних особливостей ВА.

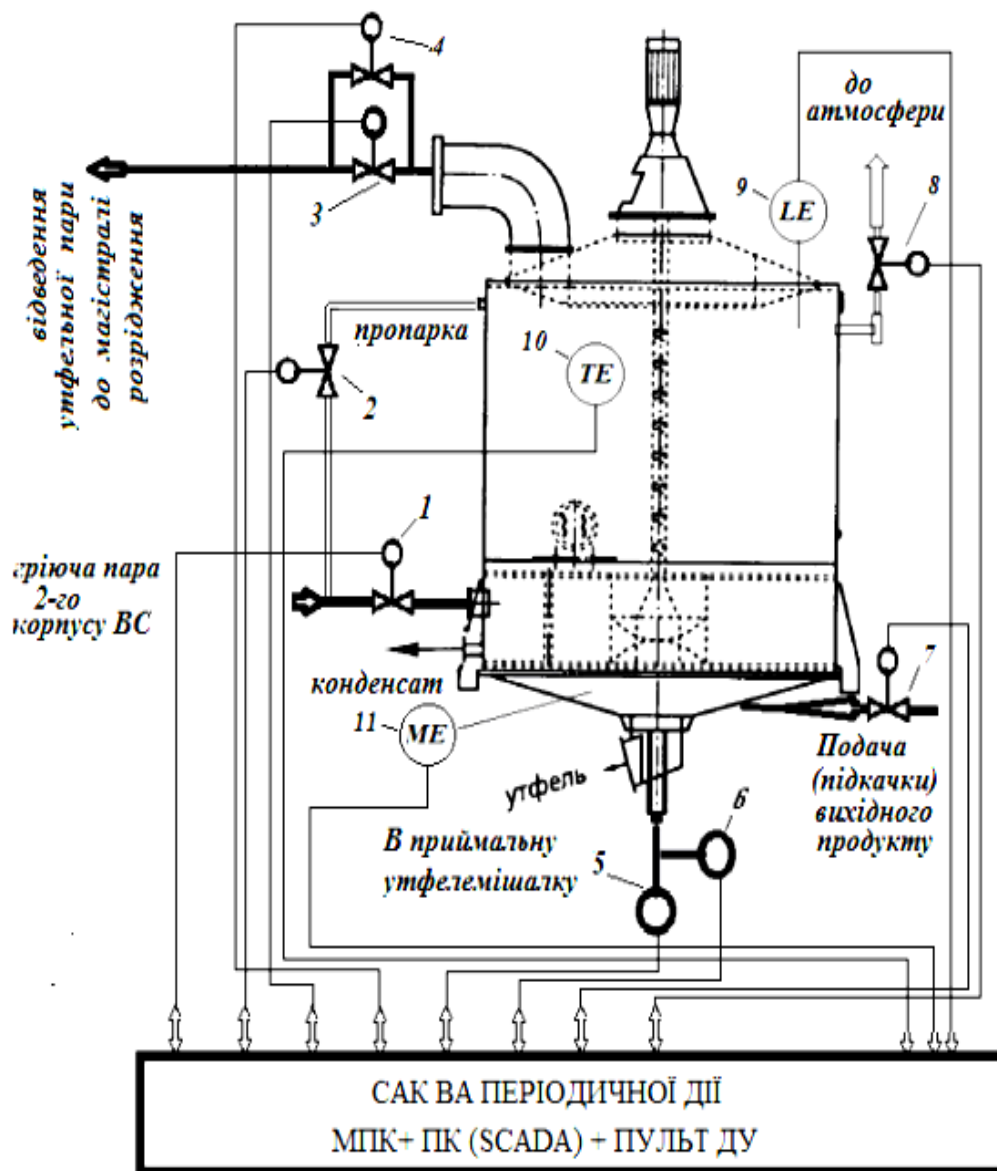


Рисунок 3.2 - Принципова схема системи автоматичного керування вакуум апаратом періодичної дії (з циркулятором): 1 - ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата; 2 - ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата; 3 - ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний); 4 - ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний); 5- ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками; 6 - ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою; 7 – Датчик рівня; 8 – Датчик температури; 9-Датчик контролю середовища (в'язкості, густини, концентрації сухих речовин).

Структурна схема системи автоматичного контролю (САК) уварювання утфелів у ВА, що включає об'єкт керування (ОК) та керуючий пристрій. САК можна представити у вигляді схеми, яка приведена на рисунок 3.3.

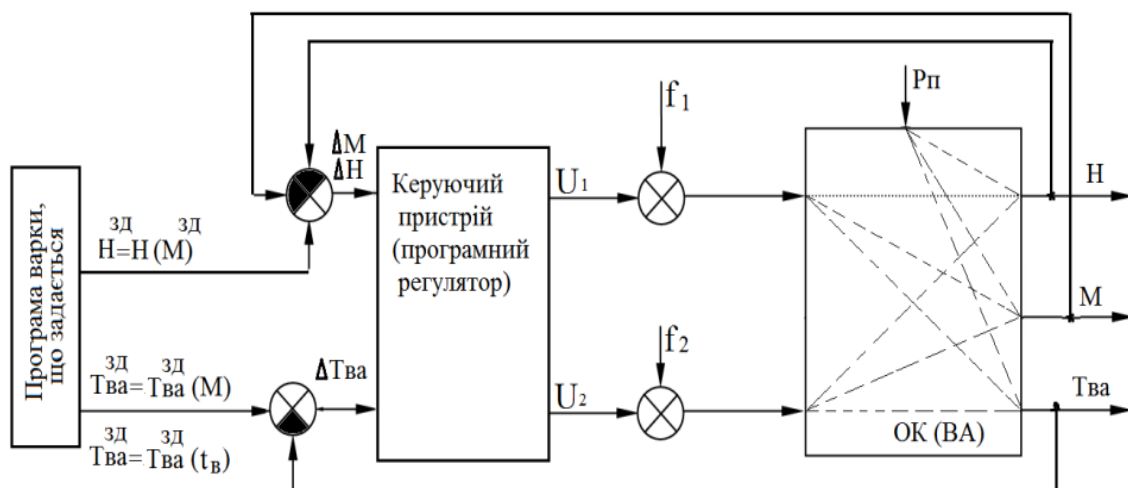


Рисунок 3.3 - Структурна схема системи автоматичного контролю уварювання утфелів: H – рівень утфелю ВА, %; M – керуючий параметр середовища (в'язкості, густини, концентрації сухих речовин); T_{va} – температура в просторі ВА, °C; P_p – тиск гріючої пари, МПа; U_1 – положення регулюючого органу, що керує подачею вихідного розчину у ВА, %; U_2 – положення регулюючого органу, що керує зв'язком простору ВА з магістраллю розрідження, %; t_v – час уварювання; f_1, f_2 – фактори неконтрольованих збурень.

Детально розглянемо алгоритм роботи вакуум-апарату першого продукту (рисунок 3.4).

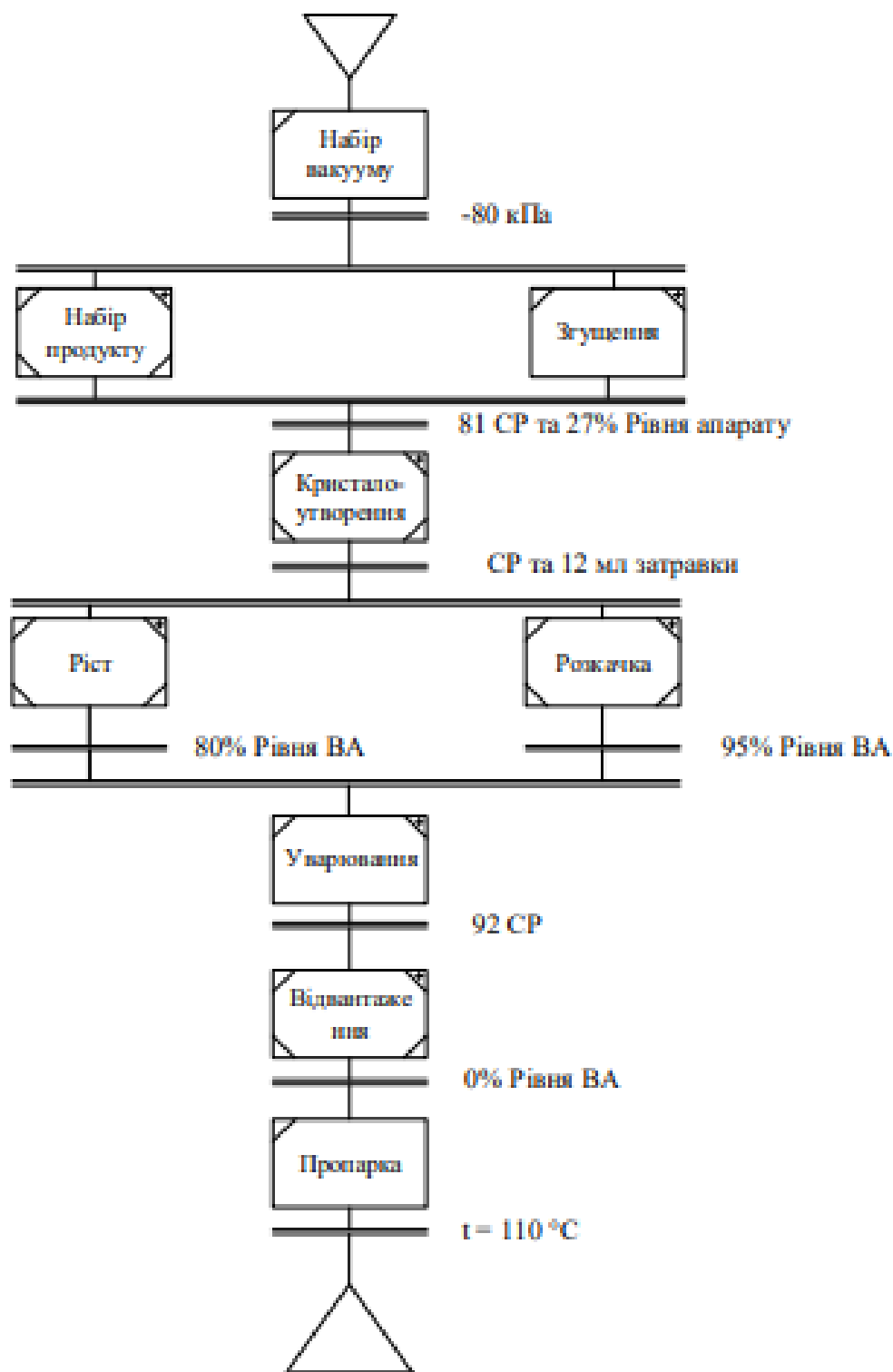


Рисунок 3.4 - Блок схема процесу варки утфелю з чисельними значеннями

Пуск в роботу розпочинається з порожнього чистого вакуум-апарату. Всі клапани повинні бути закриті, це є початковою точкою відліку роботи системи.

Стадія – готовність. Проводиться контроль відповідності положення клапанів завданню (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Режими роботи керуючих органів стадії готовності

Стадія готовність	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Закрито
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Закрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням (основний)	Закрито
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Закрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Закрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Закрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Закрито
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Закрито
Датчик рівня	Режим очікування
Датчик температури	Режим очікування
Датчик розрідження	Режим очікування
Циркуля тор	Вимкнено
Датчик контролю середовища	Режим очікування

Стадія – набір вакууму (таблиця 3.2). Клапан ВП-4 відкривається для вирівнювання тиску (розрідження) в соковій камері та комунікації вакуум-конденсаційної установки. Далі відкривається клапан ВП3 основного

розрідження. При досягненні максимально можливого розрідження стадія набору вакууму вважається завершеною. Величина розрідження ≈ -80 кПа. Величина розрідження контролюється датчиком тиску автоматично та мановакумометром візуально (рисунок 3.5).

Таблиця 3.2 – Режими роботи керуючих органів стадії готовності

Стадія – набір вакууму	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Закрито
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Закрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням	Відкрито
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Відкрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Закрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Закрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Закрито
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Закрито
Датчик рівня	Режим очікування
Датчик температури	Режим очікування
Датчик розрідження	Контроль
Циркуля тор	Вимкнено
Датчик контролю середовища	Режим очікування

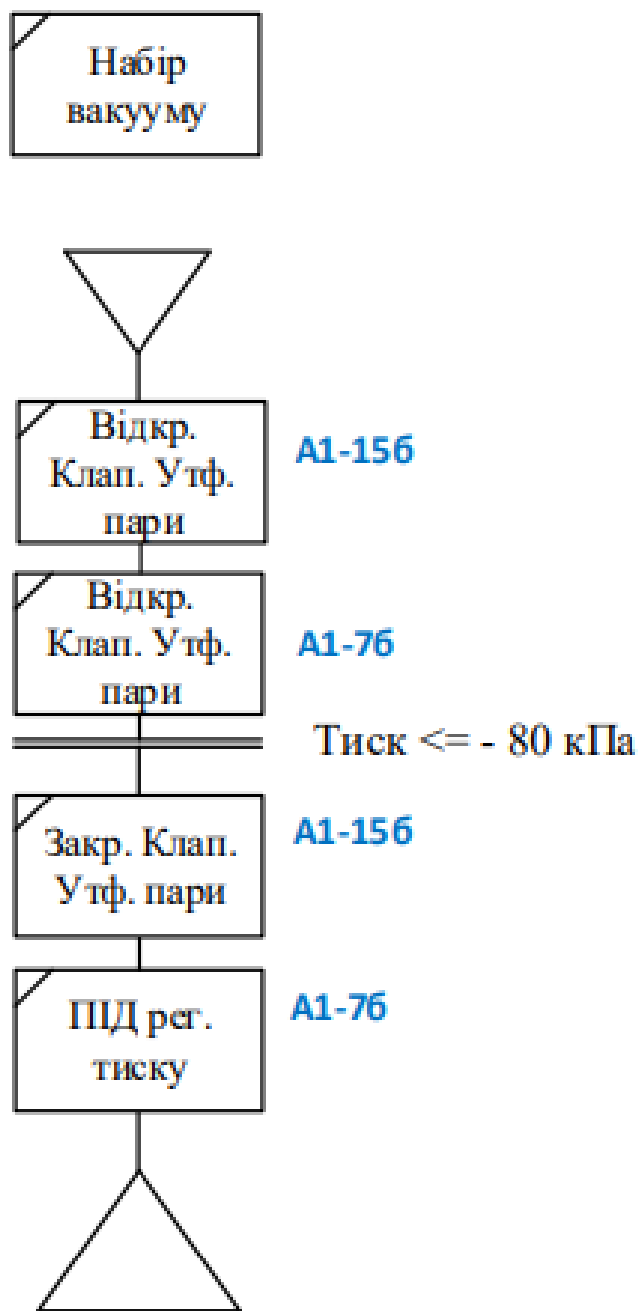


Рисунок 3.5 - Блок схема стадії набору вакууму

Стадія - набір продукту (таблиця 3.3). Набір продукту в вакуум-апарат проводиться відкриттям клапану ВП7 . Величина початкового набору задана програмно і контролюється датчиком-рівнеміром автоматично, та через оглядове скло візуально. Величина початкового набору повинна бути такою, щоб сироп покрив повністю трубну решітку парової камери вакуум-апарату. При досягненні

заданого рівня клапан ВП7 закривається. Циркуляція в вакуум-апараті підсилюється циркуля тором на заданих для цієї стадії оборотах (рисунок 3.6).

Таблиця 3.3 - Режими роботи керуючих органів стадії початкового набору

Стадія – початковий набір	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Закрито
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Закрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням (основний)	Відкрито
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Відкрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Закрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Закрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Закрито
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Закрито
Датчик рівня	Контроль
Датчик температури	Контроль
Датчик розрідження	Контроль
Циркулятор	Ввімкнено, обороти n1
Датчик контролю середовища	Контроль

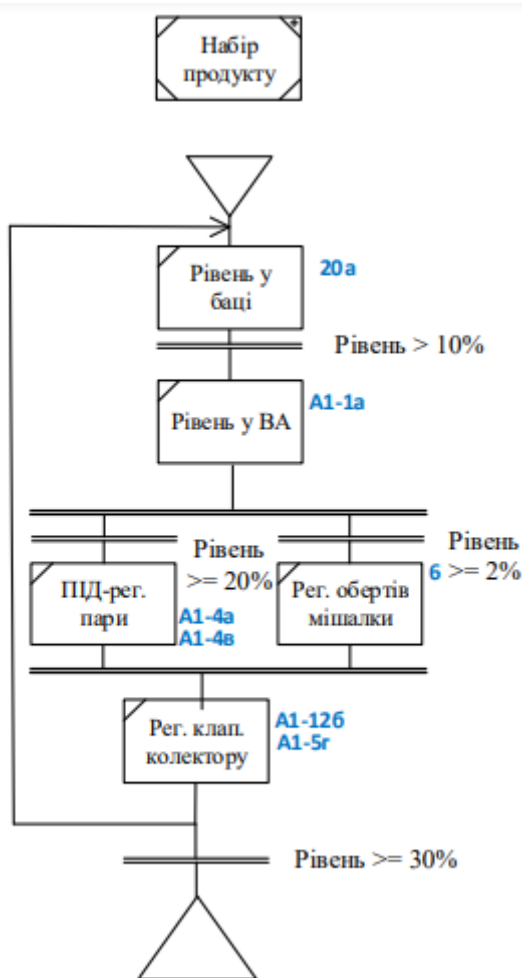


Рисунок 3.6 - Блок схема стадії набору продукту

Стадія згущення (таблиця 3.4). Клапан подачі пари в парову камеру вакуум-апарату ВП1 відкривається. Вентиль відводу конденсату повинен бути відкритий (в відсутність аварійних ситуацій відкритий постійно). Починається процес згущення. Під час процесу згущення вода випаровується і відповідно рівень сиропу зменшується. При зменшенні рівня автоматично відкривається клапан ВП7 і закривається при досягненні заданого рівня при дискретному способі управління. При аналоговому способі управління клапан ВП7 відслідковує рівень по завданню. Процес згущення сиропу контролюється датчиком, який тим чи іншим чином відображає пересичення сиропу (в'язкість, концентрацію сухих речовин, густину або провідність). Часто в системах автоматизації використовуються два з вищеперерахованих датчиків, для точності та надійності. Як тільки покази датчика досягнуть рівня, що відповідає заданому пересиченню

процес згущення вважається завершеним. Циркуляція в вакуум-апараті підсилюється циркулятором на заданих для цієї стадії оборотах (рисунок 3.7).

