

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

_____ Сергій БЛАЖЕНКО

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Олександр ГАВВА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності _____ 133 "Галузеве машинобудування"

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____ Інжиніринг харчових виробництв

на тему: _____ Дослідження процесу карбонізації напоїв у потоці
_____ з розробкою відповідного апарату

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-4м

_____ Литвин Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник: доц. Доломакін Юрій Юрійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти _____ Юрій БОЙКО

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____ (підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут *Навч.-науковий інженерно-технічний інст. ім. акад. І.С. Гулого*

Кафедра *Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв*

Освітній ступінь *магістр*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*

(код і назва)

Освітньо-професійна програма *Інжиніринг харчових виробництв*

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олександр ГАВВА

“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Литвин Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Дослідження процесу карбонізації напоїв у потоці з розробкою відповідного апарату*

керівник роботи *Доломакін Юрій Юрійович, доцент, к.т.н.*

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

затверджені наказом закл. вищої осв. від “20” листопада 2023 року № 940-кв

2. Строк подання здобувачем роботи *01 лютого 2024 р.*

3. Вихідні дані до роботи *технічний паспорт обладнання; кресленики обладнання; навчальна нормативна та спеціальна література*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *анотація, зміст; вступ, літературний огляд, мета і завдання досліджень, методологія досліджень, розрахункова частина, виробнича санітарія та безпечні прийоми праці, моделювання у програмі CFD, результати моделювання, виробнича санітарія та безпечні прийоми праці, монтаж та ремонт, технологія машинобудування, загальні висновки, список використаних літературних джерел, додатки*

5. Перелік графічного матеріалу

Станція сатурації; Деаераційна колона; Вентиль

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Технологія</i>	<i>доц. Бойко Юрій Іванович</i>		
<i>машино-</i>			
<i>будування</i>			

7. Дата видачі завдання 5 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація, зміст</i>	<i>15.11.23</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>20.11.23</i>	
3	<i>Літературний огляд</i>	<i>05.12.23</i>	
4	<i>Мета і завдання досліджень</i>	<i>25.11.23</i>	
5	<i>Методологія дослідження</i>	<i>15.12.23</i>	
6	<i>Розрахункова частина</i>	<i>10.01.24</i>	
7	<i>Моделювання у програмі CFD</i>	<i>15.01.24</i>	
8	<i>Виробнича санітарія та безпечні прийоми праці</i>	<i>19.01.24</i>	
9	<i>Монтаж та ремонт</i>	<i>22.01.24</i>	
10	<i>Технологія машинобудування</i>	<i>25.01.24</i>	
11	<i>Загальні висновки</i>	<i>27.01.24</i>	
12	<i>Список використаних літературних джерел</i>		
	<i>Креслення</i>	<i>31.01.24</i>	
	<i>Презентація</i>	<i>05.02.24</i>	

Здобувач

(підпис)

Владислав ЛИТВИН

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Юрій ДОЛОМАКІН

(прізвище та ініціали)

Анотація

Робота виконана згідно виданого завдання та має тему: «Дослідження процесу карбонізації напоїв у потоці з розробкою відповідного апарату».

Основною метою цієї роботи є розробка технічних засобів насичення харчових рідин газами, що забезпечують рівномірний розподіл окремих бульбашок за об'ємом суміші та максимальну стійкість отриманого продукту.

У роботі проведено аналітичний огляд стану газонасичення харчових рідин з теоретичного та практичного боку, у результаті чого визначені мета та задачі досліджень.

За результатами розрахунків та імітаційного моделювання процесу у сучасному програмному забезпеченні визначений вплив основних факторів та запропонована конструкція сатуратора безперервної дії для підприємств по виготовленню газованих безалкогольних напоїв.

Ключові слова: сатурація, безалкогольні напої, діоксид вуглецю, розчинення, насадка

Summary

The work was carried out in accordance with the assignment and has the following topic: "Investigation of the process of carbonation of beverages in the flow with the development of an appropriate apparatus".

The main purpose of this work is to develop technical means of saturating food liquids with gases that ensure uniform distribution of individual bubbles over the volume of the mixture and maximum stability of the resulting product.

The paper provides an analytical review of the state of gas saturation of food liquids from the theoretical and practical point of view, which resulted in the definition of the purpose and objectives of the research.

Based on the results of calculations and simulation modelling of the process in modern software, the influence of the main factors is determined and the design of a continuous-acting saturator for carbonated soft drinks production enterprises is proposed.

Keywords: saturation, soft drinks, carbon dioxide, dissolution, nozzle

Зміст

Вступ.....	6
1. Літературний огляд.....	8
1.1 Характеристика безалкогольних напоїв.....	8
1.2 Технологія газованих безалкогольних напоїв.....	12
1.3 Кондиціонування та газування води.....	15
1.4 Конструкція сатураторів.....	17
2. Мета і завдання досліджень.....	31
2.1 Чинники, що впливають на ступінь насичення води діоксидом вуглецю.....	31
2.2 Визначення вмісту діоксиду вуглецю.....	38
2.3 Порядок проведення випробування.....	39
3. Методологія експериментальних досліджень.....	42
4. Розрахункова частина.....	52
4.3 Охолодження води перед сатурацією.....	54
4.4 Витрата двоокису вуглецю.....	55
4.5. Експериментальні дослідження з процесу насичення за допомогою комп'ютерного моделювання.....	59
5. Виробнича санітарія та безпечні прийоми праці.....	90
6. Монтаж та ремонт.....	97
7. Технологія машинобудування.....	104
Висновки.....	111
Список літератури.....	112

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доламакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст		221889.КР.44.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/

Вступ

У харчовій промисловості добре відома технологія, яка використовується під час виготовлення газованих напоїв, у якій охолоджені рідини насичуються в сатураторах під тиском діоксидом вуглецю, що має консервувальну властивість. На практиці найпоширеніші способи організації взаємодії фаз, наприклад, прямоточним рухом в апараті, перемішуванням або циркуляцією рідини, циркуляцією газу.

Під насиченням (карбонізацією, або сатурацією(від лат. *saturatio* – насичення)) розуміють змішування води з діоксидом вуглецю. Від ступеня насичення води або напою діоксидом вуглецю залежать смакові якості, освіжальні властивості та стійкість напою.

Високий вміст діоксиду вуглецю в напої забезпечує тривалість збереження смаку й аромату напою та оберігає його від псування. Одночасно з підвищенням вмісту вуглекислого газу у воді в ній знижується вміст кисню, що позитивно впливає на якість і збереження напоїв, тому що розчинений у воді кисень здатний спричиняти утворення небажаних продуктів окиснення, що погіршують зовнішній вигляд або смак напою. Крім того, розчинене у воді повітря і кисень перешкоджають розчиненню вуглекислого газу, тому карбонізації передує деаерація води.

Таким чином, процес газування містить попереднє охолодження води, видалення з неї розчиненого повітря (деаерації) і насичення діоксидом вуглецю.

Перший напій, насичений CO₂ штучно, був створений у 1767 р. англійським ученим Джозефом Прістлі. Вченого зацікавило, якого роду бульбашки виділяються під час бродіння пива, і він провів експеримент, помістивши над пивом, що вариться, 2 контейнери з водою. Через деякий час вода наситилася CO₂. Спробувавши її, Прістлі був вражений несподівано різким і одночасно приємним смаком цієї води.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доломакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	221889.KP.44.000.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/	

Перший прилад, за допомогою якого можна було виробляти газовану воду в досить великих кількостях, що отримав назву сатуратор, був винайдений у 1770 р. хіміком Торберном Бергманом (Швеція).

Надалі розробки Бергмана продовжив німець Йоганн Швепп. Створена ним у 1783 р. промислова установка для виробництва газованої води дала йому змогу відкрити власну фірму, яка існує досі (*Schweppes Company*).

Schweppes – перша торгова марка безалкогольних газованих напоїв у світі з понад двовіковою історією. Це одна з трьох торгових марок охолоджуючих напоїв, що входили в «Інтербренд 100».

У 1999 році компанія *The Coca-Cola Company* викупила торгові марки *Schweppes*, *Dr Pepper*, *Canada Dry* і *Crush* для виробництва в Україні і низці інших країн. У США *Schweppes* виготовляється *Dr Pepper Snapple Group*.

Споживання всіх видів безалкогольних напоїв упродовж багатьох століть історії людства слугувало задоволенню необхідності в поповненні організмом втрат вологи, основним джерелом якої завжди була прісна вода, яка в давнину часто слугувала джерелом небезпеки отруєння, оскільки могла містити контамінанти фізико-хімічної та мікробіологічної природи. До початку ХХ ст. спалахи холери, дизентерії та інших, пов'язаних зі споживанням зараженої води, захворювань були звичним явищем для багатьох європейських міст, у зв'язку з чим набуло широкого поширення споживання так званого "слабкого пива" - напою, який отримують кип'ятінням зерна ячменю з додаванням пряних трав і подальшим підброджуванням отриманого екстракту. Такі ячмінні відвари й ароматизовані напої на їхній основі з'явилися ще 1320 р., а перша згадка про лимонад в Англії датується 1663 р. - це був напій із лимонного соку, підсолоджений цукром і медом. Вважається, що вперше виготовляти його почали в Італії. Поява "оранжаду" (напою на основі апельсинового соку) також датується 1660-ми рр., але всі ці напої були негазованими.

1. Літературний огляд

1.1 Характеристика безалкогольних напоїв

Безалкогольні напої - це напої, приготовані з питної, мінеральної питної води, соків, їхніх концентратів, продуктів бджільництва, настоїв і екстрактів рослинної сировини, ароматизаторів, цукру, замінників цукру і підсолоджувачів із додаванням смако-ароматичних добавок, барвників та інших компонентів. Найбільшого поширення в Україні набули напої Живчик, Дюшес, Сітро, Яблуко, Тархун, цитрусові Лимонний, Апельсиновий, напої складного складу та ін.

Безалкогольні напої класифікують за зовнішнім виглядом, використовуваною сировиною і застосовуваною технологією, за ступенем насичення діоксидом вуглецю, за способом обробки.

За зовнішнім виглядом напої поділяють на види: рідкі напої - прозорі та заму́тнені, концентрати напоїв у споживчій тарі.

За ступенем насичення діоксидом вуглецю рідкі напої поділяють на типи: сильногазовані, середньогазовані, слабогазовані, негазовані; за способом обробки - на непастеризовані, пастеризовані, із застосуванням консервантів і без них; холодного, гарячого та асептичного розливу.

Рідкі напої за зовнішнім виглядом поділяють на прозорі, які прозорі та не мають сторонніх включень або в них допускається легка опалесценція, зумовлена особливостями сировини, що використовується, та заму́тнілі, в яких допускається наявність осаду або суспензій без сторонніх включень, не властивих продукту.

До концентратів відносять однорідні, рівномірно забарвлені сипучі порошки, таблетки, зволожену або пастоподібну масу, в'язку рідину, гранули різного розміру. Напої з концентратів отримують простим

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доломакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Літературний огляд	221889.KP.44.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/

розчиненням порошку, таблеток або сиропоподібної маси у воді.

Сухі шипучі напої є сумішшю подрібненого цукру, винної кислоти [COOH(CHOH)₂COOH], питної соди (гідрокарбонат натрію NaHCO₃) та есенцій. При розчиненні у воді така суміш спінюється внаслідок виділення діоксиду вуглецю під час взаємодії винної кислоти та гідрокарбонату натрію.

Залежно від використовуваної сировини, технології та призначення поділяють на групи: соковмісні, на пряно-ароматичній (смако-ароматичній) рослинній сировині, на ароматизаторах, на зерновій сировині, штучно мінералізовані води, спеціального призначення.

Соковмісні напої - це два види безалкогольних напоїв: із вмістом соку від 3 до 9,9% і від 10 до 50% включно. Напої, що містять 10-50% соку, можна називати за назвою фрукта, наприклад Яблуко, Вишня, Грейпфрут. Назви напоїв із меншим вмістом соку мають бути іншими, наприклад Яблучний аромат, Гілка яблуні.

Напої на ароматизаторах - це безалкогольні напої, що не містять соку, виготовлені з використанням ароматичних речовин або їхніх композицій (есенцій, ефірних олій, емульсій, основ тощо).

Напої на пряно-ароматичній (смако-ароматичній) сировині - це безалкогольні напої, що містять екстракти, настої, концентровані основи або концентрати, отримані з використанням смако-ароматичної рослинної сировини.

Напої на зерновій сировині - безалкогольні напої, приготовлені з використанням зернової сировини та продуктів її переробки.

Води штучно мінералізовані - це безалкогольні напої, приготовані з питної води з додаванням неорганічних солей.

Напої спеціального призначення - напої, які за своїм впливом призначені для певних категорій споживачів (вітамінізовані, тонізувальні, напої зі зниженою калорійністю, для спортсменів, дітей, осіб, що зазнають фізичного чи розумового перенавантаження, хворих, які страждають на

цукровий діабет, для працівників гарячих цехів та ін.). До напоїв для хворих, які страждають на діабет, належать напої, в яких цукор повністю замінений підсолоджувачами або цукрозамінниками. До низькокалорійних напоїв належать напої із вмістом вуглеводів не більше 5% мас.

У напоях, які готують на рослинній сировині або на основі виноматеріалів, спиртованих соків, допускається вміст спирту не більш як 1,2% мас. Для напоїв на водноспиртових компонентах - до 0,5% мас. Для інших напоїв частка спирту не більше 0,2%.

Масова частка діоксиду вуглецю в сильногазованих напоях має бути не менше ніж 0,4%, у середньогазованих - не менше ніж 0,3%, у слабогазованих - не менше ніж 0,2%.

У безалкогольних напоях, що реалізуються через апарати "Постмікс", "Премікс" і сокові диспенсери під час розливу в негерметичну тару споживача вміст діоксиду вуглецю не регламентується.

Усі мінеральні води насичують діоксидом вуглецю, оскільки він перешкоджає порушенню карбонатної рівноваги й у такий спосіб сприяє збереженню в розчині вуглекислих солей кальцію, магнію, заліза, а також пригнічує розвиток мікроорганізмів, збільшує термін придатності води й поліпшує смак. Під час підготовки води до розливу вуглекислі води втрачають частину діоксиду вуглецю, тому їх додатково насичують діоксидом вуглецю. Насичення проводять за температури води 4...7 °С і надлишкового тиску в сатураторі 0,2 МПа або за температури води 8...10 °С і тиску 0,25 МПа.

