

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Реконструкція лінії з виробництва газованої води з модернізацією сатураційної установки

Назва теми

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і найменування

Спеціальність 133 Машинобудування (за спеціалізаціями)

Код і найменування

Предметна спеціальність /спеціалізація _____

Код і найменування

Освітня програма Машини і апарати харчових виробництв

Найменування

Шифр КвР. МАХВМ. 25.09.00.00.000

Виконав здобувач 2 курсу група МАХВМ-24-1

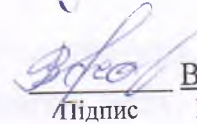
Шифр



Підпис

Іван МАЦЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

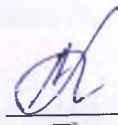
Керівник канд.техн.наук, доц.
Науковий ступінь, учене звання



Підпис

Віктор ФЕДОРІВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії
Назва



Підпис

Андрій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата

Хмельницький 2025

АНОТАЦІЯ

на кваліфікаційну роботу
спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Тема: «Реконструкція лінії з виробництва газованих безалкогольних напоїв з модернізацією сатураційної установки»

Кваліфікаційна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки (84 стор. формату А4) і графічної частини (9 аркушів формату А1).

Розрахунково-пояснювальна записка містить вступ, технологічну, конструкторську і експлуатаційну частини.

У конструкторській частині приведено розрахунки основних конструктивних елементів деталей сатуратора, здійснено енергетичний розрахунок і визначено необхідну потужність двигуна приводу насоса та підібрано електродвигун, розрахунок форсунки, ежектора. Описана будова та принцип дії машини. Приведена технічна характеристика.

Для поліпшення процесу сатурації запропоновано замість механічного пристрою для розпилювання рідини використовувати ежекторний апарат з застосуванням дрібнодисперсного розпилюючого пристрою, що забезпечує якісне насичення рідини сатураційним газом. Сам ежекторний пристрій встановлено в ємності сатуратора так, що розпилювач встановлений над рівнем рідини з можливістю ежекції сатураційного газу, що знаходиться над рівнем рідини. Крім того для забезпечення стабільної роботи ежектора та гарантованого насичення рідини сатураційним газом встановлено циркуляційний контур, що складається з системи трубопроводів, насосу та системи автоматизації для підтримки заданого рівня в апараті.

В даній роботі приводиться розрахунок і обґрунтування доцільності впровадження у дію машини. Приведені розрахунки доводять доцільність машини у виготовленні та в експлуатації.

В графічній частині приведено загальний вид сатуратора, ежекційного апарата, горловини, плунжера, сопла, колінчатого валу, кондуктора, технологічна схема сатураційної установки, схема автоматизації газованих напоїв, технологічна схема виробництва газованих напоїв.

Список використаних джерел містить 15 найменувань.

Ключові слова:

Вода, діоксид вуглецю, сатуратор, ежектор, форсунка, плунжер, сопло, рідина, розпилювач, колінчатий вал, трубопровід, насос, машина, автоматизація, проектування, привод.

Хмельницький національний університет

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і найменування

Спеціальність 133 Машинобудування (за спеціалізаціями)

Код і найменування

Предметна

спеціальність /спеціалізація _____

Код і найменування

Освітня програма Машини і апарати харчових виробництв

Найменування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

_____._____2025

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Мацюк Іван Олегович

Прізвище, ім'я, по батькові здобувача

1 Тема роботи Реконструкція лінії виробництва хлібобулочних виробів на ТОВ

«Хмельницькхліб» з модернізацією тістомісильної машини

Керівник роботи Федорів Віктор Михайлович, канд.техн.наук, доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від _____ 2025 р. № _____

2 Термін подання здобувачем роботи на кафедру _____ 3

Вихідні дані до роботи) _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання _____

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1.ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА ПРОДУКЦІЇ.....	9
1.1. Характеристика сировини та допоміжних матеріалів	9
1.2. Принципова технологічна схема виготовлення газованих безалкогольних напоїв та характеристика основних технологічних операцій	16
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	21
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	29
3.1. Техніко-економічне обґрунтування	29
3.2. Будова та принцип дії	36
3.3. Розрахунок і проектування сатураційної установки	39
4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА.....	64
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....	75
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	80
ВИСНОВКИ.....	82
ДОДАТКИ.....	84

ВСТУП

Впровадження сучасних технологій на нашому ринку відкриває перспективи для розвитку вітчизняного виробництва, яке може заявити про себе через конкуренцію, пропонуючи продукцію, затребувану українськими споживачами. Незважаючи на всі виклики, український ринок встановлює необхідність розвитку сільського господарства, орієнтованого на створення якісної продукції. Важливо наголошувати на раціональному та ощадливому використанні сировинних ресурсів. Швидкий розвиток автоматизації виробничих процесів, зростання ролі споживача на ринку, перехід від ринку виробника до ринку споживача та посилення конкуренції підштовхнули виробників до пошуку інноваційних конструкцій, технологій і обладнання. Постійний технічний прогрес підвищує кваліфікацію працівників, сприяє зростанню загальноосвітнього й культурно-технічного рівня, стимулює впровадження наукових методів організації праці, а також покращує умови роботи. Для пиво-безалкогольної промисловості головними цілями залишаються випуск продукції високої якості, розширення асортименту з урахуванням потреб сучасного споживача і забезпечення максимальної ефективності виробництва. Подальший розвиток галузі неможливий без модернізації існуючої технічної бази. Нове будівництво, оновлення обладнання та реконструкція підприємств мають проводитись із врахуванням максимальної механізації, автоматизації та інтенсифікації виробничих процесів. На сьогодні в Україні випускається широкий асортимент безалкогольних напоїв, зокрема газована вода, фруктові газовані напої, мінеральна вода та сухі шипучі напої. Газовані фруктові напої зазвичай складаються з водного розчину цукрового сиропу, фруктових соків або морсів, цитрусових екстрактів, винних добавок, ароматизаторів і харчових барвників. Ринок безалкогольних напоїв умовно поділяється на три сегменти: питні води, мінеральні води та прохолодні напої, серед яких останні є найпоширенішими. В умовах високої конкуренції підприємства активно працюють над розширенням асортименту вітчизняних напоїв і мінеральної води. Особливу увагу приділяють поліпшенню якості продукції, дизайну упаковки та

виробництву напоїв на основі натуральної сировини з додаванням інноваційних інгредієнтів, таких як вітамінізовані премікси чи біологічно активні добавки. Наразі потужності з виробництва безалкогольних напоїв використовуються лише на 54%, у той час як виробництво мінеральних вод завантажене на 58%. Одне з основних завдань галузі — впровадження ефективних технологій і сучасного обладнання для забезпечення комплексного використання сировини, механізації, автоматизації та економії енергетичних і водних ресурсів. Газована вода характеризується вмістом діоксиду вуглецю до 0,4-0,5% від маси води, має кислуватий смак та властивість ефективно втамовувати спрагу. Штучно мінералізовані води є розчинами хімічно чистих солей натрію, кальцію і магнію у воді з діоксидом вуглецю. Мінеральну воду поділяють на природну, столову (до 1 мг/дм³ мінералізації), лікувально-столову (1-10 мг/дм³) та лікувальну (10-15 мг/дм³ з біологічно активними речовинами, такими як йод чи бор). Відповідно до хімічного складу мінеральні води класифікують на різні групи.

Сухі напої випускаються у двох варіантах: шипучі та нешипучі. Шипучі напої утворюються з суміші цукру, винокам'яної кислоти, харчових есенцій, плодово-ягідних екстрактів і харчової соди, тоді як нешипучі не містять соди. Також освоєно виробництво таких напоїв у вигляді порошків і таблеток. Основні складники цих напоїв включають питну воду, цукор або його замінники. Як напівфабрикати використовуються освітлені плодово-ягідні соки, спиртовані чи зброжені та концентровані соки, виноградне вакуум-сусло, натуральні сиропи, екстракти, морси й виноматеріали. Додаткові інгредієнти охоплюють харчові кислоти, барвники, ароматизатори у вигляді настоїв, есенцій, ефірних олій, стабілізаторів, діоксиду вуглецю та етиловий ректифікований спирт. Для насичення води та купажного сиропу використовується харчовий рідкий діоксид вуглецю зі вмістом CO₂ не менше 98,8%. У разі виготовлення газованих напоїв на основі напівфабрикатів фруктово-ягідні соки фільтрують, а концентрати і екстракти розводять питною водою у пропорції 1:5. Після цього суміш настоюється протягом 2,5 годин і фільтрується. Ароматичні настоянки та есенції перед додаванням у купаж проходять фільтрацію, а барвники попередньо

розчиняються у воді (співвідношення 1:5). Кристалічні харчові кислоти додають у вигляді 90% розчину, молочна кислота використовується у рідкому стані. Білий цукровий інвертований сироп перед купажуванням фільтрують, освітлюють і охолоджують до температури 20 °С. Готовий продукт повинен бути прозорим, без осаду чи сторонніх частинок. Колір напою повинен відповідати затвердженим еталонам для кожного виду. Смак і аромат мають гармоніювати з основною сировиною, а насиченість вуглекислим газом забезпечувати виражене і тривале виділення газу. Галузь має значний потенціал для подальшого розвитку, оскільки споживання мінеральних вод і безалкогольних напоїв в Україні наразі значно поступається рівню багатьох інших країн. Метою дослідження є вдосконалення сатуратора шляхом встановлення поршневого насоса подвійної дії з різними об'ємами камер для дозування купажу та води.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА ПРОДУКЦІЇ

1.1. Характеристика сировини і допоміжних матеріалів

Базовою сировиною для виготовлення газованих напоїв є вода, яка становить 90 % усього обсягу напою.

Джерела води для виробничих потреб підприємств: муніципальні водогони та артезіанські свердловини.

Вода, що застосовується на підприємствах харчової промисловості, зобов'язана відповідати державним стандартам (ДСТУ) України. Вона має бути прозорою, позбавленою будь-якого забарвлення, запаху та сторонніх присмаків, а також мати загальну жорсткість не вище як 1,462 мг.екв./л.

Для підвищення якості води задіюють такі основні методи її підготовки:

- відстоювання;
- фільтрування;
- коагуляція;
- біологічне очищення;
- пом'якшення.

Вода для пом'якшення подається у верхню частину фільтра, проходить крізь шар катіоніту і, відповідно, пом'якшується.

Коли здатність катіоніту до дії знижується, він підлягає регенерації. Цей процес здійснюється шляхом збурення шару катіоніту зворотним потоком води.

Пом'якшена вода спрямовується до збірника через керамічний патронний фільтр. Далі вона потрапляє у пластинчастий охолоджувач, де охолоджується до температури 4–7°C і направляється в апарат для синхронного змішування. У першій колоні відбувається часткове відділення повітря, у другій – змішування з цукровим сиропом, а в третій – насичення.

Вода насичується вуглекислим газом під надлишковим тиском у межах 0,3–0,6 МПа, забезпечуючи вміст CO_2 на рівні 4,5–6 г/л. Із змішувача готовий напій надходить у резервуар розливочного апарату.

****Цукор**** Для виробництва напоїв використовують цукор-пісок, цукор-рафінад або рідкий цукор, які отримують із цукрового буряка чи тростини.

Цукор повинен мати солодкий смак, бути без сторонніх присмаків та запаху як у сухому стані, так і в його водному розчині. Цукор-пісок має бути білого кольору з блиском, цукор-рафінад – чисто білого кольору (допускається ледь помітний блакитний відтінок), рідкий цукор – світло-жовтим. У воді цукор мусить розчинятися повністю, а розчин бути прозорим.

Оскільки цукор є гігроскопічною речовиною, його необхідно зберігати у сухих приміщеннях із відносною вологістю повітря не вище 80 %, причому це стосується відстані від нижнього ряду мішків. Мішки з цукром на складах з цементною чи асфальтовою підлогою мають розміщуватися на дерев'яних підставках (стелажах), а на дерев'яній підлозі – на брезенті, мішковині або іншій тканині.

Цукор-пісок використовується для приготування світлого цукрового сиропу, купажного сиропу (який виготовляють гарячим або напівгарячим методом), товарного сиропу та сухих напоїв. Цукор-пісок фасують у тканинні мішки, тканинні мішки з поліетиленовими вкладишами або з паперовими вкладишами у п'яти- та шестишарові паперові мішки.

Цукор-рафінад являє собою додатково очищену сахарозу у формі окремих кристалів, яку виробляють із цукру-піску. Залежно від способу виробництва, рафінад поділяється на пресований, литий, рафінований цукор-пісок та рафінадну пудру. Асортимент цукру-рафінаду включає: пресований колотий, пресований з характеристиками литого, пресований швидкорозчинний, пресований у кубиках, пресований у дрібній фасовці, литий колотий, рафінований цукор-пісок, рафінована пудра.

Залежно від виду, цукор-рафінад пакують у паперові та поліетиленові пакети, дерев'яні, фанерні або картонні ящики. Рафінадну пудру пакують у подвійні паперові мішки.

Рідкий цукор отримують шляхом розчинення цукру-піску у воді. Цей продукт класифікують на три категорії: вища, перша та друга. Для виготовлення безалкогольних напоїв застосовують рідкий цукор усіх трьох категорій.

Рідкий цукор найвищої категорії є цукровим сиропом, очищеним від механічних домішок та знебарвленим за допомогою адсорбенту. На противагу йому, цукор першої категорії очищують фільтрувальними порошками. Рідкий цукор транспортують у харчових автоцистернах відповідно до санітарних норм для перевезення продовольчих вантажів. Зберігати рідкий цукор необхідно у попередньо ретельно очищених закритих металевих резервуарах. Температура зберігання цукру не повинна перевищувати 18°C.

****Замінники цукру.**** Для приготування низькокалорійних напоїв та напоїв для діабетиків використовуються ксиліт, сорбіт, сахарин, аспартам та стевіазид (який у 300 разів солодший за звичайний цукор).

Ксиліт — це п'ятиатомний спирт. Він має вигляд білих кристалів (допускається злегка жовтуватий відтінок), солодкий на смак, без запаху, добре розчиняється у воді. Ксиліт отримують із рослинної сировини, що містить пентозани: бавовняного лущиння, стрижнів кукурудзяних качанів. Ксиліт фасують у непросочені паперові мішки з поліетиленовими вкладишами (нетто 25 кг); зберігають у сухому приміщенні при вологості не більше 75 %.

Сорбіт є шестиатомним спиртом, продуктом гідрування глюкози. Зовні він виглядає як тверді сірувато-білі плити, має солодкий смак із приємним охолоджувальним присмаком. Сорбіт не має запаху, добре розчиняється у воді, його калорійність дорівнює калорійності цукру.

Термін придатності сорбіту становить 1 рік. У виняткових випадках його може бути подовжено ще на 6 місяців, за умови, що якість сорбіту відповідає технічним умовам. Плити сорбіту загортають у парафіновий папір і поміщають у дерев'яні чи фанерні ящики або картонні коробки. Зберігати сорбіт слід у сухому приміщенні за температури не вище 25°C.

Сахарин — це імідоформула ортосульфатної кислоти. Його синтезують з толуолу через ортотолуолсульфохлорид та ортотолуолсульфамід. Сахарин не засвоюється людським організмом, отже, не несе поживної цінності. Зовні це білий або ледь жовтуватий кристалічний порошок. Він не має запаху, у 500 разів солодший за цукор; погано розчиняється у холодній воді, але легко — у гарячій. Масова частка чистого цукру в продукті становить 92 %, зольність у формі сульфатних солей не перевищує 0,2 %.

Аспартам — це штучний підсолоджувач, отриманий шляхом ензиматичних перетворень амінокислот: L-фенілаланіну та аспарагінової кислоти. Він має кристалічну структуру, білий колір, позбавлений запаху, солодкий на смак. Солодкість аспартаму становить не менше 180 однакових одиниць порівняно з цукром. Необхідну за рецептурою кількість аспартаму спочатку вносять у ємність з водним розчином лимонної кислоти, перемішуючи його протягом 3–5 хвилин до повного розчинення. Контроль розчинення аспартаму здійснюється візуально. Потім водний розчин лимонної кислоти з аспартамом перекачують до купажного сиропу.

Ацесульфам калію (сунет) — циклічний ефір сульфонової кислоти ацетоацетаміду- K^+ — належить до штучних підсолоджувачів; зовні це білі або прозорі кристали, без запаху, солодкі на смак. Солодкість ацесульфаму калію становить не менше 200 однакових одиниць порівняно з цукром. Необхідну за рецептурою кількість ацесульфаму калію розчиняють у підготовленій воді у спеціальній ємності. Контроль розчинення ацесульфаму калію проводиться візуально. Отриманий розчин ацесульфаму калію вносять у купажний апарат.

****Барвники.**** Для приготування колеру (кольорового сиропу) використовують апарати з електричним нагрівом. У колероварильний апарат наливають 1–2 % води від маси цукру, вмикають мішалку та завантажують цукор. Далі температуру поступово піднімають до 160–165°C. Цукор починає плавитися. Цю температуру підтримують доки цукор не набуде темно-бурого забарвлення. Нагрів вимикають і обережно додають гарячу воду температурою 75–90°C у об'ємі 8 % від використаної маси цукру. Після цього температуру

підвищують до 180–200°C, що спричиняє карамелізацію цукру. Суміш витримують при цій температурі, поки проба не почне розтікати на скляній пластині. Потім, при працюючій мішалці, знову додають воду до досягнення концентрації цукру (СР) $70\pm 2\%$, після чого суміш передають у збірник для зберігання та охолодження.

При виготовленні безалкогольних напоїв, як барвник замість колеру застосовують карамелі — їхня витрата менша, вони дешевші та забезпечують інтенсивніше забарвлення.

Енобарвники добувають із вичавок винограду червоних сортів. Основна барвна субстанція — енін, який належить до групи антоціанів. Настоявання вичавок проводять у воді або 1%-му розчині соляної кислоти протягом 12–20 годин, після чого настій фільтрують та випаровують. Також виготовляють барвники з вичавок смородини, кизилу, буряка.

Синтетичні барвники: Тартразин надає оранжево-жовтого забарвлення, індигокармін — синього.

****Консерванти.**** Вони належать до категорії харчових добавок. Їхнє застосування не повинно негативно впливати на органолептичні властивості напоїв чи їхню споживчу цінність. Антимікробна дія консервантів має бути спрямована переважно проти тієї групи мікроорганізмів, які спричиняють псування напоїв. Як консерванти для безалкогольних напоїв використовуються бензойна, сорбінова, аскорбінова кислоти, юглон, плюмбагін. Для кожного консерванту Міністерством охорони здоров'я України встановлено максимально допустиму дозу для застосування у виробництві напоїв.

Бензойна кислота набула значного поширення за кордоном, а останнім часом і в нашій країні. Через низьку розчинність у воді її використовують у формі натрієвої солі. За кордоном також застосовують ефіри бензойної кислоти: метил-4-гідроксибензоат, етил-4-гідроксибензоат, пропіл-4-гідроксибензоат. Бензойна кислота та її похідні активні насамперед проти дріжджів, міцеліальних грибів, і меншою мірою — проти бактерій.

Напої, що випускаються підприємствами галузі, переважно мають титровану кислотність у межах 2,0–3,0 см³ 0,1 н розчину NaOH та показник рН у діапазоні 3,2–3,6. Частка недисоційованої кислоти при цьому складає 72–75 % від внесеної кількості.

Коли створюються нові напої з високою стабільністю, особливо ті, що містять бензоат натрію, необхідно брати до уваги не лише титровану кислотність, а й рівень рН напоїв, адже вони мають значну буферну здатність.

При зниженні рН, особливо якщо використовується лимонна кислота, якість смаку напоїв може погіршитися – вони стають надмірно кислими. У напоях типу "Кола" (з рН у межах 2,4–2,8) з цією метою застосовують ортофосфорну кислоту. Також варто пам'ятати, що досягти низьких значень рН можна лише за умови використання пом'якшеної води.

Тривале застосування бензойної кислоти у виробництві призводить до того, що дріжджі до неї адаптуються. Дріжджові культури, стійкі до бензойної кислоти, здатні витримувати її концентрації, що перевищують норму вдесятеро, при культивуванні у безалкогольних напоях. Деякі мікроорганізми мають здатність розкласти цю кислоту.

Сорбінова кислота демонструє меншу активність порівняно з бензойною. Її антимікробна дія насамперед спрямована проти дріжджів та нитчастих грибів. Як і для кислот з антимікробним ефектом, ефективність сорбінової кислоти зростає зі зниженням рівня рН середовища. Зазвичай її використовують у формі калієвої або натрієвої солей.