Таблиця 3.4 - Режими роботи керуючих органів стадії згущення

Стадія – згущення	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Відкрито
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Закрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням (основний)	Відкрито
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Відкрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Закрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Закрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Відкрито, управління
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Закрито
Датчик рівня	Контроль, управління
Датчик температури	Контроль
Датчик розрідження	Контроль
Циркулятор	Ввімкнено, обороти n2
Датчик контролю середовища	Контроль

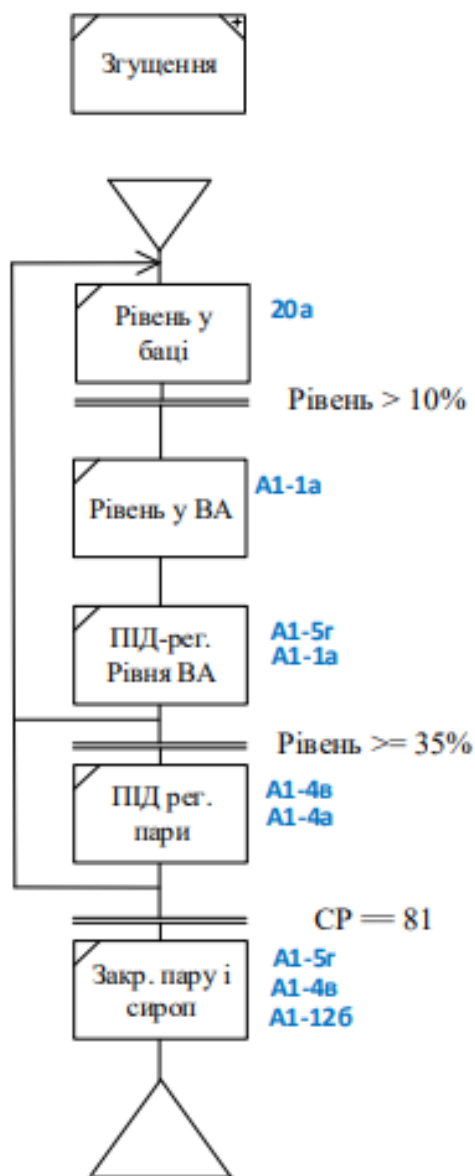


Рисунок 3.7 - Блок схема стадії набору згушення

Стадія кристалоутворення (таблиця 3.5). На початку процесу кристалоутворення через автоматичний клапан-пробовідбірник в вакуум-апарат вводиться затравка в вигляді цукрової пудри, пасти або цукрової суспензії. В порції затравки міститься певна кількість дрібних кристалів цукру розрахована на об'єм вакуум-апарату. Ці кристали стануть центрами кристалізації на яких буде виснажуватись між кристальний розчин.

В ідеалі кількість кристалів залишиться без змін до кінця варки. Чим менша кількість кристалів тим більшого розміру вони будуть. Циркуляція в вакуум-апараті підсилюється циркуля тором на заданих для цієї стадії оборотах (рис. 3.8).

Таблиця 3.5 - Режими роботи керуючих органів стадії кристалоутворення

Стадія – кристалоутворення	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Відкрито
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Закрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням (основний)	Відкрито
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Відкрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Закрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Закрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Відкрито, управління
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Закрито
Датчик рівня	Контроль, управління
Датчик температури	Контроль
Датчик розрідження	Контроль
Циркулятор	Ввімкнено, обороти п3
Датчик контролю середовища	Контроль, управління

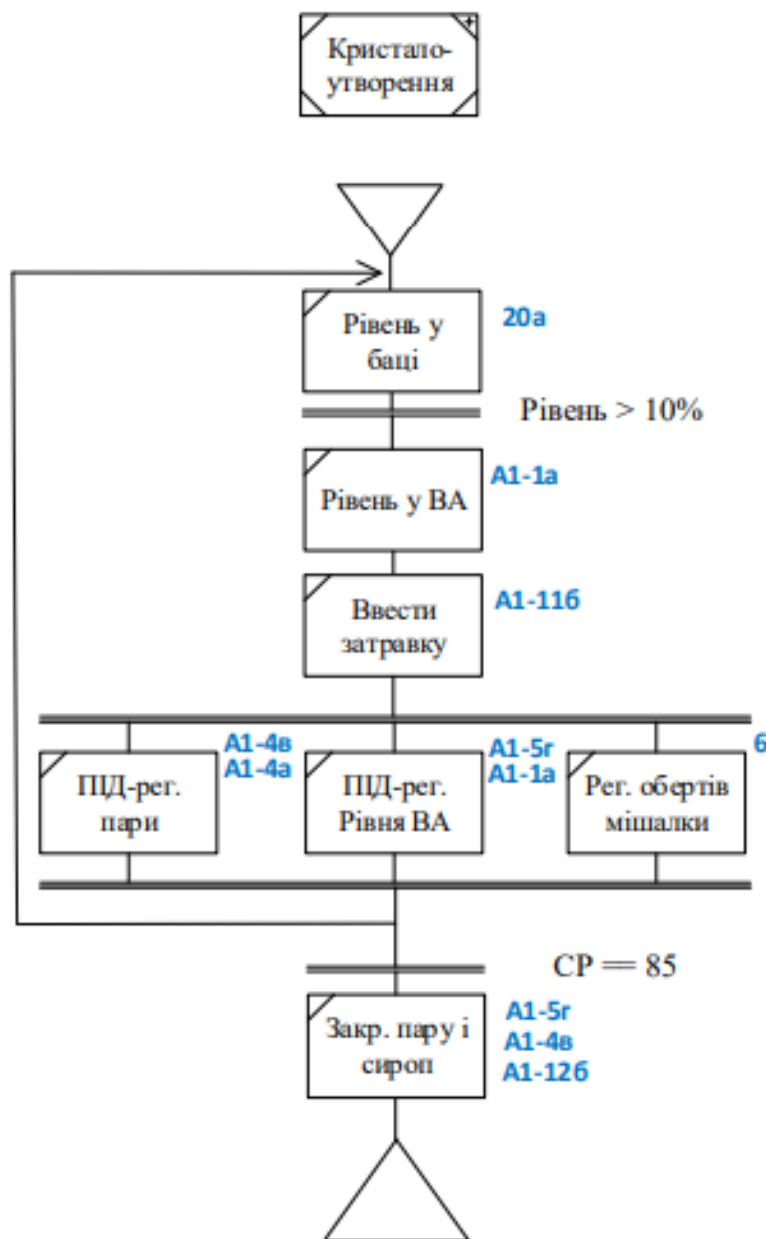


Рисунок 3.8 - Блок схема стадії кристалізації

Стадія ріст (таблиця 3.6). Положення клапанів та робота датчиків аналогічна до попередньої стадії. Крім того для підтримки пересичення та запобігання утворенню нових центрів кристалізації проходить регулювання температури грючої пари та температури в вакуум-апараті клапанами ПВ1 і ПВ3. Циркуляція в вакуум-апараті підсилюється циркуля тором на заданих для цієї стадії оборотах. Для зняття пересичення утфелю проводяться сокові або водянні розкачки. Стадія росту продовжується до заданого рівня в вакуум-апараті. Перед наступною стадією в апарат вводиться патока для зняття в'язкості (рисунок 3.9).

Таблиця 3.6 - Режими роботи керуючих органів стадії росту

Стадія – ріст	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Відкрито, управління
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Закрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням (основний)	Відкрито, управління
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Відкрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Закрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Закрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Відкрито, управління
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Закрито
Датчик рівня	Контроль, управління
Датчик температури	Контроль, управління
Датчик розрідження	Контроль ,управління
Циркулятор	Ввімкнено, обороти n4
Датчик контролю середовища	Контроль , управління

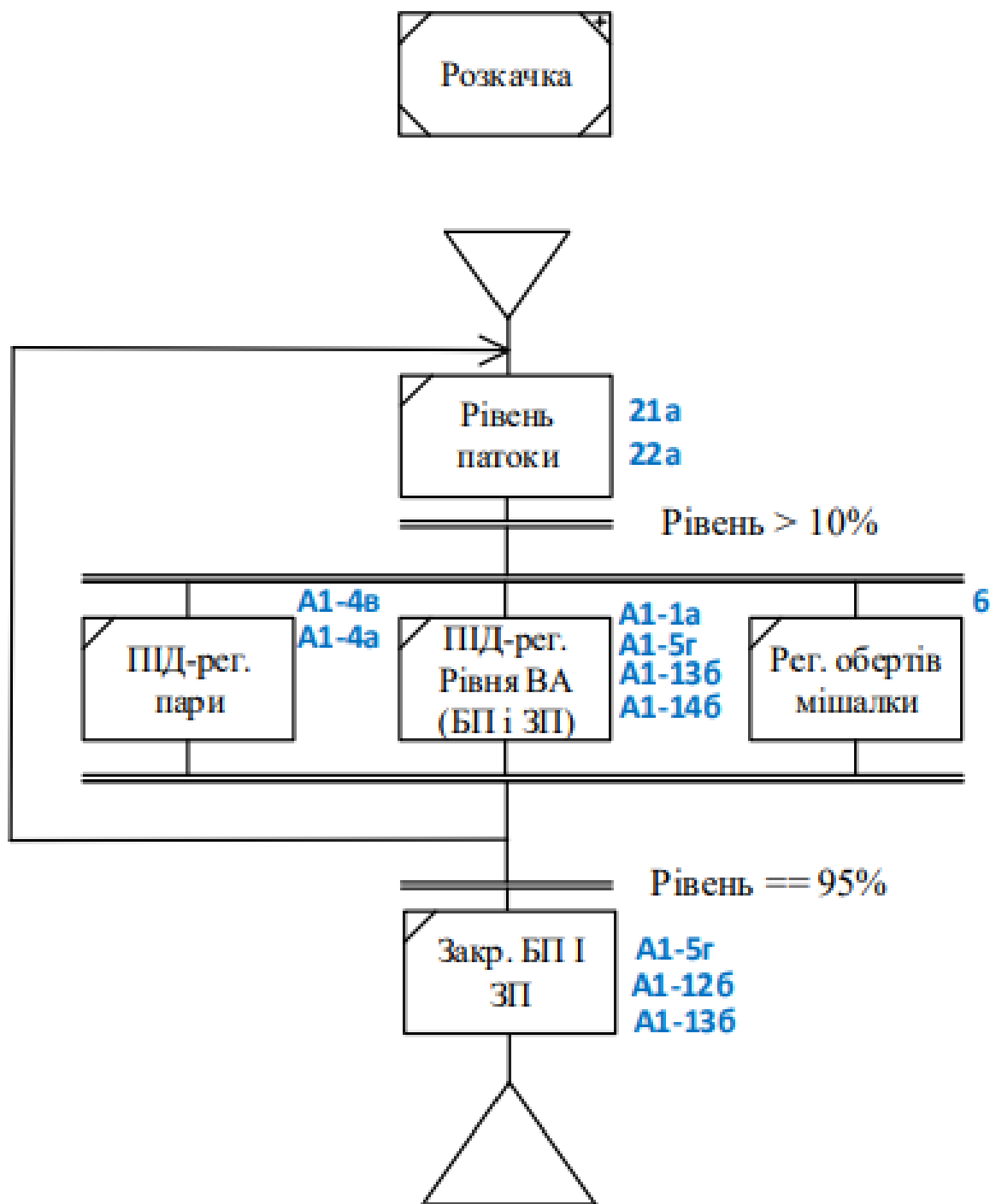


Рисунок 3.9 - Блок схема стадії розкачки

Стадія вивантаження (таблиця 3.7). Ця стадія розпочинається з відключення подачі пари в парову камеру. Клапан ПВ1 закривається. Закривається клапан основного розрідження ПВ3. Вимикається циркуля тор. Відкривається клапан ПВ8 зв'язку сокової камери з атмосферою. Відкриваються допоміжний та основний клапани вивантаження ПВ5 і ПВ6 (рисунок 3.10).

Таблиця 3.7 - Режими роботи керуючих органів стадії вивантаження

Стадія – вивантаження	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Закрито
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Закрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням (основний)	Закрито
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Закрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Відкрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Відкрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Закрито
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Відкрито
Датчик рівня	Контроль
Датчик температури	Режим очікування
Датчик розрідження	Режим очікування
Циркуля тор	Вимкнено
Датчик контролю середовища	Режим очікування

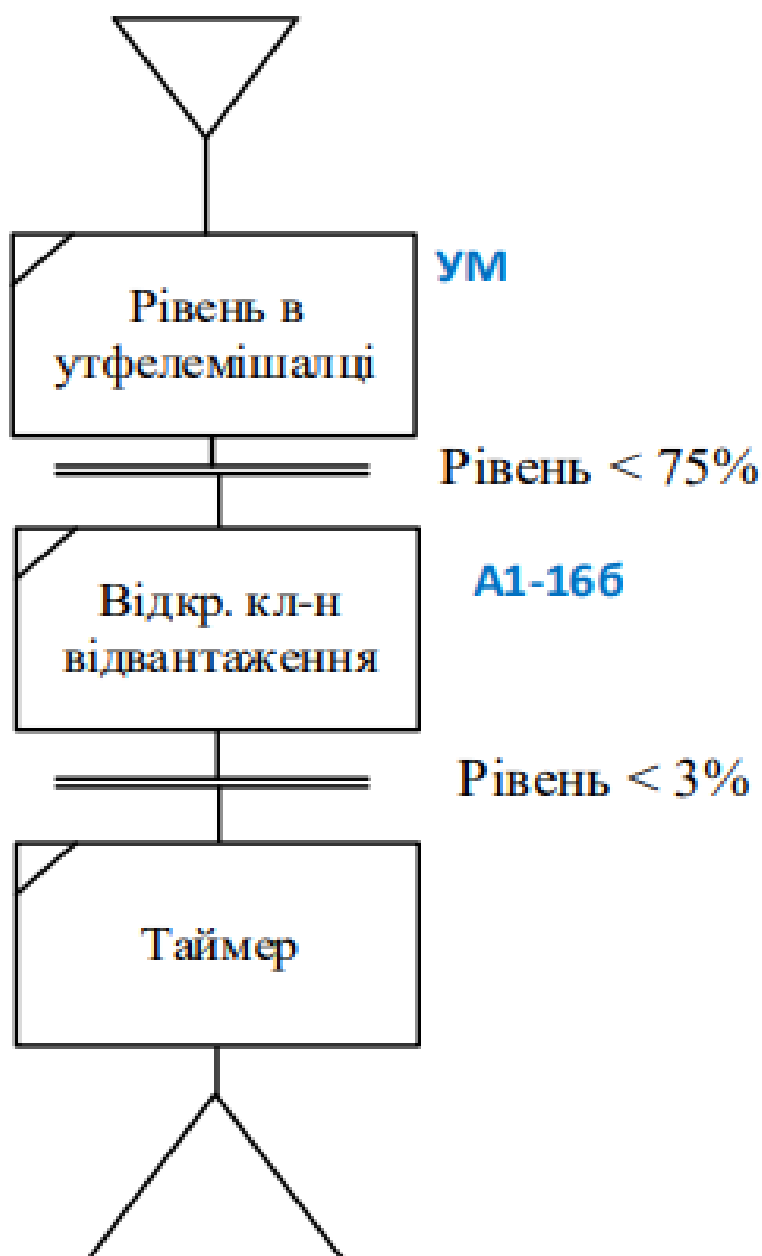


Рисунок 3.10 - Блок схема стадії вивантаження

Стадія пропарки (таблиця 3.8). Пропарка застосовується для повного очищення сокової камери вакуум-апарату від залишків кристалів, щоб в наступній варці запобігти неконтрольованому кристалоутворенню. При відкритих допоміжному та основному клапанах вивантаження ПВ5 і ПВ6 відкривається клапан ПВ2. Клапан знаходиться в відкритому положенні на заданий період часу. Після цього всі відкриті клапани закриваються і вакуум-апарат переходить в стадію готовності (рисунок 3.11).

Таблиця 3.8 - Режими роботи керуючих органів стадії вивантаження

Стадія – пропарка	
ВП1 виконавчий пристрій подачі пари в парову камеру вакуум-апарата	Закрито
ВП2 виконавчий пристрій подачі пари на пропарку над сокової камери вакуум-апарата	Відкрито
ВП3 виконавчий пристрій керування розрідженням (основний)	Закрито
ВП4 виконавчий пристрій керування розрідженням (попереднє розрідження)	Закрито
ВП5 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (основний)	Відкрито
ВП6 виконавчий пристрій керування випуском утфелю (допоміжний)	Відкрито
ВП7 виконавчий пристрій керування підкачками	Закрито
ВП8 виконавчий пристрій зв'язку надсокового простору з атмосферою	Закрито
Датчик рівня	Режим очікування
Датчик температури	Контроль
Датчик розрідження	Режим очікування
Циркуля тор	Вимкнено
Датчик контролю середовища	Режим очікування

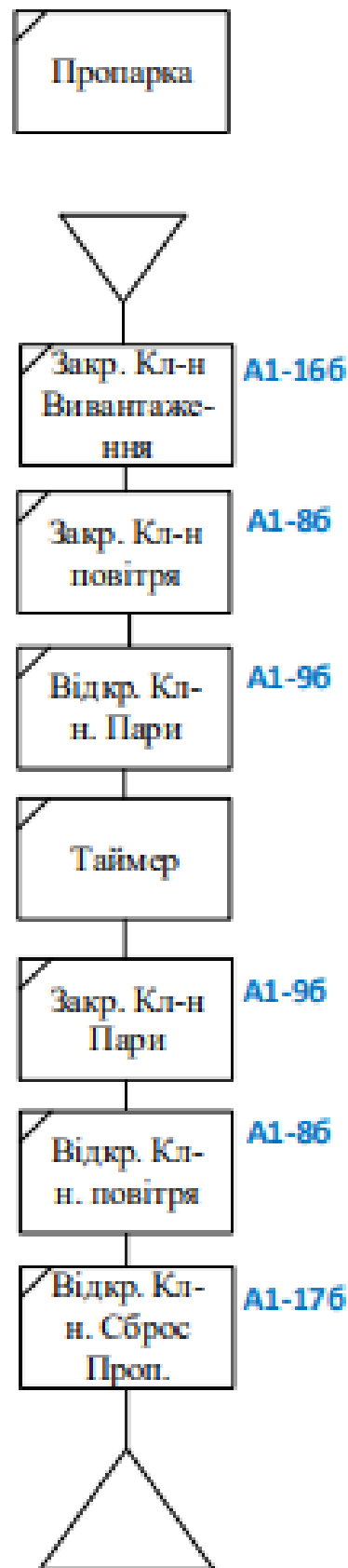


Рисунок 3.11 - Блок схема стадії пропарки

3.2 Дифузійно-кінетична модель процесу

Розглянемо приклад автоматизації кристалізації цукру, що базується на дифузійно-кінетичній моделі процесу. Автоматика варіння утфелю має обмежену кількість основних стадій процесу:

- згущення розчину до заводки кристалів;
- заводка кристалів;
- ріст кристалів;
- уварювання утфелю.