Масова частка діоксиду вуглецю в мінеральних водах, розлитих у пляшки, має бути не меншою, ніж 0,3%, у залізистих - 0,4%, а в деяких водах - не більшою, ніж 0,2%.

Органолептичні та фізико-хімічні показники напоїв зазначають у рецептурах.

Вміст токсичних елементів у напоях не повинен перевищувати таких значень (мг/кг): свинцю - 0,3; миш'яку - 0,1; кадмію - 0,03; ртуті - 0,005.

Вміст радіонуклідів (Бк/дм³): цезію-137 не більш як 70; стронцію-90 не більш як 100. Для штучно мінералізованих вод, на відміну від наведених вище значень, вміст свинцю не більш як 0,1, а кадмію - 0,01 мг/кг; цезію-137 і стронцію-90 - не більш як 8 Бк/дм³.

На тарі з напоєм повинно бути маркування, в якому зазначають: найменування напою та його тип, найменування та адресу виробника із зазначенням країни, товарного знака виробника (за його наявності), об'єму в л або дм³ написи "Використовувати до" або "Годен до" і дати закінчення строку придатності (день і місяць) - якщо термін придатності продукту не перевищує трьох місяців і (місяць і рік) - якщо перевищує три місяці; умови зберігання; склад напою (для соковмісних напоїв) - із зазначенням виду і вмісту використовуваного соку; масової частки етилового спирту, а за величини понад 0,2% - напис "Протипоказано дітям до 12 років", харчову й енергетичну цінність, номер ОСТу. На етикетці дають також інформацію про сертифікацію. Тару з концентратами напоїв також маркують із зазначенням складу концентрату і написом "Зберігати в сухому прохолодному місці" (крім рідких концентратів). На штучно мінералізованих водах дають напис "Штучно мінералізована", вказують величину мінералізації (г/л) і хімічний склад води. Напої спеціального призначення маркують відповідно до рекомендацій МОЗ України. При маркуванні продукції додатково можуть бути нанесені написи інформаційного та рекламного характеру і наклеєна кольєретка.

Штучно мінералізовані води - це слабкі розчини хімічно чистих нейтральних і лужних солей натрію, кальцію і магнію у воді, насиченій діоксидом вуглецю.

Якщо напій виготовляють на синхронно-змішувальній установці, то перед цим купаж солей змішують у необхідних співвідношеннях із водою апаратом синхронної дії, а потім отриманий готовий охолоджений напій насичують діоксидом вуглецю в сатураторі.

Якщо напій готують на безперервнодіючому сатураторі, то купаж солей розбавляють водою, отриманий напій барботують 1-2 год діоксидом вуглецю, охолоджують у теплообміннику і направляють у сатуратор. У разі використання сатуратора періодичної дії його заповнюють на 50% охолодженою до 4-6°C водою, подають у сатуратор розчини солей, перемішуючи 1-2 хв після подачі кожного розчину: Потім наповнюють сатуратор до 3/4 об'єму охолодженою водою, вмикають подачу діоксиду вуглецю та перемішують 30 хв, періодично відкриваючи в перші 10 хв кран для випускання повітря із сатуратора.

Напій газують за тиску в сатураторі 0,3...0,4 МПа до встановлення постійного тиску після вимкнення мішалки.

1.2 Технологія газованих безалкогольних напоїв

Способи приготування газованих безалкогольних напоїв. На рис. 1 зображено технологічну схему виробництва газованих безалкогольних напоїв, у якій виділено такі етапи виробництва.

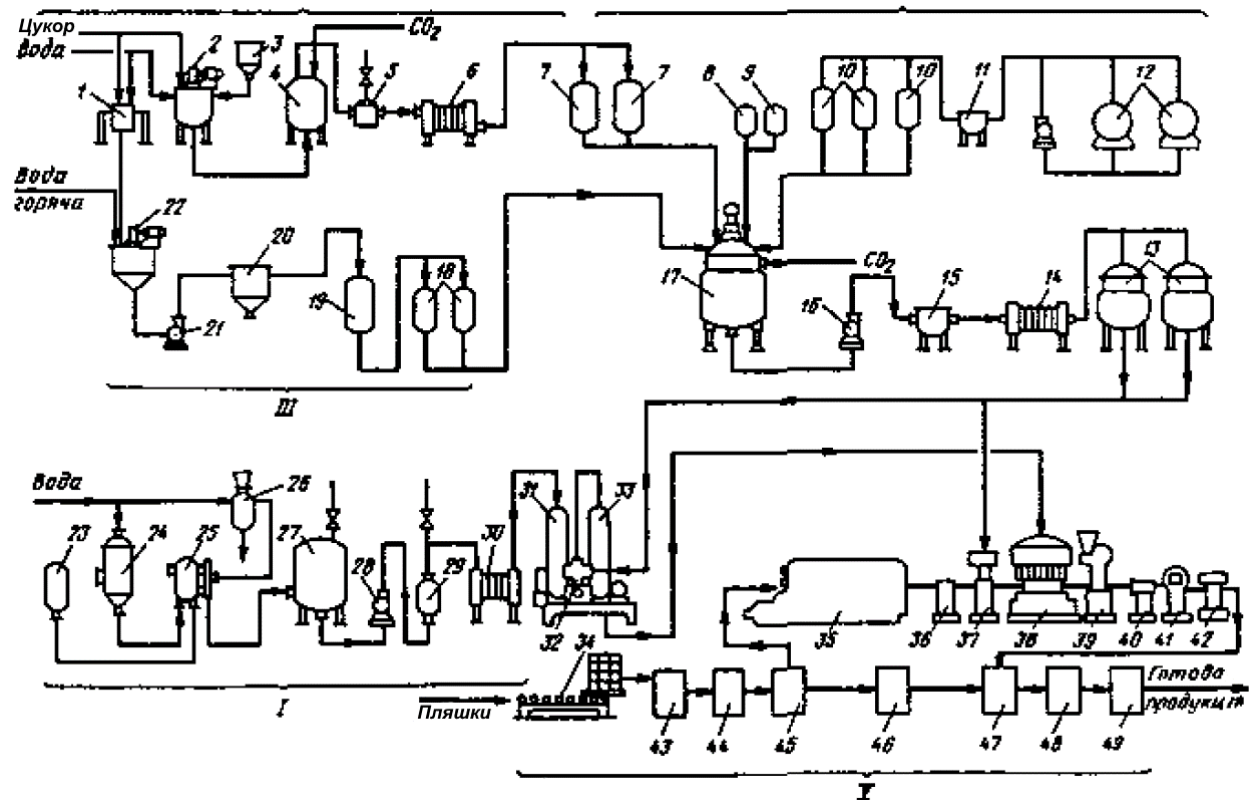


Рис.1 Апаратурно-технологічна схема виробництва безалкогольних напоїв

I. *Приготування води.* Воду, що надходить у виробництво, піддають очищенню. Перше фільтрування води проводять у пісочних фільтрах 24 для грубого очищення. Освітлену воду пом'якшують у натрійка-тіонітовому фільтрі 25 і збирають у збірнику 27. Із цієї збірки воду насосом 28 подають через керамічний патронний фільтр 29 і холодильник 30 на сатурування (насичення діоксидом вуглецю) і змішування з купажним сиропом. Для регенерації катіоніту використовують сольовий розчинник 26 і збірник регенерувального розчину 23. В апараті 30 вода охолоджується до 4...7 °С.

II. *Приготування цукрового сиропу.* Для отримання білого цукрового сиропу в сиропоуварювальний апарат 2 заливають розраховану кількість підготовленої води і починають нагрівати її до кипіння. При нагріванні вмикають мішалку і в апарат поступово засипають попередньо очищений від сторонніх домішок цукор із розрахунку 8,5...9 частин на 5 частин води (за масою). Кип'ятіння триває 25...30 хв за обов'язкового видалення піни, що утворюється. Для отримання сиропу інвертного цукру після зниження температури до 68...72°C в апарат з мірника 3 додають розчин лимонної кислоти для інвертування сахарози і надання приємного смаку. Потім гарячий сироп зливають у збірник 4 (монжю). З нього гарячий сироп під невеликим тиском, створюваним СОГ, надходить через фільтр 5 у холодильник 6. Охолоджений сироп перекачують для зберігання в закриті збірки 7. Вміст цукру в готовому сиропі 60...65% мас.

III. *Приготування кольору.* Колер, застосовуваний для забарвлення напоїв від жовтого до коричневого кольору, готують шляхом нагрівання цукру до 180...200 °С. У колероварильний апарат 1 вводять цукор і воду в кількості 1...2% до маси цукру, вмикають мішалку і систему обігрівання апарату. Температуру розчину поступово (протягом 40 хв) доводять до 180 °С, розплавлену масу уварюють протягом 90 хв. З апарата уварена маса зливається в бак 22. Тут до охолодженої до 60...65°C карамельної маси додають гарячу воду, доводячи концентрацію сухих речовин до 70% мас. Потім через фільтр 20 колер перекачують насосом 21 у збірник 19 на

зберігання. Зі збірника розчин колера насосом або самопливом подається в передкупажні мірники 18.

IV. Приготування купажного сиропу. Купажний сироп являє собою концентрований розчин усіх компонентів, що становлять смакову й ароматичну основу напою. Його готують періодичним способом. Компоненти змішують у закритому ку пажному апараті 17, до якого подають згідно з рецептурою компоненти в такій послідовності: цукровий сироп зі збірок 7, плодово-ягідні соки, вина або настої з мірників 10, розчин органічних кислот із мірника 8, колер із мірників 18. Суміш ретельно перемішують і в останню чергу вносять ароматичні речовини з мірника 9. Соки, вина і настої, що мають опади, під час подавання їх із ємностей 12 у мірники 10 освітлюють на фільтрі I. Після змішування всіх компонентів у купажному апараті 17 сироп насосом 16 перекачують через фільтр 15 і холодильник 14 у напірні резервуари 13, забезпечені сорочками для підтримання необхідної температури купажного сиропу.

У разі вживання свіжих соків, недостатньо витриманих морсів або нестандартних екстрактів, що містять значну надлишкову кількість білків чи спирту, купажний сироп готують гарячим способом. Для цього в сироповарочному апараті 2 варять білий сироп разом із відфільтрованим соком або розведеним екстрактом. Варіння триває не більше 20 хв, після чого гарячу суміш фільтрують, охолоджують і подають у купажний апарат 17.

Для насичення води або змішаного напою діоксидом вуглецю на великих підприємствах використовують автоматизовані установки безперервної дії. Вода, охолоджена до температури 4...7 °С, надходить у деаератор 31 для видалення розчиненого повітря і потім насосом 32 подається в сатуратор 33. Насичення води діоксидом вуглецю проводять під надлишковим тиском 0,3...0,6 МПа до вмісту CO₂ 4,5...6 г/дм³. Із сатуратора газована вода надходить у резервуар фасувального автомата 38.

Більш доцільно спочатку змішувати воду з купажним сиропом, а потім суміш насичувати діоксидом вуглецю.

V. Фасування напоїв. Напої фасують у пляшки у фасувальному цеху. Пакети ящиків із порожніми пляшками, розміщеними на піддонах, надходять зі складу роликовим конвеєром 34 у машину 43 для розформування пакетів, з яких окремі стопки ящиків подають у машину 44 для розбирання стопок. Потім ящики з посудом надходять у машину 45 для виїмки пляшок із ящиків. Порожні пляшки пластинчастим конвеєром направляють до пляшкомиїної машини 35, а порожні ящики - ланцюговим конвеєром до машини 46 для їхньої санітарної обробки.

Пляшки, вимиті в пляшкомиїній машині 35, проглядають на інспекційній машині 36 для виявлення дефектів скла, сторонніх часток, не відмитих забруднень і передають до дозувального автомата 37, наливають дозу купажного сиропу, потім у фасувальному автоматі 38 доливають до певного рівня газованою водою. Заповнені пляшки закупорюють на автоматі 39 і збовтують для змішування сиропу та води в змішувачі 40. Далі пляшки переглядають для виявлення сторонніх включень, недоливу на напівавтоматі 41, після чого наклеюють етикетку в автоматі 42. Пляшки з ПЕТФ перед наливом слід обполіскувати холодною водою.

Укладання наповнених пляшок у ящики, що пройшли санітарну обробку, і формування пакетів ящиків із готовою продукцією проводять у порядку, зворотному до того, за яким розформовувалися пакети, з використанням відповідних машин 47, 48 і 49.

1.3 Кондиціонування та газування води

Вода, що є основним компонентом безалкогольних напоїв, за якістю має відповідати вищим вимогам, ніж звичайна питна вода.

У виробництві використовують воду з міського водопроводу або воду з артезіанських свердловин, її фільтрують, пом'якшують, видаляють солі заліза і знезаражують. Таку обробку промислової води називають кондиціонуванням. Кондиціонування води сприяє поліпшенню її смаку та

знебарвленню.

У безалкогольні напої діоксид вуглецю вводять штучно - він легко утворює у воді насичені розчини. Розчинність газу CO_2 залежить від температури та тиску і її можна визначити за графіком (рис. 2).