Сорбінова кислота може викликати зміни у смаку напою, особливо під час зберігання, надаючи йому явно вираженого кислого присмаку. Це пов'язано з її високою реакційною здатністю та схильністю до легкого окислення на повітрі.

Деякий вищий ефект сорбінова кислота демонструє у комбінації з аскорбіновою кислотою. Сорбінова кислота пригнічує розмноження мікроорганізмів; додавання аскорбінової кислоти, створюючи безкисневі умови, одночасно запобігає окисленню сорбінової кислоти. Робочий розчин сорбінової кислоти має обмежений термін придатності; його слід зберігати у герметично

закритій тарі, захищаючи від тепла та світла.

Якщо у виробництві одночасно застосовують сорбінову та бензойну кислоти, необхідне зменшення дозування обох консервантів.

Юглон характеризується високою антимікробною спроможністю проти дріжджів і меншою — проти бактерій. Консервуючий ефект юглону зазвичай перевершує дію бензойної та сорбінової кислот і не залежить від показника рН напою. Юглон погано розчиняється у воді, але добре – у етиловому спирті. У виробництві застосовують лише свіжоприготований спиртовий розчин юглону, оскільки при зберіганні його робочого розчину знижується антимікробна активність.

У природі юглон можна знайти у рослинах сімейства горіхових. Його особливо багато у молодих пагонах та незрілих оболонках волоських горіхів. Юглон, виділений із зеленої шкірки волоського горіха, був запропонований Нікитським ботанічним садом у 1970 році як консервант для безалкогольних напоїв.

Внесення юглону в напої не впливає на такі біологічні компоненти, як тіамін, рибофлавін та аскорбінова кислота. Широке використання природного юглону стримується через невелику кількість рослинної сировини та низький вихід продукту – до 1,5-2,0 % від ваги свіжої сировини.

У НВО напоїв та мінеральних вод розроблено технологію застосування синтетично отриманого юглону. Було вивчено його антимікробну дію на мікроорганізми, що спричиняють псування напоїв.

Для виготовлення напоїв залучають органічні харчові кислоти: лимонну, молочну та винно-кам'яну. Лимонна кислота використовується для надання напоям кислого смаку. Молочна кислота необхідна при виробництві хлібного квасу. Винно-кам'яна кислота застосовується при створенні сухих напоїв.

Для збагачення безалкогольних напоїв вітамінами до купажного сиропу додають вітамінні комплекси та аскорбінову кислоту. Аскорбінова кислота також виконує функцію антиоксиданту, продовжуючи термін зберігання напоїв, запобігаючи псуванню через окиснення. Аскорбінову кислоту вводять у

купажний сироп у вигляді 50% водного розчину. Щоб уникнути руйнування вітамінних комплексів та аскорбінової кислоти, їх додають повільно у сироп безпосередньо перед початком розливу напою.

Флодово-ягідні напівфабрикати — це натуральні та спиртовані (з концентрацією алкоголю 16% об.) фруктові та ягідні соки, морси (міцністю 1% об.), а також фруктові, ягідні та пряно-ароматичні екстракти.

Для надання напоям характерного аромату використовують ароматичні компоненти — есенції та настої. Натуральні есенції (лимонна, мандаринова, апельсинова) отримують шляхом настоювання цедри свіжих цитрусових на водно-спиртовому розчині, подальшої екстракції та відгону разом зі спиртом під вакуумом; міцність такої есенції становить 64–69% об.

Спиртовані цитрусові настої міцністю 65% об. виробляють методом протиточної екстракції.

Окрім есенцій та настоїв, у виробництві напоїв застосовують ванілін, ефірні олії троянди, евкалипта, лаврового листа, а також такі спеції, як перець, кориця, мускатний горіх, гвоздика, кмин, левзея, женьшень та елеутерокок.

Діоксид вуглецю використовується як у рідкому, так і в газоподібному стані. CO₂ надає напоям приємного освіжаючого смаку, створює "гру" напою, а також є ефективним консервантом. Транспортування та зберігання CO₂ здійснюють у сталевих балонах під надлишковим тиском близько 6,5 МПа при температурі 20°C.

1.2. Базовий технологічний план виготовлення газованих безалкогольних напоїв та опис ключових виробничих етапів

Виробництво газованих безалкогольних напоїв може реалізовуватися за різними технологічними схемами, що залежать від обраних прийомів, конфігурації виробничих площ, задіяного обладнання та його взаємного розміщення. На рисунку 1.1. представлена апаратурно-технологічна схема виробництва газованих безалкогольних напоїв з розливом у скляну тару в умовах двоповерхового приміщення.

Процес виготовлення газованих безалкогольних напоїв складається з таких головних етапів: приймання, зберігання та внутрішнє переміщення сировини; виготовлення цукрового сиропу; підготовка технічної води; приготування робочих розчинів інгредієнтів; створення купажного сиропу; розлив готової продукції.

Приймання, зберігання та внутрішнє транспортування сировини. Цукор-пісок зазвичай надходить на підприємства в мішках автомобільним транспортом.

За допомогою електрокара (1) мішки з цукром переміщують з автомобілів на ваги (2), де фіксується їхня маса, після чого цукор складують на зберігання. Зі складського приміщення мішки подаються до бункера (3) за допомогою підйомника (3). Цукор вивантажують з мішків у бункер, звідки він направляється на етапи приготування цукрового сиропу та колера.

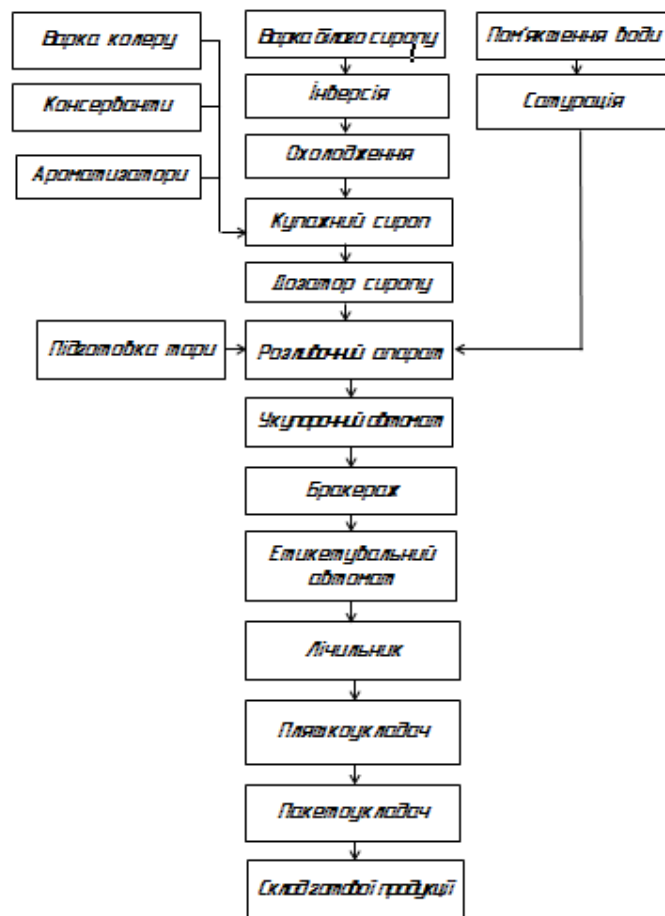


Рис.1.1. Технологічна схема виробництва напоїв газованих

Есенції, ароматичні речовини, концентрати для напоїв, концентровані соки, барвники та органічні кислоти ті, що прибувають на виробництво, звичайно транспортуються у полімерній тарі, і після відповідного приймального контролю розміщуються у складському приміщенні. Для створення робочих розчинів, ці компоненти піднімають за допомогою вантажопідйомного механізму 12 до збірних ємностей 11,13,14.

Соки, настоянки та вина, що містять алкоголь, надходять у тарі, виготовленій з різноманітних матеріалів. Після процедури зважування цих продуктів на терезах 2, їх перекачують гнучкими шлангами за допомогою насоса 5 до резервуарів 6 для подальшого зберігання. Дрібні партії можуть залишатись у своїй транспортувальній тарі. Соки та настоянки проходять процес фільтрації на пластинчастому фільтрі 7, звідки вони спрямовуються до напірних баків 8 та 9. Вина ж направляються до ємності 10.

Приготування цукрового сиропу та колеру. Цукровий пісок із бункера 4 самопливом потрапляє на автоматичні ваги 15, а потім до сироповарільного апарату 16, куди також подається незаражена вода та відбракована партія продукції з ємності для корекції браку, розташованої у зоні розливу. Готовий цукровий сироп перекачується насосом 17 через фільтр 18 та теплообмінник 19 до резервуару 20.

Колер виготовляють у спеціальному колероварільному апараті 21. Після того, як колер охолоне, його розводять водою і передають у ємність для барвників 14.

Технологічна підготовка води. Як правило, питна вода, що надходить у виробничий цикл, потребує додаткового очищення, насамперед для зниження її твердості. Якщо використовується метод іонного обміну, вода пом'якшується в іонообмінному фільтрі 22 і збирається у резервуарі для пом'якшеної води 23. Регенераційний розчин для іонообмінного фільтра готується у солерозчиннику 24. Подалі, пом'якшена вода охолоджується у теплообміннику, надходить у деаераційну колону 25, а потім — у сатураційну колону сатураційної установки, куди подається вуглекислий газ із ресивера 26. Ресивер призначений для

зниження тиску вуглекислого газу, що надходить із балонів через колектор 27.

Створення робочих розчинів із сировини. Робочі розчини для компонентів купажного сиропу готуються відповідно до затверджених технологічних інструкцій. Зазвичай, процес приготування робочих розчинів зводиться до їхнього розведення підготовленою водою.

Виготовлення купажного сиропу. З напірних баків 8,9,10,11,13 і 14, розташованих на майданчику перед купажуванням, компоненти сиропу подаються у купажні апарати 28 для змішування. Отриманий купажний сироп перекачується насосом через фільтр 29 до резервуарів купажного сиропу 30, а потім, пройшовши теплообмінник, вирушає до напірних ємностей, розміщених у цеху розливу.

Розлив готової продукції. Порожні пляшки, розміщені у ящиках, транспортуються по роликовому конвеєру 32 до складу оборотної тари. За допомогою штабелера 33 ящики з пляшками формуються у стоси або доставляються до стрічкового конвеєра 34, яким вони подаються до ескалатора 37, що підіймає їх до машини для миття пляшок 38. Порожні ящики, звільнені автоматом для виймання пляшок 35, спрямовуються по стрічковому транспортеру до зони експедиції для пакування готової продукції у ящики.

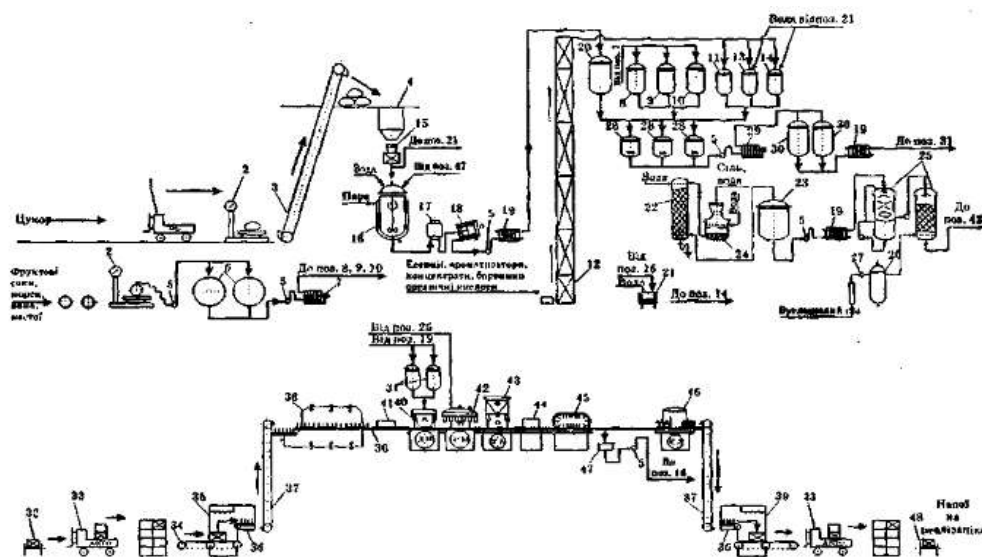


Рис.1.2. Технологічна схема виготовлення безалкогольних напоїв з розливом у скляні пляшки

1 – електрокар; 2 – ваги; 3 – підйомник; 4 – бункер для виробничого запасу

цукру; 5 – насос; 6 – збірники для спиртованих соків, морсів, настоек і вин; 7 – фільтр; 8 – збірник для фільтрованих соків; 9 – збірник для фільтрованих настоек; 10 – збірник для вин; 11 – збірник для ароматичних есенцій; 12 – вантажопідіймач; 13 – збірник для розчину кислот; 14 – збірник для розчину барвників; 15 – автоматичні ваги; 16 – сироповарильний апарат; 17 – монжю; 18 – сітчастий фільтр; 19 – пластинчастий теплообмінник; 20 – напірний збірник для цукрового сиропу; 21 – колероварильний апарат; 22 – іонообмінний фільтр; 23 – збірник для пом'якшеної води; 24 – солерозчинник; 25 – сатуратор; 26 – ресивер; 27 – колектор; 28 – купажний апарат; 29 – фільтр; 30 – збірник купажного сиропу; 31 – напірні збірники купажного сиропу; 32 – рольганг; 33 – штабелеукладач; 34 – стрічковий транспортер; 35 – автомат для виймання пляшок з ящиків; 36 – пластинчастий транспортер; 37 – ескалатор для пляшок; 38 – пляшкокомийна машина; 39 – автомат для укладання пляшок в ящики; 40 – дозувальний автомат; 41 – світловий ліхтар; 42 – розливочний автомат; 43 – закупорювальний автомат; 44 – змішувальна машина; 45 – бракеражний автомат; 46 – етикетувальний автомат; 47 – збірник виправного браку; 48 – транспортер

Очищені ємності, рухаючись по стрічковому конвеєру, проходять через освітлювальний пристрій з метою контролю якості очищення перед тим, як потрапити до дозатора купажного сиропу (41). Далі, тару, наповнену точно визначеною порцією сиропної суміші, направляють до розливного комплексу (42), потім до апарату для закупорювання (43), змішувального вузла (44), машини для контролю якості (бракеражу) (45) та, нарешті, до етикетувального механізму (46). Напої, що пройшли повний цикл наповнення, герметизації та оформлення, за допомогою похилого конвеєра доставляються у зону відвантаження (експедицію) до пакувального апарату (39) для формування їх у транспортні ящики.

Продукція, забракована у процесі контролю (на автоматі 45), акумулюється у збиральному баку (47), звідки за допомогою насосної станції перекачується назад у пристрій для приготування сиропу.

У зоні експедиції ящики з готовими напоями або укладаються у штабелі, або ж прямують на рухомий конвеєр (48) для подальшої дистрибуції споживачеві.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Продуктовий розрахунок

Вихідні дані:

Асортимент – напій газований

Продуктивність – $P=12000$ пл./год.

Розфасовка-скляні пляшки 0,5л

Виходячи з даних завдання на дипломний проєкт визначаємо витрати води для виготовлення 12000 пл./год. згідно з [3] за формулою:

$$K = \frac{P \cdot N}{1000} \quad (2.1)$$

де P – продуктивність лінії, пл./год.

N – норма витрати води, кг./1000 пл.

Підставивши дані у вихідну формулу отримаємо:

$$K = \frac{12000 \cdot 500}{1000} = 6000 \text{ кг/год}$$

Розрахунок компонентів цукрового сиропу

Витрати цукру й води на приготування 100 кг. цукрового сиропу, який включає 65 гр. цукру в 100 гр., при густині сиропу 1,3163 кг/м³ згідно [3] визначаються за формулою:

$$\text{Цукор } 131,63 \times \frac{65}{100} = 85,56 \text{ кг}$$

$$\text{Вода } 131,63 \times \frac{35}{100} = 46,07 \text{ кг}$$

Враховуючи, що цукор містить 0,14 мас. % вологи, його потрібно внести більше:

$$85,56 + 85,56 \times \frac{0,14}{100} = 85,72 \text{ кг}$$

Води, з врахуванням втрат при варінні на випаровування, необхідно:

$$46,07 + 46,07 \times \frac{10}{100} = 50,68 \text{ кг}$$

Розрахунок дози купажного сиропу.

На одну пляшку напою доза купажу (в мл.) згідно з [3] визначається за формулою:

$$L = \frac{V\omega}{\omega^1} \quad (2.2)$$

де V – місткість пляшки, мл

ω – вміст СВ в 1л готового напою, гр

ω^1 – вміст СВ в 1л купажного сиропу, гр

Підставивши дані у вихідну формулу отримаємо:

$$L = \frac{500 \times 96,27}{614,78} = 78,3\text{кг}$$

Дозуючий пристрій не забезпечує точності вимірювання дози з десятими частинами, тому дозу перераховують в цілих одиницях, кратних 5 або 10, і розраховують скільки потрібно додати в купажний сироп води згідно з [3] за формулою:

$$W = [1000P(L_1 - L)]/L \quad (2.3)$$

де P – об'єм купажного сиропу, л

L_1 – потрібна доза сиропу, мл

L – розрахункова доза сиропу, мл

Підставивши дані у вихідну формулу отримаємо:

$$W = \frac{[1000 \cdot 300(80 - 78,3)]}{78,3} = 6513 \text{ мл або } 6,5\text{л}$$

Розрахунок потреби тари і тараматеріалів проводиться за формулою:

$$T = \frac{S \times 100}{(100 - x)} \quad (2.4)$$

де S – продуктивність лінії, пл./год.

x – втрати крокен-корки, пляшок, етикеток

Потреба крокен-корки згідно з [3] становить:

$$T = \frac{12000 \times 100}{(100 - 2)} = 12244,9 \text{ шт}$$

Потреба пляшок становить:

$$T = \frac{12000 \times 100}{(100 - 1)} = 12121,2 \text{ шт}$$

Потреба етикеток становить:

$$T = \frac{12000 \times 100}{(100 - 0,5)} = 12060,3 \text{ шт}$$

Потреба клею для наклеювання етикеток визначається за формулою:

$$K = \frac{P \times N}{1000} \quad (2.5)$$

де P – продуктивність лінії, пл./год.

N – норма витрати клею, кг/1000 пл.

Підставивши дані у вихідну формулу отримаємо:

$$K = \frac{12000 \times 0,1}{1000} = 1,2 \text{ кг/год}$$

2.2. Добір та розрахунок кількості основного та допоміжного технологічного устаткування

– Вибір технологічного обладнання здійснюється з урахуванням актуальних тенденцій розвитку сучасної харчової промисловості, а також найновіших досягнень у галузі проектування, експлуатації та технічного обслуговування. Це передбачає аналіз каталогів однотипного обладнання необхідної продуктивності, причому продуктивність обов'язково передбачається з 10–15% резервом понад встановлену потребу. Для організації виробництва газованих безалкогольних напоїв було підбрано відповідне високотехнологічне устаткування. Основні етапи виробничого процесу газованих напоїв включають:

1. Підготовка води (очищення, фільтрація, знезараження).

2. Приготування сиропу (змішування цукру, ароматизаторів, барвників, консервантів тощо).
3. Змішування води з сиропом.
4. Насичення продукту вуглекислим газом (карбонізація).
5. Розлив підготовленого напою в тару.
6. Закупорювання тари.
7. Етикетування та пакування готового продукту.

Виробничий комплекс із потужністю 12 000 скляних пляшок за годину вимагає використання автоматизованого обладнання, яке відповідає сучасним вимогам та стандартам. Обране обладнання забезпечує: – стабільно високу якість продукції; – швидкість роботи на технологічному рівні; – відповідність санітарно-гігієнічним нормам Європейського Союзу та України; – енергоефективне функціонування. Обґрунтування вибору та специфіка основного обладнання: Система водопідготовки Модель: типова автоматизована система RO-6000L/H із блоком зворотного осмосу, здатна працювати з продуктивністю 6000 літрів на годину (з можливістю паралельної роботи двох систем). Комплектація включає: – механічну фільтрацію (піщаний фільтр); – систему очищення активованим вугіллям; – пом'якшувальний фільтр (Накатіонітний); – установку зворотного осмосу; – УФ-стерилізатор для знезараження. Встановлений обсяг продуктивності водопідготовки: За розрахунками, система повинна забезпечувати постачання води для 12 000 пляшок напою щогодини. Розрахунок виконано наступним чином: $12\ 000 \text{ пляшок/год} \times 0,5 \text{ л} = 6\ 000 \text{ л/год}$ питної води. Додатково враховано: – витрати на технологічну промивку виробничої лінії (близько 3–5% від загальної кількості води); – втрати рідини під час процесу зворотноосмотичного очищення (ефективність осмосу становить приблизно 70%). Обране обладнання покриває всі основні потреби підприємства, забезпечуючи оптимальні умови для функціонування лінії розливу та гарантує дотримання високих стандартів якості готового продукту.