Вихідними даними для моделювання процесів є

- температурний режим в апараті: $T\{P_1, P_2, t\}$ - набір вимірюваних даних, де P_1 - абсолютний тиск пари, що гріє; P_2 - абсолютний тиск в апараті; t – температура розчину в апараті;
- рівень розчину в апараті - h ;
- параметр (комплекс параметрів), що характеризує властивості розчину C_p , що оцінюється коефіцієнтом пересичення α , вимірюється непрямим способом фізико-хімічної температурної депресії або електропровідності і в'язкості сиропу.

Умови:

- $\alpha = 1,00$ – насичений розчин сахарози (кристал не росте і не розчиняється);
- $1,0 < \alpha \leq 1,15$ - метастабільний розчин (кристали цукру ростуть, нові кристали не утворюються);
- $\alpha \geq 1,2$ - лабільний стан розчину (кристали цукру ростуть, утворюються нові кристали).

У наборі показань $\{T, h, C_p\}$ пріоритет у визначенні станів та етапів має параметр C_p .

Нехай $J = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ - вхідний набір керуючих впливів.

Графік моделі процесу, що з чотирьох стадій, наведено на рис. 1 (для випадку уварювання утфелю з сиропу при $СВ \text{ сир} \leq 65\%$).

Стадія 1 – згущення сиропу характеризується станами:

q_0 – початковий стан – ненасичений розчин;

q_1 - стабільний або метастабільний стан розчину ($1,00 < \alpha \leq 1,20$);

q_2 - пересичений лабільний розчин ($\alpha = 1,25$);

q_3 - сильно пересичений розчин ($\alpha > 1,25$).

Вхідний набір першого етапу складається з одного елемента $J_{12} = \{i_1\}$, де i_1 - подача пари в апарат.

Стадія 2 - кристалоутворення, стани:

q_1, q_2, q_3 - можливі початкові стани;

q_4 - сироп в апараті з готовими кристалами;

q_5 - сироп в апараті з кристалами, що зародилися, або з кристалами пасти затравки.

Вхідний набір для другої стадії складається з трьох елементів $J_{II} = \{i_1, i_2, i_3\}$, де i_2 - введення затравки (пудри або суспензії кристалів, або пасти); i_3 - підкачування сиропу, закріплення кристалів (зростання до середнього розміру 0,3 мм).

Стадія 3 – зростання кристалів, стану:

q_4, q_5 – можливі початкові стани;

q_6 - можливе виникнення вторинних кристалів;

q_7 – кристалізація без виникнення вторинних кристалів.

Вхідний набір для третьої стадії варіння утфелю: $J_{III} = \{i_1, i_3, i_4\}$, де i_4 - підкачування білого відтоку в апарат.

Стадія 4 - згущення утфелю (відварювання) до заданого вмісту сухих речовин, стану:

q_6, q_7 - можливі початкові стани;

q_8 - згущений утфель з нерівномірними кристалами ($СР > 92,5\%$);

q_9 - згущений утфель із заниженим вмістом сухих речовин ($СР_u = 92,0\%$);

q10 - згущений утфель із рівномірними кристалами.

Всі стадії та мережевий графік ходу процесу варіння утфелю показаний на рисунку 3.12.

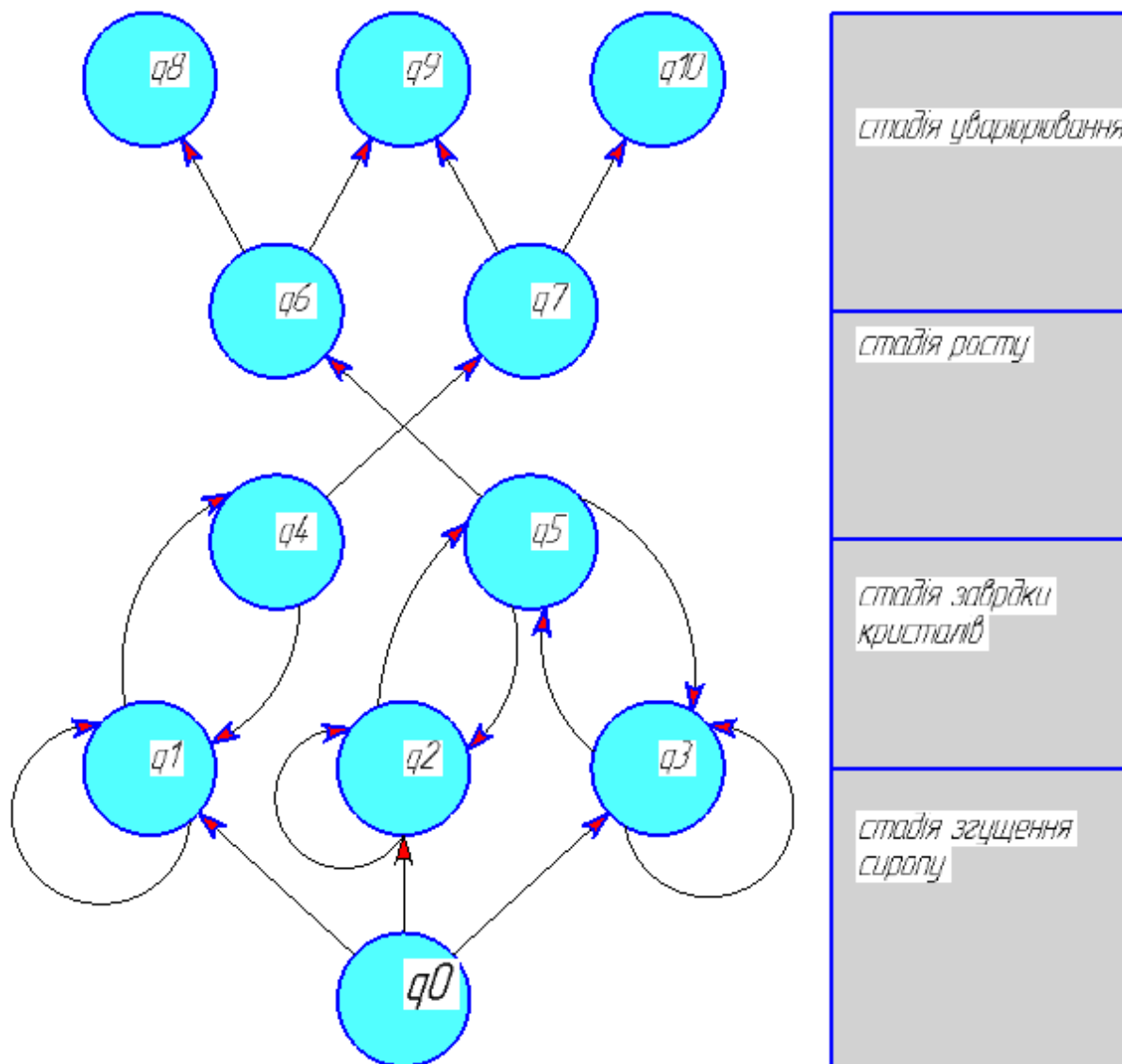


Рисунок 3.12 - Мережевий графік ходу процесу варіння утфелю

Вхідний набір для четвертої стадії варіння утфелю складається з одного елемента: $JIV = \{i1\}$.

Таким чином, запропонований підхід до вирішення завдань управління процесом на основі моделей стадій процесу варіння утфелю вирішується як у плані вибору впливів, що управляють, так і в плані реалізації переходу від стадії до стадії при неповній інформації про стан об'єкта.

Також важливо узгодити взаємодію всіх відділень зв'язаних з вакуум-апаратами, а випарної станції, станції центрифугування, сушки, контролювати рівень в збірниках сиропу, білої патоки, зеленої патоки, приймальній мішалці, адже вакуум-апарат повинен вивантажуватись в порожню мішалку інакше доведеться утримувати апарат підкачками аміачної води, а це - зайві витрати електроенергії та тепла пари.

На Рис 3.2.2 показана схема комунікації відділення кристалізації з іншими об'єктами.

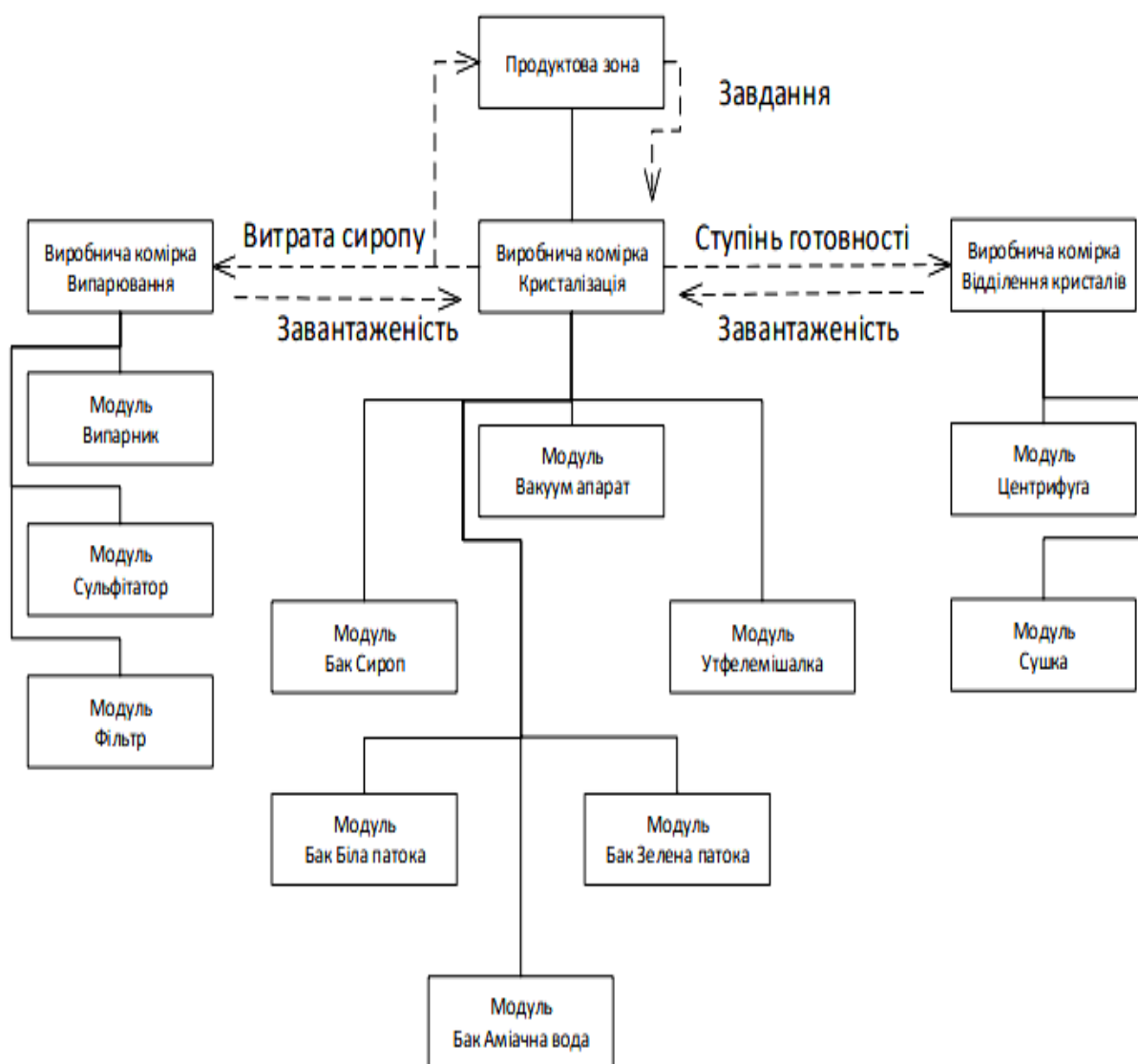


Рисунок 3.13 - Схема комунікації відділення кристалізації з іншими об'єктами

Висновки до третього розділу

Покращений контроль випарної кристалізації, особливо на початку процесу варіння, важливий для більшого виходу кристалів, покращення якості цукру та скорочення енергоспоживання. Спосіб запобігання небажаному зародженню центрів кристалізації завдяки автоматизації виявляється успішним. Для цукрових заводів автоматизація вакуум-апаратів є важливим кроком на шляху до повної автоматизації виробництва цукру.

До цього часу неможливо формалізувати вирішення завдання управління процесом кристалізації цукру в апараті періодичної дії, хоча є ряд математичних моделей процесу та описів кінетики кристалізації цукру. Крім того, відсутність технічних засобів для вимірювання пересичення нечистих цукрових розчинів ще більше ускладнює завдання. Така відповідальна стадія, як заводка кристалів, досі практично не вдосконалюється.

Надійний і точний контроль середовища (пересичення) дозволяє більш ефективно вести процес варіння утфелів з використанням автомата варіння, що функціонує по стадіях: стабілізація обсягу початкового набору апарату, згущення до введення центрів кристалізації, введення центрів кристалізації, «закріплення кристалів», ріст кристалів з підкачуванням сиропу, ріст кристалів з підкачуванням білого відтоку, уварювання утфелю.

Крім того, перехід від стадії до стадії має «розмитий» характер через відсутність точних значень пересичення розчину.

Тому простий, точний метод вимірювання густини розчину з розповсюджених, надійних елементів являється дуже важливим в процесі автоматизації варки утфелю в вакуум-апаратах.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

4.1 Суть порівняльного методу вимірювання густини

Для вимірювання густини утфелів в вакуум-апаратах пропонується метод не прямого вимірювання.

Суть його полягає в вимірюванні висоти стовпа рідини двома різними методами: вимірювання висоти стовпа рідини манометричним методом, та вимірювання висоти стовпа рідини ємнісним датчиком. На Рис. 4.1.1 зображено структурну схему вимірювання.

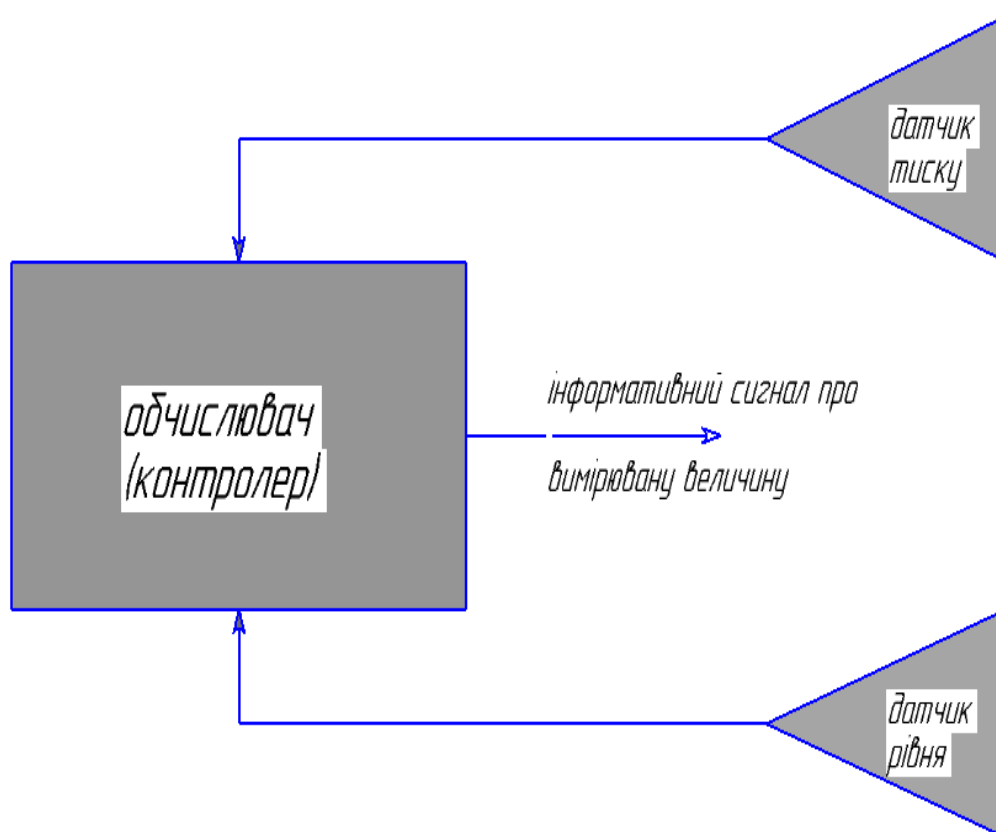


Рисунок 4.1 – Структурна схема вимірювання

Якщо датчиками тиску і рівня проводяться заміри одного і того ж середовища і цим середовищем являється вода, то їх покази відносно один одного будуть істинними.

Якщо вимірюваним середовищем буде, наприклад, цукровий сироп, густиною 1,45 кг/дм³, то показники манометричного датчика будуть більшими, ніж показники ємнісного датчика.

Ця різниця буде характеристикою густини вимірюваного середовища.

Далі показники (сигнали) датчиків необхідно подати на обчислювач, який переведе абсолютну різницю показів в прийнятний для сприймання та управління результат в заданих одиницях густини.

4.2 Вибір обладнання для реалізації порівняльного методу вимірювання густини

4.2.1 Аналіз доступних варіантів та підбір датчика тиску

Методи вимірювання тиску:

- 1) Тиск можна визначити як висоту рідини з завідомо відомою густиною.

Значення тиску можна легко обчислити використовуючи рівняння $P = \rho H$. Такі типи вимірювальних приладів називають манометрами. Для вимірювання висоти рідини в посудині може бути використана шкала з одиницями вимірювання відстані, також як і відкалібрована шкала тиску. Рідиною, як зазвичай, у цих посудинах використовується ртуть чи вода. Вода використовується, коли ви хочете досягти більш високої чутливості (густина води значно менше, ніж густина рідкої ртуті, так що висота стовпа води більше змінюватиметься при зміні тиску). Ртуть використовується, вимірюються вищі значення тиску, але з меншою чутливістю.

- 2) Пружна деформація

Цей метод вимірювання тиску базується на принципі, який стверджує, що тиск, що прикладається прямо пропорційний ступені деформації пружного

матеріалу. Для цього методу в основному використовуються три типи датчиків: діафрагми, трубки Бурдона та сильфони.

3) Електричні методи

Електричні методи вимірювання тиску, засновані на принципі, що зміна розміру впливає на електричний опір провідника. Пристрої для вимірювання тиску, вимірюючи зміни опору називають тензодатчиками. Також існують інші електричні датчики: індуктивні, ємнісні, потенціометричні магнетоопори (Холла), п'єзометричні і п'єзорезистивні перетворювачі.

Існує багато різних датчиків тиску, що найбільше підходять для конкретного процесу. Їх зазвичай можна розподілити на кілька категорій, а саме: пружні датчики, електричні перетворювачі, датчики диференціального тиску та датчики тиску вакууму. Нижче представлені категорії, кожна з яких містить унікальні внутрішні компоненти, що більш підходять під використання в конкретній ситуації.