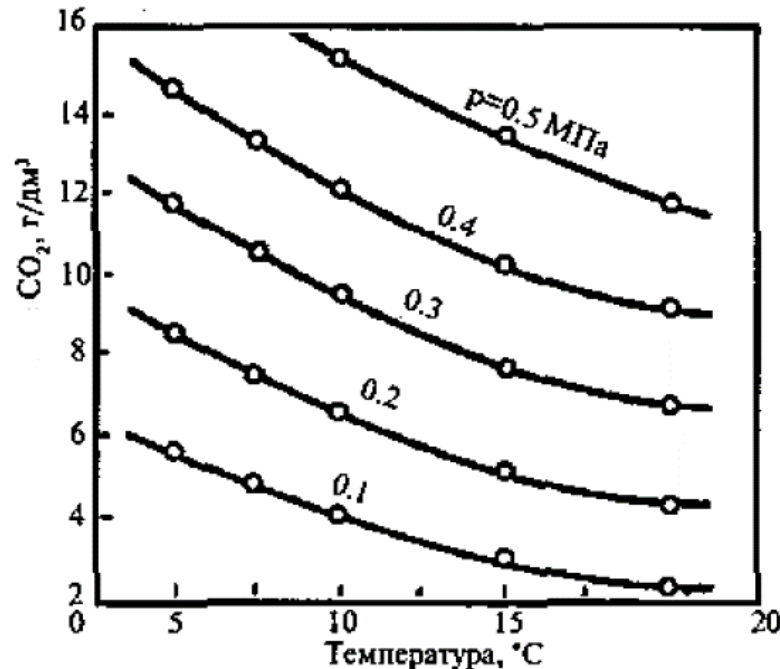


Рис. 2. Криві розчинності діоксиду вуглецю залежно від тиску й температури

З підвищенням тиску або зниженням температури розчинність діоксиду вуглецю збільшується. Найсприятливішими і практично досяжними для насичення води діоксидом вуглецю можна прийняти температуру $1...2\text{ }^\circ\text{C}$ і тиск $0,30...0,35\text{ МПа}$. Температура води не повинна перевищувати $4\text{ }^\circ\text{C}$.

На розчинність CO_2 значно впливають склад і концентрація розчинених у воді мінеральних солей, речовин колоїдної дисперсності, повітря. Мінеральні солі, вступаючи в реакцію з діоксидом вуглецю, зв'язують його, а речовини колоїдної дисперсності знижують активність насичення напоїв CO_2 . Найкраще газується пом'якшена вода.

Присутність у напоях повітря, як і будь-якого іншого газу, знижує розчинність CO_2 , тому їх перед сатурацією для повнішого насичення деаерують (видаляють повітря) у спеціальному апараті - деаeratorі. Деаерацію води проводять за залишкового тиску в апараті $37,5...40\text{ кПа}$ і температури $4...7\text{ }^\circ\text{C}$.

Тривалість процесу сатурації впливає на глибину насичення води: за повільного збільшення робочого тиску в колонці ступінь насичення води або напою діоксидом вуглецю збільшується, а за швидкого підвищення тиску відбувається пересичення розчину, і надлишок CO_2 випаровується. Тривале газування води доцільне тільки до певної межі, не більше 1 год.

У середньому вміст діоксиду вуглецю в газованих напоях не перевищує 0,4%, отже, втрати його сягають 70...80%. З метою економії діоксиду вуглецю намагаються уникати зайвих перекачувань газованих рідин протяжними комунікаціями, підвищених тиску і швидкості потоку. Шлях води від холодильника до сатуратора має бути якомога коротшим, а трубопроводи і збірники для охолодженої води вкриті теплоізоляцією.

Діоксид вуглецю - безбарвний газ, у 1,5 раза важчий за повітря. 1 дм^3 за нормальних умов важить 1,98 г. За атмосферного тиску 760 мм рт. ст. в одному об'ємі води розчиняється: за 20 °С - 0,88, 10 °С - 1,19, 0 °С - 1,71 об'ємів CO_2 . А розчинення за масою в 1 дм^3 становить відповідно: 1,7; 2,3; 3,4 г.

Під час розчинення діоксиду вуглецю у воді утворюється вугільна кислота. При цьому тільки не більше 1 % розчиненого CO_2 перетворюється на вугільну кислоту.

Діоксид вуглецю доставляють на завод безалкогольних напоїв у балонах або цистернах (під тиском), забезпечених редукційним вентилям і манометром. Сатуратор з'єднують шлангом із балоном (цистерною) і проводять насичення води газом. Зазвичай на 10 дал води витрачається приблизно 1 кг діоксиду вуглецю. Перед газуванням воду рекомендується охолоджувати до 1...2 °С, а потім направляти в сатуратор, куди подають і діоксид вуглецю.

1.4 Конструкція сатураторів

Для сатурації води використовують один або кілька з таких способів:

- ◆ розмішування води з барботованим у ній діоксидом вуглецю;
- ◆ розпилення води в атмосфері вуглекислого газу;

◆ пропусканням по насадці з розвиненою поверхнею, наприклад по кільцях Рашига або гофрованих поверхнях, назустріч руху CO_2 ;

змішуванням води з газом у водоструминних ежекторах (сатуратор АСК).

Залежно від способу насичення води сатуратори поділяють на змішувальні (об'ємні сатуратори, наприклад С-3), розпилювальні (сатуратор СНД) і комбіновані (сатуратори безперервної дії С-30, С-30 М, АСМ).

Робочий тиск CO_2 при насиченні 0,3...0,7 МПа. Перед насиченням воду пропускають через колонку деаерації, в якій створюється вакуум.

Під час сатурації води відбуваються великі втрати CO_2 , за норми вмісту вуглекислоти в напої 4 кг/100 дал нормативна витрата становить 19 кг/100 дал.

Джерела втрат CO_2 :

- ◆ нещільні з'єднання трубопроводів;
- ◆ залишок у балонах (2...5 %);
- перепади тиску в системі;
- ◆ підвищена температура води;
- ◆ наявність розчиненого у воді повітря;
- ◆ CO_2 , що видаляється в атмосферу під час здування з магістралі та випуску із сатуратора газо-повітряної суміші (до 40 %).

У виробництві безалкогольних напоїв використовують сатуратори різних конструкцій. На рис. 3 представлено схему автоматизованої сатураційної установки безперервної дії, що складається із сатураційної колонки 4, деаераційної колонки 7, водяного насоса 12 і шафи з пусковою електроапаратурою.

Сатураційна колонка 4 являє собою герметичну циліндричну посудину. Усередині неї встановлена труба, в якій на вертикальному стрижні укріплені ґратчасті диски 3. Верхня частина колонки заповнена насадкою з керамічних кілець і призначена для насичення води діоксидом вуглецю, а нижня частина колонки є збірником газованої води. На колонці встановлено

збірник для суміші повітря і діоксиду вуглецю, манометр, запобіжний клапан, редукційний клапан для діоксиду вуглецю, датчики верхнього і нижнього рівнів води.

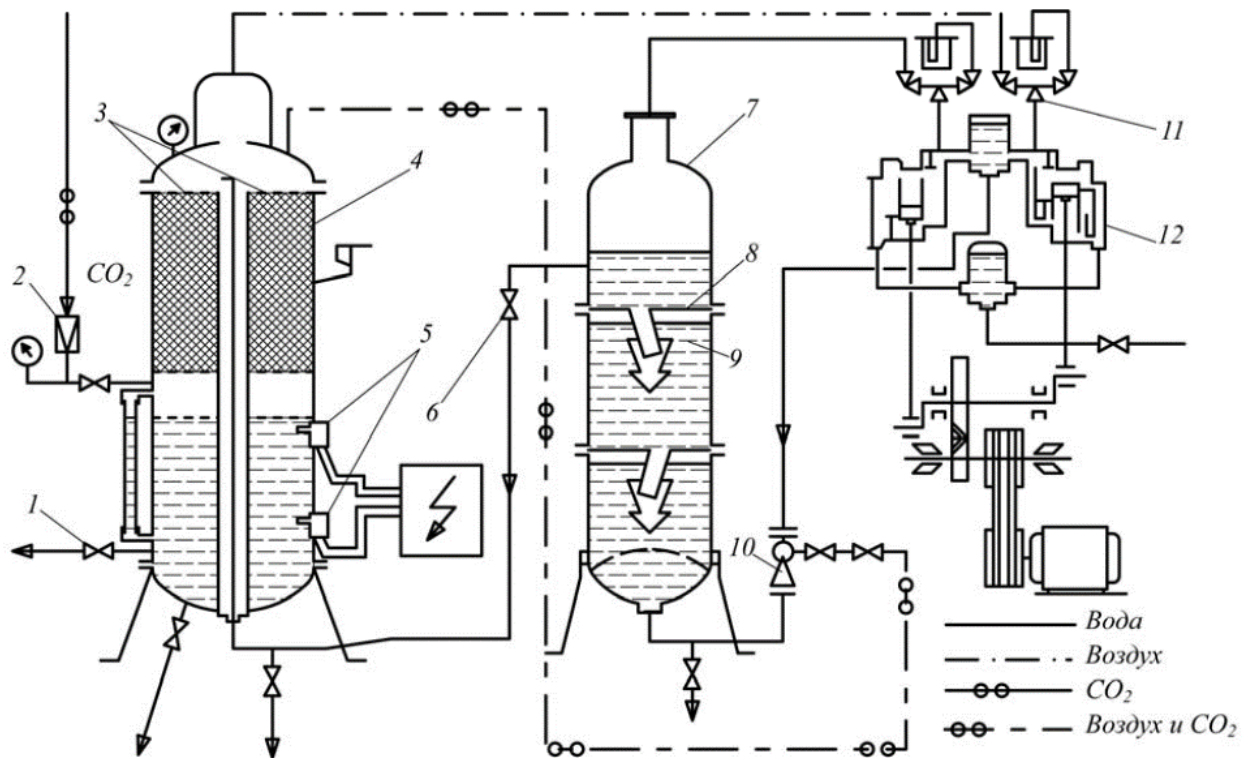


Рис. 3. Схема автоматизованої сатураційної установки АСК

Деаераційна колонка 7 - це трисекційна циліндрична посудина, усередині якої змонтовані розділові конуси, кожен з яких складається з діафрагми 8, похилої труби 9 і воронки з тарілкою. На верхній кришці колонки встановлений клапан для відведення суміші повітря і діоксиду вуглецю.

Під час роботи сатуратора пом'якшена, профільтована й охолоджена до 4...7 °С вода нагнітається насосом 12 у водоструменевий ежектор 10, який засмоктує діоксид вуглецю із сатураційної колонки 4. У деаераційну колонку 7 вода, частково насичена в ежекторі діоксидом вуглецю, надходить знизу і поступово піднімається вгору. Бульбашки газу, що не встигли розчинитися у воді, заповнюють простір під діафрагмою 8, утворюючи газову подушку над шаром води. Внаслідок різниці рівноважного тиску повітря, що відповідає його концентрації у воді, і парціального тиску в газовій подушці відбувається деаерація води. Однак

цей процес не можна вважати ефективним, оскільки поверхня масообміну невелика.

У міру накопичення газової суміші під діафрагмою вода витісняється доти, доки не відкриється нижній кінець похилої труби 9. По цій трубі газова суміш перепускається у верхню частину деаераційної колонки 7, звідки через діафрагмовий клапан 11 виводиться в атмосферу. Діафрагмовий клапан відрегульований на скидання суміші тільки за умови, що працює насос 12.

З деаераційної колонки вода подається трубопроводом через зворотний клапан 6 у нижній кінець центральної труби сатураційної колонки 4. Проходячи крізь отвори ґратчастих дисків 3, вода і діоксид вуглецю інтенсивно перемішуються, що сприяє кращому розчиненню газу. Досягнувши верхньої кромки центральної труби, вода переливається на сітку, яка рівномірно розподіляє воду по насадці.

Діоксид вуглецю надходить у сатураційну колонку через редуційний клапан 2, за допомогою якого тиск CO_2 підтримується 0,6 МПа.

Газована вода, пройшовши у верхній частині через насадку з кілець, збирається в нижній частині сатураційної колонки, звідки через патрубок 1 прямує до розливного автомата. Рівень газованої води в колонці підтримується автоматично за допомогою двох електричних датчиків 5.

Для нагнітання води в деаераційну колонку 7 використовується поршневий двоциліндровий насос подвійної дії з приводом від електродвигуна.

Масова частка діоксиду вуглецю у воді на виході із сатуратора становить 0,65%.

Сатураційні установки випускають продуктивністю 3000, 6000, 12000 $\text{дм}^3/\text{год}$ із робочим тиском у деаераторі 0,085, у сатураторі 0,6 МПа.

Нині набув поширення синхронно-змішувальний спосіб приготування газованих безалкогольних напоїв, за яким купажний сироп і деаеровану воду змішують у заданому співвідношенні, а отриманий розчин насичують

діоксидом вуглецю в окремій установці, потім розливають у пляшки. За такої схеми з лінії фасування виключається сироподозувальна машина і машина змішувач.

Установки синхронно-змішувальні використовують для приготування газованих мінеральних вод і безалкогольних напоїв шляхом дегазації води, насичення її діоксидом вуглецю і змішування насиченої води із сиропом.

Відфільтрована вода, охолоджена до температури не вище 5°C, через електромагнітний клапан під тиском від 0,2 до 0,3 МПа (від 2,0 до 3,0 кгс/см²) подається в колонку дегазації. Завдяки розрідженню в колонці дегазації, створюваному вакуумним насосом, з води видаляється частина розчинених у ній газів. Відцентровим насосом вода з колонки дегазації подається трубопроводом у колонку карбонізації. У колонці карбонізації вода насичується діоксидом вуглецю. Насос дозувальний подає в заданому за технологією співвідношенні сироп, що надходить із резервуара для сиропу, в колонку карбонізації. У колонці карбонізації відбувається остаточне змішування води із сиропом. З колонки карбонізації готовий напій подається на фасування. Установа працює в автоматичному режимі.

На рис. 4 представлена синхронно-змішувальна установка для приготування напоїв у безперервному потоці. Вона містить: основу 6, на якій змонтовано колонку 1 деаерації води, колонку 3 насичення, резервуар сиропу з клапаном, струменеві насадки 4, дозувальну насадку, змішувальну колонку 2, вакуум-насос, вихровий насос для подачі деаерованої води в змішувальну колонку, два вихрових насоси для подачі напою на сатурацію, пульт керування 5, а також трубопроводи, які зв'язують вузли в єдину систему.