- Запас 10–15% на технічні потреби

Розрахунок загальної потреби:

$$Q_{\text{потр}} = \frac{Q_{\text{розлив}} + Q_{\text{втрат}}}{\eta} \quad (2.6)$$

де:

$$-Q_{\text{розлив}} = 6000 \text{ л/год}$$

$$-Q_{\text{втрат}} = 0,05 \cdot 6000 = 300 \text{ л/год}$$

$-\eta = 0,70$ – ефективність системи зворотного осмосу

$$Q_{\text{потр}} = \frac{6000 + 300}{0,70} = 9000 \text{ л/год}$$

Для забезпечення стабільної роботи виробництва потрібна система водопідготовки не менше ніж 9000 л/год.

Обрана модель RO-6000L/H не покриває повну потребу, тому:

– рішення: встановити 2 такі системи паралельно:

$$2 \cdot 6000 = 12000 \text{ л/год} > 9000 \text{ л/год}$$

Параметр	Значення
Потреба в очищеній воді	6000 л/год
Загальна потреба (з урах. втрат)	9000 л/год
Ефективність системи RO	70%
Обрана модель	RO-6000L/H (Pestopack / інші)
Кількість	2 шт (паралельно)
Запас потужності	+33%

2. Система приготування сиропу

Функція: розчинення цукру, інгредієнтів, ароматизаторів

Розрахунок:

Для 12 000 пляшок $\times 0,5 \text{ л} = 6 000 \text{ л/год}$ напою, із вмістом сиропу $\approx 10\%$:

$$Q_{\text{сиропу}} = 0,10 \cdot 6000 = 600 \text{ л/год}$$

З урахуванням запасу та циклічності приготування – беремо:

Резервуари для сиропу об'ємом 1000 л кожен, 2 одиниці (1 для приготування, 1 для подачі). Обладнання:

– Цукророзчинник із мішалкою.

– Фільтр для тонкого очищення. – Помпа для перекачування сиропу. 3. Установа сатурації (насичення води CO₂).

Функція: насичення води чи напою вуглекислим газом. – Оптимальна температура перед сатурацією: нижче 4°C. – Обрано модель з продуктивністю 6000 л/год. – Для ізобаричного розливу у скляну тару необхідно проводити насичення напою після змішування. – Рівень насичення CO₂: від 3,5 до 4 г/л (стандарт для напоїв з високим рівнем газування). 4. Купажний апарат (змішування сиропу з водою). – Продуктивність: 6000 л/год. – Пропорція купажу: 10% сиропу на 90% води. – Обрана модель: автоматизований купажний апарат із вбудованою системою охолодження та точного дозування. – В комплекті: змішувач, теплообмінник, насосна система. 5. Автомат для розливу "три-в-одному" (мийка, розлив, закупорювання). – Обрана модель: PGF 32-32-10 або DCGF 40-40-12. – Максимальна продуктивність: до 12 000 пляшок/год (формат 0,5 л, скло). – Комплектація: – Мийна машина на 32 захвати. – 32 клапани для ізобаричного розливу. – Десять закупорювальних головок (під коронку або гвинтову кришку). 6. Охолодження або пастеризація за потреби. У разі, якщо напій містить натуральні компоненти або потрібно продовжити його термін зберігання: – Тип обладнання: тунельний пастеризатор або охолоджувач. – Продуктивність: не менше 12 000 пляшок/год. 7. Машина для етикетування. – Типи етикеток: паперові, самоклеючі або термозбіжні (рукавного типу). – Обрана модель: автоматизована етикетувальна машина з продуктивністю до 12 000 пляшок/год. – Особливості маркування: круглі скляні пляшки — фронтальне або повне маркування. 8. Система контролю якості. – Оптичний або ваговий контроль рівня наливу. – Датчик перевірки наявності кришки. – Механізм відбраковування дефектних пляшок. 9. Упаковочна машина. – Тип групової упаковки: по 6 або 12 пляшок у поліетиленову плівку. – Обрана модель: автоматизована термозбіжна пакувальна машина. – Продуктивність: від 20 до 25

упаковок на хвилину або до 12 000 пляшок/год.

Таблиця 2.1 – Підсумкова таблиця підбраного обладнання

№	Обладнання	Модель/тип	Продуктивність	Кількість
1	Станція водопідготовки	RO-6000L/H	2×6000 = 12 000 л/год	2
2	Сиропозмішувач	Змішувальний бак + насос	1000 л/цикл	2
3	Купажний апарат	Автоматичний змішувач	6000 л/год	1
4	Сатураційна установка	Насичувач CO ₂	6000 л/год	1
5	Розливний автомат (3-в-1)	PGF 32-32-10	12 000 пл/год	1
6	Тунель охолодження / пастеризація	Опціонально	12 000 пл/год	1
7	Маркувальна машина	Рукавна або самоклейна	12 000 пл/год	1
8	Контроль якості	Сенсори відхиляч +	12 000 пл/год	1
9	Пакувальна машина	Термозбіжна обгортка	25 пак/хв	1

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Техніко-економічне обґрунтування

Один з ключових механізмів, що гарантують високу продуктивність лінії розливу та відмінну якість готової продукції, це сатураційно-розливальна станція.

По суті, сатураційна станція – це сукупність пристроїв, що відповідають за видалення кисню з води (деаерацію) та насичення кінцевого напою вуглекислим газом (CO₂). Деаерація води є обов'язковою умовою для коректного процесу розливу. Наявність повітря, розчиненого у воді, істотно не впливає на процес газування напою, проте під час розливу це розчинене повітря спричиняє надмірне піноутворення та переливи рідини з тари.

Як правило, сатураційно-розливальне обладнання розглядається не як дві окремі одиниці, а як єдиний комплекс. Тому і огляд різновидів наявного інвентарю слід проводити комплексно.

Для наповнення тари рідинами застосовуються різноманітні методи, вибір яких залежить від визначених технологічних вимог процесу розливу та характеристик самої рідини.

За способом наповнення апарати для розливу поділяються на квартал основних категорій: гравітаційні, ізобаричні, сифонні та вакуумні.

Гравітаційний спосіб полягає у вільному витіканні рідини з дозувального пристрою чи резервуара лише під дією сили тяжіння (самопливом) при нормальному атмосферному тиску. Цим методом розливають середовища, які не містять летких компонентів.

Ізобаричний метод також передбачає витікання рідини з дозатора або накопичувальної ємності під впливом сили тяжіння, проте відбувається це під надлишковим тиском як у резервуарі, так і в тарі для наповнення. Цей спосіб використовується для газованих рідин.

Розлив під вакуумом допускає застосування двох варіантів: якщо розрідження (вакуум) створюється виключно в тарі, то рідина надходить завдяки різниці тисків між резервуаром (атмосферний) та тарою (розрідження); якщо ж

вакуум встановлюється і в тарі, і в резервуарі, витікання сировини відбувається під дією гравітації (самопливом).

Пристрої сифонного розливу функціонують за принципом сифона.

Будь-яким із згаданих чотирьох способів можлива дозована подача рідини – або за об'ємом, або за рівнем.

Модуль розливного автомата, який здійснює операцію заповнення тари рідиною незалежно від обраного методу розливу, має назву наповнювач або розливний механізм. Усі наповнювачі можна умовно класифікувати на апарати дозувального типу та власне розливні пристрої.

При наповненні тари згідно із заданим об'ємом використовуються дозувальні апарати – мірники, а при наповненні до потрібного рівня – розливні пристрої. У дозуючому розливному апараті відбувається відмірювання конкретної порції (дозы) рідини перед її завантаженням у тару. Розливний прилад наповнює тару до чітко визначеної (встановленої) позначки завдяки регулюванню виходу повітря з тари. За типом перекриття потоку рідини та ізоляції напірного бака від тари всі наповнювачі, що застосовуються для розливу рідин, можна розділити на кранові та клапанні.

Точність дозування у межах обумовленого об'єму залежить як від конструктивних особливостей (діаметр циліндра дозатора, швидкість та глибина його занурення у рідину в напірному баку, чутливість поплавкової системи тощо), так і від умов експлуатації. До останніх належать: коливання обумовлені рухом або відхиленням від вертикалі циліндра ковшового дозатора через зношення напрямних втулок; заклинювання та тертя у сальнику циліндра дозатора, що порушує формування меніска рідини на його кромці; заїдання та перекошення у поплавковій системі подачі рідини у напірний бак, що викликає різкі зміни її рівня у баку, а, відповідно, й у повітряній трубці.

АСК – автоматизований сатуратор безперервної дії (див. рис. 3.1) працює на принципі витиснювальної деаерації води. На спільній плиті змонтовано наступні ключові модулі: деаераційна колонка 11, сатураційна колонка 10, водяний насос 19, шафа 18 з пусковою електроапаратурою.

Деаераційна колона – це циліндричний резервуар, усередині якого розміщені розділювальні елементи: діафрагма 14, похилі трубки 12, конуси 15 та тарілки 13. На верхньому торці колонки розміщено клапан 9 для виведення суміші повітря та вуглекислого газу.

Сатураційна установка 10 також є герметичною циліндричною ємністю.

Усередині цієї колонки є труба, на вертикальному стрижні якої зафіксовані решітчасті диски 3. Верхня частина колонки заповнена насадкою з керамічних кілець і слугує для насичення води вуглекислим газом. Нижня частина виконує роль збірника для газованої води.

На сатураційній установці присутні: збірник 6 для газоповітряної суміші, манометр 7, запобіжний клапан 5, редукційний клапан 4 для вуглекислого газу, індикатор рівня води 17, електричні датчики 16 верхнього та нижнього рівнів води, патрубки 1, 2 та 8 для подачі води у колонку, відбору газованої води та виведення газової суміші.

Під час роботи сатуратора профільтрована та охолоджена до 4-7 °C вода нагнітається помпою 12 у водострумний ежектор 10, який, у свою чергу, затягує вуглекислий газ із сатураційної колони 4. У деаераційну колонку вода подається знизу і послідовно витісняється вгору. Вуглекислий газ, що не встиг розчинитися, заповнює простір під діафрагмою 8, формуючи газову подушку над водним шаром.

У міру накопичення газової суміші під діафрагмою вода витісняється доти, доки не відкриється нижній кінець похилої труби 9. Газова суміш по трубі 9 спрямовується до верхньої частини деаераційної колонки 7, звідки потрапляє до діафрагмового клапана 11, а після – у зовнішнє середовище. Діафрагмовий клапан налаштований на скидання суміші лише за умови функціонування насоса 12.

Вода з деаераційної колони по трубопроводу, минаючи зворотний клапан 6, надходить у нижню частину центральної труби сатураційної колони 4. Проходячи через отвори решітчастих дисків 3, вода та вуглекислий газ інтенсивно перемішуються, що сприяє максимальному розчиненню газу. Вода,

досягнувши верхньої частини центральної труби, переливається на сітку, яка забезпечує рівномірний розподіл рідини по насадці.

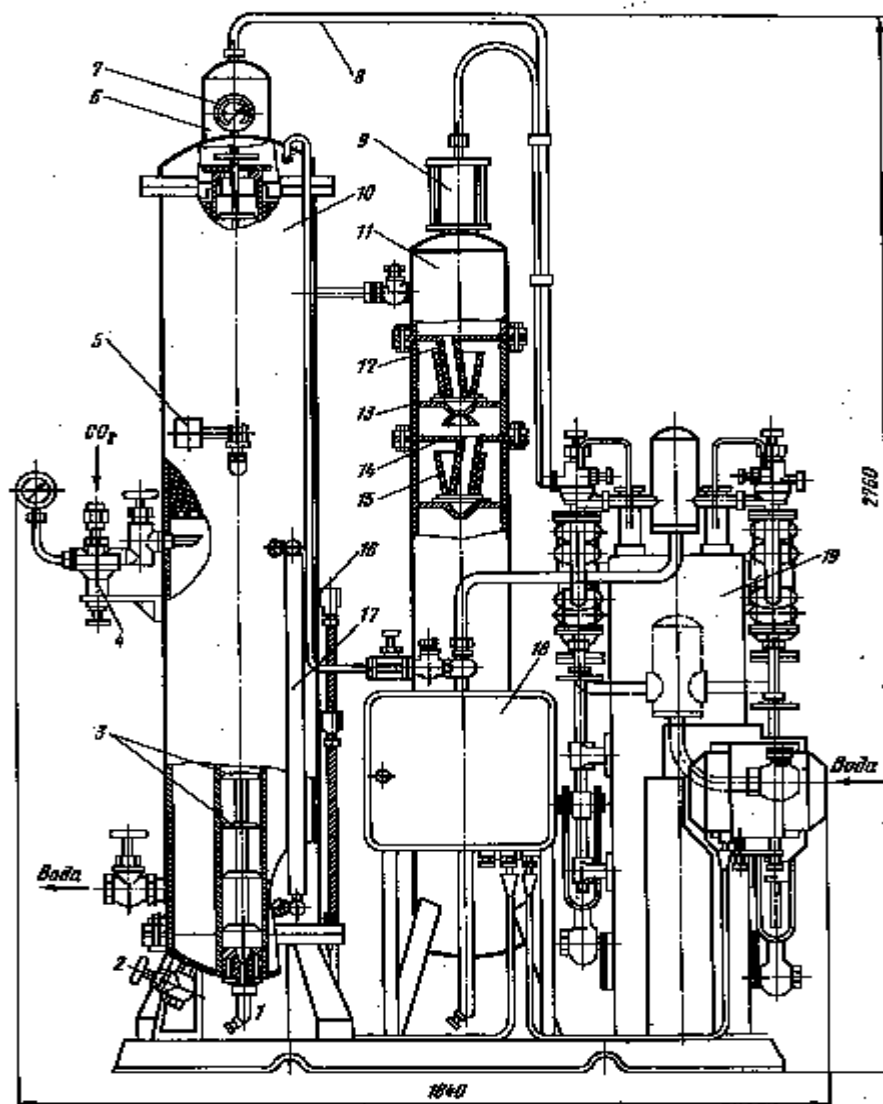


Рис. 3.1. Сатураційна установка АСК

1 – патрубок для подачі води в колонку, 2 – патрубок для подачі води в колонку, 3 – решітчастий диск, 4 – редукційний клапан, 5 – запобіжний клапан, 6 – збірник для суміші повітря та вуглекислого газу, 7 – манометр, 8 – патрубок для подачі води в колонку, 9 – клапан для відводу суміші повітря та вуглекислого газу, 10 – сатураційна колонка, 11 – деаераційна колонка, 12 – похилі трубки, 13 – тарілки, 14 – діафрагма, 15 – конуси, 16 – електричний датчик верхнього та нижнього рівнів води, 17 – показник рівня води, 18 – шафа з електроапаратурою, 19 – водяний насос

Вуглекислий газ подається в сатураційну колонку через редукційний клапан номер два, який виконує важливу функцію – підтримку стабільного тиску вуглекислого газу на рівні 0,6 МПа. У процесі насичення вода проходить крізь спеціальну насадку із кілець, які сприяють її взаємодії з CO₂, після чого зібрана газувана рідина акумулюється в нижній частині сатураційної колонки. Потім вона направляється через патрубок номер один безпосередньо до розливочних автоматів. Система оснащена автоматизованим контролем рівня газуваної води, що досягається завдяки використанню двох електричних сенсорів, ефективно підтримуючи заданий об'єм рідини. Проте в роботі цієї установки відзначаються певні недоліки, серед яких незадовільний рівень насичення води вуглекислим газом та недостатня ефективність процесу деаерації. Це є причиною втрат продуктивності та впливає на якість кінцевого продукту. Новітній сатуратор типу РЗ-ВСВ-3 спеціалізується на використанні у виробничих лініях для виготовлення безалкогольних напоїв із загальною продуктивністю до 3000 літрів на годину. Його конструкція передбачає можливість роздільного дозування сиропу та газуваної води, що значно оптимізує процес технологічного приготування напоїв. Пристрій не лише відрізняється високою експлуатаційною надійністю, але й забезпечує набагато краще насичення води вуглекислим газом, одночасно знижуючи його витрати на 30-35%, що позитивно позначається на економічній ефективності виробництва. Сатуратор РЗ-ВСВ-3 конструктивно складається із двох циліндричних колонок і трьох насосів, з'єднаних між собою розгалуженою системою трубопроводів з відповідною арматурою. Усі елементи обладнання інтегровані в монолітну конструкцію на основі міцної зварної рами. Додатково установка включає шафу з електроапаратурою, яка слугує центром управління всією системою. Головним компонентом сатуратора є деаераційна колонка під номером п'ять. Це герметична циліндрична ємність, виготовлена із високоміцної нержавіючої сталі, із вбудованою центральною трубою (позиція 4) та конічними тарілками (позиція 3), які відіграють ключову роль у цьому процесі. Вакуум-насос (позиція 9) впроваджує знижений тиск усередині колонки деаерації, забезпечуючи ефективне видалення розчинених газів із води. Колонка

насичення, позначена як позиція шість, також має циліндричну форму і одночасно виконує роль резервуара для накопичення вже газованої води. Додаткові насоси (позиція 8) забезпечують подачу попередньо деаерованої води під відповідним тиском до спеціального апарата (позиція 7), де відбувається інтенсивне насичення її вуглекислим газом. Для повноцінної роботи система обладнана патрубком номер один, призначеним для введення вуглекислого газу, а також комплексом контрольно-вимірювальних приладів і регулюючих пристроїв, які гарантують злагоджену роботу установки в автоматичному режимі. Усі необхідні компоненти електричної схеми розташовані у пульті управління (позиція 2), що підвищує зручність обслуговування. У процесі функціонування установки типу РЗ-ВСВ-3 вода, яка попередньо була відфільтрована та охолоджена до температури у межах 10.

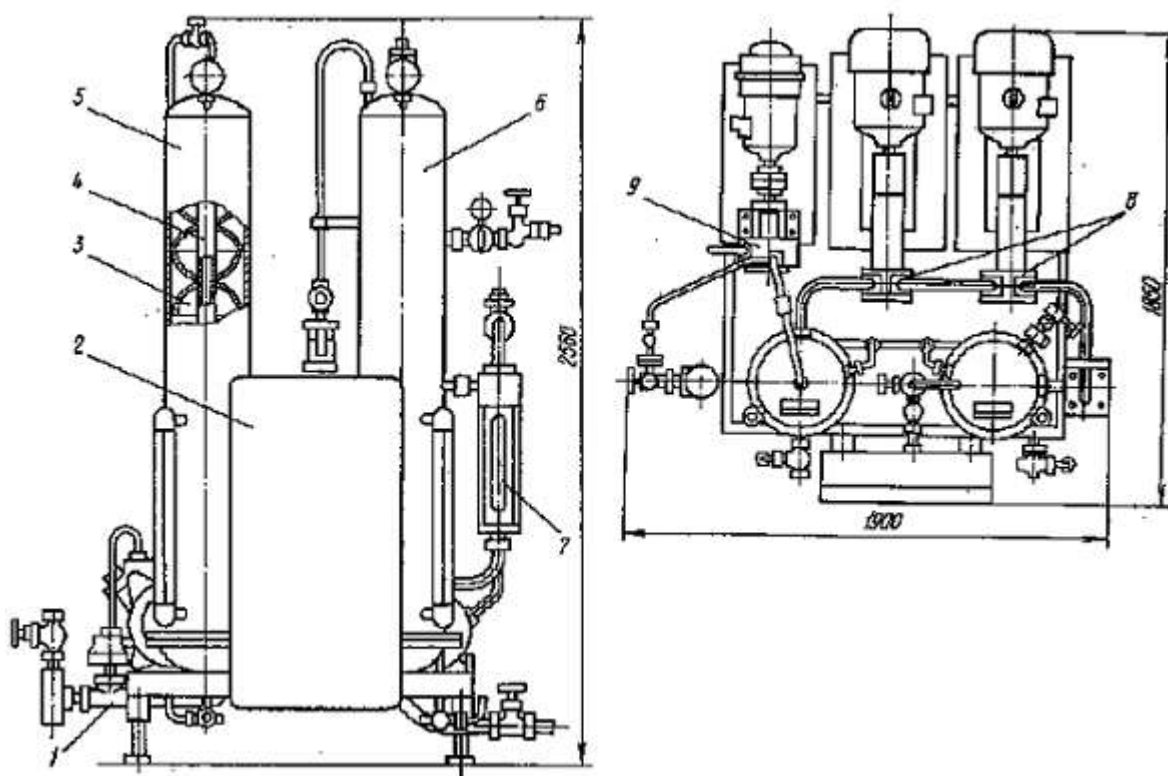


Рис. 3.2. Сатуратор РЗ-ВСВ-3

1 – патрубок для вводу CO_2 , 2 – пульт управління, 3 – конічна тарілка, 4 – центральна труба, 5 – деаераційна колонка, 6 – колонка насичення, 7 – струминний апарат, 8 – насос, 9 – вакуум-насос

Деаерована вода, яка відводиться з нижньої частини колонки, засмоктується через два послідовно підключені відцентрово-вихрові насоси. Під тиском 0,8-0,9 МПа вона спрямовується в струминний апарат, де відбувається її насичення вуглекислим газом. Газ, під тиском 0,5-0,6 МПа, подається в камеру змішування цього апарату безпосередньо з колонки. Насичена вуглекислим газом вода повертається в колонку, де затримується в стані спокою протягом певного часу перед розливом. У колонку постійно подається вуглекислий газ для підтримання заданого тиску в діапазоні 0,5-0,6 МПа. Газоповітряна суміш видаляється через спеціальну трубку, яка проходить через контрольний стакан накопичувальної колонки. Для забезпечення безпеки, колонка оснащена запобіжним клапаном. Сатуратори моделей РЗ-ВНС-1 і РЗ-ВНС-2 мають аналогічну конструкцію сатуратору РЗ-ВСВ-3. Проте вони спеціально розроблені для приготування газованих напоїв методом синхронного змішування та використовуються в комплексних лініях розливу безалкогольних напоїв із продуктивністю відповідно 6000 та 12000 пляшок .