1) Пружні датчики

Більшість датчиків тиску рідини мають пружну структуру, де рідина поміщена у невеликий відсік щонайменше з однією пружною стінкою. При використанні даного методу показники тиску визначаються шляхом вимірювання відхилення цієї еластичної стінки, представляючи результат безпосереднім відліком через відповідні зв'язки, або через електричні сигнали. Пружні датчики тиску дуже чутливі, вони досить тендітні і схильні до вібрації. Крім того, вони, як правило, значно дорожчі, ніж манометри, і тому в основному використовуються для передачі вимірних даних та вимірювання різниці тисків. Теоретично можна використовувати досить широкий спектр пружних елементів пружних датчиків тиску. Більшість пристроїв використовують ту чи іншу форму трубки Бурдона або діафрагми.

2) Трубки Бурдона

Принцип, на якому працюють трубки Бурдона - тиск, що подається всередину трубки, викликає пружну деформацію еліптичного або овального перерізу трубки у бік кола, яка викликає появу напруги в поздовжньому

напрямку, що змушують трубку розгинатися, а вільний кінець трубки переміщатися. Система передач та важелів перетворює цей рух та повертає стрілку, що показує тиск щодо круглої шкали. Діапазон вимірювання такого датчика становить – від 10 Па до 1000 МПа. Трубки Бурдона вимагають мінімального технічного обслуговування, однак вони можуть бути використані тільки для статичних вимірювань і мають низьку точність.

Матеріалом для трубок Бурдона може бути латунь, бронза, сталь. Залежно від конструктивного виконання трубчасті пружини можуть бути одно- та багатовиткові, S-подібні тощо. Поширені одновиткові трубчасті пружини, для використання в манометрах, які призначені для вимірювання тиску рідин та газів, а також таких типів манометрів як глибиномір. Датчики С-типу можуть бути використані в діапазонах тисків, що наближаються до 700 МПа; вони мають мінімальний рекомендований діапазон тиску - 30 кПа (тобто вони недостатньо чутливі для вимірювання різниці тисків менше ніж 30 кПа).

3) Сильфони

Сильфони мають циліндричну форму та містять багато складок. Вони можуть деформуватися в осьовому напрямку при зміні тиску (стиснення або розширення). Тиск, що вимірюється, прикладається до однієї з сторін сильфона, тоді як на протилежну сторону діє атмосферний тиск. Абсолютний тиск може бути виміряний шляхом відкачування повітря із зовнішнього або внутрішнього простору сильфона, а потім вимірюванням тиску на протилежному боці. Сильфон може бути підключений тільки до перемикачів, що вмикають / вимикають, або до потенціометра і використовується при низьких тисках, <200 Па з чутливістю 1,2 Па.

4) Мембрани (Діафрагми)

Мембрани виготовляються з круглих металевих дисків або гнучких елементів, таких як гума, пластик чи шкіра. Вибір матеріалу, з якого виготовлена мембрана залежить від того, як використовуються властивості пружності цього матеріалу. Мембрани дуже чутливі до різких змін тиску. Мембраною виготовленої з металу можна виміряти максимальний тиск дорівнює приблизно 7

МПа, а мембраною використовує пружний тип матеріалу можна вимірювати надзвичайно низький тиск (0,1 кПа - 2,2 МПа) при підключенні до ємнісних перетворювачів або датчиків перепаду тиску. Діафрагми бувають плоскі, гофровані та капсульного типу. Як зазначалося раніше, мембрани дуже чутливі (0,01 МПа). Вони можуть вимірювати дрібні різниці тиску на дуже маленькому діапазоні або великі перепади тиску (наближаючись до максимального діапазону 207 кПа).

Мембрани дуже універсальні - вони зазвичай використовуються в дуже агресивних середовищах або ситуаціях з екстремальними надлишковими тисками.

5) Електричні датчики

Сьогодні датчики не обов'язково підключаються тільки до стрілочних показників відображення тиску, але також можуть служити для перетворення тиску в електричний або пневматичний сигнал, який може бути переданий в диспетчерську, в якій проводиться зчитування та визначення тиску.

Типи електричних датчиків:

а) Ємнісні датчики

Ємнісний датчик складається з паралельних пластин - конденсаторів, з'єднаних з діафрагмою, яка зазвичай металева і піддається тиску сил, що беруть участь у процесі з одного боку та опорним тиском на іншій стороні. Електроди прикріплені до мембрани та отримують живлення від генератора високої частоти.

Електроди відчують будь-яке переміщення діафрагми, і це впливає на зміну ємності пластин-конденсаторів. Зміна ємності спричиняє зміну напруги відповідно до зміни тиску. Даний тип датчика може працювати в діапазоні від 2,5 Па - 70 МПа з чутливістю 0,07 МПа.

б) Індуктивний датчик тиску

Індуктивні датчики тиску у поєднанні з діафрагмою або трубкою Бурдона. Феромагнітний сердечник прикріплений до пружного елемента і має первинну та дві вторинні обмотки. Струм подається на первинну обмотку. Коли сердечник по центру та ж напруга буде індукуватися до двох вторинними обмотками. Коли

осердя переміщається під впливом тиску, відношення напруги між двома вторинними обмотками змінюється. Різниця напруги пропорційна зміні тиску.

Струм в іншій котушці, який вимірюється та виражає вимірюване значення струму в одиницях тиску.

Такі датчики можуть бути використані з будь-яким пружним елементом (хоча, як правило, використовуються у поєднанні з діафрагмою або трубкою Бурдона). Читання значення створюваного тиску визначатиметься калібруванням напруги. Таким чином, діапазон тиску, в якому може бути використаний цей датчик, визначається відносно пружного елемента, але лежить в діапазоні від 250 Па - 70 МПа.

с) Датчики тиску, засновані на принципі магнетоопору

Датчики тиску, засновані на принципі магнетоопору, також мають феромагнітний сердечник. При зміні тиску гнучкий елемент переміщує феромагнітну пластину, що призводить до зміни магнітного потоку ланцюга, яке може бути виміряно. Ситуації, в яких можна було б використовувати електричний елемент, це ситуація, в якій індуктивний датчик не генерує досить точне вимірювання. Діапазон тиску для цього методу становить від 250 Па до 70 МПа з чутливістю 0,35 МПа.

d) П'єзоелектричні датчики

П'єзоелектричні датчики використовують датчик – кристал. Коли тиск прикладається до кристала, він деформується та створюється невеликий електричний заряд. Вимірювання електричного заряду пропорційне зміні тиску. Цей тип датчика має дуже швидкий час відгуку на постійні зміни тиску. Подібно до датчика тиску заснованого на принципі вимірювання магнетоопору, п'єзоелектричний елемент дуже чутливий, але реагує набагато швидше. Таким чином, якщо час має суттєве значення, п'єзоелектричний датчик буде пріоритетним до використання. Діапазон тиску датчиків такого типу становить 0,021 – 100 МПа з чутливістю 0,1 МПа.

e) Потенціометричні датчики

Потенціометричні датчики мають важіль, механічно прикріплений до пружного датчика тиску. При зміні тиску, деформується пружний елемент, в результаті чого змушує важіль рухатися вперед або назад по потенціометр і таким чином знімаються показання опору. Ці чутливі елементи належать до оптимального робочого діапазону, але обмежені багатьма факторами. Таким чином вони є датчиками нижнього рівня, які не використовуються занадто часто. При низькій чутливості та робочому діапазоні, вони можуть найкраще підійти як дешевий детектор даючи грубу оцінку. Діапазон тиску 0,035 – 70 МПа з чутливістю 0,07 – 0,35 МПа.

f) Тензометричний датчик

Тензометричний датчик виявляє зміни тиску шляхом вимірювання зміни опору мостової схеми Уїтстона. Загалом, ця схема використовується для визначення невідомого електричного опору, врівноважуючи дві секції мостової схеми, так що відношення опорів в одній секції було таким же, як і в іншій секції, повертаючи нуль гальванометра в центр шкали. Одна з секцій містить невідомий компонент, опір якого має бути визначений, тоді як інша секція містить резистор з відомим опором, який можна регулювати. Схема мосту Уїтстона показана нижче:

Тензодатчик переміщує чутливі елементи кожному з резисторів і вимірює зміни опору кожного резистора під впливом зміни тиску. Опір визначається рівнянням $R = \rho \frac{L}{A}$, де ρ = питомий опір провідника, L = довжина провідника, і A = площа поперечного перерізу провідника. Зміна тиску або подовжуватиме, або стискатиме провідник, отже, датчик стиснення необхідно на одному резисторі, а датчик подовження на іншому. Щоб контролювати вплив температури (провідник буде також подовжуватися, або стискатися через зміну температури), вільний датчик потрібно розмістити на інших двох резисторах. Ці датчики часто є одним із типів напівпровідника (N-тип або p-тип). Таким чином, чутливість таких датчиків значно більша, ніж чутливість їх металевих аналогів, проте з більшою чутливістю приходить вужчий функціональний діапазон: температура повинна залишатися постійною, щоб отримати дійсне значення. Ці датчики сильно

залежать від змін температури (на відміну інших типів електричних компонентів). Діапазон тиску 0 – 1400 МПа з чутливістю 1,4 – 3.5 МПа.

g) Датчики диференціального тиску

Датчики диференціального тиску використовуються з різними видами датчиків, у яких вимірювання тиску є результатом різниці тисків. Датчик перепаду тиску перетворює різницю тисків в електричний сигнал. Вони часто використовуються для виявлення невеликих перепадів великого тиску.

Діапазон вимірюваного тиску та чутливість датчика диференціального тиску залежить від електричних та пружних компонентів, що використовуються у самому датчику.

h) Вакуумні датчики

Такі датчики можуть вимірювати надзвичайно низький тиск або вакуум, посилаючись на тиск нижче атмосферного.

i) Теплові вакуумметри

Принцип використання у цьому типі датчиків полягає у зміні газової теплопровідності під впливом тиску. Однак через відхилення від ідеальної поведінки газу, в якому зв'язок між цими двома властивостями лінійна, датчики такого роду, які також називаються датчиками Пірані, можуть бути використані тільки при низьких тисках, в діапазоні (0.4E-3 до 1.3E-3) МПа. Це дуже чутливі елементи. Вони можуть виявляти зміни тиску 6E-13 МПа.

У цих датчиках спіральна нитка проводить струм, що нагріває котушку. Зміна тиску змінює швидкість теплопередачі від нитки розжарення, тим самим змушуючи змінюватись її температуру. Ці зміни в температурі можуть бути виявлені за допомогою термопар, які також підключені до ниток розжарення - частин мостової схеми Уїтстона.

j) Прилади іонізації

Існує дві категорії для цих типів датчиків: з гарячим катодом та з холодним катодом. Для датчиків з гарячим катодом електрони випускаються нагрітими нитками, в той час як для датчиків з холодним катодом електрони звільняються від катода в результаті зіткнення іонів. Електрони вдаряють молекули газу, що

надходить датчик, формуючи позитивні іони, які збираються і викликають перебіг іонного струму. Кількість утворень катіона пов'язана з щільністю газу і, отже, тиску, що пропорційно вимірюється, а також, так як використовується постійний струм електронів, отже, іонний струм є мірою тиску газу. Обидва типи датчиків є високочутливими пристроями і найбільше підходить для вимірювання дробових часток тиску. Датчики з гарячим катодом ще чутливіші, ніж датчики з холодним катодом і здатні вимірювати тиск близько 10^{-8} Па. Їхній діапазон чутливості коливається від $1E-16$ до $1E-13$ МПа.

Порівняння параметрів різних типів датчиків можна розглянути у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Порівняння параметрів різних типів датчиків тиску

Тип елемента	Діапазон тиску	чутливість	переваги	недоліки
Трубка Бурдона	0,1...700 МПа	0,03 МПа	Портативність, низькі експлуатаційні затрати	Статичні вимірювання, низька точність
Сільфони	<0,2 МПа	0,0012 МПа	Може використовуватись на низьких тисках.	Може під'єднуватись тільки до двопозиційного перемикача або потенціометра.
Діафрагми	0,1...2,2 МПа	0,01 МПа	Швидкий час відгуку, висока точність, добра лінійність, може	Занадто висока ціна.

Таблиця 4.1 – Продовження таблиці

Ємнісні	2,5 Па – 70 МПа	0,07 МПа	Використовують для виміру низьких тисків і вакууму, міцна конструкція	Ємнісні пластини можуть злипатись в процесі експлуатації.
Індуктивні	250 Па – 70 МПа	0,35 МПа	Висока чутливість.	Обмежені пружними елементами, мала чутливість
Магнітоопору	250 Па – 70 МПа	0,35 МПа	Висока чутливість.	Потребують зовнішнього джерела змінного струму
П'єзоелектричні	0,021...100 МПа	0,1 МПа	Дуже швидкий час відгуку	Підлягає впливу високих температур та статичних сил.
Потенціометричні	0,03...70 МПа	0,07 – 0,35 МПа	Можуть мати дуже малі розміри	Маленька чутливість та вузький діапазон
Виміру натягу	0...14000 МПа	1,4 – 3,5 МПа	Дуже велика чутливість,	Дуже малий час відгуку, слабкий вихідний сигнал
Диференціальні	Залежать від інших пристроїв	Залежать від інших пристроїв	Використовують ся для виміру перепадів тиску	Використовують ся тільки для виміру перепадів

Таблиця 4.1 – Кінець таблиці

Теплопровідності	0,4E-3...1,3E-3 МПа	6E-13 МПа	Здатні вимірювати вакуум	Вимірювання лінійні тільки на малих тисках
Іонізації	1,3E-13...1,3E-8 МПа	1E-13...1E-16 МПа	Висока чутливість, можуть вимірювати глибокий та надглибокий вакуум	Обмежені фотоелектричним ефектом
Вібрації	0,0035...0,3 МПа	1E-5 МПа	Дуже точні, зміни температури не впливають на виміри	Не використовуються на високих тисках

Оскільки нам потрібно робити заміри рівня в вакуум-апараті, що працює під розрідженням, потрібно вибирати диференціальний датчик тиску.

Вибирати датчик будемо з лінійки вітчизняного виробника «Сафір».

Максимальна висота утфелю в вакуум-апараті тобто максимальний рівень, який нам потрібно міряти складає 3м.

Максимальне розрідження в соковій камері вакуум-апарату становить не більше -98кПа.

Датчики тиску "Сафір М" призначені для безперервного перетворення абсолютного, надлишкового, гідростатичного тисків, тиску-розрідження, розрідження, різниці тисків рідини та газів (у тому числі газоподібного кисню та кисневмісних сумішей) в уніфікований електричний сигнал постійного струму.

Мають виконання:

По вибухозахисту:

- "іскробезпечний електричний ланцюг" ("ОЕхІаІІСТ5 Х");
- "вибухонепроникна оболонка" ("ІЕхsdІІВТ5");
- "невибухозахисний".

За стійкістю до кліматичних впливів:

- У2* (від -30 до +50 ° С);
- УХЛ 3.1 * (від +5 до +50 ° С);
- ТЗ** (від -5 до +80 ° С).
- Температура вимірюваного середовища від -40 до +110 °С
- ступінь захисту від впливу пилу та води ІР 66

Верхні межі вимірів наведені у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Верхні межі вимірів датчиків

абсолютний тиск	від 0...2,5 кПа	до 0...1,6 МПа
надлишковий тиск	від 0,04 кПа	до 100 МПа
розрядження	від 0...-0,04 кПа	до 0...-100 кПа
тиск-розрядження	від 0,04 кПа	до 1,6 МПа
різниця тисків	від 0,01 кПа	до 16 МПа
гідростатичний тиск	від 0...1,6 кПа	до 0...1,6 МПа

Діапазон переналаштувань меж вимірювань: до 25:1

Основна похибка вимірів: трохи більше 0,1; 0,15; 0,25% від діапазону

Вихідний сигнал:

- 0-5 mA (5-0 mA) при живленні напругою 36±0,72 В;
- 4-20 mA (20-4 mA) при живленні напругою постійного струму від 15 до 42 В;
- Лінійний або нелінійний (кореневитяжна функція);

- Переналаштування вихідних сигналів 0-5 мА в 4-20 мА і навпаки.

Калібрування приладу в одиницях вимірювання:

кПа; МПа; бар; кгс/см²; кгс/м²; та ін.

Датчики можуть бути використані:

- при автоматизації та контролі технологічних процесів в енергетиці, машинобудуванні, металургії, газовій, нафтовій, хімічній, харчовій та інших галузях промисловості;
- при обліку, у тому числі комерційному, рідин та газів;
- у системах захисту та безпеки;
- при вимірюванні тиску газоподібного кисню та кисневмісних сумішей за межами вибухонебезпечної зони (кисневе виконання), а також хімічно агресивних середовищ (хімічне виконання).

В процесі дослідження було обрано датчик «Сафір М» серії 5530 (рис 4.2) як найбільш підходящий для наших умов..

У корпусі вимірювального блоку розташований важільний тензоперетворювач, відокремлений від робочого середовища мембранами і рідиною.

При подачі робочих середовищ в камери вимірювального блоку під впливом різних за величиною тиску відбувається переміщення мембран і пов'язаного з ними штока. Стрічка передає переміщення на важіль ТП, що викликає зміну опору тензорезисторів. Електричний сигнал ТП в електронному блоці перетворюється в цифрову форму, програмно лінеаризується, коригується по температурі і перетворюється в уніфікований струмовий сигнал.

Розміри та схема підключення обраного датчика зображені на рисунках 4.3 та 4.4 відповідно.

Його характеристики:

- мінімальний тиск вимірювання $P_{\text{мін}}$ 2,5кПа;
- мінімальний тиск вимірювання $P_{\text{макс}}$ 63кПа;
- діапазон робочих температур +5 ...+80°C.