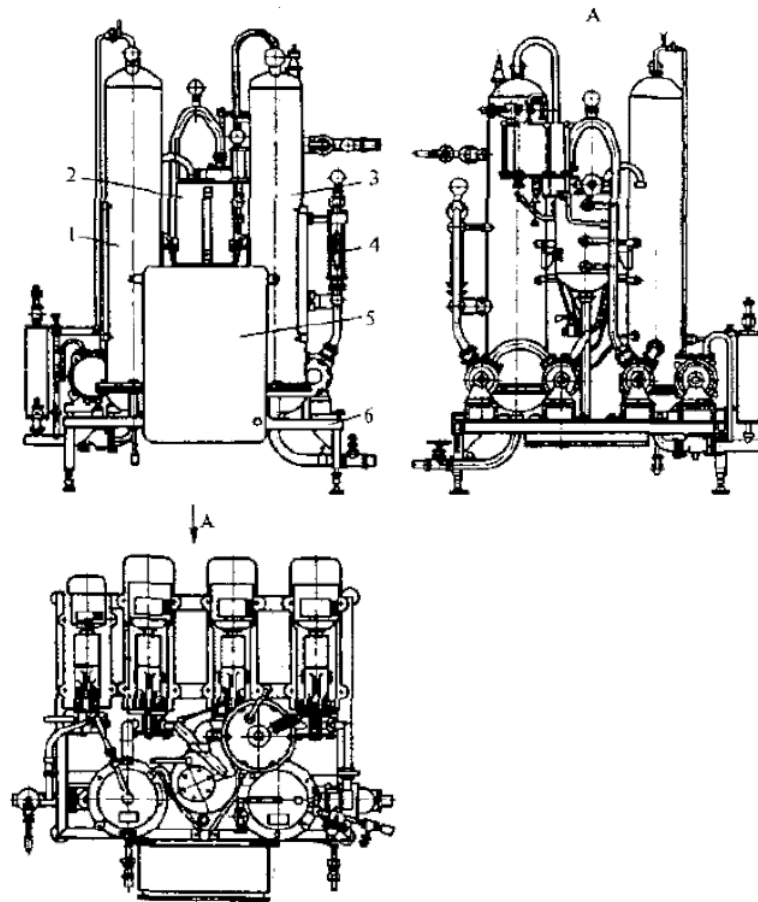


Рис. 4. Сатураційна синхронно-змішувальна установка приготування газованих безалкогольних напоїв безперервним способом

Установка працює таким чином (рис. 5). Відфільтрована й охолоджена вода (температурою не вище 6°C) під тиском не нижче $0,2\text{ МПа}$ подається в колонку 10 деаерації через електромагнітний вентиль і розтікається по конічних тарілках. У колонці 10 вакуум-насосом 1 створюється розрідження, внаслідок чого з води виділяється розчинене повітря.

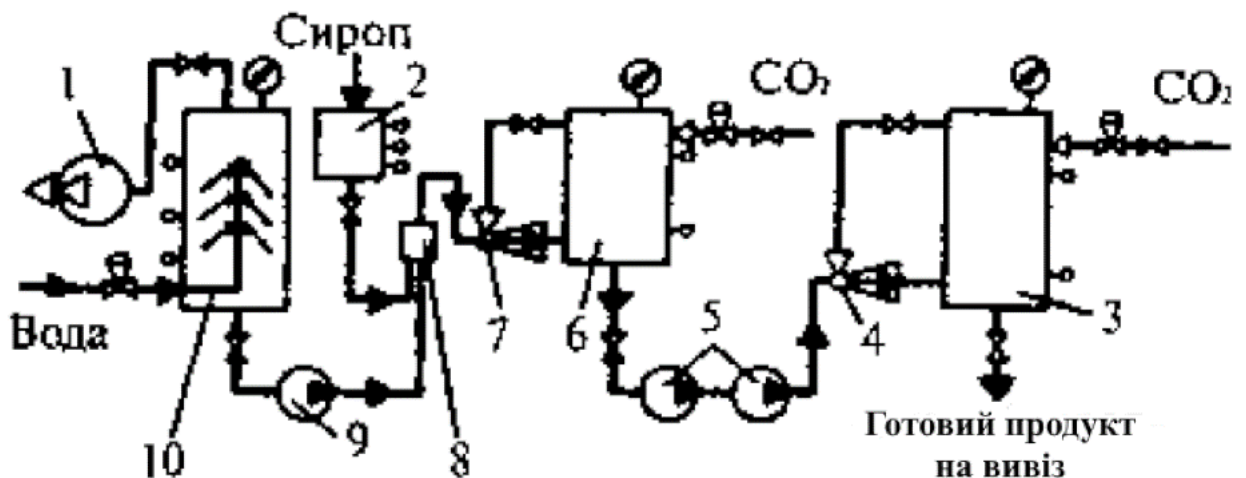


Рис. 5. Схема синхронно-змішувальної установки приготування газованих безалкогольних напоїв безперервним способом

Деаерована вода з колонки 10 вихровим насосом 9 під тиском 0,6...0,7 МПа подається в дозувальну насадку 8, до якої з резервуара 2 з боку всмоктування надходить купажний сироп.

Співвідношення доз сиропу і води встановлюється на дозувальній насадці 8 дроселювальною голкою.

Напій насичується діоксидом вуглецю в струменевих насадках 4. Зі змішувальної колонки 6 змішаний напій під тиском 0,9...1,2 МПа, створюваним двома вихровими насосами 5, подається в насадку 4 для повного насичення діоксидом вуглецю. Під час насичення діоксидом вуглецю тиском і вміст CO_2 в напої встановлюють редукційним клапаном. Насичений напій накопичується в колонці 3 насичення і звідти прямує на фасування в пляшки. Рівень рідини в колонці 3 контролюється двома датчиками, що керують роботою двох вихрових насосів.

На синхронно-змішувальну установку подають готовий купажний сироп, витриманий 2...4 год для видалення бульбашок повітря, де його змішують у визначеному співвідношенні (від 1:4 до 1:7) з водою і наливають у чисті пляшки. Кожна склянка дозувальної машини має бути точно відтарованою відповідно до встановленої дози сиропу на пляшку. Протягом зміни регулярно перевіряють точність дозування кожної склянки дозувальної машини. Пляшки заповнюють водою в ізобарометричних умовах після вирівнювання тиску в пляшці та резервуарі розливної малини. Фасування на синхронно-змішувальних установках здійснюють під протитиском діоксиду вуглецю.

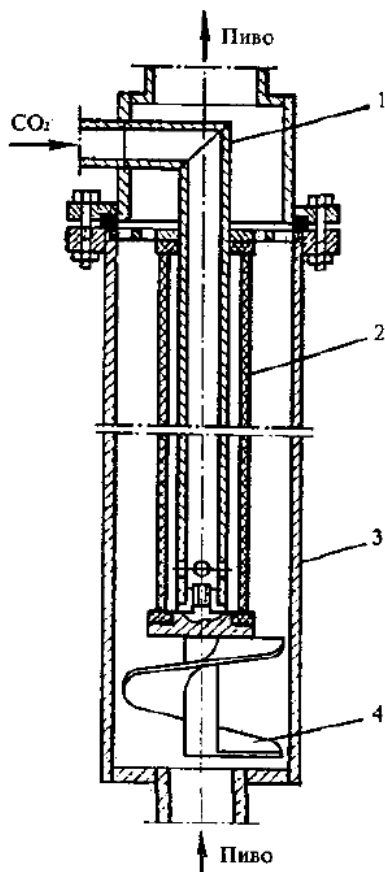
Синхронно-змішувальні установки випускають продуктивністю 3600, 7200, 14500 $\text{дм}^3/\text{год}$. Робочий тиск у колонці деаерації 0,06 МПа, у колонці насичення - 0,4 МПа. Вміст діоксиду вуглецю в напої на виході з установки 0,7%.

Карбонізація пива. Якщо пиво насичується CO_2 в процесі бродіння і зброджування, то це природна карбонізація, що залежить від температури середовища і надлишкового тиску. Штучну карбонізацію, коли діоксид

вуглецю подають у пиво ззовні, проводять у тому разі, якщо в ньому після збродження міститься мало CO_2 , або якщо втрати газу під час підготовки пива до розливу були значними.

Перед карбонізацією пиво охолоджують до температури, близької до нуля в протиточному теплообміннику, встановленому після фільтра або сепаратора, а потім направляють до карбонізатора, призначеного для насичення пива діоксидом вуглецю в безперервному потоці.

Карбонізатор (рис. 6) складається з корпусу 3, шнека 4 і пористої металокерамічної трубки 2, яка служить для диспергування бульбашок CO_2 , та трубопроводів. Охоложене пиво надходить у корпус 3 під тиском 0,05-0,07 МПа. Кероване шнеком воно омиває металокерамічну трубку 2, через яку від трубопроводу 1 під тиском 0,1...0,3 МПа подається діоксид вуглецю. Пиво змішується з тонкодиспергованим газом, частина якого розчиняється в ньому. Надходження CO_2 у вигляді найдрібніших бульбашок створює велику площу зіткнення рідини і газу та сприяє карбонізації пива (насиченню діоксидом вуглецю).



При виході з карбонізатора вміст CO_2 в пиві становить 0,35...0,40% мас.

На карбонізацію 1 дал пива витрачається до 15 г CO_2 , який доставляють на завод у балонах.

Існує певний зв'язок між стійкістю піни, правильним складом пива і насиченістю його діоксидом вуглецю: що більшим є насичення пива CO_2 , то інтенсивнішим є піноутворення та більшою стійкість піни.

Рис. 6. Карбонізатор пива

Для змішування купажу безалкогольних напоїв із водою та насичення суміші діоксидом вуглецю передбачається установка Б2-ВРР/6 (табл. 1, рис. 7).

Табл. 1

Показники	РЗ-ВНС-1	РЗ-ВНС-2	Б2-ВРР/6
Производительность, л/ч	3000	6000	12000
Вміст діоксиду вуглецю у напої, % мас.	0,8	0,8	0,6
Робочий тиск, МПа			
у колонні деаерації	0,08	0,08	0,08
у колонні насичення	0,6	0,6	0,16
у накопичувальній колонні	0,6	0,6	0,4
Температура поступаючої води, °С, не більше	6	6	–
Тиск поступаючого діоксиду вуглецю, МПа	0,6...0,8	0,6...0,8	0,6
Температура купажного сиропу, °С	8	8	8
Число струйних насадок	1	2	–
Потужність електродвигунів, кВт	9	11	–
Габаритні розміри, мм			
довжина	2200	2400	6300
ширина	1600	1900	2400
висота	2500	2600	3475
Маса, кг	1300	1500	5040

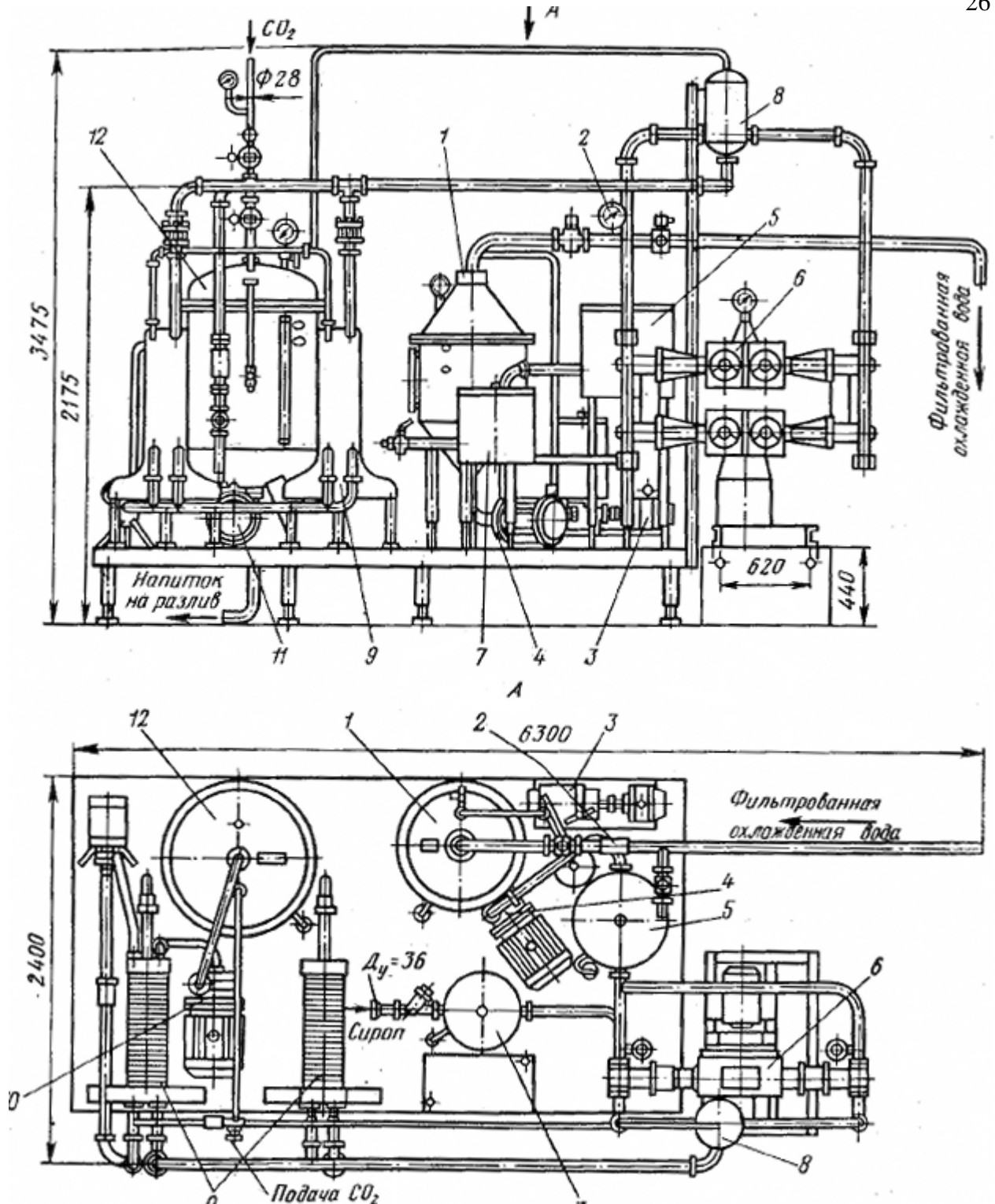


Рис. 7. Схема установки Б2-ВРР/6 для приготовления газированных напитков

Принципова схема установки В2-ВРР/6 показана на рисунку 8.