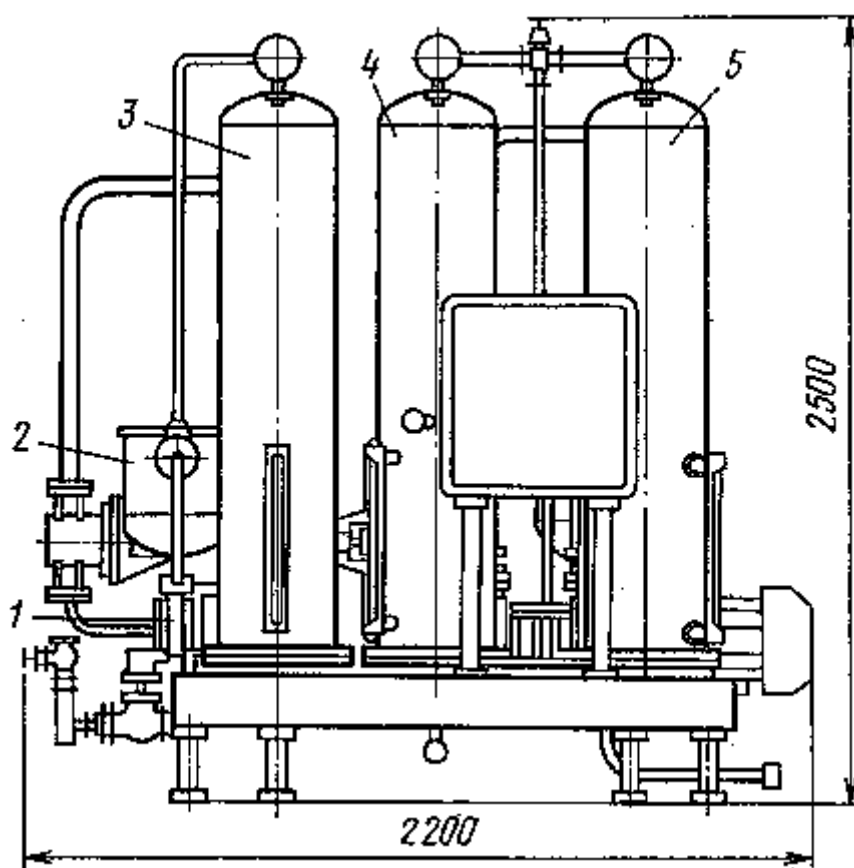


Рис. 3.3 Сатураційна установка РЗ-ВНС-1

1 – насос, 2 – бак для води, 3 – деаераційна колонка, 4 – колона насичення, 5 – накопичувальна колонка, 6 – насос-дозатор, 7 – змішувач, 8 – бачок для сиропу, 9 – п'ятиступеневий вихровий насос, 10 – струминний апарат, 11 – пульт управління, 12 – рама-основа, 13 – інжектор

На загальній зварній конструкції-основі (рамі) установки №12 (див. малюнок 3.3), розміщено наступні елементи: деаераторну колону (3), систему для підтримання розрідження, до якої входять помпа (1), резервуар для води (2) та інжектор (3); багатоступеневий (п'ятиступеневий) роторний насос (9); апарат струминного типу (10) та колону для насичення (4); комплекс для точного дозування та об'єднання води й сиропу, що містить дозувальну помпу (6), ємність для сиропу (8) та пристрій для змішування (7); бак-накопичувач (5) та пульт контролю (11).

Ключова відмінність гідравлічної схеми РЗ-ВНС-1 полягає у способі створення вакууму в колоні – він генерується за допомогою інжектора; вода, деаерована та насичена вуглекислотою, з колони надходить до насоса-дозатора. Цей насос вносить певну кількість купажного сиропу, після чого суміш сиропу з водою спрямовується у змішувач. У накопичувальній колоні вже готовий напій із вмістом газу витримується певний час перед тим, як його передадуть у наповнювальний бак розливальної машини.

З огляду на викладене, можна дійти логічного висновку про те, що застосування сатуратора для газованої води є виправданим та демонструє високу результативність.

3.2.Будова та принцип дії

Станція сатурації є спеціалізованим агрегатом, призначеним для комплексної обробки води та виготовленого напою. Вона виконує дві ключові функції: видалення розчиненого у воді повітря, тобто деаерацію, та насичення продукції вуглекислим газом (CO₂). Деаерація води в цьому процесі є необхідною мірою, щоб забезпечити безпечний і якісний розлив напою у тару. Присутність розчиненого повітря у воді може незначно впливати на здатність

напою насичуватися вуглекислим газом, але при розливі воно суттєво ускладнює процес. Зокрема, це призводить до зайвого утворення піни, що спричиняє переливання напою через край пляшки та втрати продукції. З огляду на це, підприємства харчової промисловості впроваджують сатуратори, які дозволяють оптимізувати виробничі процеси та підвищити загальну продуктивність. Організація роботи сатураторної станції починається з подачі підготовленої води. Вода, яка пройшла попередню обробку у водопідготовчому відділенні, за допомогою насоса транспортується трубопроводом до насосної деаераційної колони, яка зазвичай розташована на другому поверсі. Сам процес деаерації реалізується саме у цій колоні. Всередині неї знаходяться спеціальні горизонтальні пластини, що виконують роль багаторівневих каскадів. Поступово стікаючи по цим пластинам зверху вниз, вода зазнає інтенсивного руху та турбулентності, що сприяє ефективному видаленню повітря. Після завершення цього етапу очищена від повітря вода збирається в бачку деаерованої води. У паралельному технологічному процесі підготовлений сироп транспортується з купажного відділення за допомогою іншого насоса в окремий бачок сиропу, який розміщений поряд з бачком для води. Потім, залежно від необхідної рецептури продукту, відкриваються відповідні клапани цих бачків, що дозволяє змішати воду із сиропом у змішувачі. У змішувачі компоненти поєднуються в єдину однорідну масу рідкого напою. Щойно отримана суміш за допомогою третього насоса перекачується у трубопровід, який направляє її до колони готового напою. Під час проходження напій поступово насичується вуглекислим газом і проходить через пневмоклапан, який забезпечує контроль за процесом. Далі напій направляється у спеціальну зигзагоподібну трубу. Конструкція цієї труби містить серію перегородок, що сприяють оптимальному перемішуванню і покращенню насичення CO₂. Завершуючи цей етап, напій потрапляє у колону готової продукції. У цій колоні надзвичайно важливим є підтримання стабільного температурного режиму у межах 8–10 °C для найкращого збереження насичення напою вуглекислим газом. Для цього до колони подається охолоджена вода. Рівень рідини в колоні готової продукції регулюється

автоматично завдяки пневматичному клапану. Якщо рівень напою досягає максимально допустимої позначки, пневмоклапан активується та перекриває подачу напою в колону. Щоб зберегти високу якість створеного газованого напою і уникнути втрати вже введенного вуглекислого газу, в колону додатково подається CO₂. На фінальному етапі готовий напій із колони перекачується до лінії автоматизованого розливу в тару. Таким чином завершується процес виготовлення високоякісного газу.

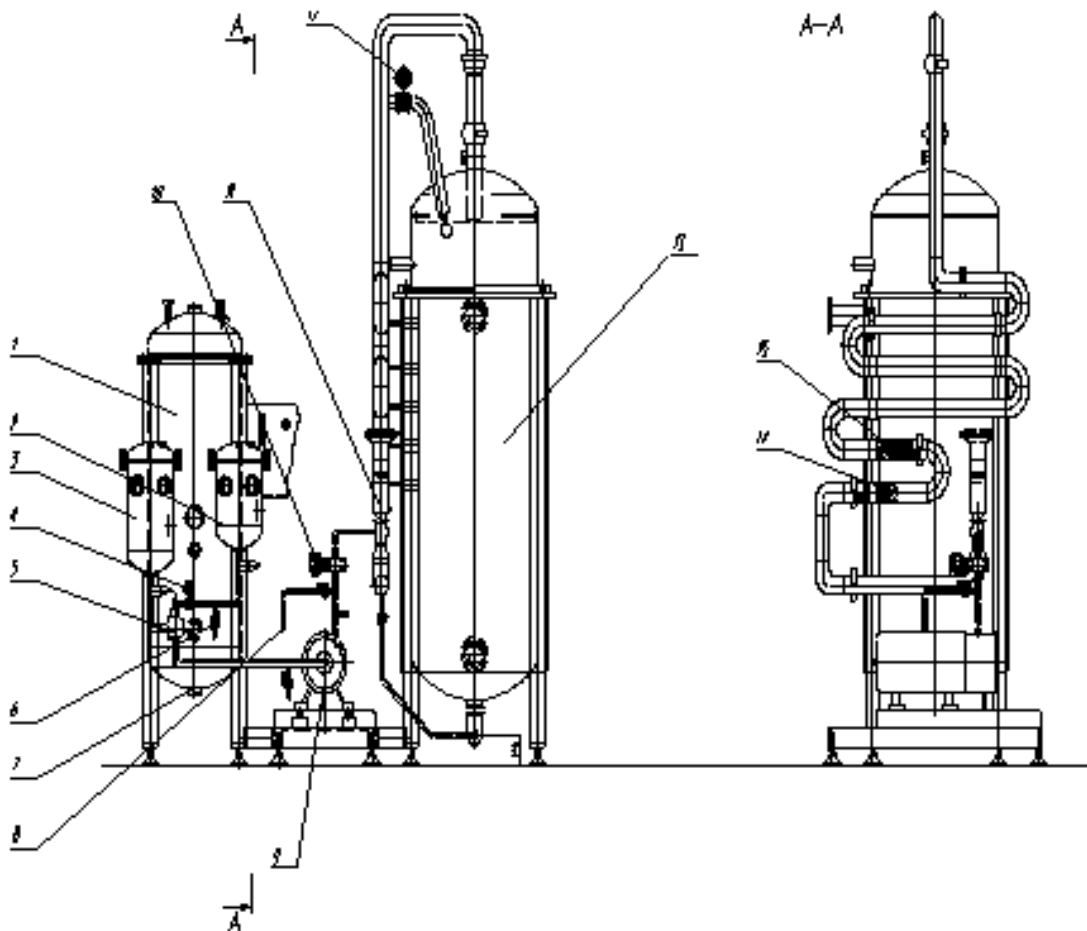


Рис.3.4. Будова станції сатурації

1 – колона деаерації; 2 – бачок сиропу; 3 – бачок деаерованої води; 4 – клапан на сироп; 5 – змішувач; 6 – заслінка; 7 – труба подачі каустика; 8 – труба для зняття проби; 9 – насос; 10 – запобіжний клапан; 11 – пневмоклапан; 12 – клапан на подачу CO₂; 13 – колона готового напою; 14 – спеціальна решітка; 15 – спеціальні перегородки

Основними недоліками існуючої схеми насичення газованих напоїв, яка застосовується на виробничому підприємстві, є недостатнє усунення кисню з води перед її подачею в колону сатурації, а також наявність певних технічних проблем у конструкції самого сатуратора. Зокрема, серед цих недоліків виділяють: – наявність механічних обертових елементів у сатуратора; – низьку ефективність роботи обладнання; – відсутність циркуляційного контуру для забезпечення оптимального рівня насичення рідини газом. Для усунення зазначених проблем пропонується провести модернізацію технологічної схеми, яка включає такі рішення: – Для підвищення ефективності процесу деаерації пропонується впровадження нового ежекційного апарата, що функціонує за принципом ежектора з використанням мілкодисперсного розпилюючого пристрою. Головною особливістю цього обладнання є те, що в зоні розпилювання створюється значна поверхня контакту фаз, яка сприяє утворенню вакууму — необхідної умови для якісного видалення кисню з води. – У рамках вдосконалення процесу сатурації замість механічного пристрою для розпилювання рідини рекомендовано застосовувати ежекційний апарат з мілкодисперсним розпилювачем. Цей підхід забезпечує більш ефективне насичення рідини сатураційним газом. Ежекційний пристрій вбудовано до ємності сатуратора таким чином, щоб розпилювач був розташований над рівнем рідини та міг здійснювати ежекцію газу із простору над рідиною. Крім того, для стабільної роботи ежектора та гарантованого насичення рідини газом передбачено створення циркуляційного контуру. Він складається із трубопровідної системи, насосного обладнання та елементів автоматизації, що дозволяють підтримувати встановлений рівень параметрів процесу в апараті.

3.3. Розрахунок і проектування сатураційної установки

3.3.1. Технологічний розрахунок

Продуктивність сатуратора залежить від продуктивності насоса, що перекачує напій з колонки деаерації у колонку насичення. Паспортна продуктивність сатуратора: $Q_0 = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$

Співвідношення за об'ємом кількості купажу до води: 1:14. Площу і хід поршнів будемо визначати виходячи з потрібної продуктивності і частоти обертання колінчастого валу.

Подача поршня для купажу:

$$Q_k = \frac{Q_0}{15} = \frac{0,001}{15} = 6,6666 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$$

Подача поршня для води:

$$Q_e = 6,6666 \cdot 10^{-5} \cdot 14 = 9,3333 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

Для даної подачі насоса приймемо частоту обертання колінчастого валу

$$n_{\partial e} = 300 \text{ хв}^{-1} = 5 \text{ с}^{-1}$$

хід поршня для води: $S_e = 0,1 \text{ м}$

хід поршня для купажу: $S_k = 0,05 \text{ м}$

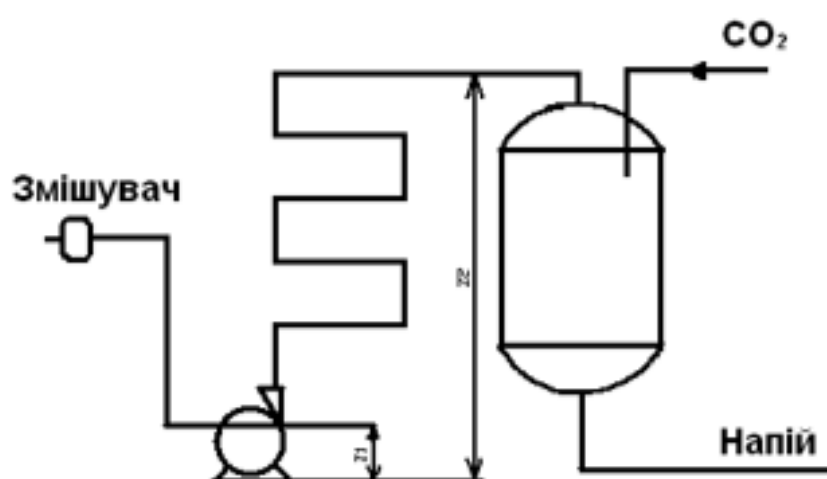


Рис 3.5. Принципова схема сатураційної установки

Вихідні дані:

Продуктивність розливочного автомата – $\Pi=10000$ пл./год.

Геометрична висота нагнітання – $Z_2=3,5$ м

Геометрична висота всмоктування – $Z_1=0,5$ м

Тиск у колоні готової продукції – $P_2=4$ атм

Діаметр вхідного патрубку – $d_1=0,075$ м

Діаметр вихідного патрубку – $d_2=0,045$ м

Частота обертання двигуна – $n=1500$ об/хв

1) Подача насоса розраховується за формулою:

$$Q = \frac{\Pi \cdot 2}{3600} \quad (3.1)$$

де Π – продуктивність, пл/год

$$Q = \frac{10000 \cdot 2}{3600} = 6 \text{ л/с} = 20 \text{ м}^3 / \text{год}$$

2) Розраховуємо напір насоса з рівняння Бернуллі

$$Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g_2} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = H \quad (3.2)$$

$Z_2 = 3,5$ м,

де ρ – густина готової продукції, $\rho = 1050$ кг/м³

$P_2 = 4$ атм = 400000 Па

v_2 – швидкість потоку в нагнітаючій трубі.

$$v_2 = \frac{Q}{F} \quad (3.3)$$

де F – поперечний перетин нагнітаючої труби, м²

$$F = \pi \cdot d_2^2 \quad (3.4)$$

$$F = \pi \cdot 0,045^2 = 0,0064 \text{ м}^2$$

$$H = 3,5 + \frac{4 \cdot 10^5 \text{ Па}}{1050 \cdot 9,81} + \frac{0,94}{2 \cdot 9,81} = 42,2 \text{ м}$$

В розрахунках приймаємо $H = 45 \text{ м}$

3) Коефіцієнт швидкохідності насоса n_s

$$n_s = 3,65 \cdot n \sqrt[3]{\frac{Q \cdot H}{4}} \quad (3.5)$$

$$n_s = 3,65 \cdot 1500 \sqrt[3]{0,006 \cdot 45} = 1,01$$

4) Колова швидкість

$$u_2 = k_{u2} \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (3.6)$$

де k_{u2} – коефіцієнт колової швидкості, залежить від коефіцієнту швидкохідності.

$$k_{u2} = 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 45} = 21 \text{ м/с}$$

5) Зовнішній діаметр робочого колеса.

$$D_2 = \frac{60 \cdot u_2}{\pi \cdot n} \quad (3.7)$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 21}{\pi \cdot 1500} = 0,26 \text{ м}$$

Приймаємо $0,2 \text{ м}$

6) Діаметр вхідного перерізу.

$$D_1 = \frac{D_2}{2,5} \quad (3.8)$$

$$D_1 = \frac{0,2}{2,5} = 0,08 \text{ м}$$

7) Абсолютна швидкість рідини при вході в робоче колесо.

$$c_0 = 0,2 \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (3.9)$$

$$c_0 = 0,2 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 45} = 2,9 \text{ м/с}$$

8) Кількість лопатей робочого колеса.

$$z = 6,5 \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \cdot \sin \frac{\beta_2 + \beta_1}{2} \quad (3.10)$$

Приймаємо по типу лопатей $\angle \beta_2 = 25^\circ$, а $\angle \text{tg} \beta_1 = \frac{c_1}{u_1}$

Приймаємо $c_1 = c_0 = 2,9 \text{ м/с}$

$$u_1 = \frac{n \cdot \pi \cdot P_1}{60} \quad (3.11)$$

$$u_1 = \frac{1500 \cdot \pi \cdot 0,08}{60} = 6,3 \text{ м/с}$$

$$\text{Тоді } \angle \text{tg} \beta_1 = \frac{2,9}{6,3} = 0,46$$

Тому $\angle \beta_1 = 25^\circ$, отже

$$z = 6,5 \frac{0,2 + 0,08}{0,2 - 0,08} \cdot \sin \frac{25^\circ + 25^\circ}{2} = 6 \text{ лопатей}$$

9) Потужність, що споживається насосом.

$$N = \frac{Q \cdot \rho \cdot H}{102 \cdot \eta} \quad (3.12)$$

де η – ККД насоса, $\eta = 0,5$

$$N = \frac{0,006 \cdot 1050 \cdot 45}{102 \cdot 0,5} = 5,6 \text{ кВт}$$

10) Діаметр вала

$$d_{\text{вала}} = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 716209,81 \cdot 10^4}{0,736} \cdot \frac{N}{R_z \cdot n}} \quad (3.13)$$

де R_z – допустиме напруження на кручення $R_z = 20$ МПа

$$d_{\text{вала}} = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 716209,81 \cdot 10^4}{0,736} \cdot \frac{5,6}{20 \cdot 10^6 \cdot 1500}} = 2,1 \text{ см} = 21 \text{ мм}$$

3.3.2. Енергетичний розрахунок

Добір мотор-редуктора виконуватимемо по необхідній потужності на валу і частотою обертання на тихохідному валу.