Рисунок 4.2 - «Сафір М» серії 5530

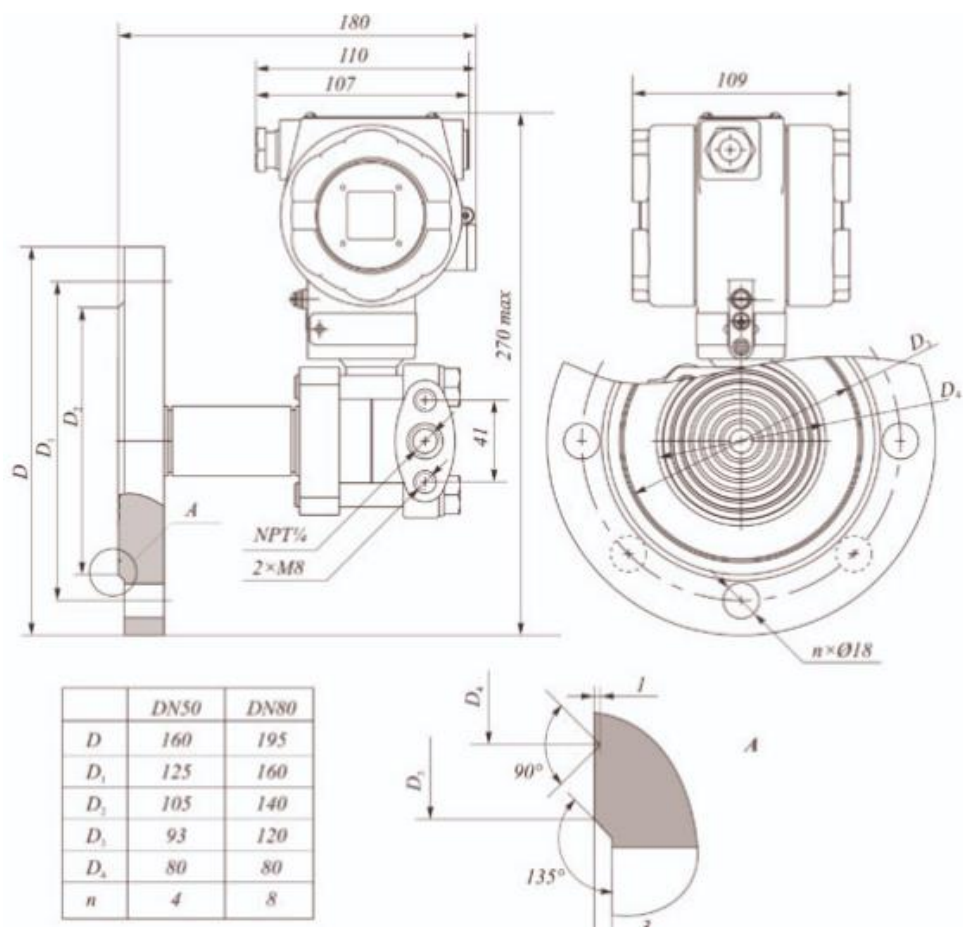


Рисунок 4.3 - Розміри датчика «Сафір М» серії 5530

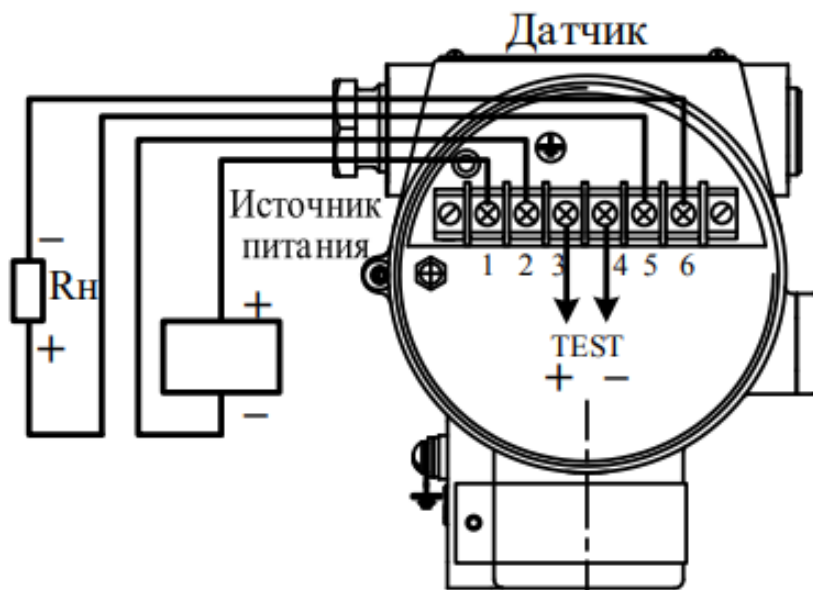


Рисунок 4.4 - Підключення датчика з вихідним сигналом 0-5 (5-0) мА та 4-20 (20-4) мА по чотирипровідній лінії зв'язку

4.2.2 Аналіз доступних варіантів та підбір рівнеміра

1) Ультразвукове вимірювання рівня

Вимірювач рівня ULM випромінює ряд ультразвукових імпульсів, які поширюються у напрямку до поверхні. Відображена акустична хвиля знову приймається вимірювачем рівня та обробляється мікропроцесором. Далі проводиться температурна компенсація та перетворення на вихідний струм чи напругу (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 - Принцип дії ультразвукового вимірювання рівня

2) Гідростатичне вимірювання рівня

Принципом вимірювання рівня використання прямої залежності гідростатичного тиску від висоти стовпа рівня рідини (рисунок 4.6).

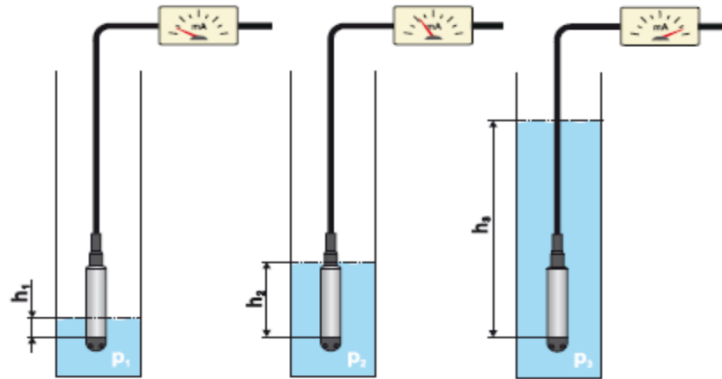


Рисунок 4.6 - Принцип дії гідростатичного виміру рівня

3) Ємнісний датчик рівня

Принцип зчитування рівня – збільшення ємності електрода при його засипанні або зануренні. Електроніка датчика проаналізує зміну ємності та буде видавати електричний сигнал, пропорційний рівню (рис. 4.7 та рис. 4.8).

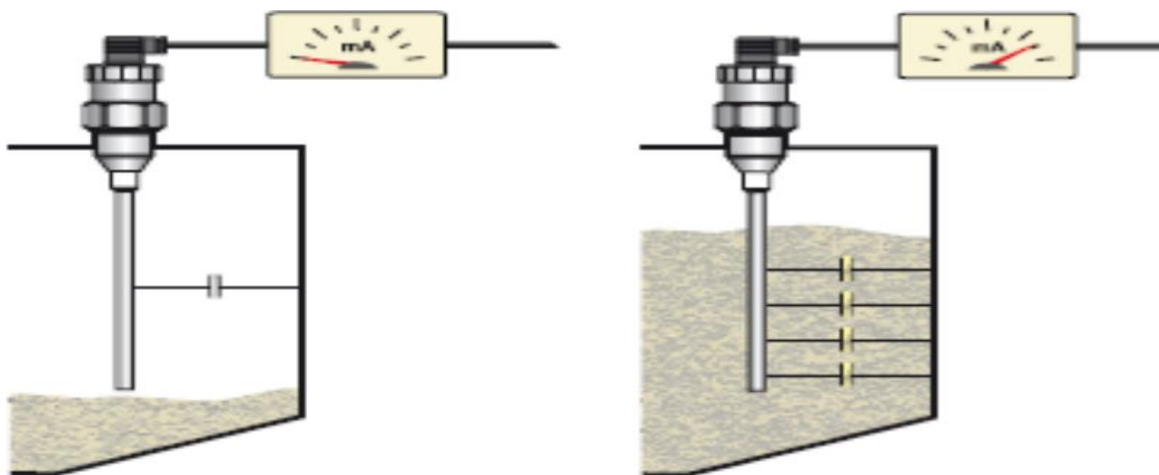


Рисунок 4.7 - Вимірювання речовин, що не проводять електрику: ємність утворена електродом датчика та металевією стінкою резервуара. Діелектриком є повітря або вимірювана речовина.

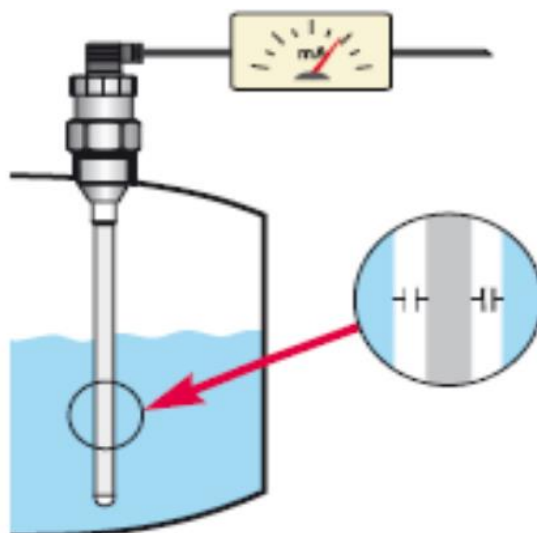


Рисунок 4.8 - Вимірювання електропровідних речовин: ємність утворена електродом датчика та вимірюваною речовиною (стілкою резервуара).

Через свою простоту, точність та надійність будемо підбирати датчик ємнісного типу фірми Dinel з лінійки CLM.

Ємнісні вимірювачі рівня CLM призначені для безперервного вимірювання рівня рідких та сипких матеріалів у цистернах, резервуарах, силосах тощо. Вони складаються з корпусу з електронікою, що налаштовується, і вимірювального електрода. Електронний блок перетворює величину ємності сигнал по струму (4 ... 20 мА) або по напрузі (0 ... 10 В). Можна налаштувати чутливість, компенсувати початкову ємність та плавно змінювати коефіцієнт підсилення.

Варіанти датчиків

CLM-36-10 З неізолюваним стрижневим електродом - для вимірювання рівня ел. непровідних рідин (олії, дизпаливо, бензин) та сипучих матеріалів (борошно, пісок, цемент, пластмасові гранули тощо). Максимальна довжина електрода 5м.

CLM-36-11 Зі стрижневим електродом, ізолюваним матеріалом PFA – призначений для вимірювання рівня води та інших електропровідних рідин, можна використовувати і для забруднених рідин у металевих резервуарах, бетонних ямах тощо. Стійкість до агресивних речовин, зменшення прилипання деяких середовищ. Максимальна довжина електрода 3м.

CLM–36–12 Зі стрижневим електродом, ізолюваним матеріалом FER призначений для вимірювання рівня води та інших електропровідних рідин, можна використовувати і для забруднених рідин у металевих резервуарах, бетонних ямах тощо. Стійкість до агресивних речовин, зменшення прилипання деяких середовищ. Максимальна довжина електрода 3м.

CLM–36–20 З неізолюваним стрижневим електродом та референтною трубкою можна використовувати для вимірювання рівня незабруднених ел. Непровідних рідин (олії, дизпаливо, бензин). На відміну від виконання без трубки референтної вихідний сигнал не залежить від форми резервуара. Не призначено для вимірювання дуже в'язких рідин та сипких речовин. Максимальна довжина електрода 3м.

Нам підходить датчик CLM–36–12 (рисунок 4.9).

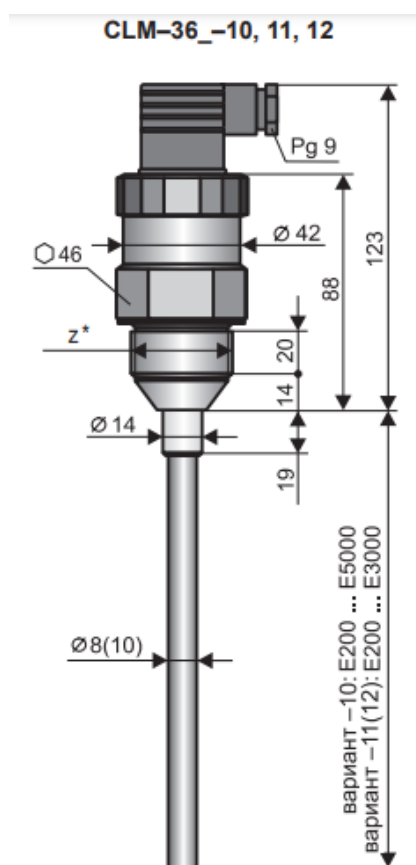


Рисунок 4.9 - Габаритні розміри датчика CLM–36–12

Електричне підключення

Вимірник рівня підключається до пристрою формування сигналу відповідним кабелем з зовнішнім діаметром 6...8 мм (рекомендований переріз жил 0,5...0,75 мм² за допомогою входить до комплекту постачання розбірного роз'єму з внутрішніми клемми. Схема підключення та внутрішній вигляд роз'єму показані на рис. 4.10.

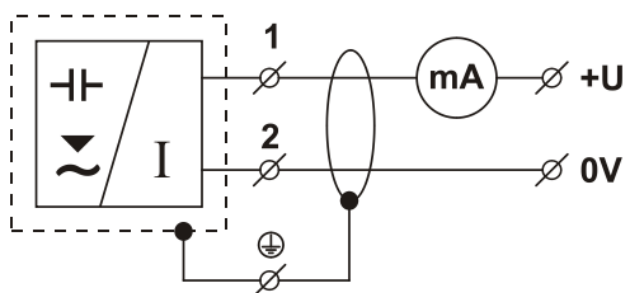


Рисунок 4.10 - Схема підключення датчика з струмовим виходом

4.2.3 Аналіз доступних варіантів та підбір обчислювача

Обчислювачем, що визначає чисельне значення густини, може бути будь-який прилад з функцією суматора двох аналогових сигналів.

В конкретному випадку є доцільним функцію обчислення густини покласти на контролер, що управляє в цілому процесом варки вакуум-апарата при наявності в ньому достатньої кількості аналогових та дискретних входів-виходів та необхідної бібліотеки алгоритмів.

Таким вимогам відповідає вітчизняний контролер фірми «Мікрол» МК-51, який успішно застосовується для автоматизації варки утфелів на Красилівському цукровому заводі.

Архітектура контролера МК-51 описує інформаційну організацію контролера і характеризує його як ланку системи керування. Частина архітектурних елементів структури реалізована апаратно, частина - програмно.

Все програмне забезпечення, яке формує архітектуру, зашите в постійному пристрої, що запам'ятовує і користувачеві недоступно. Незалежно від того, як

реалізовані елементи архітектури - апаратно або програмно - користувач може представляти контролер як виріб, в якому всі елементи реально існують у вигляді окремих вузлів. До складу архітектури контролера входить (див. рис.4.11):

- апаратура вводу-виводу інформації (базової моделі і модулів розширення);
- апаратура оперативного керування і налаштування;
- апаратура інтерфейсного каналу;
- функціональні блоки;
- бібліотека функціональних блоків.

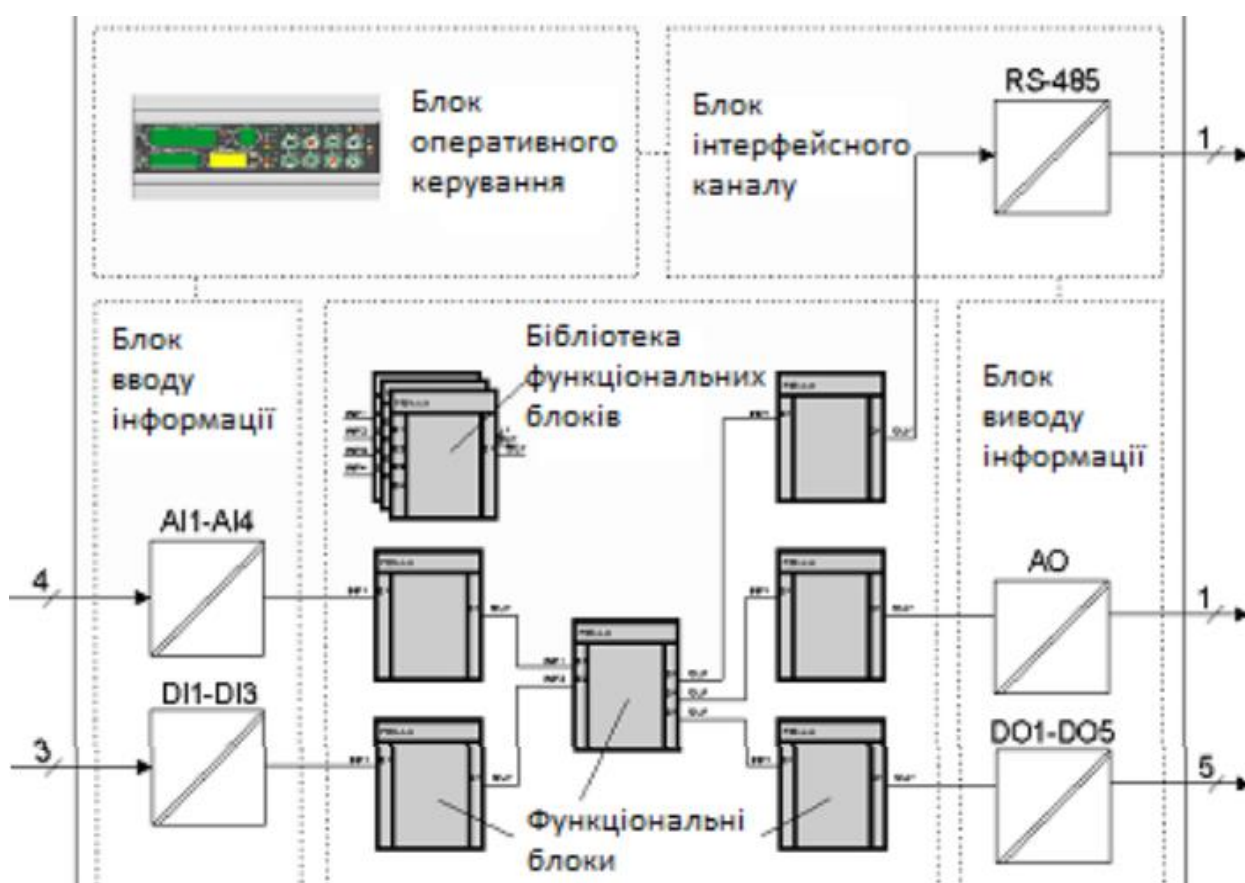


Рисунок 4.11 - Архітектура контролера МІК-51

Функціональні можливості МІК-51:

- Контролер МІК-51 - це проектно-компонований виріб, який дозволяє користувачеві вибрати потрібний комплект модулів та блоків згідно з числом та видом вхідних-вихідних сигналів.

- Вбудовані засоби самодіагностики: сигналізація та ідентифікація несправностей, про вихід сигналів за допустимі межі, про збої в ОЗП, порушення обміну через мережу тощо.

- У контролерах МІК-51 є розвинена система міжконтролерного обміну, за допомогою якої контролери можуть об'єднуватися в локальну або розподілену мережу управління. У мережі контролери можуть обмінюватися інформацією як з комп'ютером, так і між собою. Ця функція забезпечує можливість організації розподіленої обробки даних, а також збільшення числа каналів введення-виведення. При використанні функції міжконтролерного обміну суттєво знижується інформаційне навантаження на мережу.

- Програмування контролера виконується за допомогою клавіш передньої панелі або за інтерфейсом за допомогою спеціального програмного забезпечення – візуального редактора FBD-програм АЛЬФА. Як мову програмування в системі реалізовано мову функціональних блокових діаграм Function Block Diagram (FBD), що надає користувачеві механізм об'єктного візуального програмування. Система програмування реалізована відповідно до вимог стандарту Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) IEC 1131-3.

Редактор FBD-програм АЛЬФА має вбудований налагоджувач програм, систему логічного контролю за станом програми, можливості документування програм, друку, представлення програми у вигляді таблиці та ін. математична обробка інформації.