Вода, охолождена в пластинчатых охладжувачах 1 до температуры 4 °С, подається в деаератор 2, де створюється вакуум за допомогою вакуум-насоса 4. Деаерована вода спрямовується в збірник 6, купажный сироп із купажного відділення надходить у збірник 8. Збірники оснащені

поплашковими регуляторами рівня. Дозувальний агрегат плунжерного типу 7 одночасно зі збірок 6 і 5 подає в потрібних співвідношеннях сироп і воду в змішувальний бачок 9. Частково перемішана суміш із бачка 9 надходить у колонки насичена 10, де, стікаючи тонкою плівкою по гофрованих поверхнях, остаточно перемішується і насичується діоксидом вуглецю. Готовий напій трубопроводом 11 передається у витратний збірник 14, а звідти до розливного автомата.

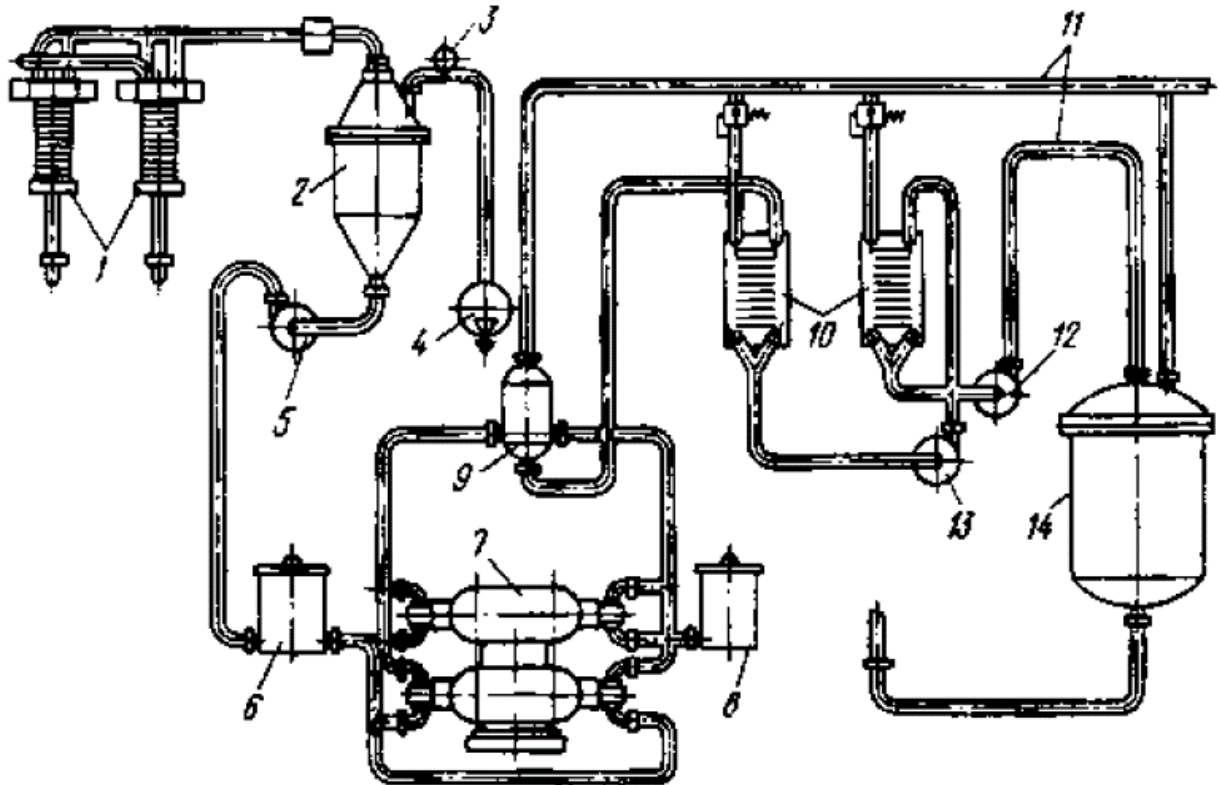


Рис. 8. Схема синхронної змішувальної установки Б2-ВРР/6:

1 - охолоджувач води; 2 - колонка деаераційна; 7 - вакуумметр; 4 - вакуум-насос; 5, 12, 13 - насоси для перекачування води і напоїв; 6 - збірник води; 7 - дозувальний агрегат; 8 - збірка купажного сиропу; 9 - змішувальний бачок; 10 - колонки насичення напою CO_2 ; 11 - трубопровід готового напою; 14 - витратний збірник готового напою

Зарубіжні установки, в яких діоксидом вуглецю насичують суміш деаерованої води та купажного сиропу, мають назви Paramix, Nollmix, Mixmat S та ін.

На рис. 9 представлена принципова схема дії сатуратора безперервної дії. Вода під тиском подається через електромагнітний клапан у деаераційну колону, де, стікаючи півсферами у вигляді тонкої плівки завдяки великій

поверхні контакту з газовою фазою, звільняється від розчинених у ній газів. звільняється від розчинених у ній газів і накопичується в нижній частині колони.

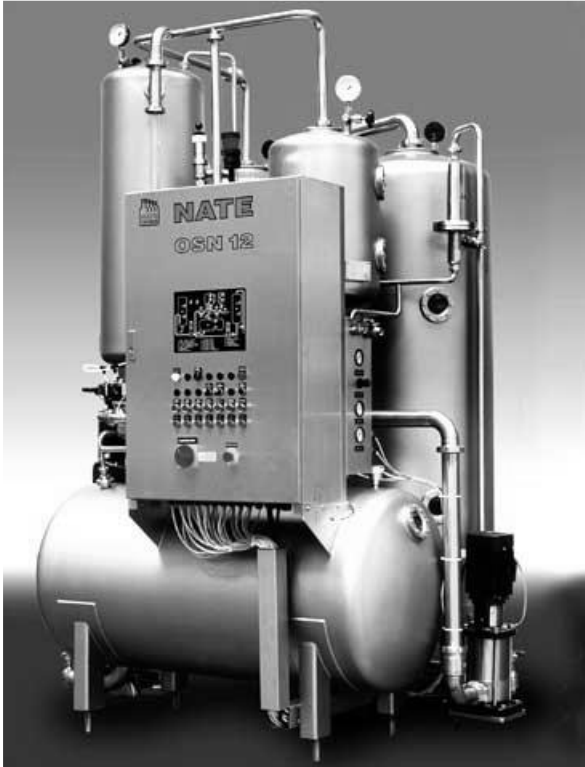


Рис. 9. Зовнішній вигляд сатуратора

У міру наповнення нижньої частини колони поетапно вмикаються форсунки для подачі вуглекислого газу. Процес видалення розчинених газів атмосфери в деаераторі 1 може розглядатися як перший ступінь сатурації, оскільки атмосферні гази з води витісняються за допомогою CO_2 , що подається знизу колони і рухається вгору. Діоксид вуглецю проходить через воду і витісняє більш легше повітря у верхню частину вежі, звідки він періодично скидається в атмосферу, одночасно частина CO_2 розчиняється у воді.

У просторі над півсферами створюється розрідження за рахунок відкачування газів за допомогою ежекторного насоса в накопичувач 5 (рис. 10). Насос і колона для накопичення води 5 працюють спільно для створення вакууму за допомогою струпної насадки, яка через трубопровід підключена до колони деаерації 1.

Сатураційна колона 2 являє собою сталеву циліндричну посудину із сітчастими перегородками. Верхня частина колони порожниста і є її газовим

простором. У верхній частині сатураційної колони розташовані два ежектори 3 і 4, в які подається під тиском деаерована вода з колони 1. В ежекторі вода сильно диспергується й одночасно створюється розрідження, що засмоктує воду з бульбашками CO_2 із верхньої частини колони.

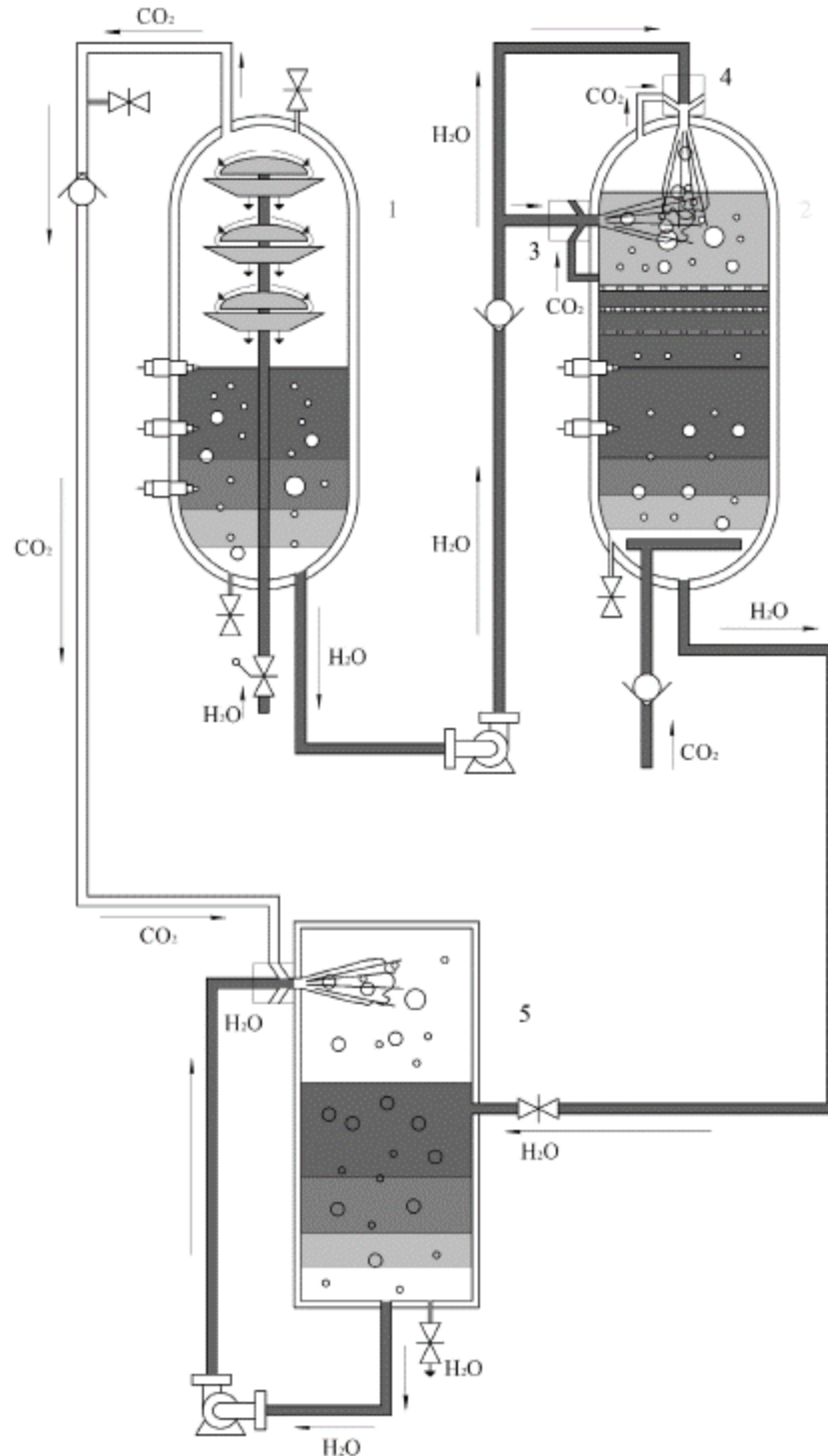


Рис. 10. Принципова схема дії сатураторів:
1 - деаераційна колона; 2 - сатураційна колона; 3,4 - ежектори; 5 - колона накопичення сатурованої води

На самому верху колони ежектор 4 всмоктує CO₂ з верхньої газової порожнини колони і впорскує водно-газову суміш у зону розпилення ежектора 3. Цим досягається високий ступінь насичення води діоксидом вуглецю. Одночасно з колектора, розташованого в нижній частині колони 2, барботується діоксид вуглецю, що рухається назустріч потоку води, який створюється ежекторами 3 і 4. Колони з'єднані між собою газовими трубопроводами, тим самим утворюють систему сполучених посудин, внаслідок чого стрибки тиску в колонах не впливають на ефективність роботи установки.

Карбонізована вода збирається в збірнику 5. Використання багатостадійного насичення дає змогу проводити карбонізацію за зниженого тиску. Зменшення робочого тиску сатураторів, за якого відбувається насичення рідини, сприяє міцнішому зв'язуванню вугільної кислоти і води, що особливо відчутно в напоях, які містять сахарозу.

2. Мета і завдання досліджень

Установки для насичення безалкогольних напоїв, що застосовуються в промисловості, характеризуються великим набором різних конструкційних рішень і режимних параметрів. На якість і стійкість безалкогольних напоїв впливає велика кількість факторів, зокрема й технологічні режими проведення режиму насичення.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- здійснити синтез та аналіз математичної моделі процесу насичення води діоксидом вуглецю;
- провести аналіз чисельного розв'язання математичної моделі та порівняння отриманих теоретичних залежностей з експериментальними даними;
- розробити методику для дослідження процесу насичення води діоксидом вуглецю та здійснення досліджень, що підтверджують теоретичні передумови підвищення ефективності процесу насичення води;
- розробити технічні рішення, що забезпечують реалізацію системи насичення харчових рідин діоксидом вуглецю;
- оцінити перспективність промислового використання виконаних розробок.

2.1 Чинники, що впливають на ступінь насичення води діоксидом вуглецю

Процес насичення води діоксидом вуглецю називається сатурацією. Вуглекислий газ у воді здатний розчинятися за допомогою абсорбції.

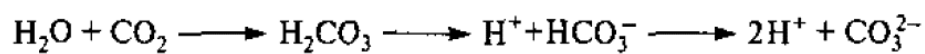
Згідно з плівковою теорією абсорбції на поверхні розділу рідкої та газоподібної фаз є прикордонні шари з двох прилеглих одна до одної плівок: одна - з молекул вуглекислого газу, інша - з молекул води. Ці плівки чинять основний опір проходженню газу з однієї фази в іншу. В основному об'ємі кожної фази концентрація газу внаслідок конвекції постійна, а в плівках, де

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доломакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Мета і завдання досліджень	221889.KP.44.000.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/	

відсутні конвективні струми, газ рухається за допомогою дифузії за рахунок різниці концентрацій.

Розчинність газів у рідині характеризується коефіцієнтом абсорбції $\alpha = v/V$ де v - об'єм газу, V - об'єм рідини.