Визначимо споживану потужність насоса за формулою: [5, с. 233]:

$$N_n = \frac{Q \cdot (P_2 - P_1)}{\eta_0 \cdot \eta_z \cdot \eta_m}, \quad (3.14)$$

де P_2, P_1 – тиск на виході з насоса і тиск на вході;

η_0 – об'ємний ККД становить від 0,66 до 0,88 [9, с. 59]

η_z – гідравлічний ККД складає від 0,7 до 0,9 [9, с. 60]

η_m – механічний ККД від 0,7 до 0,99 [6, з 46]

Беремо P_2, P_1 по тиску води у водопроводі і по паспортному тиску потрібному для живлення сатуратора.

Розрахунок потужності вестимемо по загальній подачі насоса.

$$N_n = \frac{0,001 \cdot (0,4 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6)}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,7} = 765,3 \text{ Вт}$$

Беремо мотор-редуктор *NMRV040-10-280-B3-1,1* з частотою обертання

$$n_{\text{дв}} = 280 \text{ хв}^{-1}, \text{ потужністю } N = 1100 \text{ Вт}$$

3.3.3. Розрахунок форсунки

Витрати води на сатурацію становлять:

$$Q = 30 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахуємо діаметр сопла форсунки за формулою:

$$d_c = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot 3600 \cdot \mu}} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P}} \quad (3.15)$$

ρ – густина сока, $\rho = 1020 \text{ кг/м}^3$

P – тиск рідини перед форсункою

$P = P_{\text{нас}}$ – Режсек ап.

Беремо $P_{\text{нас}} = 3 \text{ Бар} = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$

ΔP – перепад тиску на форсунку $\Delta P = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$\mu = 0,65$ – коефіцієнт витрати форсунки

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 30}{\pi \cdot 3600 \cdot 0,65}} \sqrt{\frac{1020}{2 \cdot 2 \cdot 10^5}} = 0,042 \text{ м}$$

Отже беремо діаметр сопла форсунки 42 мм.

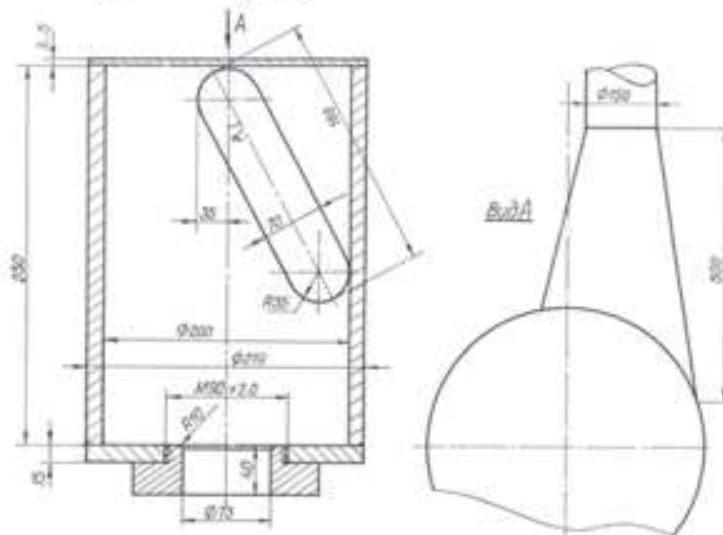


Рис. 3.2. Відцентрово-струйна форсунка

Визначимо діаметр камери змішування:

$$D_k = (2 - 3)dc = 84 - 126 \text{ мм}$$

Беремо $D_k = 126 \text{ мм}$

3.3.4. Розрахунок ежектора

Визначимо діаметр камери змішування ежектора:

$$D_{еж} = 5dc = 210 \text{ мм}$$

Визначимо довжину камери змішування ежектора:

$$l = 10D_{еж} = 2100 \text{ мм}$$

Приймаємо довжину камери 2000мм.

Визначимо діаметр підводячого трубопроводу:

$$Q = V_d \cdot F; F = \pi \frac{d^2}{4} \quad (3.16)$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_d}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 30}{3600 \cdot 3,141}} = 103 \text{ мм}$$

Беремо діаметр підводячого трубопроводу 125мм.

Діаметр камери закручування форсунки вибираємо, користуючись рекомендаціями Пажи Д.Г., Галустова В.С., що діаметр камери закручування повинен бути в межах 2.5 ...3 діаметри сопла форсунки:

$$D_k = 3 \cdot d_c = 3 \cdot 73 = 219 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр камери закручування 219 мм

Розраховуємо діаметр підводячої труби задаючись швидкістю рідини 3 м/с

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 141}{3600 \cdot \pi \cdot 3}} = 0,140 \text{ м}$$

Беремо діаметр підходящого трубопроводу 159 мм.

Висота сопла беремо 40 мм.

Кут факелу форсунки 80°

Основні розміри ежектора вибираємо, виходячи з рекомендацій Лямаєва Г.С. для ежекційних апаратів з довгою камерою змішування. Діаметр камери

змішування рекомендується вибирати в межах п'яти діаметрів сопла форсунки для ежекційного апарату.

Визначимо діаметр камери змішування ежектора:

$$D_{еж} = 5d_c = 210 \text{ мм}$$

Довжина камери змішування ежекційного апарату з довгою камерою змішування рекомендується вибирати в межах десяти діаметрів камери змішування.

Визначимо довжину камери змішування ежектора:

$$l = 10D_{еж} = 2100 \text{ мм}$$

Приймаємо довжину камери 2000мм

3.3.5 Розрахунок шпонкового з'єднання

Матеріал-сталь 45

$$\sigma_{зм} = 600 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma]_{зм} \quad (3.17)$$

Для $d = 30$ мм обираємо шпонку: Сталь 45, $h = 7$ мм, $b = 8$ мм, $[\sigma]_{зм} = 140$ МПа, $\tau_{зп} = 70$ МПа. $N = 11$ кВт

$$T = \frac{N}{\omega} \text{ – крутний момент на валу насоса,}$$

$$\text{де } \omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ – кутова швидкість,}$$

n – частота обертання валу насоса

$$n = 1450 \text{ об/хв}$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot 1450}{30} = 151,8 \text{ с}^{-1}$$

$$T = \frac{11000}{151,8} = 72,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_{3M} = \frac{4 \cdot T}{d \cdot h \cdot l} \quad (3.18)$$

$$\sigma_{3M} = \frac{4 \cdot 72,5 \cdot 10^3}{30 \cdot 7 \cdot 22} = 63 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{3M} = 140 \text{ МПа}$$

Обчислення шпонки на зріз:

$$\tau_{3p} = \frac{2 \cdot T}{d_e \cdot e \cdot l}$$

$$\tau_{3p} = \frac{2 \cdot 72,5 \cdot 10^3}{30 \cdot 8 \cdot 22} = 27 \text{ МПа} < [\tau]_{3p} = 70 \text{ МПа}$$

Отже, умова міцності виконується.

3.3.6. Конструктивний розрахунок

Розраховуємо напруження згідно з розрахунковою схемою, масу окремих частин апарата у даному розрахунку не беремо до уваги.

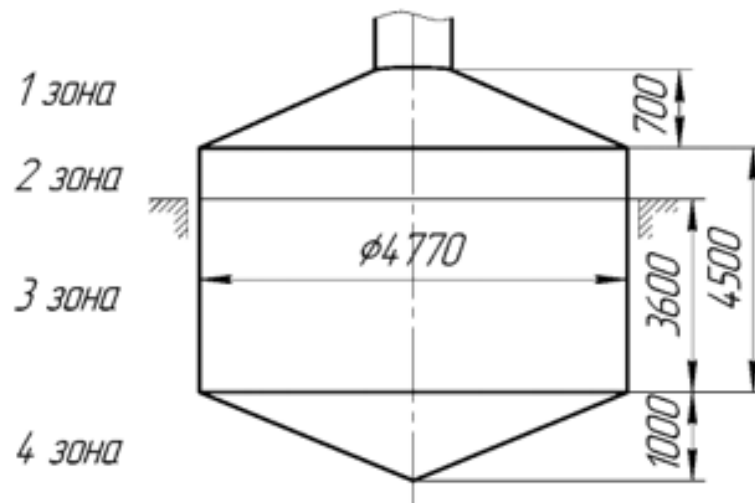


Рис.3.3.Схема сатуратора

На схемі сатуратора виокремлюємо характерні його зони виходячи із умови однаковості зовнішнього навантаження і геометричної форми:

зона I – конічна кришка, навантажена внутрішнім надлишковим тиском газу;

Зона II являє собою частину циліндричної обичайки апарата, яка розташована між місцем стику з конічною кришкою та рівнем рідини всередині апарата. Основне навантаження на цю зону утворюється лише внутрішнім надлишковим газовим тиском. Для аналізу напружень у зоні II ми проводимо розрахунки, попередньо відсікаючи її коловим перерізом і умовно відділяючи від нижньої частини апарата. Відкинута частина апарата має вплив на ту область, що залишилася, який замінюється дією меридіальних сил NM . Таке умовне подання дозволяє вважати, що залишена частина апарата перебуває в стійкому стані рівноваги під впливом взаємодії власних сил та тиску. Переходимо до опису сил, що впливають на досліджувану частину апарата. Основним фактором є внутрішній газовий тиск, який створює тангенціальні та меридіальні напруження у матеріалі обичайки. Крім того, враховуються геометричні параметри апарата, такі як радіус обичайки та товщина стінок, які разом із властивостями матеріалу впливають на точність і результативність розрахунків. Продовжуючи розгляд, наступним кроком буде детальний аналіз всіх компонентів сили, що діють на кожний елемент обичайки зони II, а також визначення умов рівноваги для уточнення значень напружень у відповідних точках. Це дозволить не лише оцінити механічну міцність даної зони, але й забезпечить створення рекомендацій для її оптимальної роботи в умовах експлуатації. Зона III має більш складну характеристику навантаження через поєднання внутрішнього газового тиску та гідростатичного впливу рідини, тоді як зона IV із конічним днищем виступає ключовим елементом, навантаженим одночасно газовим тиском і вагою всієї рідини в системі. Обрахунок головних напружень для кожної із зазначених зон буде виконано з врахуванням специфіки кожного типу навантаження та конструктивних параметрів апарата. У межах аналізу закладається основа для оптимізації міцності конструкції та безпечності її довготривалої експлуатації.

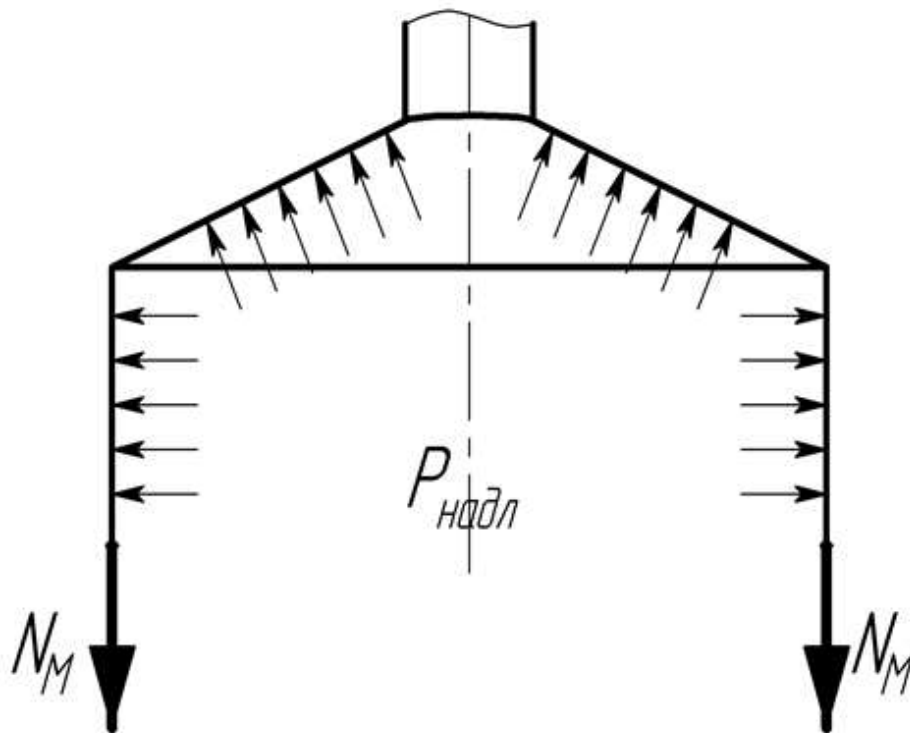


Рис. 3.4. Схема навантаження кришки

Зона II апарата представляє собою сегмент його циліндричної обичайки, розташований між точкою стику з конічною кришкою та рівнем рідини, що знаходиться всередині. Основне механічне навантаження, що діє в цій області, створюється надлишковим газовим тиском з внутрішньої частини апарата. Для проведення аналізу напружень у цій зоні виконується розрахунок, який потребує умовного поділу. Зона II умовно відокремлюється від решти апарата за допомогою уявного колового розрізу. Утворена при цьому відкинута частина впливає на залишену область через меридіальні сили N_M , що виникають у з'єднанні. Завдяки такій спрощеній моделі можна проаналізувати залишену частину апарата як систему, яка перебуває у рівновазі під дією взаємодії власних напружень матеріалу та внутрішнього тиску. Для повноцінного дослідження всіх впливів на цю частину апарата необхідно детально описати сили, що виявляються у грі. Основним фактором, який визначає навантаження на зону II, є внутрішній газовий тиск. При цьому він генерує два типи механічних напружень у матеріалі обичайки: тангенціальне (кільцеве) та меридіальне. Важливу роль також відіграють геометричні характеристики конструкції, серед яких основними є радіус циліндра та товщина його стінок. Ці параметри разом із

фізико-механічними властивостями матеріалу забезпечують основу для точних розрахунків і сприяють правильному аналізу напружено-деформованого стану. Наступним етапом дослідницької роботи є детальний розбір усіх складових сил, які впливають на кожен окремий елемент обичайки в межах зони II. Одночасно із цим проводиться аналіз умов рівноваги, щоб точно визначити значення виникаючих напружень у різних точках конструкції. Завдяки цьому підходу можна буде оцінити механічну міцність зони II, а також розробити практичні рекомендації для забезпечення її оптимальної роботи в умовах експлуатації. На противагу зоні II, зона III має більш ускладнене поле навантажень через вплив внутрішнього тиску газу, що комбінується із гідростатичним тиском рідини. У свою чергу, зона IV із конічним дном представляє критично важливий елемент усієї конструкції. Це обумовлено тим, що на неї одночасно діють як газовий тиск, так і сила від ваги всієї рідини в системі. Аналіз напружень у цих двох останніх зонах враховує специфіку об'єднаних навантажень та конструктивних особливостей апарата. У результаті проведених розрахунків формується науково обґрунтована база для подальшої оптимізації міцності всієї конструкції та підвищення безпеки її тривалої експлуатації в реальних умовах виробництва.

$$\frac{\delta_M}{P_M} + \frac{\delta_K}{P_K} = \frac{R}{S} \quad (3.19)$$

Але, через те що в нашому випадку $p_M = \infty$, а $p_K = \frac{1}{2}D$ та $P = P_{над}$,

рівняння набуде вигляду:

$$\delta_K = \frac{P_{над} \cdot \frac{1}{2}D}{S_{Ц}} \quad (3.20)$$

Звідси знайдемо, $M_{па}$:

$$\delta_K = \frac{4,77 \frac{1}{2}}{S_{\text{Ц}}} = 0$$

Для визначення меридіальних напружень складемо рівняння рівноваги відсіченої зони в проекціях сил на вертикальну вісь: $P - N_M = 0$

де P – сумарна зовнішня сила надлишкового тиску; N_M – сумарні внутрішні сили пружності.

Визначимо значення діючих сил.

Зовнішня сила внутрішнього надлишкового тиску:

$$P = S P_{\text{над}} = \frac{\pi D^2}{4} P_{\text{над}} \quad (3.21)$$

де S – геометрична площа перерізу.

Внутрішні меридіональні сили N визначаємо за діючим меридіальним напруженням δ_M :

$$N_M = \delta_M \pi D S_{\text{Ц}}, \quad (3.22)$$

де πD – довжина перерізу циліндра; $S_{\text{Ц}}$ – товщина стінки циліндра.

Підставимо значення діючих сил в рівнянні рівноваги цієї зони і одержимо:

$$\frac{\pi D^2}{4} P_{\text{над}} - \delta_M \pi D S_{\text{Ц}} = 0 \quad (3.23)$$

Звідси, розв'язуючи рівняння відносно δ_M , маємо:

$$\delta_M = \frac{D P_{\text{над}}}{4 S_{\text{Ц}}} \quad (3.24)$$

Обчислимо меридіальні напруження в зоні II, Мпа:

$$\delta_M = \frac{4,77 \cdot 0}{4 S_{\text{Ц}}} = \frac{0}{S_{\text{Ц}}}$$

Розрахунок напружень у зоні III.

Зона III включає в себе ділянку циліндричної обичайки апарата, незмінну за своєю геометричною формою та навантажену також незмінними за своїм характером зовнішніми силами (хоча і змінними за своєю величиною). Особливість навантаження зовнішніми силами на цій ділянці полягає також в неоднаковості зовнішніх сил, що діють в меридіальному та коловому перерізах.

У меридіальному перерізі даної зони діють такі зовнішні сили:

- внутрішнього надлишкового газового тиску;
- гідростатичного тиску рідини, що міститься над рівнем перерізу оболонки, в якому визначаються напруження.

Ці сили спричиняють появу внутрішніх колових сил пружності, які будуть змінюватись залежно від зміни величини гідростатичного тиску речовини, що міститься над перерізом.

У коловому перерізі, що проводиться перпендикулярно до осі симетрії апарата, ззовні оболонки діє тільки сила внутрішнього надлишкового газового тиску, яка прагне розірвати апарат вздовж осі і викликає в коловому перерізі меридіальні напруження. У зв'язку з тим що опора апарата міститься нижче, ніж розглядувана зона, гідростатичний тиск рідини в апараті таких напружень не викликає, бо не створює зовнішньої осьової сили.

Очевидно, що колові напруження в цій зоні будуть змінюватись по довжині оболонки, бо одна із зовнішніх діючих сил змінна в осьовому напрямку. Меридіальні напруження будуть постійні і рівні меридіальним напруженням зони II.

Схему зони, відсічену на рівні x . від рівня поверхні рідини, показано на рис. 3.5.