Контролер МІК-51 містить бібліотеку функціональних блоків, достатню для того, щоб вирішувати порівняно складні завдання автоматичного регулювання та логіко-програмного управління.

Бібліотека функціональних блоків умовно поділена на розділи:

- Функціональні блоки введення-виведення: інтерфейсне введення-виведення, аналогове введення-виведення, дискретне введення-виведення, імпульсне введення-виведення

- Математичні функціональні блоки: множення, підсумовування з масштабуванням, поділ, корінь квадратний, абсолютне значення, інтегрування, диференціювання із затримкою
- Логічні функціональні блоки: Логічне І, багатовхідне І, Логічне АБО, багатовходове АБО, що виключає АБО, мажоруювання, тригер, регістр, виділення фронту
- Функціональні блоки управління програмою: мінімум, максимум, затримка, екстремум, обмеження, обмеження швидкості, перемикач за номером, компаратор, таймер, лічильник, мультівібратор, одновібратор, імпульсатор
- Функціональні блоки управління технологічним процесом: фільтр, масштабування, кусково-лінійна функція, уставка аналогова, уставка часу, програмний задатчик, таймер сигналізатор реального часу, лінійна зміна параметра, регулятор аналоговий, регулятор каскадний, регулятор імпульсний, панель користувача
- Функціональні блоки дельта-регуляторів: регулятори аналогові та імпульсні з розширеними функціями, дельта-регулятор.

4.3 Реалізація порівняльного методу вимірювання густини

Підключення датчиків виконуються по типовій схемі для заданого інтервалу струму або напруги (рисунок 4.12).

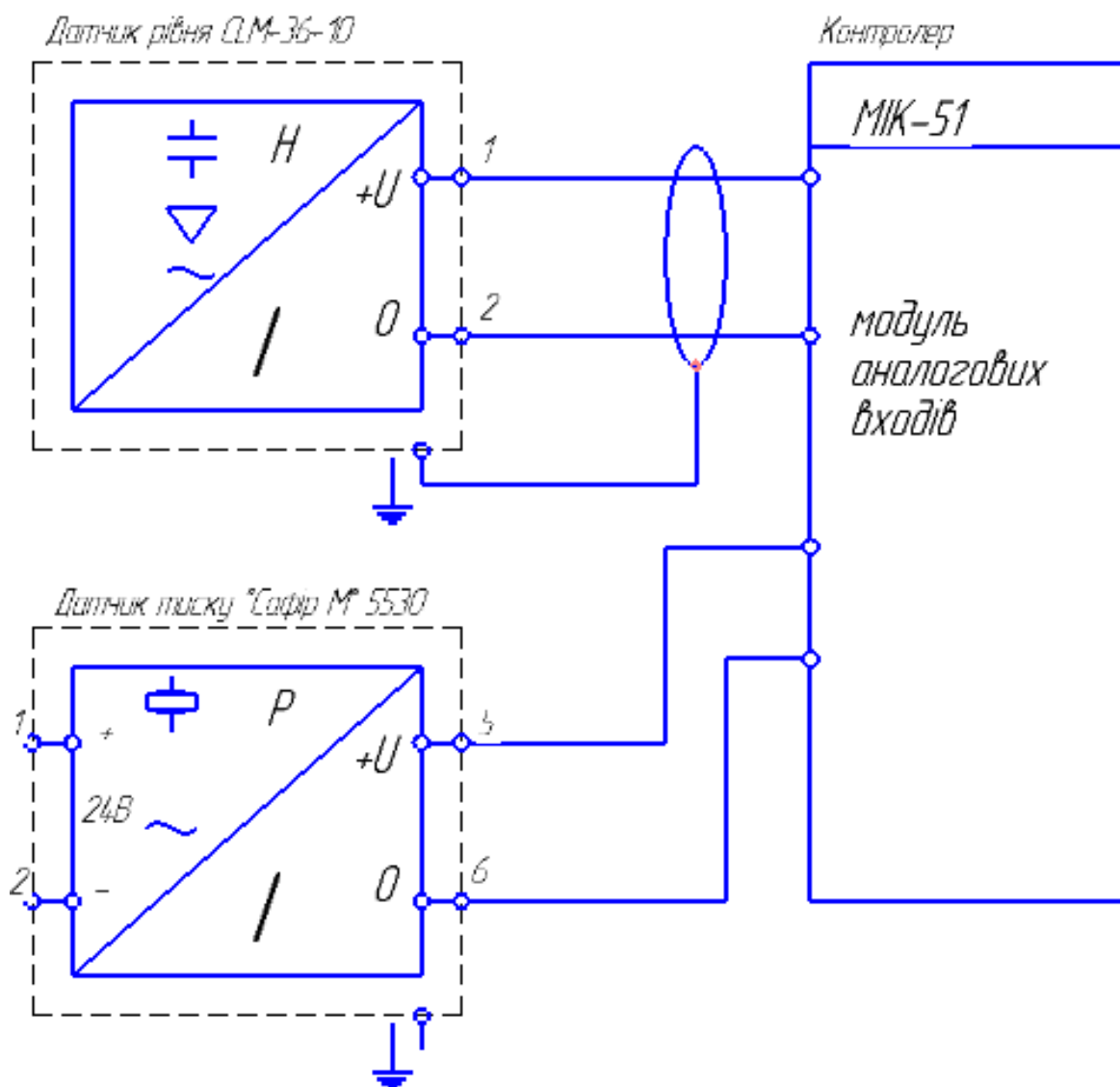


Рисунок 4.12 - Принципова схема підключення датчиків

На рисунку 4.13 показано схему розміщення датчиків для вимірювання густини розчину, обов'язкова умова – розміщення датчика тиску та початку вимірювання рівня ємнісним датчиком повинні бути на одному рівні.

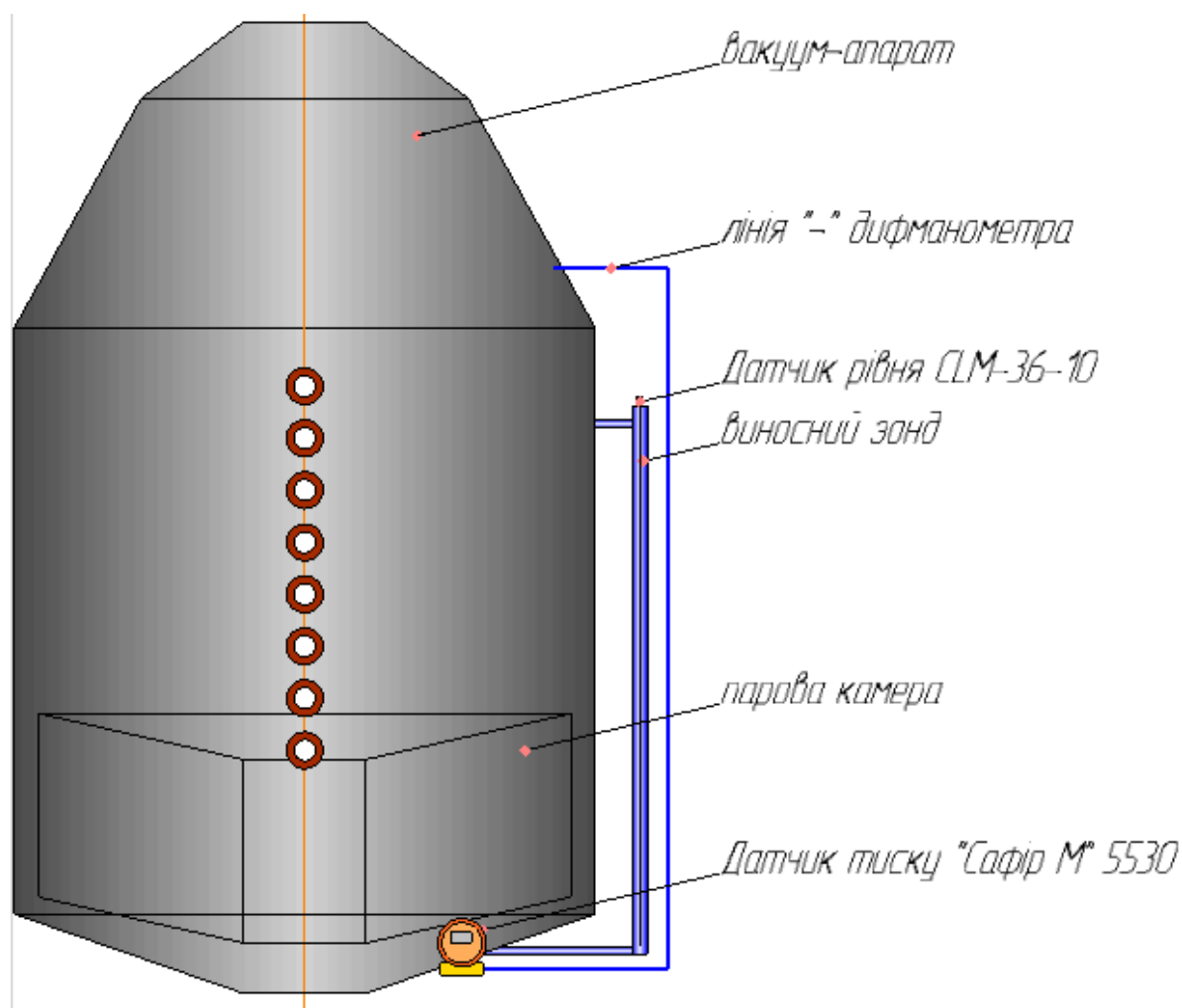


Рисунок 4.13 - Схема розміщення датчиків для вимірювання густини розчину

Висновки до четвертого розділу

Для реалізації будь-якого контуру управління та реєстрації параметрів технологічного процесу (в даному випадку вимірювання густини утфелю) необхідний ретельний та зважений підбір апаратних рішень. Вибір датчиків, перетворювачів, контролерів повинен відповідати певним критеріям, а саме: точність, надійність, функціональність, простота, ціна.

Реалізувати досліджуваний метод вимірювання густини можна на основі датчика тиску «Сафір М» серії 5530, датчика рівня CLM-36-12 та контролера «МІК-51».

ВИСНОВКИ

Цукрове виробництво є одним з найбільш енергозатратних та складних. В умовах високої конкуренції сучасної дійсності на перший план виводять такі показники, як собівартість, якість, енергоспоживання, і диктують необхідність застосування останніх досягнень технології, теплотехніки, організації цукрового виробництва .

Автоматизація цукрової промисловості дозволяє забезпечити якісну, ефективну роботу всіх технологічних ділянок цукрового заводу лише за допомогою комплексного підходу до вирішення цього завдання .

Як правило, автоматизація різних об'єктів на кожному із цукрових заводів проводилася не одночасно, а поетапно в різні періоди часу, часом навіть у різні десятиліття. У результаті, на сучасному етапі, цукрові заводи найчастіше характеризуються наявністю роз'єднаних, не взаємодіючих між собою, різнорідних автоматизованих та інформаційних систем, оснащених технічною базою від різних виробників.

Уніфікація компонентів та блоків управління дозволяє зменшити витрачений час на розробку нового обладнання, його монтаж, встановлення на виробництво, навчання персоналу, пошук та ліквідацію несправностей та помилок.

Був проведений аналіз існуючих методів керування варкою утфелів з різними керуючими параметрами (густина, в'язкість, вміст сухих речовин) і використовуваних апаратних рішень.

В ході проведених досліджень запропоновано метод вимірювання густини утфелю, шляхом порівняння результатів вимірювань висоти стовпа утфелю в вакуум-апараті (рівня розчину) різними методами, а саме датчиком тиску та ємнісним датчиком. Різниця сигналів датчиків являється функцією густини, яка в свою чергу, і є основним параметром керування процесом варки утфелю. Обґрунтована можливість використання вітчизняного контролера «МК-51» для обробки сигналів датчиків рівня для видачі сигналу, що відповідає густині в

заданих одиницях виміру. Також функціональні властивості даного контролера дозволяють керувати всім процесом варки утфелю.

Описаний метод також контролю та керування технічним процесом на одній із ділянок процесу цукроваріння, який дозволяє підвищити точність та швидкодію вимірювання густини утфелю у вакуум-апаратах при виробництві цукру.

Реалізація даного методу дозволить при співставних з іншими методами вимірювань точності значно зменшити вартість автоматизації, а також підвищити експлуатаційні характеристики такі як надійність, простота обслуговування, ремонтпридатність.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. - Київ: Ліра-К, 2014. – 342 с.
2. Олянська С.П. Технологія цукрового виробництва: курс лекцій. - Київ: Національний університет харчових технологій, 2015. - 73 с.
3. Національне господарство України: теорія та практика управління: зб. Наук. Праць – К.: Рада по вивченню продуктових сил України НАН України, 2010 – 268 с.
4. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. /За ред. І.С.Гулого Вінниця: Нова книга, 2001. 576с.
5. Roebuck K. Scada : High-impact Strategies - What You Need to Know: Definitions, Adoptions / Kevin Roebuck. – Dayboro: Emereo pty Limited, 2011. – 166 с.
6. Самсоненко Д. В. IoT В автоматизації цукрового виробництва / Д. В. Самсоненко // Буковинська економічна фундація. – 2018. – С. 13–16.
7. Пупена О. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СТАНДАРТІВ ІНТЕГРОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА / О. Пупена, І. Ельперін, Р. Міркевич. // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2016. – №8. – С. 63–74.
8. Самсоненко Д. В. МІЖНАРОДНІ СТАНДАРТИ АВТОМАТИЗАЦІЇ У ЦУКРОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ / Д. В. Самсоненко. // БУКОВИНСЬКА ЕКОНОМІЧНА ФУНДАЦІЯ. – 2018. – С. 10–13.
9. Попович М. Г., Ковальчук О. В. П58 Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і догі. — К.: Либідь, 2007. — 656 с. ІЗІ ^ 978-966-06-0447-6.
10. Стренк Ф. Перемішування та апарати з змішувачами. Польща, 1971.
11. Автоматизація виробничих процесів: Підручник. / І.В Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. Видавництво Ліра-К, 2015 — 300 с.
12. Golnaraghi F., Kuo B. Automatic Control Systems Tenth Edition. — McGraw-Hill Education, 2017. — 1160 p.

13. Оперативно-статистичні матеріали цукровиків України — Бурякоцукровий комплекс України — К: —Цукор України, 2015. — 201 с
14. Данилишин М.С. Стан бурякоцукрової галузі України та шляхи його удосконалення / М.С. Данилишин // Ефективна економіка. — 2015. — №11.
15. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції цукровиків України —Перспективи розвитку цукрової промисловості України. — К.: НУХТ, 2019. — 135 с.
16. Okuyama Y. Discrete Control Systems. Springer, 2014. — 251 p.
17. Розвиток харчової промисловості України в умовах ринкових перетворень: Проблеми теорії і практики. — К.: Знання, 1999. — 331 с. — Бібліогр.: с. 287-309.
18. Reklaitis G. V. Batch Processing Systems Engineering / G. V. Reklaitis, A. K. Sunol, D. Rippin. — New York: Springer Science & Business Media, 2012. — 868 с. — (Fundamentals and Applications for Chemical Engineering).
19. Dorf R.C., Bishop R.H. Modern Control Systems. 13th edition. — New York: Pearson, 2017.— 1106 p.
20. Системи моніторингу: Навчальний посібник / В.К. Галіцин, О.П. Суслов, Н. К. Самченко. — К.: КНЕУ, 2015. — 409 с.
21. Паламар М.І., Пастернак Ю.В., Стрембіцький М.О. Методи і засоби спряження температурних сенсорів у мікропроцесорних вимірювальних комплексах. Конспект лекцій для студентів спеціальностей 8.05100306 — «Інформаційні технології в приладобудуванні» та 8.05100302 — «Прилади і системи точної механіки». — Тернопіль: ТНТУ, 2015. — 73 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Стаття у фаховому журналі

УДК 620.91

П.М. ГОНЧАРУК
 ПрАТ "Красилівський цукровий завод"
 В.В. МАРТИНЮК
 Хмельницький національний університет
 Б.П. ГОНЧАРУК
 Хмельницький національний університет

МЕТОД ТА АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ РОЗЧИНУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ У ВАКУУМ-АППАРАТАХ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЦУКРУ

В роботі на основі проведеного аналізу методів вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру визначено, що існуючі методи характеризуються недостатньою точністю та автоматизацією технологічного процесу. Запропоновано новий метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру, який характеризується високою точністю та можливістю автоматизації технологічного процесу. Пропонується не прямий метод вимірювання густини розчину, який полягає в вимірюванні висоти стовпа рідини двома різними способами: вимірювання висоти стовпа рідини манометричним методом та вимірювання висоти стовпа рідини ємнісним датчиком.

Keywords: метод вимірювання густини розчину, контроль процесу кристалізації, технологічний процес виробництва цукру.

P.M. GONCHARUK
 PJSC "Krasylivskyi Sugar Factory"
 V.V. MARTYNYUK
 Khmelnytsky national university
 B.P. GONCHARUK
 Khmelnytsky national university

METHOD AND AUTOMATED INSTRUMENT OF SOLUTION DENSITY MEASURING FOR CRYSTALLIZATION PROCESS CONTROL IN VACUUM-APPARATUS DURING SUGAR PRODUCTION

In the work, based on the analysis of the methods of measuring the density of the solution to control the crystallization process in vacuum-apparatus during sugar production, it was determined that the existing methods are characterized by insufficient accuracy and automation of the technological process. A new method and automated means of measuring the density of the solution for controlling the crystallization process in vacuum apparatus during sugar production is proposed, which is characterized by high accuracy and the possibility of automating the technological process. An indirect method of measuring the density of the solution is proposed, which consists in measuring the height of the liquid column in two different ways: measuring the height of the liquid column by the manometric method and measuring the height of the liquid column by a capacitive sensor.

Keywords: the method of measuring the density of the solution, the control of the crystallization process, the technological process of sugar production.

1. Вступ

Уварювання утфелів першого продукту проходить в вакуум-апаратах з природною або примусовою циркуляцією. Процес варки утфелю першої кристалізації поділяється на наступні стадії:

- набір вакууму (розрідження)
- попередній набір (наповнення вакуум-апарату сиропом вище рівня розташування нагрівальна камери);
- згущення;
- кристалоутворення (введення затравки);
- ріст кристалів;
- розкачка;
- уварювання;
- вивантаження;
- пропарка.

Алгоритм процесу уварювання утфелів показаний на рис. 1.