Він показує, який об'єм газу розчиняється в одиниці об'єму розчинника за парціального тиску газу 760 мм рт. ст. і температури 0 °С. Для вуглекислого газу $\alpha = 1,71 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Діоксид вуглецю частково взаємодіє з водою з утворенням вугільної кислоти, яка дисоціює на йони карбонату та бікарбонату:



Вугільна кислота - нестійка сполука, тому рівновага цієї системи зміщена вліво.

На розчинність газів у рідині впливають:

- ◆ природа газу та рідини;
- ◆ температура розчину;
- парціальний тиск газу над рідиною;
- ◆ вміст у розчині електролітів;
- ◆ вміст колоїдів;
- ◆ площа поверхні контакту фаз.

Розглянемо вплив деяких факторів.

Згідно із законом Генрі, за постійної температури концентрація ідеального газу в рідині буде прямо пропорційна парціальному тиску цього газу над рідиною: $C = K P$. Для вуглекислого газу цей закон справедливий за тиску 0,39...0,49 МПа. За більш високого тиску розчинність вуглекислого газу дещо нижча і підпорядковується формулі Зельвінського Я.Д.:

$$C = (a - B_p)P,$$

де a , B_p - константи, значення яких залежать від температури.

Таким чином, з підвищенням тиску розчинність газу збільшується, однак, якщо в газовій фазі крім діоксиду вуглецю буде присутнє, наприклад, повітря, то концентрація розчиненого вуглекислого газу буде нижчою, тому

що, відповідно до закону Дальтона, під час розчинення суміші газів кожна складова частина суміші розчиняється пропорційно своєму парціальному тиску. На розчинність вуглекислого газу негативно впливає також повітря, розчинене у воді, тому перед сатурацією передбачається деаерація води.

Процес розчинення газу в рідині екзотермічний, тобто протікає з виділенням тепла. Коефіцієнт абсорбції зі збільшенням температури помітно знижується. Так, за температури 0 °C $\alpha = 1,71 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а за 20 °C – $\alpha = 0,88 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Вплив електролітів (солей) на розчинність газів у рідкому середовищі встановив І.М. Сеченов під час вивчення розчинності газів у крові. Ним виведено рівняння, що зв'язує розчинність газів і концентрацію електролітів:

$$\ln \frac{N_0}{N} = KC,$$

де N_0 і N - відповідно розчинність газу в чистій воді та сольовому розчині;

C - концентрація солі в розчині, моль/дм³; K - константа.

Наведена залежність показує, що розчинність газів у розчині солей зменшується пропорційно їхній концентрації.

Деякі солі, що дисоціюють у воді, хімічно зв'язують вуглекислий газ, що призводить до його незворотних втрат.

Присутність колоїдів впливає позитивно, оскільки колоїди утримують CO₂ в рідині.

Абсорбція CO₂ водою - масообмінний процес. Рушійною силою його є різниця концентрацій або парціальних тисків газів у газовому та рідкому середовищі. Кількість газу, що абсорбується рідкою фазою, визначається рівнянням:

$$G = \alpha F \Delta P \tau,$$

де α - коефіцієнт абсорбції, м³/м³; F - поверхня контакту фаз, м²; ΔP - різниця парціальних тисків у газовій і рідкій фазах, МПа; τ - тривалість процесу.

Інтенсивний масообмін може бути досягнутий за низької температури, досить високого тиску вуглекислого газу і великої поверхні контакту.

Оптимальними умовами сатурації є: тиск CO_2 – 0,49...1,18 МПа, температура води 1...2°C. Поверхню контакту можна збільшити такими способами:

- ◆ енергійним розмішуванням води в атмосфері CO_2 ;
- ◆ тонким розпиленням води;
- ◆ стіканням води по насадці з великою поверхнею у вигляді плівки в атмосфері CO_2 .

Сатурацію зазвичай ведуть до вмісту CO_2 у воді 0,5...0,6 %. Слід уникати перенасичення води діоксидом вуглецю, оскільки газ неміцно пов'язаний у воді і швидко десорбується при знятті тиску.

Теплота розчинення вуглекислого газу у воді становить 5,9 ккал/г-моль. Оскільки процес екзотермічний, то відповідно до принципу Ле-Шательє нагрівання зсуватиме рівновагу в бік процесу, що супроводжується поглинанням тепла - виділення вуглекислого газу з розчину. Тому розчинність діоксиду вуглецю збільшується зі зниженням температури води і підвищенням тиску (рис. 11). У зв'язку з цим перед сатурацією воду необхідно попередньо охолоджувати до температури 2...4 °С. Під час карбонізації суміші води та сиропу на синхронно-змішувальних установках суміш охолоджують до 4-10 °С.

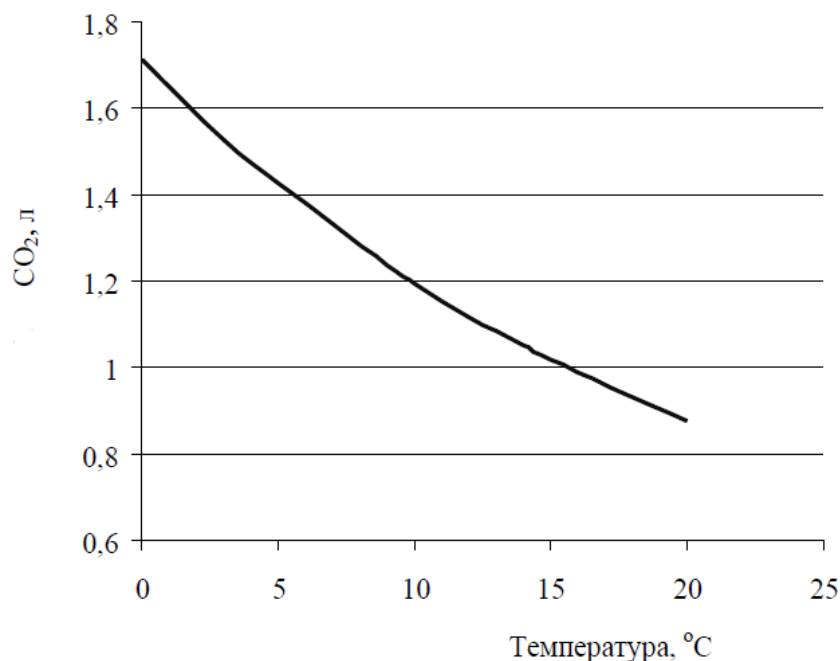


Рис. 11. Розчинення вуглекислого газу у воді за різної температури за 760 мм рт. ст. в 1 л води

Зв'язок між об'ємом, температурою і тиском вуглекислого газу виражається рівнянням:

$$V = \frac{RT}{P} - A,$$

де V - об'єм 1 кг газу; T - температура газу в градусах Кельвіна; P - тиск газу; R - універсальна газова стала; A - додаткова величина, що враховує відхилення від рівняння ідеального газу.

Охолоджена вода має проходити від холодильника до сатуратора найкоротшим шляхом, а щоб уникнути нагрівання, трубопроводи і збірники для охолодженої води необхідно ізолювати від навколишнього середовища теплоізоляційними матеріалами.

Насичення діоксидом вуглецю напоїв проводять на синхронно-змішувальних установках і в акратофорах через спеціальний барботувальний пристрій, а насичення води - на сатураторах різної конструкції.

Залежно від використовуваних способів сатурації розрізняють сатуратори змішувальні, розпилювальні, комбіновані. Сатуратори, в яких насичення води відбувається змішуванням її з газом, що надходить через барботер, називають змішувальними. Розпилювальними, або колончастими, називають сатуратори, в яких розпорошена до найдрібніших частинок вода пропускається через сатураційну колонку, заповнену керамічною насадкою, і рухається назустріч вуглекислому газу. Сатуратори, до яких застосовуються два або кілька з описаних способів карбонізації, називаються комбінованими.

Присутність у воді повітря знижує розчинність діоксиду вуглецю у воді, тому перед насиченням воду піддають деаерації на спеціальних апаратах-деаераторах.

Видалення розчинених газів із води перед сатурацією вуглекислою дає змогу уникнути таких проблем:

- без попередньої деаерації можливі збої в процесі сатурації та розливу напоїв, викликані спонтанним виділенням вуглекислого газу;
- присутній у воді кисень сприяє розвитку колоній дріжджових

мікроорганізмів;

- кисень, розчинений у воді, спричиняє окислення і руйнування вітаміну С;
- окислювальні реакції в присутності кисню призводять до помутніння напоїв;

- кисень спричиняє руйнування ароматичних речовин у напоях і зміну їхнього смаку;

- кисень спричиняє знебарвлення напоїв.

Швидкість розчинення діоксиду вуглецю у воді вельми істотно позначається на ступені її насичення п зв'язування з водою. Повільне підвищення робочого тиску в колонці насичення сатураційної установки дає змогу збільшити ступінь насичення води або напою діоксидом вуглецю, а головне - збільшити в розчині міцність його молекулярного зв'язку з водою або напоєм.

На ступінь поглинання вуглекислого газу впливає і тривалість контакту газу з водою. Максимальна швидкість розчинення спостерігається в першу годину - вміст розчиненого CO_2 досягає 0,3%, у наступні кілька годин кількість CO_2 у воді дуже повільно підвищується до 0,46% (рис. 12). Оскільки нормований вміст у воді CO_2 досягається за одну годину, збільшувати тривалість цього процесу ще економічно недоцільно.

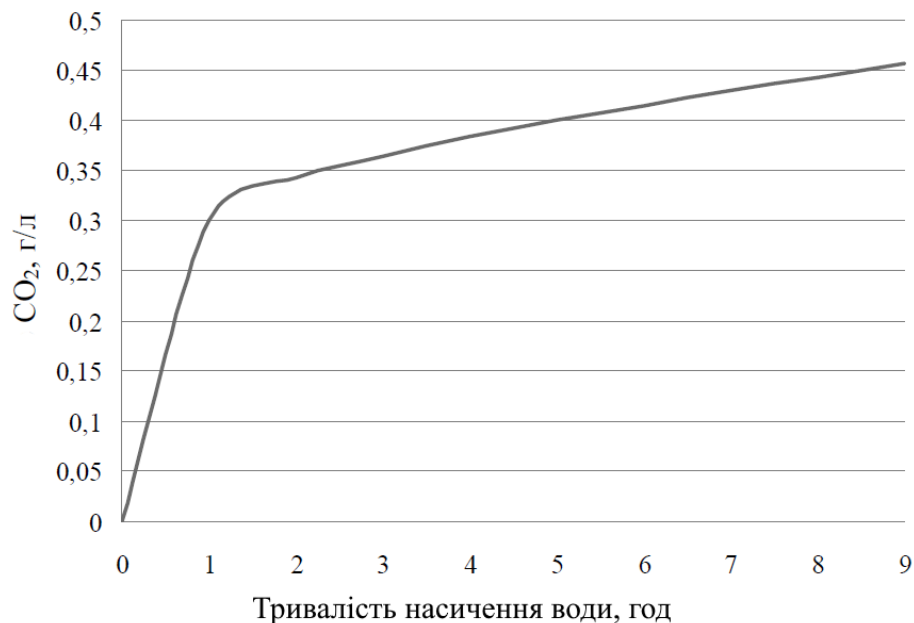


Рис. 12. Залежність кількості розчиненої у воді CO_2 від тривалості карбонізації

За постійних значень тиску, температури і тривалості карбонізації на ступінь насичення вуглекислим газом води впливає площа контакту газу з рідкою фазою, що, своєю чергою, визначає швидкість проникнення газу у воду, і цю залежність можна побачити в такому рівнянні:

$$Q = D \times S \times \Delta p \times \tau,$$

де D - константа дифузії; S - поверхня контакту, м²; Δp - різниця в парціальному тиску CO₂ у воді та над нею, Па; τ - тривалість процесу.

Тому в конструкціях більшості сатураторів застосовують різні насадки, що дають змогу збільшити площу зіткнення вуглекислого газу з водою. Це можуть бути кільця Рашига, тарілчасті пластини та інші пристрої.

Відповідно до чинних нормативів максимально допустима витрата діоксиду вуглецю на 100 дал сильногазованого напою становить 19 кг. З урахуванням того, що в таких напоях вміст діоксиду вуглецю має становити не менш як 0,4% мас., тобто 4 кг на 100 дал напою, втрати діоксиду вуглецю сягають практично 70...80 %.

З метою підвищення ефективності процесу насичення напоїв або води діоксидом вуглецю і зниження втрат вуглекислого газу слід уникати перекачування газованої води або напоїв комунікаціями великої протяжності, для передання газованої води від місця насичення до розливальної машини, не здійснювати перекачування з великим напором і великою швидкістю, оскільки це призводить до дегазації напоїв.

Дегазація відбувається також у момент відриву дзвіночка наливальника від шийки пляшки після наливання і до моменту закупорювання пляшки.

Практикою встановлено, що найменші втрати діоксиду вуглецю відбуваються під час перекачування насиченої рідини зі швидкістю, що не перевищує 1 дм³/с. Слід врахувати, що солі, які містяться у воді, знижують розчинність діоксиду вуглецю в ній, тому перед насиченням вода має бути піддана пом'якшенню. Однак з урахуванням того, що катіонітові фільтри видаляють лише іони жорсткості, установки зворотного осмосу є кращими, оскільки вони здатні не тільки пом'якшувати воду, а й знижувати в ній

загальний вміст мінеральних солей.

2.2. Визначення вмісту діоксиду вуглецю

Для визначення вмісту CO_2 в безалкогольних напоях, насичених діоксидом вуглецю, існують два основні методи: манометричний і титриметричний. Титриметричний метод трудомісткий, тому на практиці застосовують манометричний метод для аналізу напоїв, розлитих у скляні та пластикові пляшки, а також в алюмінієві банки шляхом визначення тиску всередині пляшки, що струшується, або банки, а також вимірювання температури її вмісту.

Манометричний метод ґрунтується на законі Генрі, згідно з яким кількість газу, що розчиняється в даній кількості рідини за даної температури, пропорційна тиску газу, що залишився нерозчиненим над рідиною. Принцип методу полягає у вимірюванні тиску в газовому просторі над газованим напоєм в закоркованій скляній пляшці, пляшці з поліетилентерефталату або металевій банці та розрахунку масової частки двоокису вуглецю залежно від виміряного тиску і температури.