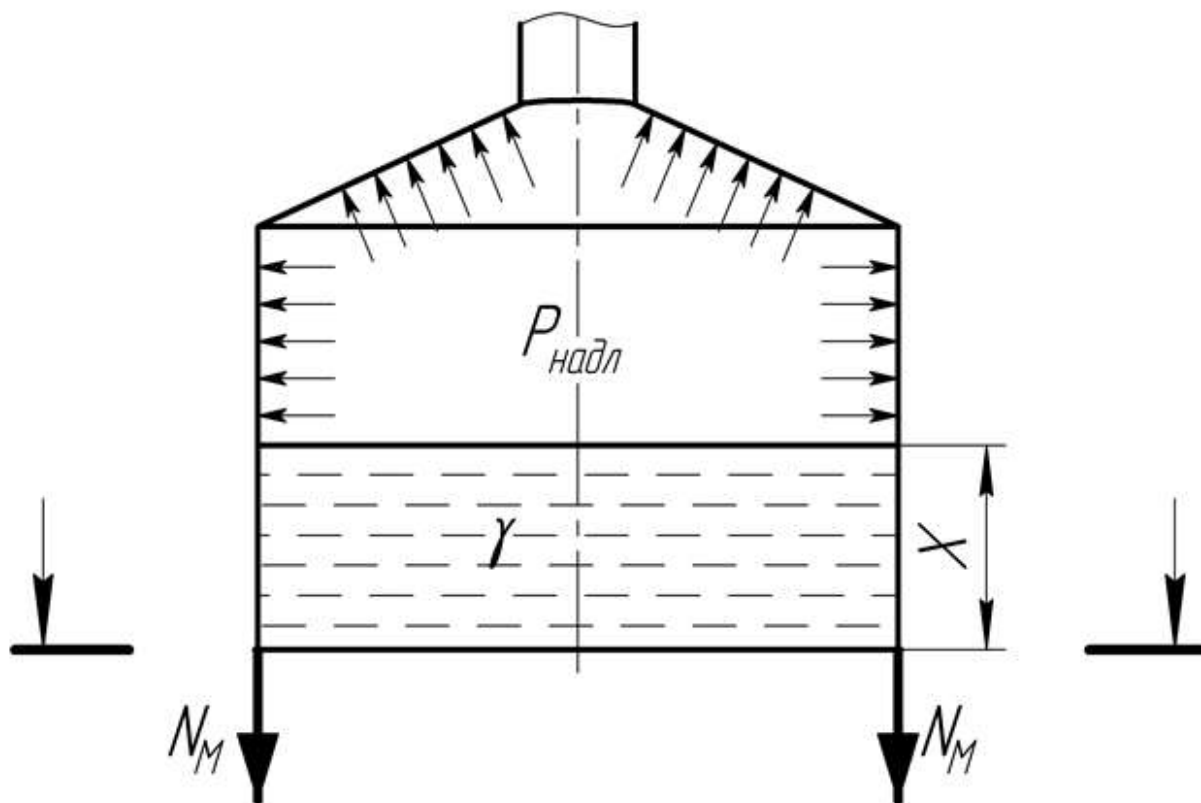


Рис. 3.5. Схема навантаження зони III

Колові напруження в даній зоні на рівні перерізу можуть бути визначені виходячи із рівняння Лапласа, де потрібно взяти до уваги спільну дію газового тиску $P_{над}$ і гідростатичний тиск рідини, що дорівнює

$P_p = x\gamma$, де x змінюється від рівня поверхні рідини до рівня кріплення опор на циліндричній частині (або до кінця циліндричної частини у разі закріплення апарата на ділянці кінцевого днища). Тоді колові напруження в перерізі будуть дорівнювати:

$$\delta_{кол} = \frac{(P_{над} + P_p) \cdot \frac{1}{2} D}{S_{ц}} = \frac{(P_{над} + x\gamma) \cdot \frac{1}{2} D}{S_{ц}}, \quad (3.25)$$

У даному разі значення x буде змінюватися у межах від $H_{рід}$ до H_u .

Максимального значення зовнішнє зусилля досягатиме на рівні кріплення опор, а саме:

$$P_H + P_P = P_H + (H_{pid} - H_y)\gamma = (0 + 35) \cdot 9810 = 60714,09 (\text{Па}) = 0,061 (\text{МПа}).$$

Розрахуємо необхідні параметри апарата:

$$H_K = \frac{D}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{4,77}{2 \cdot 1,921} = 0,755 \text{ м}$$

$$V_K = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_K = \frac{1}{3} \cdot \frac{3,14 \cdot 5^2}{4} \cdot 1,455 = 3,262 (\text{м}^3).$$

$$H_{Ц} = 0,5 + H_{pid} = 0,5 + 2 = 2,5 (\text{м}).$$

$$H_y = k \cdot H_{Ц} = 0,4 \cdot 2,5 = 0,6 (\text{м}).$$

За такого рівня зовнішніх зусиль колові напруження досягнуть значення:

$$\sigma_K = \frac{(P_H + P_P) \cdot \frac{1}{2} D}{S_{Ц}} = \frac{(0 + 0,061) \cdot \frac{1}{2} \cdot 5}{S_{Ц}} = \frac{0,23345}{S_{Ц}} (\text{МПа}).$$

Меридіальні напруження визначають виходячи з умови рівноваги відсіченої зони.

Складемо рівняння рівноваги діючих на відсічену зону сил у проєкціях на вісь $x-x$: $P - N_M = 0$, яке є ідентичним умові рівноваги для зони II. Тому вираз для визначення меридіальних напружень у зоні II буде справедливим і для визначення меридіальних напружень зоні III.

Обчислимо меридіальне напруження в зоні III, МПа:

$$\sigma_M = \frac{P_H \cdot D}{4 S_{Ц}} = \frac{0,5}{4 S_{Ц}} = \frac{0}{S_{Ц}}.$$

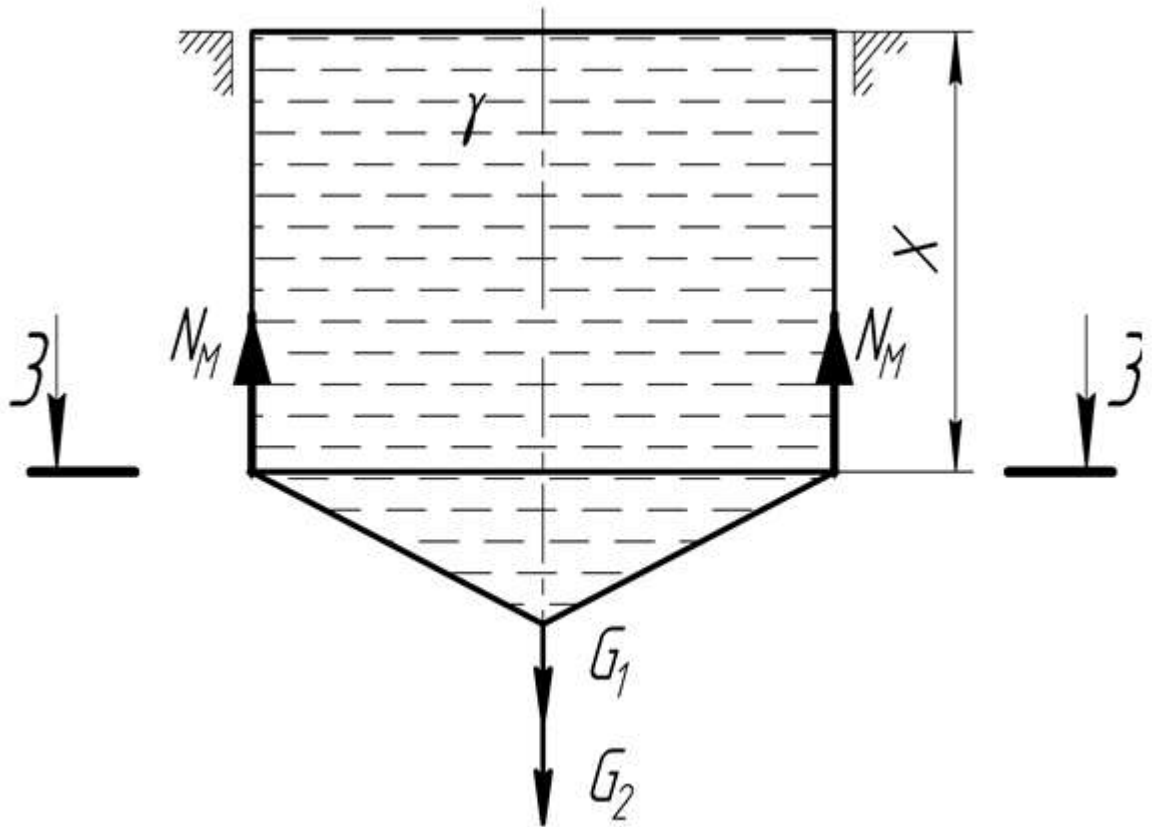


Рис. 3.6. Схема навантаження зони IV

Розрахунок напружень у зоні IV.

Відсікаємо частину оболонки по зоні IV діаметральним перерізом 3-3 на віддалі x від рівня поверхні рідини і відкинемо верхню частину оболонки, замінивши дію відкинutoї частини на ту, що залишилася, силами пружності N_M матеріалу оболонки.

Протяжність даної зони при прийнятій точці рідини в апараті, від ($H_{pid} - H_u$) (початок зони) до початку відліку, за яку прийнято рівень поверхні H_{pid} (кінець зони).

Розглянемо зовнішні діючі сили.

У меридіальному перерізі, де виникають колові напруження, зовнішніми силами є внутрішній надлишковий газовий тиск і гідростатичний тиск рідини, тобто такі ж сили, як і в зоні III.

У коловому перерізі, де діють меридіальні напруження, зовнішніми силами є внутрішній надлишковий газовий тиск і маса рідини, що міститься як над перерізом, так і під ним, тобто маса всієї рідини, що міститься в апараті, і, як і тиск газу, утворює осьову силу розтягу.

Якщо порівняти зовнішнє навантаження двох поруч розміщених точок оболонки, одна з яких належить зоні III, а друга – зоні IV, то можна констатувати, що в перерізі переходу від зони III до зони IV відбувається стрибок меридіальних напружень, що відповідає зміні на рівні опор апарата зовнішнього навантаження від маси рідини, що міститься в апараті.

Колові напруження визначають за виразом, який є справедливим як для зони III, так і для зони IV:

$$\delta_{кол} = \frac{(P_{над} + P_p) \cdot \frac{1}{2} D}{S_{ц}} = \frac{(P_{над} + x \gamma) \cdot \frac{1}{2} D}{S_{ц}}, \quad (3.26)$$

де x змінюється від $(H_{рід} - H_y)$ до $H_{рід}$.

Мінімальне значення колових напружень у перерізі при $x = (H_{рід} - H_y)$ повинно збігтись із їх максимальним значенням у зоні III.

Максимальне значення колових напружень у зоні IV буде в перерізі при $x = H_{рід}$ і дорівнюватиме, Па:

$$\begin{aligned} \delta_{к} &= \frac{(P_{н} + H_{рід} \cdot \gamma) \cdot \frac{1}{2} D}{S_{ц}} = \frac{(0 + 3,6 \cdot 9810) \cdot \frac{1}{2} \cdot 5}{S_{ц}} = \\ &= \frac{296476}{S_{ц}}, 7 \end{aligned}$$

Для визначення меридіальних напружень складемо рівняння рівноваги відсіченої частини оболонки, для чого розглянемо всі зовнішні діючі сили. На відсічену частину діють:

- тиск газу, що міститься над рівнем рідини;
- гідростатичний тиск рідини, що міститься над рівнем перерізу;
- маса рідини, що міститься нижче рівня перерізу (масою матеріалу оболонки нехтуємо).

Внутрішніми діючими силами будуть тільки меридіальні сили пружності, величина яких визначається виразом :

$$N_M = \delta_M \pi D S_{\Pi} \quad (3.27)$$

Визначимо зовнішні сили. Сила внутрішнього газового тиску дорівнює:

$$P_1 = P_{\text{надл}} \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.28)$$

Сила гідростатичного тиску рідини, що міститься над перерізом,

$$P_2 = \chi y \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.29)$$

Маса рідини, що міститься нижче перерізу, створює сили:

– в циліндричній частині оболонки:

$$G_1 = (H_{\text{pid}} - x) \gamma \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.30)$$

– в конічній частині оболонки:

$$G_2 = \frac{1}{12} \pi D^2 H_{\kappa} \gamma, \quad (3.31)$$

Складемо рівняння рівноваги відсіченої частини оболонки:

$$N_M - (P_1 + P_2 + G_1 + G_2) = 0, \quad (3.32)$$

Підставимо вирази діючих сил із рівнянь у рівняння рівноваги:

$$\begin{aligned} \delta_M \pi D S_{\Pi} - P_{\text{надл}} \frac{\pi D^2}{4} - \chi y \frac{\pi D^2}{4} - (H_{\text{pid}} - x) \gamma \frac{\pi D^2}{4} - \\ - \frac{1}{12} \pi D^2 H_{\kappa} \gamma = 0 \end{aligned} \quad (3.33)$$

звідки одержимо:

$$\delta_M \pi D S_{\Pi} + \frac{\pi D^2}{4} \gamma H_{\text{pid}} + \frac{1}{12} \pi D^2 H_{\kappa} \gamma = 0 \quad (3.34)$$

Із виразу видно, що рівняння рівноваги не включає в себе змінної, яка визначає положення перерізу по висоті циліндричної обичайки. Отже, меридіальні напруження в зоні IV сталі і від положення перерізу не залежать.

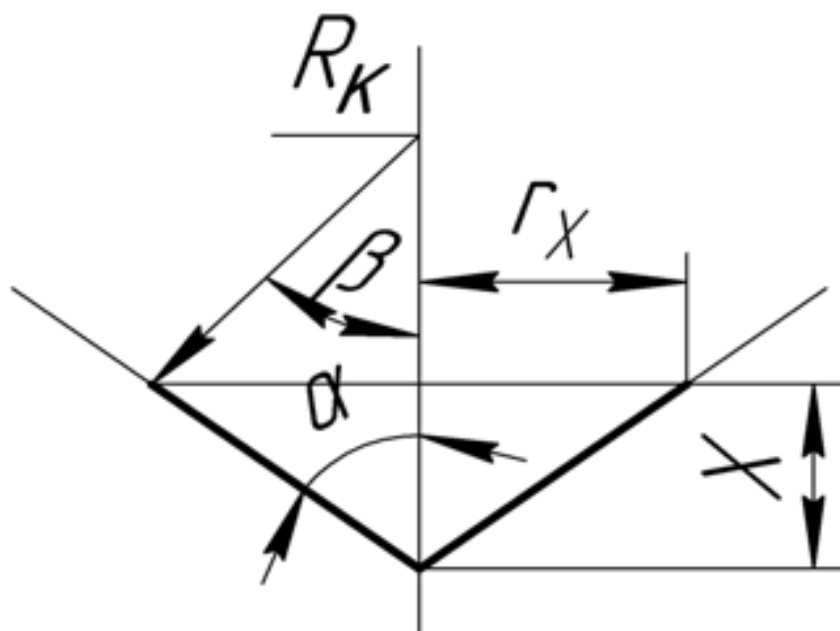


Рис. 3.7. Геометричні параметри конуса

Зазначимо, що третій член $\frac{\pi D^2}{4} \gamma H_{pid}$ виразу визначає силу, яку викликає маса всієї рідини, що міститься в циліндричній частині оболонки.

Із рівняння рівноваги визначимо меридіальні напруження в даній зоні:

$$\sigma_M = \frac{\frac{D}{4} \gamma H_{pid} + \frac{D}{12} \gamma H_{pid}}{S_{Ц}}, \quad (3.35)$$

$$\sigma_M = \frac{\frac{5}{4}(0+9810 \cdot 3,6) + \frac{5}{12} \cdot 3,6 \cdot 9810}{S_{Ц}} = \frac{173484,5}{S_{Ц}} \text{ Па},$$

Розрахунок напружень у зоні V.

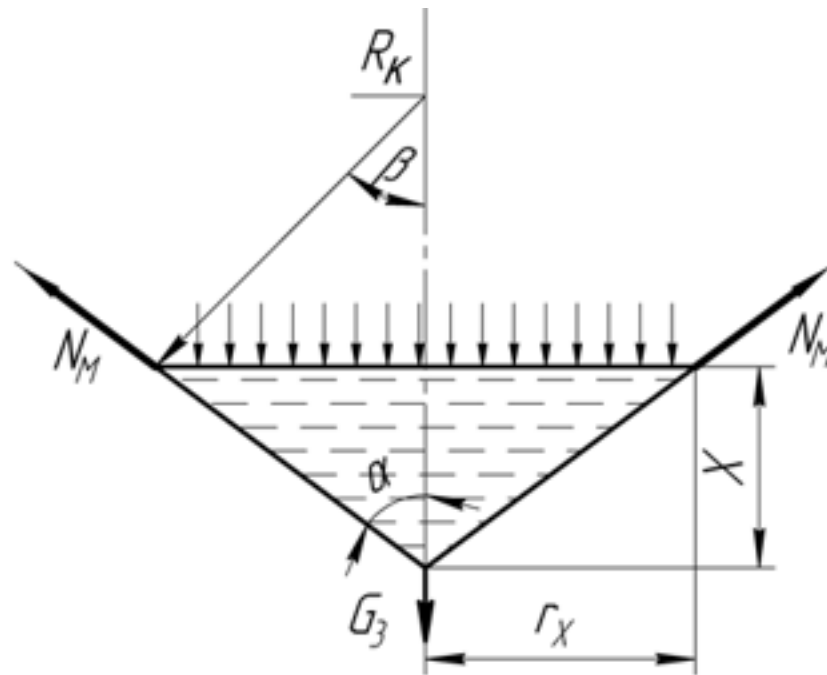


Рис. 3.8. Схема навантаження зони V

Для визначення меридіальних напружень розглянемо сили, що діють на відсічену кільцевим перерізом частину оболонки.

На відсічену частину оболонки діють такі зовнішні сили:

– сила надлишкового тиску газу P над поверхнею рідини в апараті, що дорівнює: $P_{над} \pi r^2$,

– сила гідростатичного тиску рідини, яка є в оболонці над рівнем перерізу:

$$(H_{рід} + (H_K - x)) \gamma \pi r^2, \quad (3.39)$$

Маса рідини, що міститься у відсіченій частині конуса, створює силу:

$$G_3 = \frac{1}{3} \pi r_x^2 x \gamma, \quad (3.40)$$

Внутрішніми силами, що діють на відсічену частину, є сили пружності матеріалу оболонки:

$$N_M = \delta_M \cdot 2 \pi r_x S_K, \quad (3.41)$$

Меридіальні напруження визначимо виходячи з рівняння рівноваги сил, що діють на відсічену частину. Складаємо рівняння рівноваги сил, що діють у проекціях на вертикальну вісь:

$$N_M \cos \alpha - P \pi r_x^2 - G_3 = 0 \quad (3.42)$$

Підставляючи значення сил, що діють, у рівняння рівноваги та розв'язуючи його відносно σ_M знайдемо меридіональні напруження у перерізі:

$$\begin{aligned} & \delta_M \cdot 2\pi r_x S_K \cdot \cos \alpha - \\ & - P_{над} \pi r_x^2 - (H_{pid} + (H_K - x)) \gamma \pi r_x^2 - \frac{1}{3} \pi r_x^2 x \gamma = 0 \end{aligned} \quad (3.43)$$

звідки:

$$\delta_M = \frac{r_x (P_{над} + H_{pid} \cdot \gamma + (H_K - x) \gamma + \frac{1}{3} x \gamma)}{2 S_K \cdot \cos \alpha} \quad (3.44)$$

Меридіальні напруження рівні нулю, коли x , а отже, і z дорівнюють нулю, тобто, у вершині конуса.

Максимального значення меридіальні напруження досягають у основі конуса, коли $x = H_K$:

$$\sigma_M = \frac{1,921 \cdot 0,755 \left(0 + 2,5 \cdot 9810 + \frac{0,755}{3} \cdot 9810 \right)}{2 S_K \cdot 0,462} = \frac{324816}{S_K} (\text{Па}).$$

Розрахуємо стінку апарату:

$$\delta = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \frac{[\sigma_B]}{n_e} \cdot 0,85 - P} = \frac{0,15}{2 \cdot \frac{145}{12} \cdot 0,85 - 0,1} = 0,004 (\text{м}) = 4 (\text{мм}).$$

Розрахунок та конструювання опор апарату.

Вихідні параметри. Найбільша маса вертикального апарату (при гідравлічному випробуванні) становить 108000 кг. Апарат виконано з матеріалу 08X17T. Робоча температура в апараті не перевищує 200°C.

Обчислюємо опори апарату за умови встановлення його на залізобетонному фундаменті.

$$\text{Приймаємо } G_{\phi} = 0,7 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Поверхня опор дорівнює:

$$F \geq \frac{G_{\max}}{[\delta_{\phi}]} = \frac{1080009,81}{(0,7 \cdot 10^6)} = 0,0336 \text{ м}^2.$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$. Тоді навантаження на одну опору дорівнює:

$$G = \frac{1080009,81}{6} = 78500 \text{ Н}$$

Опори будемо виготовляти з матеріалу 08X17T, для якого за заданих умов роботи апарата допустиме напруження на зминання можна взяти рівним допустимому напруженню на розтяг, тобто 100 Мпа.

Нехай кожна з опор буде виготовлена з одним ребром ($m = 1$). Опорна площа однієї опори дорівнює 112 см². Приймаючи співвідношення вильоту опори до її ширини, то отримуємо $a = 100$ мм, $c = 120$ мм. Виліт опори $A = 110$ мм.

Прийmemo коефіцієнт $k = 0,3$. Тоді товщина ребра дорівнює:

$$\delta = \frac{2,24 \cdot G}{(k \cdot m \cdot [\sigma_{3M}] \cdot A)} = \frac{2,24 \cdot 78500}{(0,3 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 0,11)} = 0,0053 \text{ (м)} = 5,3 \text{ (мм)}.$$

Знаходимо гнучкість ребра:

$$\lambda = \frac{l}{(0,289 \cdot \delta)} = \frac{0,25}{(0,289 \cdot 5,3 \cdot 10^{-3})} = 163.$$

Згідно графіку 5.3 (24, с.83) коефіцієнт k_z буде меншим за прийнятий. Тому робимо обчислення наново.