Традиційним методом на всіх етапах процесу отримання утфелю є періодичне введення у вакуум-апарат сиропу вихідного розчину (сиропу) – так звані «підкачки». «Підкачки», окрім дискретного режиму, можуть проводитись в режимі аналогового сигналу, в якому виконавчий пристрій подає сироп не порціями, а постійно, відслідковуючи заданий параметр – густину. Але таке технічне рішення з використанням безперервно діючих

виконавчих пристроїв через високу густину вихідних розчинів ускладнює алгоритм керування. Вихідним розчином являється сироп із клеровкою (так званий стандарт-сироп) та біла та зелена патоки (відтоки утфелю першого продукту, що центрифугується). Гріючою парою являється, згідно із тепловою схемою заводу, вторинна пара третього корпусу випарної станції (ВС), яка характеризується відносно низьким потенціалом (0,02– 0,04 МПа), а також частково пара наступного корпусу ВС. Уварювання утфелю відбувається під розрідженням.

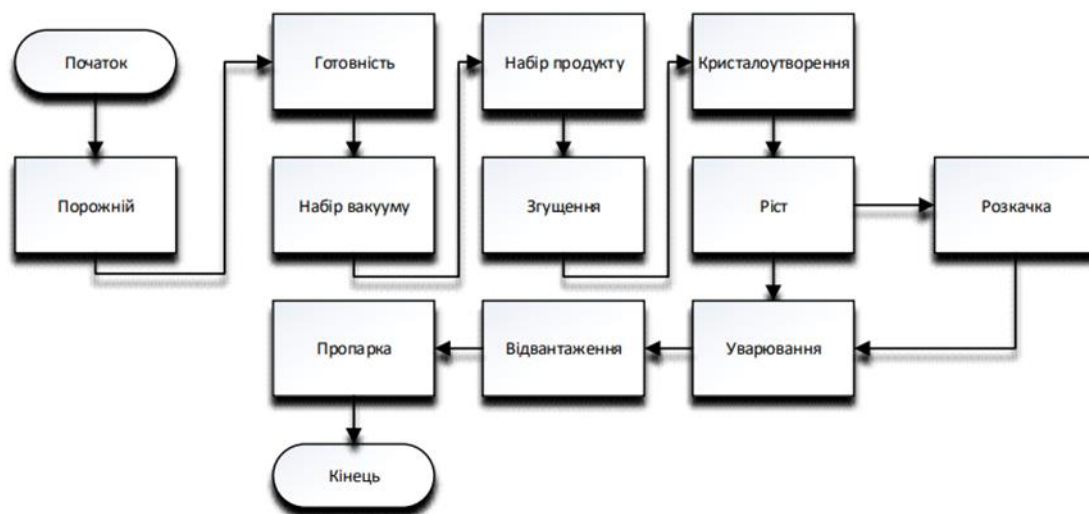


Рис. 1. Алгоритм процесу уварювання утфелів

2. Порівняльний метод вимірювання густини

Для вимірювання густини утфелів в вакуум-апаратах пропонується метод не прямого вимірювання.

Суть його полягає в вимірюванні висоти стовпа рідини двома різними методами: вимірювання висоти стовпа рідини манометричним методом, та вимірювання висоти стовпа рідини емнісним датчиком. На рис. 2 зображено структурну схему вимірювання.

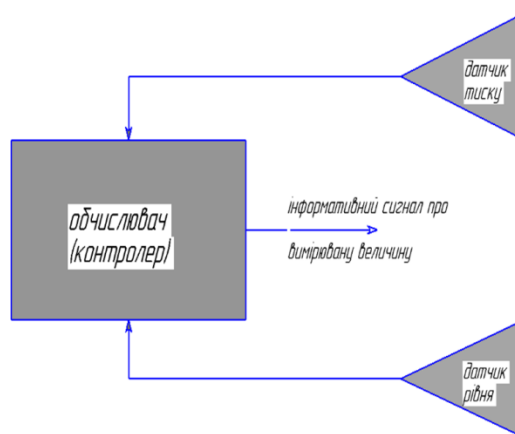


Рис. 2 Структурна схема вимірювання

Якщо датчиками тиску і рівня проводяться заміри одного і того ж середовища і цим середовищем являється вода, то їх покази відносно один одного будуть істинними.

Якщо вимірюваним середовищем буде, наприклад, цукровий сироп, густиною $1,45 \text{ кг/дм}^3$, то показники манометричного датчика будуть більшими, ніж показники емнісного датчика.

Ця різниця буде характеристикою густини вимірюваного середовища.

Далі показники (сигнали) датчиків необхідно подати на обчислювач, який переведе абсолютну різницю показів в прийнятний для сприймання та управління результат в заданих одиницях густини.

Оскільки нам потрібно робити заміри рівня в вакуум-апараті, що працює під розрідженням, потрібно вибрати диференціальний датчик тиску.

Вибирати датчик будемо з лінійки вітчизняного виробника «Сафір».

Максимальна висота утфелю в вакуум-апараті тобто максимальний рівень, який нам потрібно міряти складає 3м.

Максимальне розрідження в соковій камері вакуум-апарату становить не більше -98кПа.

Датчики тиску "Сафір М" (рис. 3) призначені для безперервного перетворення абсолютного, надлишкового, гідростатичного тисків, тиску-розрідження, розрідження, різниці тисків рідини та газів (у тому числі газоподібного кисню та кисневмісних сумішей) в уніфікований електричний сигнал постійного струму.



Рис. 3. «Сафір М» серії 5530

Через свою простоту, точність та надійність будемо підбирати датчик ємнісного типу фірми Dinel з лінійки CLM. Ємнісні вимірювачі рівня CLM призначені для безперервного вимірювання рівня рідких та сипких матеріалів у цистернах, резервуарах, силосах тощо. Вони складаються з корпусу з електронікою, що налаштовується, і вимірювального електрода. Електронний блок перетворює величину ємності сигнал по струму (4 ... 20 мА) або по напрузі (0 ... 10 В). Можна налаштувати чутливість, компенсувати початкову ємність та плавно змінювати коефіцієнт підсилення.

Обчислювачем, що визначає чисельне значення густини, може бути будь-який прилад з функцією суматора двох аналогових сигналів.

В конкретному випадку є доцільним функцію обчислення густини покласти на контролер, що управляє в цілому процесом варки вакуум-апарата при наявності в ньому достатньої кількості аналогових та дискретних входів-виходів та необхідної бібліотеки алгоритмів.

Таким вимогам відповідає вітчизняний контролер фірми «Мікрол» МІК-51, який успішно застосовується для автоматизації варки утфелів на Красилівському цукровому заводі.

Архітектура контролера МІК-51 описує інформаційну організацію контролера і характеризує його як ланку системи керування. Частина архітектурних елементів структури реалізована апаратно, частина - програмно.

Все програмне забезпечення, яке формує архітектуру, зашите в постійному пристрої, що запам'ятовує і користувачеві недоступно. Незалежно від того, як реалізовані елементи архітектури - апаратно або програмно - користувач може представляти контролер як виріб, в якому всі елементи реально існують у вигляді окремих вузлів. До складу архітектури контролера входить:

- апаратура вводу-виводу інформації (базової моделі і модулів розширення);
- апаратура оперативного керування і налаштування;
- апаратура інтерфейсного каналу;
- функціональні блоки;
- бібліотека функціональних блоків.

Підключення датчиків виконуються по типовій схемі для заданого інтервалу струму або напруги, яка зображена на рис. 4.

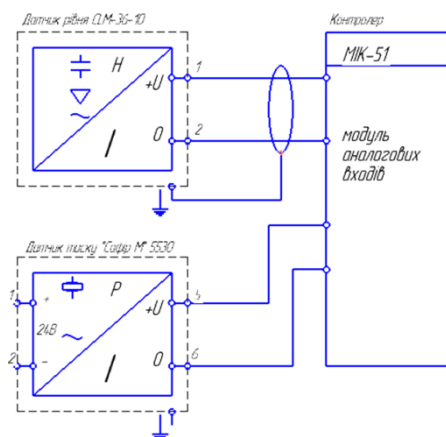


Рис. 4. Схеми підключення датчиків до контролера МІК-51

На рис. 5 показано схему розміщення датчиків для вимірювання густини розчину, обов'язкова умова – розміщення датчика тиску та початку вимірювання рівня ємнісним датчиком повинні бути на одному рівні.

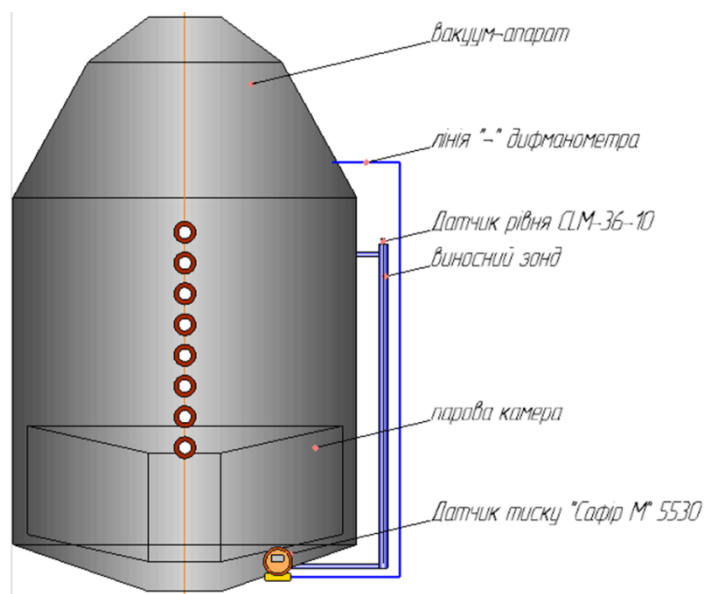


Рис. 5. Схема розміщення датчиків для вимірювання густини розчину

3. Висновки

Цукрове виробництво є одним з найбільш енергозатратних та складних. В умовах високої конкуренції сучасної дійсності на перший план виводять такі показники, як собівартість, якість, енергоспоживання, і диктують необхідність застосування останніх досягнень технології, теплотехніки, організації цукрового виробництва.

Автоматизація цукрової промисловості дозволяє забезпечити якість, ефективну роботу всіх технологічних ділянок цукрового заводу лише за допомогою комплексного підходу до вирішення цього завдання.

Як правило, автоматизація різних об'єктів на кожному із цукрових заводів проводилася не одночасно, а поетапно в різні періоди часу, часом навіть у різні десятиліття. У результаті, на сучасному етапі, цукрові заводи найчастіше характеризуються наявністю роз'єднаних, не взаємодіючих між собою, різнорідних автоматизованих та інформаційних систем, оснащених технічною базою від різних виробників.

Уніфікація компонентів та блоків управління дозволяє зменшити витрачений час на розробку нового обладнання, його монтаж, встановлення на виробництво, навчання персоналу, пошук та ліквідацію несправностей та помилок.

Був проведений аналіз існуючих методів керування варкою утфелів з різними керуваними параметрами (густина, в'язкість, вміст сухих речовин) і використовуваних апаратних рішень.

В ході проведених досліджень запропоновано метод вимірювання густини утфелю, шляхом порівняння результатів вимірювань висоти стовпа утфелю в вакуум-апараті (рівня розчину) різними методами, а саме датчиком тиску та ємнісним датчиком. Різниця сигналів датчиків являється функцією густини, яка в свою чергу, і є основним параметром керування процесом варки утфелю. Обґрунтована можливість використання вітчизняного контролера «МК-51» для обробки сигналів датчиків рівня для видачі сигналу, що відповідає густині в заданих одиницях виміру. Також функціональні властивості даного контролера дозволяють керувати всім процесом варки утфелю.

Реалізація даного методу дозволить при співставних з іншими методами вимірювань точності значно зменшити вартість автоматизації, а також підвищити експлуатаційні характеристики такі як надійність, простота обслуговування, ремонтпридатність.

Література

1. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. - Київ: Ліра-К, 2014. – 342 с.
2. Оляньська С.П. Технологія цукрового виробництва: курс лекцій. - Київ: Національний університет харчових технологій, 2015. - 73 с.
4. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. /За ред. І.С. Гулого Вінниця: Нова книга, 2001. 576с.

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру

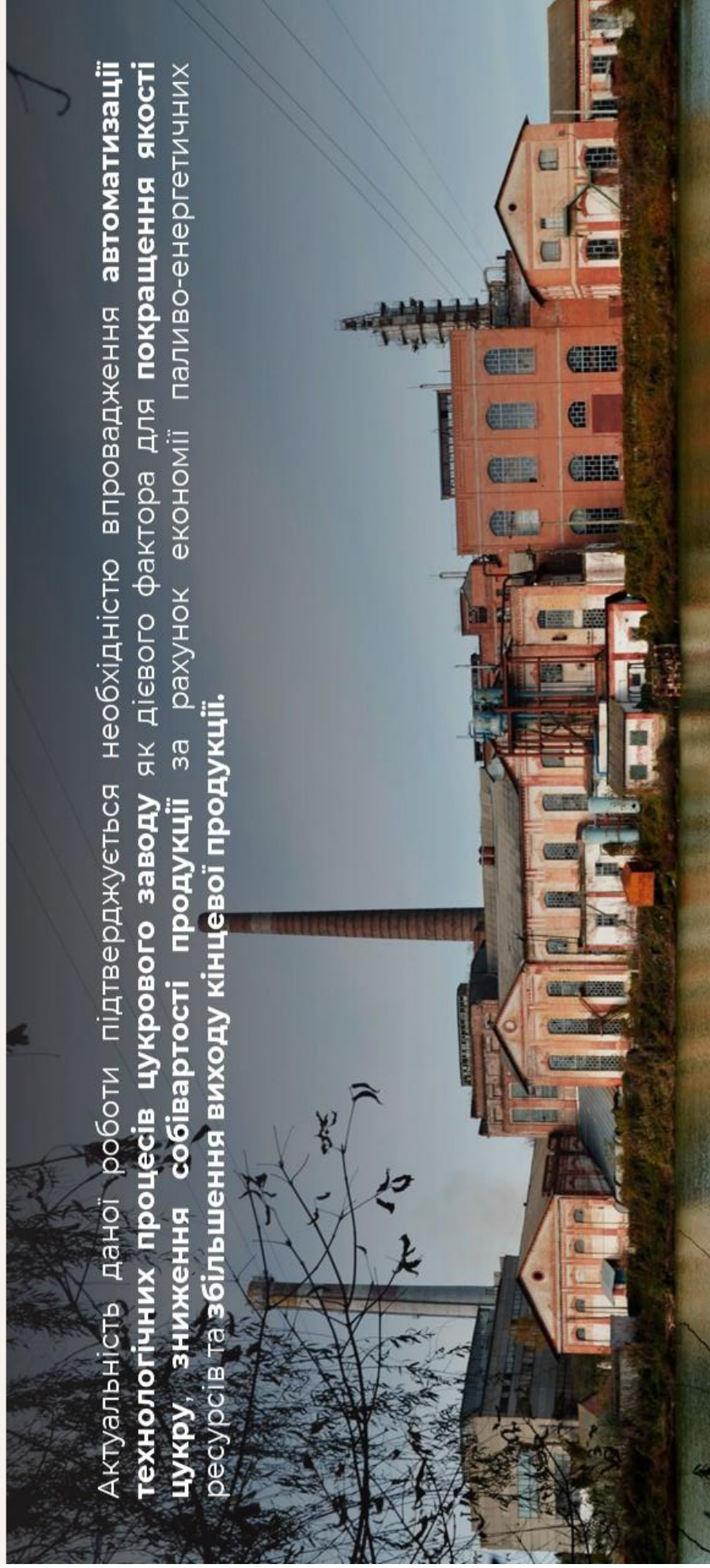
Виконав студент 2 курсу групи АКІТм-21-1
Гончарук Богдан
Керівник: д-р техн. наук, проф.
Наталія Моркун

Хмельницький 2022

Додаток Б
Презентація

Актуальність

Актуальність даної роботи підтверджується необхідністю впровадження **автоматизації технологічних процесів цукрового заводу** як дієвого фактора для **покращення якості цукру, зниження собівартості продукції** за рахунок економії паливо-енергетичних ресурсів та **збільшення виходу кінцевої продукції**.



Мета, об'єкт та предмет дослідження

Мета дослідження

Впровадження альтернативного методу контролю та керування технологічним процесом на одній із ділянок процесу цукроваріння

Об'єкт дослідження

Автоматизація процесу керування кристалізацією цукрози

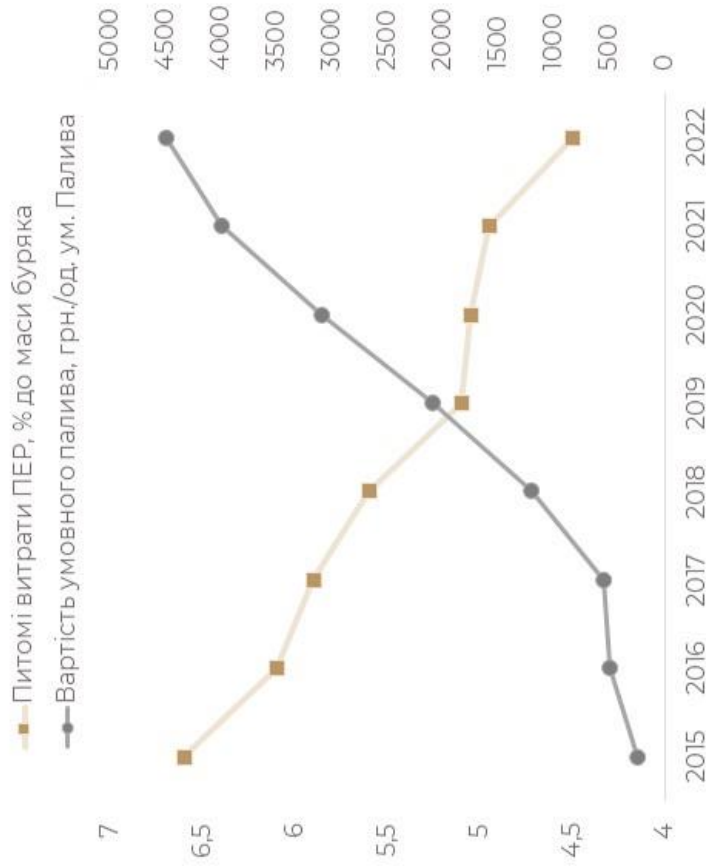
Предмет дослідження

Метод та практична реалізація порівняльного методу вимірювання густини розчину

Цукрова промисловість - найбільш енергозатратний споживач ПЕР серед усіх галузей харчової промисловості

У нинішніх умовах рівень питомих витрат палива та енергії при виробництві цукру значною мірою впливає на його собівартість, економічний стан цукрових заводів і їх здатність до оновлення виробничих фондів.