Засоби контролю та випробування.

- пристрої для визначення тиску в пляшках і банках - афрометри АМ-01 (рис. 13) і АМ-02 (рис. 14), які складаються з показуючого манометра, класу точності не нижче 2,5 і межею виміру не більш як 0,6 МПа (6 кг/см³) із нагвинченим на нього спеціальним зондом - пристосуванням для прокатування корка пляшки (дна банки) та з'єднання манометра з газовою камерою пляшки чи банки без порушення герметичності укупорки:

- термометр ртутний скляний лабораторний з межею вимірювання від 0 до 100 °С і ціною поділки 1 °С:

- апарат для струшування рідин.

Допускається використовувати інші прилади з технічними характеристиками, не нижчими від зазначених вище.



Рис. 13 Афрометр АМ-01



Рис. 14 Афрометр АМ-02

2.3 Порядок проведення випробування

Пляшку або банку з напоєм закріплюють у пристрої для визначення тиску (афрометрі). Скляну пляшку або банку ставлять на основу пристрою, причому банку дном догори. Пляшку з поліетилентерефталату вставляють горловиною в лаз спеціального кронштейна так, щоб пляшка перебувала в підвішеному стані, а відстань між дном пляшки й основою становила 2...3 мм. Для гарантування безпеки скляну пляшку з напоєм поміщають у чохол зі щільної тканини або шкіри.

У пляшці або банці з напоєм, закріпленій у пристрої для визначення тиску, обережно проколюють пробку пляшки (дно банки) пристроєм для проколвання. При цьому газ надходить до манометра. Потім відкривають пристрій для стравлювання газу, знижують тиск на манометрі до нуля і знову його закривають. Визначення масової частки двоокису вуглецю у напої проводять без попереднього зниження тиску на манометрі до нуля.

Пристрій із закріпленою пляшкою або банкою встановлюють в апарат для струшування і струшують до встановлення постійного тиску на манометрі. Допускається струшування вручну. Відзначають показання манометра, переконавшись у герметичності системи. Якщо система

герметична, показання манометра протягом 2 хв. мають залишатися незмінними.

Після вимірювання тиску пляшку або банку знімають із приладу, відкривають і термометром вимірюють температуру напою. Масову частку двоокису вуглецю в напої залежно від виміряного тиску і температури знаходили за таблицями 2 і 3.

Табл. 2 Визначення масової частки діоксиду вуглецю за показниками тиску і температури в діапазоні 4...14 °С

Тиск (кг/см ²)	Т, °С										
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0.27	0.27	0.26	0.25	—	—	—	—	—	—	—
0.1	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	—	—	—	—	—
0.2	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	—	—
0.3	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25
0.4	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27
0.5	0.41	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29
0.6	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31
0.7	0.46	0.45	0.43	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
0.8	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35
0.9	0.51	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.37
1.0	0.54	0.52	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.39
1.1	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.43	0.41	0.40
1,2	0.59	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.44	0.42
1,3	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46	0.44
1,4	0.65	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49	0.48	0.46
1,5	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59	0.56	0.55	0.53	0.51	0.50	0.48
1.6	0.70	0.68	0.65	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55	0,53	0,51	0.50
1.7	0.73	0.70	0.68	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55	0,53	0.52
1.8	0.75	0.73	0.70	0,68	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57	0,55	0.54
1.9	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65	0.63	0.61	0.59	0,57	0.56
2.0	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65	0,63	0.61	0,59	0.57
2,1	0.83	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70	0.67	0,65	0.63	0,61	0.59
2,2	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0,63	0,61
2,3	—	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.72	0,69	0.67	0,65	0.63
2,4	—	—	0.85	0.82	0.79	0.77	0.74	0.71	0,69	0,67	0.65
2,5	—	—	—	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74	0,71	0.69	0.67
2,6	—	—	—	0.87	0.84	0.81	0.78	0.76	0,73	0,71	0.69
2,7	—	—	—	—	0.86	0.83	0.80	0.78	0,75	0,73	0,71

Табл. 3 Визначення масової частки діоксиду вуглецю за показниками тиску і температури в діапазоні 15...25 °С

Тиск (кг/см ²)	Т, °С										
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,4	0,26	0,26	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	—	—	—	—	—	—
0,6	0,30	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	—	—	—	—
0,7	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	—	—
0,8	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25
0,9	0,36	0,34	0,33	0,32	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26
1,0	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,29	0,28
1,1	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29
1,2	0,41	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,32	0,31
1,3	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32
1,4	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33
1,5	0,47	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35
1,6	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,38	0,37	0,36
1,7	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,37
1,8	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39
1,9	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40
2,0	0,56	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42
2,1	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44	0,43
2,2	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44
2,3	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46
2,4	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47
2,5	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48
2,6	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51	0,50
2,7	0,69	0,66	0,64	0,62	0,61	0,59	0,58	0,56	0,54	0,53	0,51
2,8	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57	0,56	0,54	0,53
2,9	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54

3. Методологія експериментальних досліджень

Методика проведення експериментальних досліджень з метою розробки оптимальної конструкції кавітаційного пристрою для покращення процесу насичення напоїв та визначення впливу факторів на процес насичення напоїв включає наступні завдання:

1. Розробити моделі процесу кавітаційного насичення напоїв у потоці та провести експериментальні дослідження цього процесу з використанням програмного комплексу CFD для визначення впливу гідромеханічних умов роботи КППД на процес насичення.

2. На основі експериментальних досліджень визначити найбільш ефективну конструкцію кавітаційного пристрою та розробити дослідний зразок.

3. Провести експериментальні дослідження розробленого зразка кавітаційного пристрою у виробничих умовах з використанням SPSS для визначення впливу факторів на процес кавітаційного насичення.

4. На основі проведених досліджень створити рівняння регресії для процесу насичення та оптимізувати процес на основі результатів багатофакторного експерименту.

3.1 Дослідження роботи за допомогою комп'ютерного моделювання

Для моделювання та дослідження роботи КППД використовувався програмний комплекс CFD, в який вводилася геометрія розрахункової ділянки кожної з досліджуваних КППД, створеної в системі автоматизованого проектування (рис. 3.1).

CFD призначений для моделювання двофазних потоків рідин і газів у технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих течій засобами комп'ютерної графіки. CFD базується на методі розв'язання гідродинамічних рівнянь за допомогою прямокутної адаптивної сітки з локальним уточненням.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доломакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Методологія наукових досліджень		221889.KP.44.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/

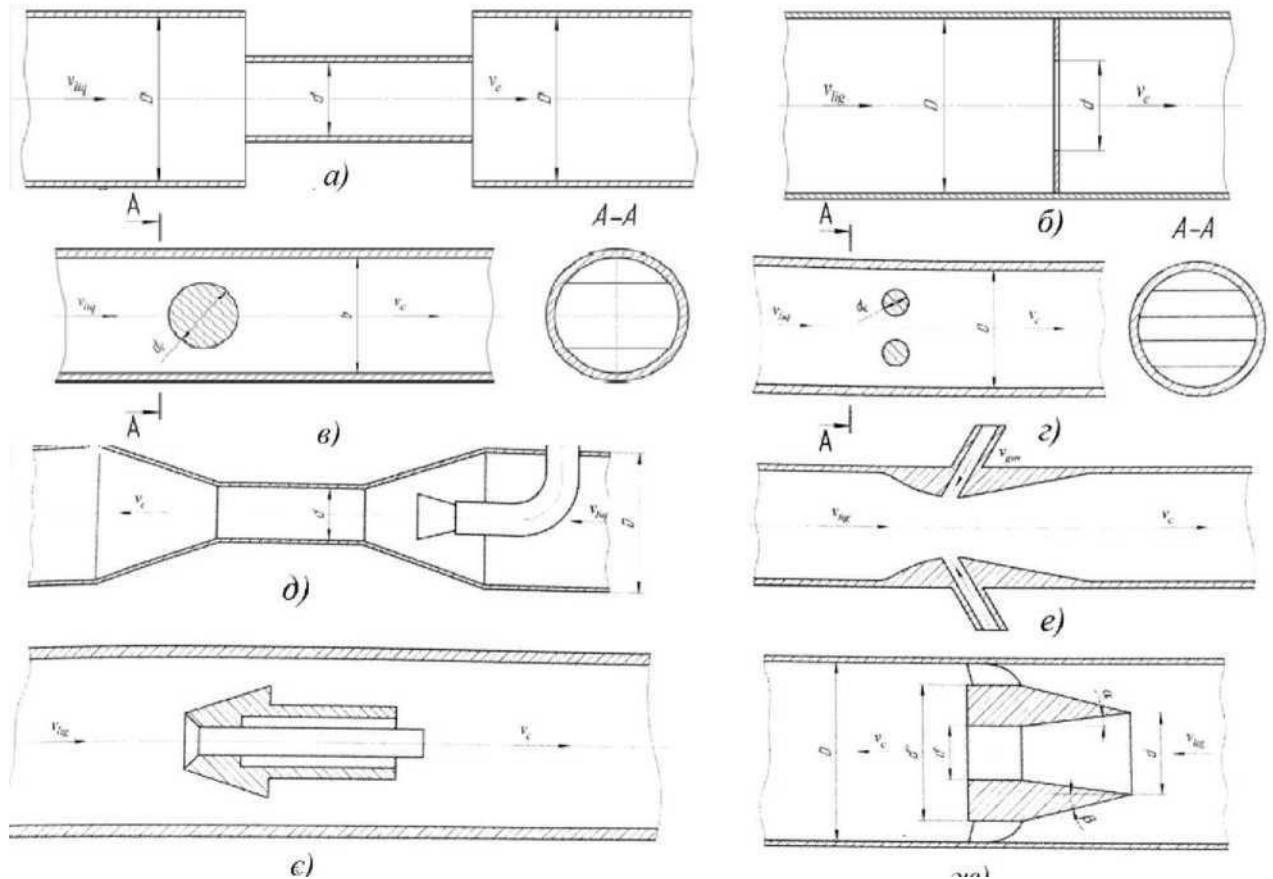


Рис. 3.1. Досліджувані кавітаційні пристрої:
 а) з різким звуженням і розширенням трубопроводу; б) з дросельною шайбою; в) зі статичним циліндричним кавітатором; г) з двома рівновіддаленими статичними циліндричними кавітаторами; д) з трубкою Вентурі; е) струминного типу; ж) зі статичним конічним циліндричним кавітатором; з) розвинений

Процес комп'ютерного моделювання течій рідини і газу включає наступні етапи: створення розрахункової області ("геометрії" МПКФ) в системі автоматизованого проектування і введення її в CFD; задання математичної моделі і задання граничних умов; створення початкової розрахункової сітки і критеріїв її адаптації до розв'язку і граничних умов; задання параметрів методів розрахунку; виконання розрахунку; перегляд результатів розрахунку в графічному вигляді (візуалізація результатів розрахунку) і збереження даних; оцінка точності

На першому етапі моделювання створюється і завантажується геометрія розрахункової області пристрою. Розрахункова область - це об'єм, в якому визначаються рівняння математичної моделі, і межа об'єму, на якій задаються граничні умови.

Поверхні розрахункової області, які імпортуються в CFD, являють собою набір плоских багатокутників - фасетів (рис. 3.2). Ці полігони об'єднуються в замкнуті поверхні, які вкладені одна в одну і не перетинаються.

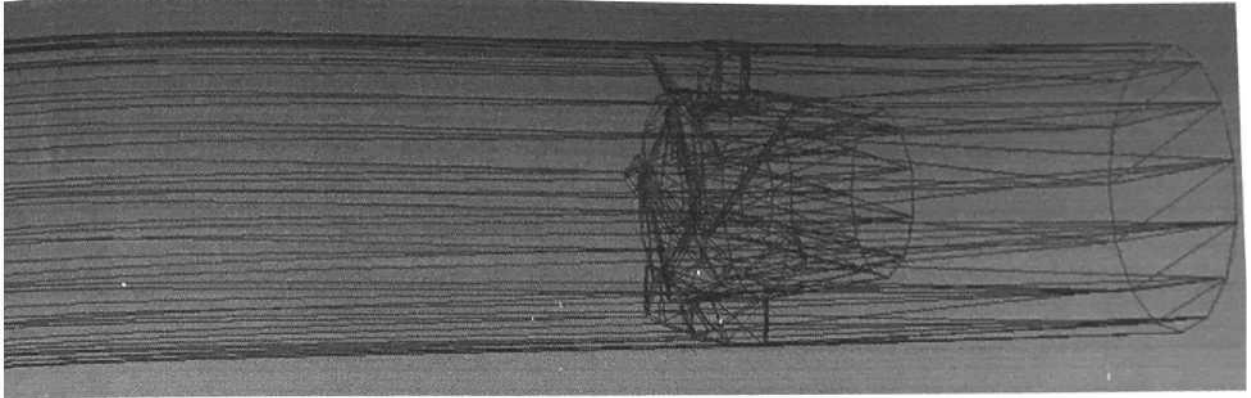


Рис. 3.2. Фасетне представлення геометрії обчислювальної області

На другому етапі обирається математична модель руху рідини і газу та рівняння, які будуть розв'язуватися в кожній обчислювальній підобласті.

Метою моделювання руху рідини і газу в розрахунковій області є отримання розподілу швидкостей, тисків та інших фізичних параметрів рідини (газу). Для розрахунку всіх цих параметрів необхідно задати фізичні закони їх зміни, сукупність яких і є математичною моделлю для даної задачі.

Математична модель руху рідини і газу - це система диференціальних рівнянь у частинних похідних, які визначають закони збереження (енергії, маси, імпульсу) і рівняння стану рідини (газу).

При створенні комп'ютерних моделей використовувалася математична модель "нестислива рідина", яка призначена для моделювання двофазних потоків рідини і газу при високих (турбулентних) числах Рейнольдса. Ця модель включає рівняння Нав'є-Стокса, енергетичні та конвективно-дифузійні рівняння для перенесення концентрацій компонентів у суміші.

Математична модель обчислює змінні, які є векторними та скалярними полями і поділяються на незалежні та залежні змінні - незалежні змінні визначаються шляхом розв'язання систем рівнянь з набором

початкових та граничних умов, а залежні змінні виражаються через них.