Приймаємо коефіцієнт $k = 0,28$. Тоді товщина ребра:

$$\delta = \frac{2,24 \cdot G}{(k \cdot m \cdot [\sigma_{3M}] \cdot A)} = \frac{2,24 \cdot 78500}{(0,28 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 0,11)} = 0,0057(\text{м}) = 5,7(\text{мм}),$$

а гнучкість ребра:

$$\lambda = \frac{l}{(0,289 \cdot \delta)} = \frac{0,25}{(0,289 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3})} = 152.$$

Згідно графіка коефіцієнт k_z більший ніж коефіцієнт k . Розрахунок закінчено.

Приймаємо товщину ребра $\delta = 6$ мм. Конструюємо опору.

Перевіряємо флангові шви на зріз з умови:

$$G / (0,7 \cdot h \cdot L) \leq [\sigma_{ш}], \quad (3.45)$$

$$\frac{78500}{(0,7 \cdot 0,004 \cdot 2 \cdot 0,22)} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ Па} \leq 80 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Умова виконана.

Розрахуємо опори (лапи) сатуратора.

Необхідно встановити опори з вильотом $a = 260$ мм.

Задаємося коефіцієнтом зменшення допустимого напруження $\varphi = 0,38$

Товщина ребра опори:

$$\delta = \frac{2,24 \cdot G}{\varphi \cdot k \cdot n \cdot \sigma \cdot a} \quad (3.46)$$

G – маса випарного апарата кг;

k – кількість опор шт;

n – кількість ребер на кожній опорі шт;

σ – допустиме напруження ата;

a – довжина опори м;

$$\delta = \frac{2,24 \cdot 82000}{0,38 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 80 \cdot 10^6 \cdot 0,26} = 0,0077 \text{ м} = 7,7 \text{ мм}$$

приймаємо $\delta = 8$ мм.

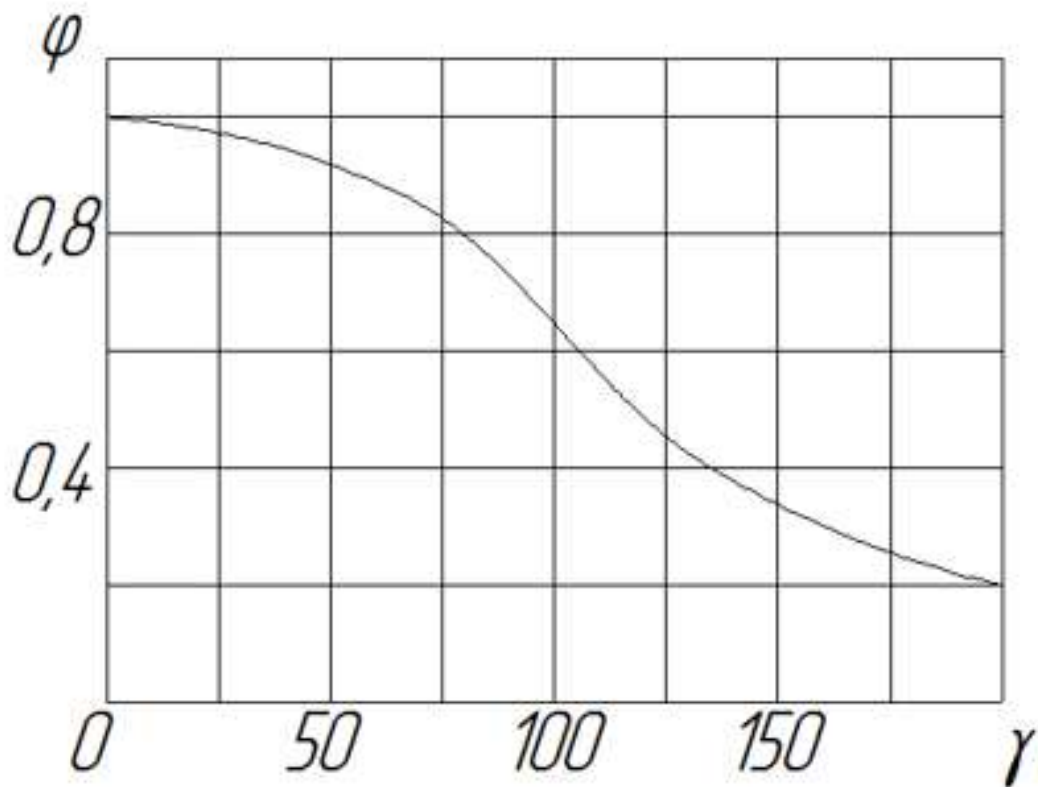


Рис. 3.9. Залежність коефіцієнта ϕ зменшення допустимого напруження від гнучкості γ умовного стержня

Визначаємо фактичне значення коефіцієнта ϕ .

Вільну довжину опори АВ знаходимо як гіпотенузу трикутника з катетами a :

$$l = \sqrt{260^2 + 260^2} = 368 \text{ мм}$$

Найменший радіус інерції поперечного перерізу умовного стержня:

$$I = 0,289 \cdot \delta = 0,289 \cdot 8 = 2,3 \text{ мм.}$$

Гнучкість умовного стержня:

$$\gamma = l/i = 368/2,3 = 160;$$

цьому значенню γ відповідає $\phi = 0,351$.

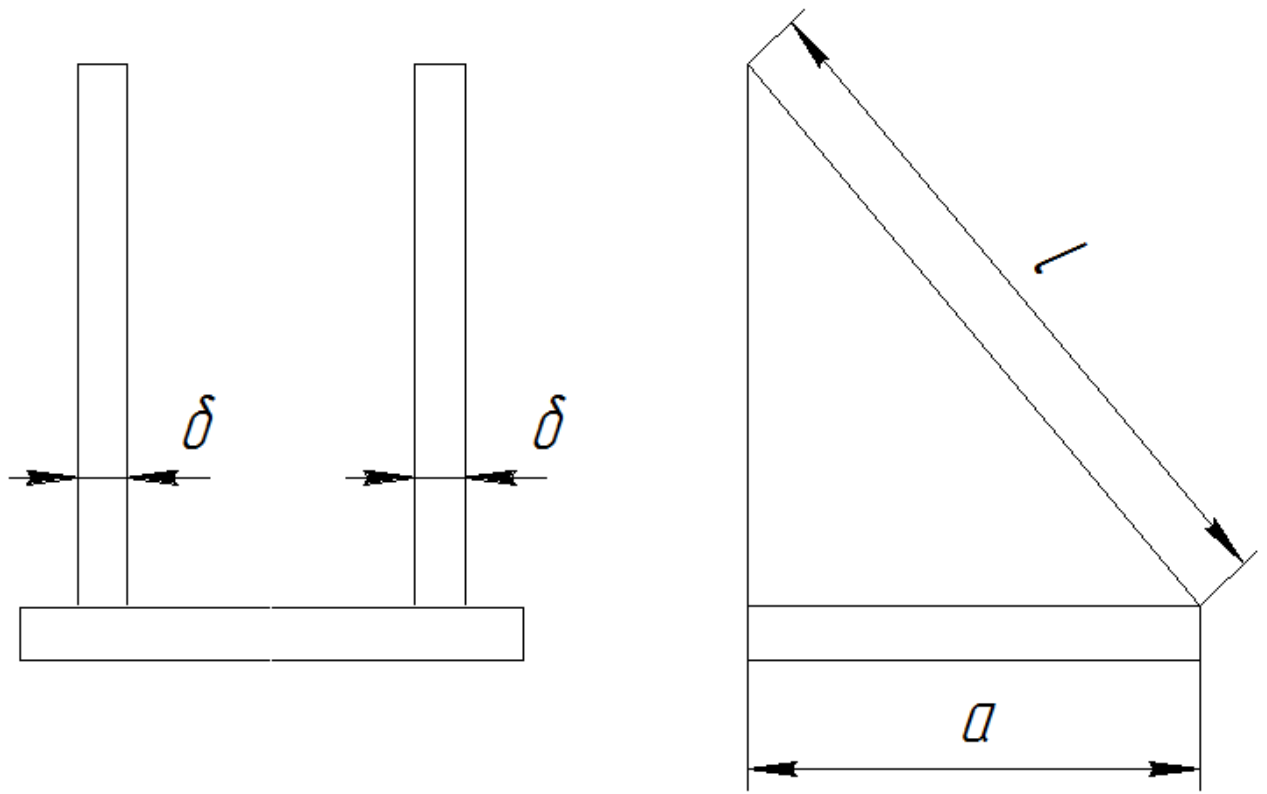


Рис. 3.10. Схема до розрахунку опорних лап

4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

4.1. Загальні вимоги

Правила технічної експлуатації обладнання передбачають комплексний підхід до забезпечення його надійного функціонування, що включає суворе дотримання визначених норм і вимог. Однією з основних складових є створення сприятливого середовища, у якому працює обладнання. Це включає відповідність приміщень встановленим стандартам, підтримання оптимальної температури, вологості та чистоти повітря. Додатково необхідно забезпечити зручність і безпеку робочого місця, яке передбачає належний стан проходів до обладнання, правильне розташування напівфабрикатів та інвентарю. Вкрай важливо систематично підтримувати обладнання в належному санітарному стані, здійснювати його очищення, а також своєчасно та якісно виконувати змащування відповідно до встановлених режимів експлуатації конкретної машини. Необхідно суворо дотримуватись допустимих параметрів роботи механізмів, таких як силові та швидкісні навантаження, а також виконувати визначені правила керування машиною. Регулярно слід проводити міжремонтне обслуговування відповідно до нормативів системи планово-попереджувального ремонту (ППР). Контроль за технічним станом обладнання на заводі покладено на відділ головного механіка. Ця служба не лише здійснює моніторинг умов експлуатації, але й займається підготовкою технічних рекомендацій щодо оптимізації роботи та покращення стану обладнання. Догляд за обладнанням відіграє ключову роль у підтримці його працездатності, що у свою чергу впливає на продовження терміну служби механізмів до чергового ремонту. Перед початком роботи кожен працівник зобов'язаний ретельно перевірити стан машини: оглянути її зовнішній вигляд, упевнитись, що вона прибрана співробітником попередньої зміни, увімкнути пристрій для перевірки його працездатності та оглянути всі місця змащування на наявність мастила. У разі виявлення несправностей або пошкоджень працівник не повинен розпочинати роботу до усунення проблеми. Про всі виявлені недоліки потрібно негайно повідомити свого майстра для прийняття подальших заходів. Важливо ретельно

стежити за тим, щоб деталі та робочі органи машини перебували у справному стані протягом усього періоду роботи. У разі виникнення поломки через неналежну експлуатацію відповідальність за це несуть як сам працівник, так і його безпосередній керівник. Суворо забороняється залишати працююче обладнання без нагляду, оскільки це може створити потенційну небезпеку для виробничого процесу та інших працівників. У межах робочої зміни повинно виконуватись регулярне змащування всіх передбачених технічними картами вузлів та деталей машини, використовуючи тільки ті види мастила, які рекомендовані в інструкції виробника. Окрім того, необхідно постійно контролювати температуру підшипників машини в процесі експлуатації. При виявленні сторонніх шумів чи нестандартної роботи механізму працівник має негайно вимкнути машину для виконання регулювальних робіт. Якщо виникають незначні несправності, які не впливають на безпеку чи стабільність роботи обладнання, їх слід усувати негайно шляхом заміни поламаних деталей на запасні. Проте при серйозних несправностях, через які машина стає непридатною до експлуатації, працівник має одразу проінформувати про це майстра та дочекатися вказівок щодо подальших дій. Сумлінне дотримання зазначених правил забезпечує не лише ефективність роботи виробничого обладнання, а й мінімізує ризики позапланових зупинок у роботі підприємства, сприяючи стабільності технологічного процесу.

4.2. Налагодження

Підготовка обладнання для виробництва напоїв перед запуском включає декілька етапів, які забезпечують його належну роботу. Зокрема, необхідно перевірити чистоту, справність, правильне складання, з'єднання трубопроводів, позиції регулювальних елементів (кранів, вентилів, засувок), стан захисних огорожень та блокувальних пристроїв. Також обов'язково оцінити наявність змащення поверхонь тертя, ефективність заземлення й роботи приладів контролю та автоматизації, якість і наявність сировини, води, холодоагенту, електроенергії та CO₂. Варто переконатися у відсутності сторонніх предметів в

обладнанні, як-от ганчірок, гайок, ключів чи шайб. При запуску станції сатурації дотримуйтесь встановленого порядку: увімкніть електродвигуни, подайте сировину, воду, холодоагенти та CO₂, досягніть оптимального завантаження, перевірте правильність руху робочих механізмів, стан передач і їхніх захисних елементів. Оцініть показники контрольно-вимірювальних приладів для гарантії стабільної роботи системи. У процесі управління обладнанням встановлюють оптимальний робочий режим і визначають методи контролю над перебігом технологічного процесу. Потрібно звертати увагу на можливі підтікання сировини, робочих рідин (вода, розсіл) або мастил та перевіряти їх у визначених точках. Зупинка обладнання має здійснюватися у визначеній послідовності. Спочатку припиняється подача сировини, води або холодоагентів, після чого вимикаються електродвигуни. Після завершення технологічного процесу проводиться миття та санітарна обробка агрегатів. Ефективна робота сатуратора можлива за умов дотримання кількох важливих рекомендацій: використовуйте лише відфільтровану воду і сироп; підтримуйте температуру води в межах 5±1 °С; забезпечуйте стабільну подачу CO₂ під тиском 0,55 МПа. Недопустимо запускати насоси без води, потрібно регулярно перевіряти герметичність з'єднань. Один раз на три місяці рекомендується викручувати та очищувати датчики рівня. Крім того, слід уникати попадання води до панелі управління під час роботи станції. Особливу увагу варто приділяти герметичності зварних з'єднань в колонці, а також уникати течі під прокладками датчиків рівня або у місцях стикування трубопроводів і арматури. Монтаж обладнання охоплює комплекс як підготовчих, так і виконавчих операцій. До них відносяться розконсервація обладнання, його перевірка і ревізія, агрегатне складання, встановлення на фундамент, підключення до комунікацій та проведення індивідуальних випробувань. Усі монтажні роботи організуються відповідно до спеціально створеного проекту організації монтажу. У цьому документі зазначені ключові аспекти: календарний план виконання робіт загалом та окремими об'єктами, планування монтажного майданчика, методика проведення робіт разом із заходами безпеки, технологічні схеми монтажних процесів у

вигляді планів та розрізів. Визначається необхідна техніка для підйомно-транспортних операцій, а також спеціалізований інструмент і монтажні бригади. Крім того, враховуються шляхи координування монтажних заходів із будівельними й іншими спеціальними роботами. На основі цих даних створюється проєктно-кошторисна документація. Обсяг проєктної документації для монтажу технологічного обладнання та трубопроводів повинен відповідати вимогам будівельних норм і правил (БНіП), а також інструкціям із проєктування промис

Обладнання надходить на підприємство окремими блоками і підлягає монтажу з виконанням наступних операцій:

1. Транспортування. Вузли зі складу транспортують на майданчик для укрупненого збирання.

2. Розпакування. Обладнання знаходиться в металевих контейнерах і упаковане плівкою в дерев'яних ящиках, які розташовуються на піддонах, підлягає розпакуванню і розконсервації.

3. Укрупнююча зборка. Після розпакування і розконсервації окремі блоки станції проходять укрупнюючу зборку.

4. Такелажні роботи. За потреби, за допомогою автотранспорту виконуються роботи по переміщенню обладнання в горизонтальному чи вертикальному напрямках.

5. Розмічувальні роботи. Для вірного розташування трубопроводів і обладнання проводять розмічувальні роботи.

6. Установка обладнання в проєктне положення. Укрупнене обладнання після розмітки встановлюють в проєктне положення.

7. Налагодження. Певні процеси і параметри станції сатурації вимагають налагодження і регулювання.

8. Випробування холостою ходою та під навантаженням. Перевіряється наявність дефектів або тріщин, правильність руху робочих органів.

9. Здача в експлуатацію.

4.3. Технічне обслуговування

Під час ремонту станції сатурації передбачаються наступні дії: 1. Виявлення основних несправностей та визначення способів їх усунення. 2. Використання спеціальних приладів і матеріалів для ліквідації поломок. 3. Підключення станції до роботи після завершення ремонтно-відновлювальних робіт. Технічне обслуговування станції здійснюється виключно кваліфікованим персоналом, який ознайомлений із принципами роботи механізованих систем та має допуск до виконання техобслуговування. Всі заходи виконують закріплені слюсарі-наладчики та електрики. Роботи з технічного обслуговування поділяються на такі види: – щоденне обслуговування; – щотижневе обслуговування; – щорічний середній ремонт; – капітальний ремонт, що виконується один раз на три роки. Щоденне технічне обслуговування проводиться поза робочим часом, за винятком ситуацій, зазначених в інших розділах. При цьому виконуються такі роботи: – очищення обладнання від пилу та бруду операторами; – змащування компонентів системи, що цього потребують; – виявлення та усунення підтікань мастила; – контроль і підтягування кріплень обладнання; – перевірка та, за необхідності, регулювання виконавчих механізмів. Щотижневе технічне обслуговування також проводиться поза робочим часом та включає наступні заходи: – виконання завдань із попереднього пункту; – огляд і, за потреби, регулювання всіх виконавчих механізмів і датчиків; – заміна витратних чи несправних деталей за необхідності. Середній ремонт виконується один раз на рік і передбачає зупинку обладнання цеху або дільниці. У ході робіт виконується частковий демонтаж обладнання. Капітальний ремонт проводиться раз на три роки і супроводжується повним демонтажем установки, заміною або ремонтом зношених елементів, відновленням продуктивності та інших технічних характеристик механізованого комплексу.

4.4. Автоматизація виробництва

Обґрунтування доцільності автоматизації лінії потребує деталізованого розгляду з позицій підвищення ефективності виробничих процесів, покращення якості продукції та забезпечення безпеки праці. Автоматизація є одним із ключових заходів модернізації, який дозволяє зменшити залежність від людського втручання в технологічні процеси, що, у свою чергу, мінімізує ризики виникнення помилок і забезпечує стабільність виконання операцій за заданими параметрами температур, концентрацій та інших технологічних характеристик. В умовах сучасної харчової промисловості автоматизація є пріоритетним напрямом розвитку виробництва. Завдяки впровадженню інноваційних рішень старе обладнання замінюється на модернізовані аналоги або оновлюється для відповідності високим вимогам продуктивності та якості. Для ліній приготування продуктів це особливо актуально, адже автоматизовані системи забезпечують безперебійну роботу у заданих режимах. Зокрема, у виробництві безалкогольних газованих напоїв автоматизація наявних технологічних ліній сприяє вдосконаленню процесів. Наприклад, модернізація сатуратора води приводить до скорочення кількості потрібного обладнання на лінії, оптимізуючи простір і ресурси. Встановлені засоби автоматизації дозволяють своєчасно реагувати на порушення у роботі, сигналізуючи про необхідність зупинки апаратів у разі аварійної ситуації. Завдяки цьому зростає загальна продуктивність праці та підвищується якість готової продукції. Застосовувані засоби автоматизації є технічно простими, доступними і надійними. Це робить розроблену схему впровадження цілком доцільною для роботи у відділенні приготування газованих і солодких напоїв. Після технічного переоснащення технологічної ділянки можливо забезпечити автоматичний контроль подачі сиропу до станції сатурації, стежити за параметрами тиску CO₂, температурою напою та показниками витрати готової продукції. У ситуації аварії система зможе автоматично зупиняти роботу, запобігаючи виникненню додаткових проблем. При аналізі автоматизованої ділянки цеху сироповаріння розглядається комплексний підхід до автоматизації станції приготування сиропу та сатурації лінії розливу напоїв. Вона включає широке різноманіття обладнання: апарати для

приготування сиропу, дозуючі баки для води і сиропу, сатуратор для насичення газом, системи трубопроводів, насоси, пневматичні клапани та інше допоміжне устаткування. Така комбінація дозволяє здійснювати повний цикл виготовлення напою — від первинного змішування компонентів до розливу готового продукту. Процес організовано таким чином, щоб забезпечити високу якість продукції на кожному етапі. Вода спочатку подається до змішувального апарату, де разом із цукром створюється сироп з точно визначеними показниками якості. Потім отриманий сироп через систему дозування транспортується у сатуратор. Там він насичується діоксидом вуглецю, після чого виходить як готовий газований продукт, що потрапляє в ємності для подальшого розливу. Для підтримання оптимальних умов насичення сиропу потрібна температура в межах від 8 до 10°C. Цей показник контролюється термометром та регулюється шляхом подачі холодної води за допомогою спеціального механізму. Тиск у колоні готової продукції підтримується на рівні 3-4 бари за допомогою автономних датчиків і клапанів, які працюють синхронно з первинними і вторинними вимірювальними приладами.