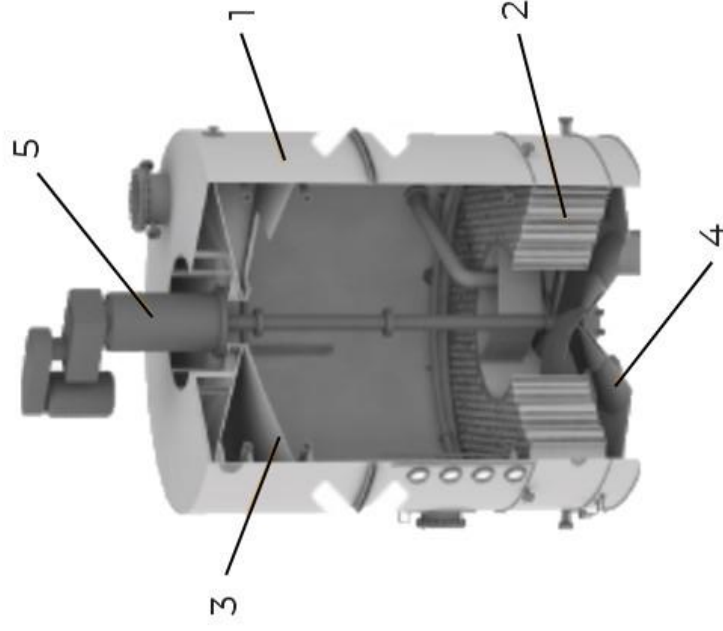
При вирішенні проблеми енергозбереження в цукровій промисловості головним завданням є зменшення питомих витрат тепла у вигляді пари на технологічні потреби, для виробництва якої в ТЕЦ або промислових котельнях цукрових заводів витрачається більше 80-85% від загальної кількості придбаного палива.



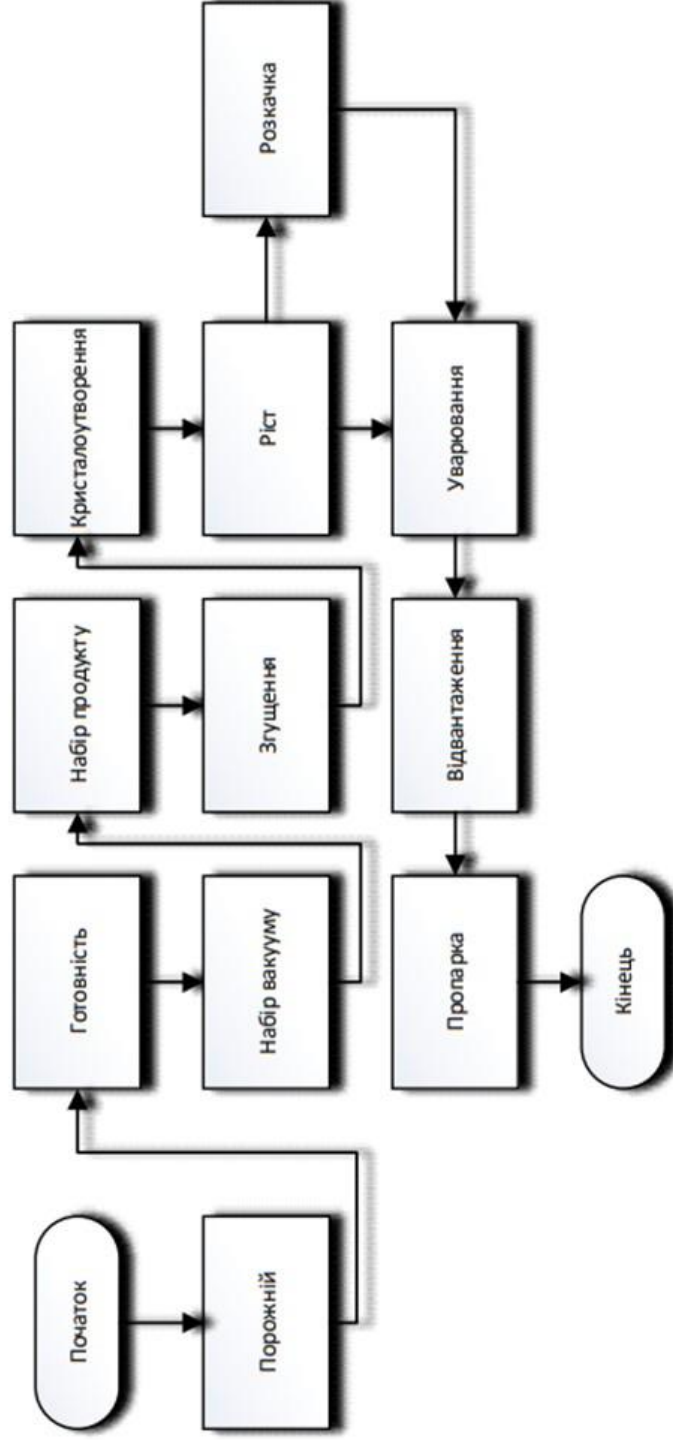
Процес кристалізації відбувається в спеціальних посудинах, що працюють під впливом вакууму – вакуум-апаратах

Будова вакуум-апарату:

- 1** Корпус
- 2** Парова камера
- 3** Сепаратор
- 4** W-подібне днище
- 5** Циркулятор



Алгоритм процесу уварювання утфелів



Проблематика виміру перенасичення утфелю



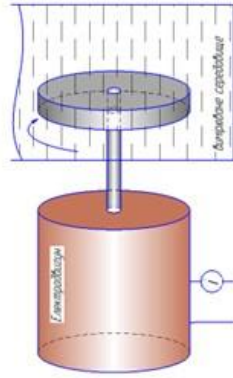
Основним параметром, згідно величини якого проходить процес уварювання утфелю, є перенасичення розчину.

Наразі, **не існує приладу, який вимірює перенасичення.** Тому управління процесом уварювання базується на параметрах, які не в повній мірі характеризують перенасичення, зокрема:

- в'язкість;
- густина;
- вміст сухих речовин;
- провідність.

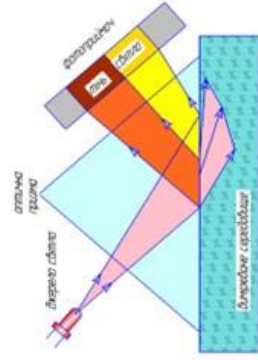
Принципи контролю параметрів утфелю

В'язкість



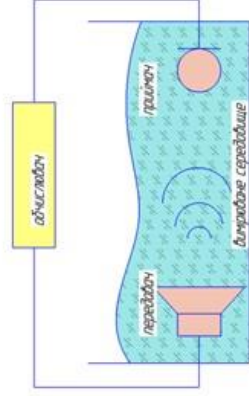
Механічний принцип

Вміст сухих речовин

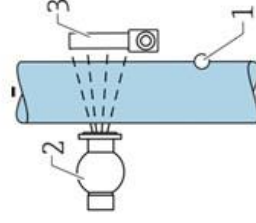


Оптичний принцип

Густина

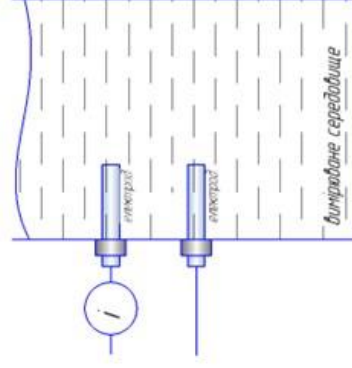


Ультразвуковий принцип



Радіометричний принцип

Провідність



Кондуктометричний принцип

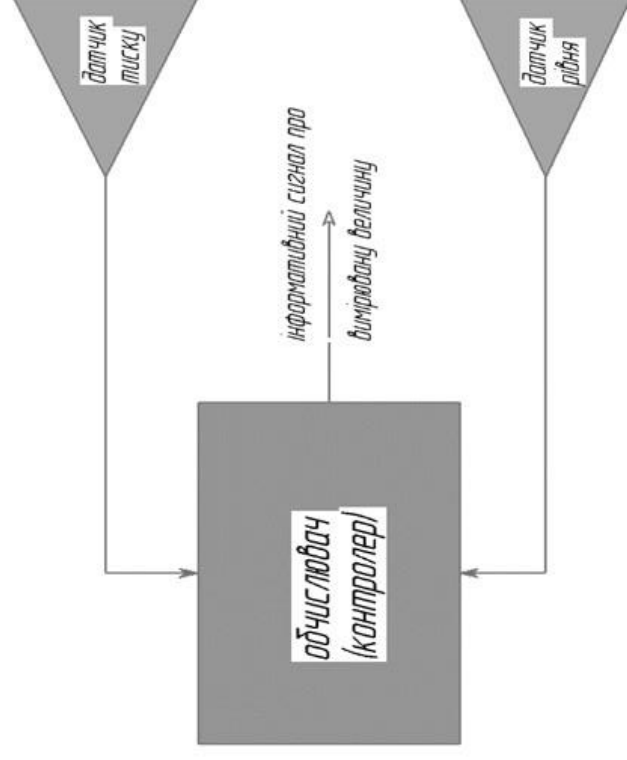
Порівняльний метод вимірювання густини

Суть запропонованого порівняльного методу вимірювання густини полягає у вимірюванні висоти стовпа рідини двома різними методами та подальше математичне обчислення різниці показників:

- 1 Вимірювання висоти стовпа рідини манометричним методом
- 2 Вимірювання висоти стовпа рідини ємнісним датчиком

 Обробка інформації з датчиків

 Отримання значення пропорційного густині вихідним сигналом контролера



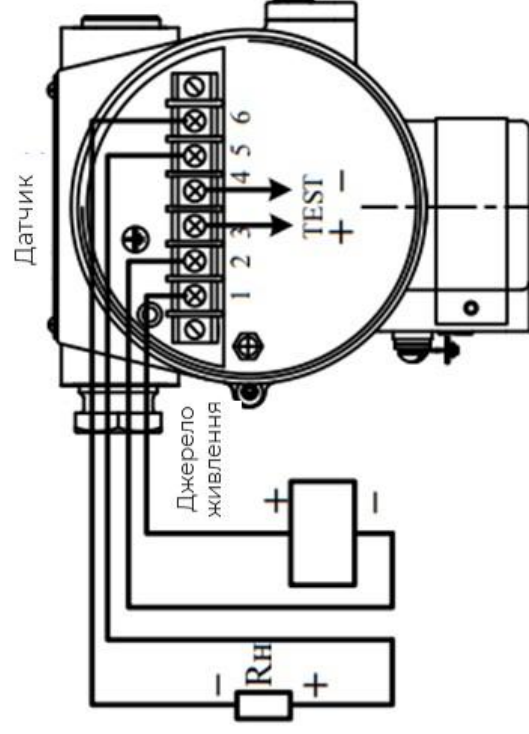
Вибір датчика тиску для реалізації методу

«Сафір М» серії 5530

Диференціальний датчик тиску



Схема підключення



Вибір ємнісного датчика для реалізації методу

CLM-36-12

Ємнісний датчик рівня

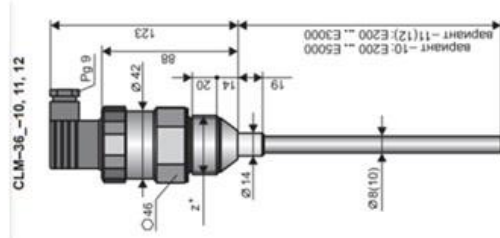


Схема підключення

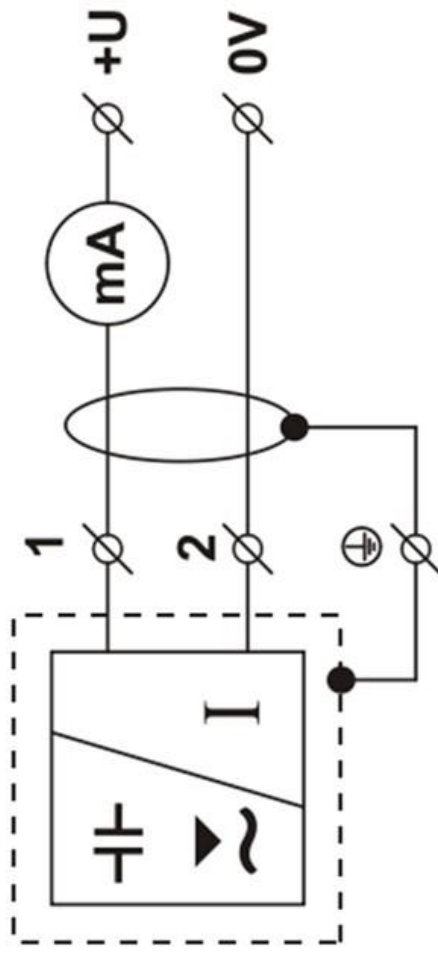
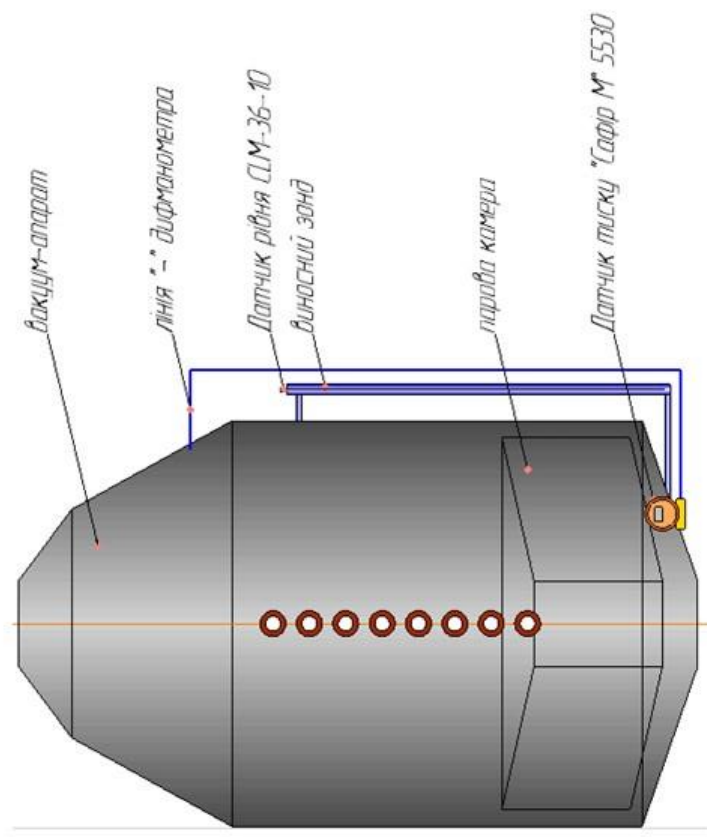


Схема розміщення датчиків для реалізації методу



Висновки

- Автоматизація та застосування комп'ютерно-інтегрованих технологій в управлінні процесами цукрового виробництва є дієвим способом покращення якості цукру, зниження собівартості продукції, економії паливо-енергетичних ресурсів та збільшення виходу кінцевої продукції.
- Для реалізації порівняльного методу вимірювання густини утфелю необхідний ретельний та зважений підбір апаратних рішень. Вибір датчиків, перетворювачів, контролерів повинен відповідати певним критеріям, а саме: точність, надійність, функціональність, простота, ціна.
- Запропонований порівняльний метод вимірювання густини розчину є оптимальним з точки зору надійності, простоти обслуговування, ремонтопридатності та ціни й гарантовано реалізується на простих, доступних та точних компонентах вітчизняного виробництва.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ

Ім'я користувача:
Кафедра АКПІТК

Дата перевірки:
07.12.2022 23:22:56 EET

Дата звіту:
07.12.2022 23:37:48 EET

ID перевірки:
1013235236

Тип перевірки:
Doc vs Internet

ID користувача:
100005862

Назва документа: Гончарук_антиплагіат

Кількість сторінок: 91 Кількість слів: 13526 Кількість символів: 102799 Розмір файлу: 2.30 MB ID файлу: 1012995036

16.5% Схожість

Найбільша схожість: 7.3% з Інтернет-джерелом (<http://ukrbanki.com.ua/blog/2019/12/16/uk/davlenie-datciki-tisku-tipi-...>)

16.5% Джерела з Інтернету

28

Сторінка 93

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

5

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 109313 Назва: МКР Метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру Додано в БД: 2022-12-10 Автора: Гончарук Б. П. Керівники: Моркун Н.В., д.т.н., професор Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	95339	810	2611 (3%)	25 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра Богдана ГОНЧАРУКА
на тему: "Метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину
для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві
цукру"

Кваліфікаційну роботу присвячено розробці методу та автоматизованого засобу вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру.

В ній на основі аналізу існуючих методів вимірювання параметрів, що впливають на кристалізації розроблено метод порівняльного методу вимірювання густини, який відрізняється від існуючих методів тим, що запропоновано вимірювати висоту стовпа рідини двома різними методами: вимірювання висоти стовпа рідини манометричним методом та вимірювання висоти стовпа рідини ємнісним датчиком. Це забезпечує підвищення точності та швидкодії процесу вимірювання.

Особливістю методу є уніфікація компонентів та блоків управління, що дозволяє зменшити витрачений час на розробку нового обладнання, його монтаж, встановлення на виробництво, навчання персоналу, пошук та ліквідацію несправностей та помилок..

Реалізація даного методу дозволить значно зменшити вартість автоматизації, а також підвищити експлуатаційні характеристики такі як надійність, простота обслуговування, ремонтпридатність.

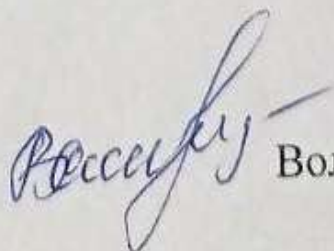
Всі розділи кваліфікаційної роботи виконанні сумлінно та на високому науковому рівні із дотриманням вимог до кваліфікаційних робіт магістрів. Результати досліджень представлені у вигляді статті у фаховому журналі «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» №4 2022р.

До недоліків роботи можна віднести неповний аналіз впливу зовнішніх неінформативних параметрів на метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину, але вказаний недолік не зменшує наукового рівня кваліфікаційної роботи.

Вважаю, що кваліфікаційна робота магістра Богдана ГОНЧАРУКА заслуговує оцінки «відмінно», а магістр заслуговує присвоєння кваліфікації магістра з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Рецензент:

к.т.н., професор, завідувач
кафедри фізики і електротехніки



Володимир КОСЕНКОВ

РІШЕННЯ КАФЕДРИ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод та автоматизований засіб вимірювання густини розчину для контролю процесу кристалізації у вакуум-апаратах при виробництві цукру

Автор: Гончарук Богдан Петрович

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Науковий керівник: д.т.н. проф. Моркун Наталя Володимирівна

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі - зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<u>Відповідає</u>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі - зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самотійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 16,5%, виявлені в роботі відповідають тексту стандартних бланків та списку літератури, решта запозичень є випадковими, або на них є посилання, тому ці запозичення не є плагіатом, бо вони не стосуються наукової новизни і практичної значущості роботи.

08.12.2022р.

Науковий керівник роботи:

Зав. каф. АКІІ




Наталя МОРКУН

Валерій МАРТИНУК

Завідувачу кафедри АКІТ
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Гончарук Богдан Петрович

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи АКІТм-21-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2022 (зі змінами від 26.11.2022), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

05.12.2022

дата



підпис