Витрати регулюються вторинним приладом 9б.

Таблиця 4.1 – Завдання на розроблення схеми автоматизації

№	Вузол	Параметр, місце відбору сигналу	Допустимі значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю	Додаткові вимоги	Примітка
1.	Дозуючий бак води	Рівень, дозуючий бак	50-350мм	Регулювання, сигналізація, управління	Стабілізація	Вплив на двигун насоса подачі води	
2.	Дозуючий бак сиропу	Рівень, дозуючий бак	50-350мм	Регулювання, сигналізація,	Стабілізація	Вплив на двигун насоса подачі сиропу	

				управління			
3.	Колона готової продукції	Рівень, дозуючий бак	50-350мм	Регулювання, сигналізація, управління	Стабілізація	Вплив на двигун насоса подачі напою	
4.	Колона готової продукції	Температура	8-10 ⁰ С	Регулювання, сигналізація, управління	Стабілізація	Вплив на двигун насоса подачі холодної води	
5.	Трубопровід	Витрата	20 м ³ /год	Показники, реєстрація			
6.	Колона готової продукції	Тиск	3-4бар	Покази			
7.	Трубопровід	Тиск	7-8бар	Покази			

Таблиця 4.2 – Замовна специфікація на прилади та засоби автоматизації

Номер позиції	Параметр	Граничне значення	Місце установки	Найменування і характеристика	Тип моделі	Кількість	Завод-виготовник
7а,8а	Тиск	7-8бар	За місцем	Диференціальний манометр з дистанційною передачею. Межі вимірювання 0...10 Мпа. Клас точності 1,5.	ДМ-3	2	

76,86	Тиск	7-8бар	На щиті	Прилад вторинний з перетворювачем постійного струму 0...5 мА	КСУ 2-028	2	Львів-прилад, м. Львів
4а,5а	Рівень	0.5м, 0.5м	Дозуючі баки	Електронний сигналізатор рівня з двома датчиками. Похибка спрацювання \pm 10мм.	ССУ -2М	2	Тепло-прилад, м. Київ
3а	Рівень	0,8м.	Колона готової продукції	Електронний сигналізатор рівня. Похибка спрацювання \pm 10мм. Датчик ємнісний, стержневий.	ССУ -1М	1	Тепло-прилад, м. Київ
9а	Витрати	20м ³ /год	Трубо-провід	Дифманометр з дифтрансформаторною передачею. Клас точності 1,5.	ДМ И-Р	1	Завод КІП, м. Харків
9б	Витрати	20м ³ /год	На щиті	Вторинний вимірювальний прилад. Клас точності 1,0 .	РП-160	1	Завод вимірювальних приладів, м. Таллінн
КМ1,КМ2,КМ3,КМ4,КМ5,КМ6,КМ7,КМ8,КМ9.			На місці	Магнітний пускач	ПМЕ -111	11	ООО СВ Альтера, м.Київ
SB1,SB2,SB3,SB4,SB5.			На щиті	Кнопочна станція	ПКЕ -222	9	ООО СВ Альтера, м.Київ

Провівши автоматизацію даної лінії, досягнуто спрощення виконання технологічних операцій, умов праці та охорони праці обслуговуючого персоналу, якість приготування і розливу готового сиропу буде високою.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Правове регулювання охорони праці в Україні базується на положеннях Конституції України, Законі «Про охорону праці», Кодексі законів про працю України, Законі України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, що призвели до втрати працездатності», а також прийнятих відповідно до них нормативно-правових актах, Законі України «Про дорожній рух», «Про охорону здоров'я».

Закон України «Про охорону праці» покликаний забезпечити реалізацію права громадян України на збереження життя та здоров'я під час виконання трудових обов'язків, на забезпечення належних і безпечних умов праці. Він регламентує взаємовідносини між роботодавцем і найманими працівниками стосовно безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також встановлює уніфікований порядок організації охорони праці в Україні, визначаючи функції державних органів усіх рівнів у сфері взаємодії між працедавцями та працівниками.

Цей закон поширює свою дію на усіх суб'єктів господарювання (юридичних та фізичних осіб), які згідно із законодавством використовують працю інших осіб, а також на усіх працюючих.

У Закон України «Про охорону праці» було внесено суттєву кількість поправок та доповнень. Останні зміни були затверджені Верховною Радою України 17 березня 2011 року.

У цехах розливу та оздоблення особливе значення надається дотриманню персоналом норм особистої гігієни, що значною мірою впливає на якість виробленої продукції. Особиста гігієна робітників охоплює ретельний догляд за шкірними покривами, зокрема на руках, та ротовою порожниною; неухильне виконання правил користування спеціальним обмундируванням, взуттям та індивідуальними засобами захисту, дотримання етикету поведінки; а також регулярне проходження медичних оглядів та профілактичних щеплень.

У разі отримання порізів рук чи наявності на них гнійних уражень, необхідно негайно інформувати відповідальну особу з адміністрації цеху. До повного загоєння шкіри працівника переводять на виконання робіт, які не передбачають прямого контакту з вихідною сировиною. Необхідно підтримувати нігті коротко обрізаними та чистими. Використання лаку для нігтів заборонено; дозволено проведення періодичного виробничого манікюру у визначений час. Категорично заборонено працювати у вологому робочому одязі чи мокрих рукавицях.

У цеху розливу та оздоблення спостерігається незначне радіаційне випромінювання, яке застосовується для визначення рівня наповнення ємностей рідиною. Тому при експлуатації подібного обладнання слід дотримуватися максимальної обережності та слідувати усім вказівкам безпеки, зазначеним у технічній документації (паспорті) машини.

Сатураторна установка служить для приготування напоїв та їх насичення вуглекислим газом (CO_2). При концентрації CO_2 на рівні 3-4% об. виникають симптоми подразнення дихальних шляхів, кашель, подразнення очей, підвищення артеріального тиску, прискорене серцебиття тощо. Концентрації 8-10% CO_2 призводять до швидкої втрати свідомості та летального наслідку через зупинку дихання. Концентрація 20% CO_2 протягом кількох секунд викликає параліч життєво важливих центрів організму.

Згідно з вимогами до якості повітря робочої зони та нормами охорони праці і виробничої санітарії у промисловості, гранично допустима концентрація CO_2 у повітрі робочої зони не повинна перевищувати 0,5% об. Окрім вуглекислого газу, як уже згадувалося, у повітря виробничих приміщень можуть потрапляти й інші небезпечні речовини. Для очищення технологічних резервуарів та тари використовуються їдкі розчини кислот та лугів. Пари сірчаної кислоти та каустичних лугів негативно впливають на організм людини. Контакт 3% розчину сірчаної кислоти з незахищеною шкірою може спричинити гнійні запалення.

Таким чином, першочерговими небезпечними факторами вважаються викиди CO_2 . Шкідливий газ потрапляє у робочу зону внаслідок порушення цілісності трубопроводів, якими він подається або відводиться в атмосферу, а також через негерметичність виробничого устаткування цеху. З метою запобігання нещасним випадкам, здійснюється регулярний моніторинг проб повітря у зоні дихання працівників, беручи до уваги місця утворення шкідливих речовин та шляхи їх міграції у робочу зону.

У цеху впроваджено комплекс заходів для забезпечення та підтримання чистоти повітря робочого середовища, які включають:

- запобігання потраплянню забруднюючих речовин у повітря робочої зони шляхом герметизації обладнання, ущільнення з'єднань та отворів;

- видалення шкідливих речовин, що потрапили в робочу зону, за допомогою систем вентиляції, аспірації або очищення та регулювання повітряних потоків кондиціонерами;

- використання індивідуальних засобів захисту для персоналу.

Усе обладнання та машини, задіяні у лінії розливу, генерують підвищений рівень шуму, який на всіх робочих місцях не перевищує допустимих норм, за винятком видувної машини та компресора високого тиску.

Окрім обладнання лінії розливу, значним джерелом шуму є транспортні механізми, шум від яких складається з:

- звуків від зіткнень пляшок між собою;

- шуму від ударів пляшок об напрямні елементи транспортних систем;

- механічного шуму рухомих частин;

- шуму самих конвеєрів та їхніх приводних механізмів.

У технологічній частині виробництва джерелами шуму є електричні двигуни, насоси, лінія розливу, видувна машина та компресор високого тиску.

Для всіх підрозділів, окрім ділянки видуву пляшок та компресорної, робочі рівні шуму, згідно з експлуатаційними даними, не перевищують 45 дБА, що не вимагає вжиття специфічних заходів.

Вентиляція у цехах розливу, купажування та сироповаріння, пакувальних машин, накопичення та виготовлення пляшок, організована на основі припливно-витяжних систем з механічним побудженням, передбачає подачу свіжого повітря у робочу зону та відведення відпрацьованого з верхньої частини приміщення, що зумовлене значними тепло- та вологовиділеннями.

Для рекуперації тепла видаленого повітря у холодну пору року передбачено систему рециркуляції повітря для припливних установок даних виробничих ділянок.

У відділенні газифікаторів вуглекислоти система вентиляції розрахована на ефективне виведення CO_2 до безпечних концентрацій у робочій зоні. Витяжна вентиляція оснащена резервним вентилятором та забезпечує відведення повітря як з верхньої, так і з нижньої зон.

На складах гіпохлориту та кислоти запроєктовано механічну припливно-витяжну вентиляцію з кратністю повітрообміну, що становить 6 повних обмінів на годину.

Правила безпеки під час обслуговування сатуратора:

1. Тільки працівники, які пройшли відповідну підготовку, ознайомлені з інструкцією з експлуатації та правилами техніки безпеки, допускаються до роботи і обслуговування машини.
2. Оператори та наладчики повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту органів слуху згідно з ДСТУ 12.4.051-87, спеціальним робочим одягом та захисними окулярами.
3. Зона обслуговування повинна бути позначена відповідними знаками безпеки відповідно до вимог ДСТУ 12.4.026-96. Для безпечного пересування оператора робоче місце обладнується настилом заввишки 250 мм для захисту ніг від можливого промокання. Проходи повинні бути вільними від сторонніх предметів, таких як ящики чи пляшки.
4. Електропроводка від розподільчої шафи до машини має бути розміщена виключно у металевих трубах. Машину та електроустаткування необхідно надійно заземлити. Для цього на станині машини є спеціальний болт із позначкою «Земля». Стан заземлення необхідно перевіряти регулярно, дотримуючись правил ПУЕ та ПТЕ.
5. Усі кожухи та захисні огороження

повинні бути правильно встановлені та надійно зафіксовані. 6. Перед початком роботи обов'язково перевірте справність усіх захисних пристроїв і роботу системи електроблокування. Заборонено працювати з відкритими огороженнями каруселі чи пошкодженими елементами керування. 7. У процесі роботи не дозволяється поправляти, переміщувати чи переставляти упаковані пляшки. У разі пошкодження склобою слід діяти із максимальною обережністю, щоб уникнути травмувань через уламки скла. 8. Перед виправленням дрібних несправностей або під час чищення машини необхідно зупинити її роботу та вжити заходів для запобігання випадковому пуску. Забороняється залишати інструменти чи інші предмети на обладнанні під час його роботи. 9. Слідкуйте за станом захисних механізмів, які забезпечують автоматичне вимкнення машини у разі перевантажень. Для швидкого аварійного відключення на машині передбачено дві червоні кнопки «Стоп» із грибоподібними штовхачами. 10. Трапи для відведення води повинні регулярно очищатися. Після завершення зміни необхідно ретельно очищувати машину та прибирати робоче місце. 11. Заборонено проводити обдування машини при знятих кожухах циліндрів. 12. Під час ремонту та огляду електроустаткування потрібно обов'язково вимикати пакетник і перевіряти відсутність напруги на корпусі обладнання. Необхідно регулярно контролювати стан металевих труб і металорукавів для захисту дротів, а також перевіряти заземлення механічних частин, які можуть стати під напругою у разі порушення заземлення. 13. Персоналу категорично забороняється: - вмикати автоматичне устаткування без попередньої перевірки його справності; - працювати зі зламаними або навмисно заблокованими системами захисту; - використовувати незаправлений або неналежного стану робочий одяг.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

1. Вихідні дані:

Показник	Значення
Об'єм пляшки	0,5 л
Продуктивність лінії	12 000 пляшок/год
Робочий день	8 год/зміну × 2 зміни
Робочі дні на місяць	22
Місячна продуктивність	4 224 000 пляшок = 2 112 000 л
Рік	12 місяців

2. Розрахунок обсягу виробництва за рік:

$$Q_{\text{річна}} = 12000 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 50688000 \text{ пляшок} = 25344000 \text{ л}$$

3. Орієнтовна ціна на обладнання:

Обладнання	Ціна за одиницю (EUR)	Кількість	Сума (EUR)
Станція водопідготовки (RO)	12100	2	25000
Сиропозмішувач	8100	2	16500
Купажний апарат	15100	1	15100
Сатураційна установка	21000	1	21000
Розливний автомат (PGF 32-32-10)	95100	1	95100
Маркувальна машина	11000	1	11000
Пакувальна машина	17000	1	17000
Транспортери, резервуари, тощо	24000	-	24000
Разом			224 000

4. Експлуатаційні витрати (на рік):

Стаття витрат	Розрахунок	Сума (EUR/рік)
Сировина (інгредієнти)	0,05 €/пляшка × 50 688 000	2 534 400
Вода	0,20 €/м ³ × 25 344 м ³	5 068
CO ₂	0,005 €/пляшка × 50 688 000	253 440

Енергія	$150 \text{ кВт} \times 0,12 \text{ €/кВт}\cdot\text{год} \times 3520$ Г	63 360
Обслуговування	$\approx 3\%$ від вартості обладнання	6 690
Персонал (12 чол.)	$700 \text{ €/міс} \times 12 \times 12$	100 800
Упаковка	0,02 €/пляшка	1 013 760
Разом		3 977 518

5. Доходи (виручка):

Ціна реалізації: $\sim 0,30 \text{ €/пляшка}$

$$\text{Дохід} = 50688000 \cdot 0,30 = 15206400 \text{ €/рік}$$

6. Розрахунок прибутку:

$$\text{Витрати} = 15206400 - 3977518 = 11228882 \text{ €/рік}$$

7. Термін окупності:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{223000}{11228882} \approx 0,02 \text{ року} \approx 8 - 9 \text{ днів}$$

За умови безперервної роботи й стабільного ринку.

8. Висновки:

Обладнання лінії забезпечує повний цикл виробництва на рівні 12 000 пляшок/год.

При реалізації за ціною 0,30 €/пляшка – прибутковість надзвичайно висока.

Окупність інвестицій в обладнання – менше одного місяця, що свідчить про високу ефективність проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Богомолів О.В. Курсове та дипломне проектування обладнання переробних і харчових підприємств / О.В. Богомолів, П.В. Гурський, В.П. Богомолів. –Х.: Еспада, 2005. – 432 с.
2. Гулий І.С. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості /І.С. Гулий. –Вінниця: Нова книга, 2001. – 575 с.
3. Дацишин О.В. Машини та обладнання переробних виробництв / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, Д.С. Чубов. –К.: Вища освіта, 2005. – 159 с.
4. Дипломне проектування / Г.В. Дейниченко, О.І. Черевко, Н.О. Власова, І.Г. Дейнека. –Луганськ: Видавництво СНУ ім. В. Даля, 2004. – 256 с.
5. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива: підруч. Київ : ІНКІОС, 2004. – 426 с.
6. Закалов О.В. Розрахунок типових робочих органів технологічного обладнання харчових виробництв / О.В. Закалов, А.І. Бортник.–Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2005. – 105 с.
7. Курсове і дипломне проектування: методичні рекомендації щодо складання принципів і апаратурно-технологічних схем та умовно-графічних зображень в апаратурно-графічних схемах для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності «Технологія продуктів бродіння і виноробство» за ОКР «бакалавр», «спеціаліст», «магістр» / уклад. П.Л. Шиян, В.Л. Прибильський, А.М. Куц та ін. Київ : НУХТ, 2012. – 67 с.
8. Малежик І.Ф. Процеси та апарати харчових виробництв / І. Ф. Малежик. –К.: НУХТ, 2003. – 400 с.
9. Мелетьєв А. Є., Тодосійчук С. Р., Кошова В. М. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв : підручник/ за ред. А. Є. Мелетьєва. Вінниця : Нова Книга, 2007. – 392 с.
10. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підручник / В.Г. Мирончук. – Вінниця: Нова книга, 2007.–648 с.

11. Мирончук В.Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навчальний посібник / В.Г. Мирончук, Л.О. Орлов, А.І. Українець. та ін. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288 с.

12. Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту з дисципліни «Технологічне обладнання переробних та харчових виробництв» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 181 «Харчові технології» / В.М.Федорів -Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2021. – 96с.

13. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва / П.С. Берник, З.А. Стоцько, І.П. Паламарчук, І.А. Зозуляк.– Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2004. – 336 с.

14. Технологія солоду, пива та безалкогольних напоїв у задачах і прикладах: навч. посіб. / А.Є. Мелетьєв, В.А. Домарецький, С.Р. Тодосійчук та ін. // під ред. А.Є. Мелетьєва. Київ: НУХТ, 2007. – 256 с.

15. Процеси та апарати харчових виробництв /А.М. Поперечний, О.І.Черевко ,В.Б.Гаркуша, Н.В. Кирпиченко.– К.: ЦУЛ, 2007. – 304с.

ВИСНОВОК

У рамках проведення дослідження та виконання кваліфікаційної роботи було здійснено ряд важливих заходів щодо модернізації обладнання для виготовлення газованої води з подвійним очищенням. Зокрема, реалізували удосконалення конструкції сатуратора та покращення роботи станції сатурації. Завдяки цим змінам вдалося суттєво підвищити якість виробленої газованої води, що відразу позитивно позначилося на результатах виробничого процесу. З метою підвищення технічного та економічного рівня технологічного процесу виготовлення напою було запропоновано замінити існуючий ежекційний пристрій на більш продуктивний, а також використати форсунку нового типу, яка працює за принципом дрібнодисперсного розпорощення. Це дозволяє досягти більш однорідного змішування інгредієнтів та оптимізації процесу виробництва. Особливу увагу приділено розробці методики розрахунку гідроструминного насоса. У новій методиці враховується не лише співвідношення розмірів окремих елементів, а й формування рідинного струменю, що витікає з сопла форсунки. Такий підхід значно підвищує показники коефіцієнта корисної дії насоса і сприяє більш ефективному його використанню, забезпечуючи високу продуктивність роботи всієї системи. Економічна вигода від запропонованих технічних рішень була детально проаналізована і підтверджена низкою економічних розрахунків, які довели доцільність впровадження цих змін. Результати техніко-економічного аналізу підтвердили, що внесені вдосконалення сприятимуть значному підвищенню ефективності роботи сатуратора для газованої води і забезпечать конкурентоспроможність продукції. На додаток до модернізації була розроблена інноваційна схема поліпшення процесу деаерації шляхом впровадження нового типу ежекторного апарата з дрібнодисперсним розпилюючим пристроєм. Особливістю цього апарата є створення великої поверхні контакту фаз у зоні дії пристрою, що забезпечує утворення необхідного для процесів деаерації вакууму. Завдяки цьому значно покращується якість очищення води від розчинених газів, що є критично важливим етапом у виготовленні газованих напоїв. Для

вдосконалення процесу сатурації також було запропоновано замінити традиційний механічний розпилювач рідини на ежекторний апарат із дрібнодисперсним розпилюючим елементом. Цей метод забезпечує значно більш якісне насичення рідини сатураційним газом. Конструкція передбачає встановлення ежекторного пристрою безпосередньо в ємності сатуратора таким чином, щоб форсунка розташовувалась над рівнем рідини. Це дозволяє ефективніше здійснювати ежекцію сатураційного газу, який знаходиться у верхній частині резервуара. Для забезпечення стабільної роботи зазначеного ежектора та досягнення гарантованого насичення рідини було реалізовано систему циркуляції, що включає в себе трубопроводи, насос і автоматизовану систему керування для підтримки постійного і оптимального рівня рідини в апараті. Завдяки цьому нововведенню вдалося досягти більш точного контролю над процесами насичення та підвищити стабільність роботи без необхідності втручання людини. Загалом проведені модернізаційні заходи довели свою ефективність і доцільність практичного застосування на виробництвах харчової промисловості. Вони не лише сприяють істотному підвищенню якості готової продукції, але й спрощують управління технологічними процесами, забезпечують зручність експлуатації обладнання.

ДОДАТКИ