Третім кроком у створенні варіанту проектування є встановлення граничних умов на межах розрахункової області. Вони задаються для кожної зі змінних проектування.

Четвертий етап створення варіанту дизайну - генерація розрахункової сітки. CFD використовує прямокутну адаптивну локально уточнену сітку для вирішення рівнянь математичної моделі. Це означає, що користувач спочатку створює початкову розрахункову сітку (Рисунок 3.3), а потім вказує критерії уточнення сітки, згідно з якими CFD уточнює початкову сітку до **потрібного ступеня**.

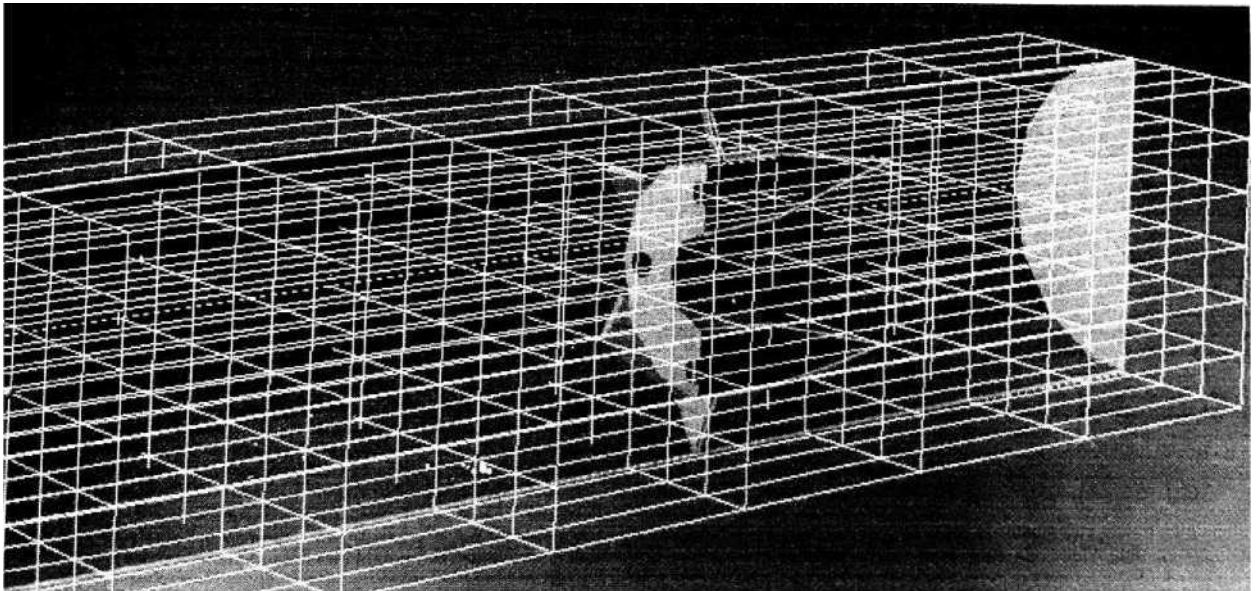


Рис. 3.3. Розрахункова сітка

На п'ятому етапі відбувається налаштування параметрів методу чисельного моделювання.

На шостому етапі виконується автоматичний розрахунок без втручання користувача. У процесі розрахунку користувач може змінювати параметри задачі, параметри розрахунку та аналізувати отримані дані.

Наступним кроком є аналіз результатів моделювання. Візуалізація результатів розрахунків виконується за допомогою постпроцесора CFD. Постпроцесор має широкий спектр методів для візуалізації скалярних та векторних змінних на різних геометричних об'єктах.

Останній крок - оцінка точності отриманих результатів. Досить

складно оцінити точність отриманого рішення, якщо немає експериментальних результатів. Тут можна використати лише певні рекомендації, які полягають у контролі характеристик потоку, які можуть бути відомі досліднику, таких як перепади тиску, максимальна температура, густина тощо.

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень з використанням комп'ютерного моделювання були отримані результати роботи різних конструкцій МПКС у вигляді кольорових полів розподілу швидкостей та карт розподілу тиску і густини, а також у вигляді графіків цих величин. За результатами експериментальних досліджень було проведено детальний аналіз їх роботи та обрано оптимальний варіант МПКС.

3.2. Методика експериментального дослідження ефективності ступіня насиченості газованих напоїв у виробничих умовах

Експериментальні дослідження з визначення масової концентрації CO₂ в газованих напоях та впливу основних і додаткових факторів на процес насичення напоїв проводили у виробничому цеху ПАТ "Київський завод безалкогольних напоїв "Росинка" з використанням SPSS. Його обладнання та технологічна схема наведена на рис. 3.4.

Система працює наступним чином. Підготовлена вода (12...15 °С) подається через розподільчу панель під тиском 0,4 МПа в нижню частину вакуумного деаератора 4 і розпилюється там за допомогою форсунок. Розчинене у воді повітря відсмоктується з деаератора вакуумним насосом 2. Вода, дегазована на першому етапі дегазації, збирається в нижній частині деаератора. І за допомогою насоса 1 перекачується по циркуляційній трубі у верхню частину деаератора, де знову розпилюється форсунками, проходячи другий етап деаерації. В процесі прокачування по циркуляційній трубі вода додатково насичується вуглекислим газом, який подається у воду на виході з циркуляційного насоса через редукційний клапан 3, завдяки чому CO₂ витісняє з води залишки кисню і розчиненого повітря.

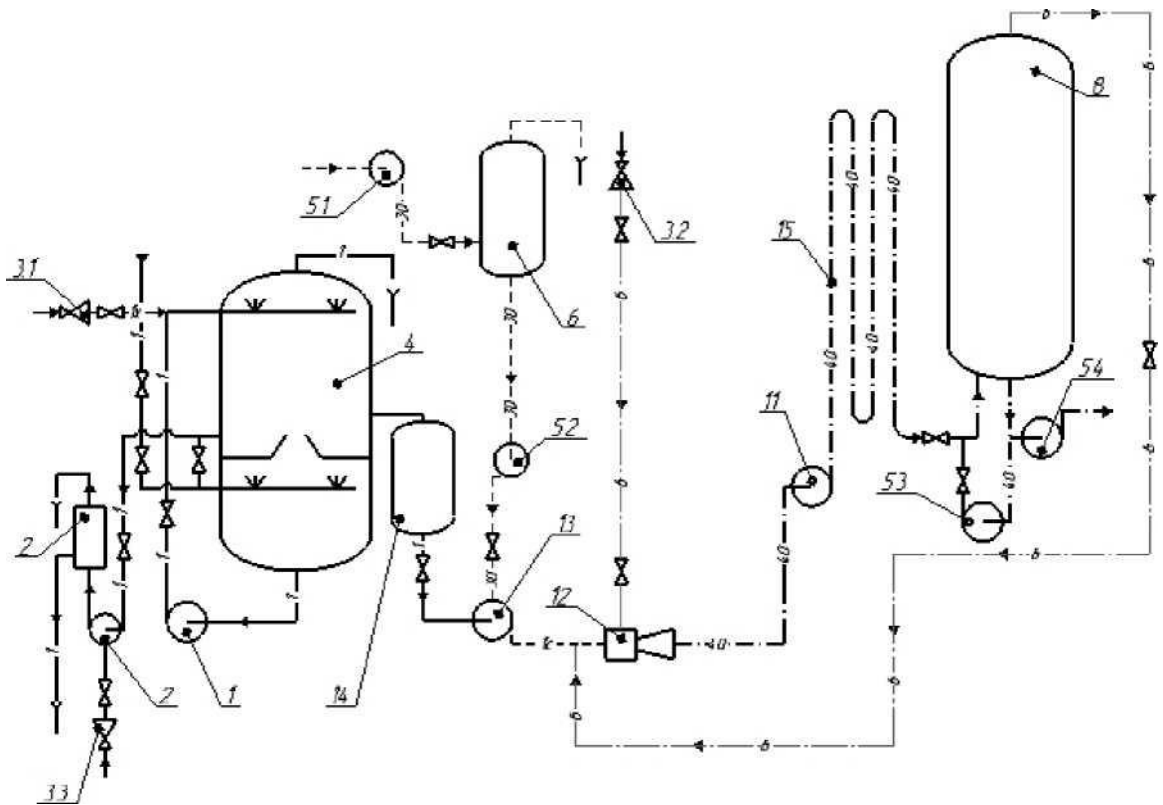


Рис. 3.4. Апаратурно-технологічна схема пілотної установки:
 1 - циркуляційний насос; 2 - вакуумний насос; 3 - редукційний клапан;
 4 - деаератор; 5, 7, 9, 10 - відцентрові насоси; 6 - бак сиропу; 8 - напірний (буферний) бак; 11 - насос сатурації; 12 - секція сатурації з ОГДКП; 13 - насос змішування; 14 - пластинчастий теплообмінник

В даній сатураційній установці процес деаерації інтенсифікується за рахунок значного розрідження в дегазаторі (вакуумна деаерація) і підвищеної температури води для деаерації (12...15 °С), яка перед сатурацією знижується з 14 до 8 °С в пластинчастому теплообміннику. Застосування методу вакуумної деаерації значно прискорює процес дегазації води за рахунок збільшення площі поверхні контакту газу з рідиною завдяки розпиленню води через форсунки.

Дегазована вода збирається на тарілці, встановленій в середній частині деаераторної колони. Вода з тарілки забирається змішувальним насосом 13, потрапляючи безпосередньо в камеру змішування цього насоса. Одночасно в змішувальний насос 13 подається купажний сироп з сиропної ємності 6. Кількість сиропу, що надходить в змішувальний насос, регулюється автоматичним витратоміром, в залежності від заданої пропорції сиропу в напої. Купажний сироп подається в сиропний бак відцентровим

насосом 5 і відводиться насосом 7.

Підготовлений, але ще негазований напій надходить у пластинчастий теплообмінник 14 для охолодження крижаною водою (1...2 °С) перед насиченням. Охолоджений до температури 6...8 °С напій подається в секцію сатурації 12 з кавітаційним пристроєм під тиском 0,40 МПа.

Далі, насичений вуглекислим газом, напій за допомогою насоса насичення 11 подається в накопичувальний бак 5, де утримується під тиском 0,5 МПа безпосередньо перед розливом. Перемішування напою в резервуарі здійснюється відцентровим насосом 10. Для запобігання неприпустимому підвищенню тиску в системі при наповненні резервуара 8 використовується система байпасу CO₂, а сам байпасний пристрій оснащений реле тиску. Вуглекислий газ, який витискається з буферної ємності при її заповненні, повертається в зону насичення.

Готовий напій подається до розливної машини під тиском, що створюється вуглекислим газом у буферній ємності (0,5 МПа). Тиск у приймальному резервуарі розливної машини становить 0,4 МПа. Також встановлено допоміжний відцентровий насос 9 для подачі напою на розлив.

В якості об'єктів дослідження були використані газовані напої: мінеральна вода "Оболонська" та "Оболонська з лимоном", а також морси: середньогазований "Тархун" (вміст сухих речовин 9,6 г/100 см³), високогазований "Квас Київський" (9,7 г/100 см³), "Живчик" (7,3 г/100 см³), "Байкал" (10,0 г/100 см³). Морси та мінеральні води виробляються відповідно до діючих технологічних інструкцій та ДСТУ 4069-2002 "Напої безалкогольні. Загальні технічні умови" та ДСТУ 878-93 "Води мінеральні питні. Технічні умови".

Зразки для визначення ступеня насиченості отримували на апараті Ragatikh SMX 25, на ділянці насичення якого була встановлена розроблена МПК для визначення насиченості напоїв в потоці.

Контрольними зразками слугували напої, виготовлені на апараті Ragatikh SMX 25 з наявною секцією сатурації, яка працює за принципом

труби Вентурі.

Ефективність насичення напоїв визначали за рівнем втрат діоксиду вуглецю під час технологічного циклу виробництва напоїв, а також за органолептичними показниками напоїв, які пройшли повну технологічну обробку, порівняно з ефективністю насичення напоїв на ділянці насичення з існуючим апаратом. Установки експлуатувалися по чергово при однакових в секції сатурації SPSU за тих самих умов. Всі параметри процесу, що впливають на насиченість напою, стабільність процесу та його властивості, визначали за стандартними методиками та експериментально.

Попередні та приймальні випробування розробленого пристрою для насичення напоїв з метою удосконалення процесу насичення проводились відповідно до ДСТУ 3946:2000 "Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Продукція харчова. Основні положення".

Основні фізико-хімічні та біохімічні показники складу напою визначали за такими методиками: цукор - за ДСТУ 4623:2006; титровані кислоти - за ГОСТ 13193-84; леткі кислоти - за ГОСТ 14252-84; діоксид вуглецю в газованих напоях - за ДСТУ 4817:2007.

Витрату діоксиду вуглецю на сатурацію напоїв визначали за допомогою витратоміра KLONLE H250, робота якого заснована на визначенні витрати в залежності від тиску і температури CO₂ з діапазоном вимірювання 0...300 кг/год, встановленого на трубопроводі подачі діоксиду вуглецю до секції сатурації СПСУ. Тиск CO₂ на вході в кавітаційний пристрій для сатурації напоїв визначався пружинним манометром за ДСТУ 2405-88, клас точності 1,0 з діапазоном вимірювання 0...10 бар.

Витрата напою визначалася за допомогою витратоміра KROHNE Alcometer з діапазоном вимірювання 0...27000 л/год, встановленого на трубопроводі за змішувальним насосом перед теплообмінником SPSU.

Смакові та ароматичні властивості, тип напою, характер і тривалість "гри" визначали органолептичним методом згідно з ГОСТ 6687.5 "Определение органолептических показателей и объема продукции".

Температуру в пляшці вимірювали термометром ТТІ-4 за ГОСТ 28498 з діапазоном вимірювання від 0 до 50 °С і ціною поділки 0,1 °С.

Масову концентрацію діоксиду вуглецю в напоях (% мас.) визначали згідно з ГОСТ 18.18-97 "Метод визначення діоксиду вуглецю в пиві, безалкогольних напоях і мінеральних водах, розлитих у полімерні пляшки ПЕТФ". Метод передбачає визначення CO_2 в напоях після їх розливу в 1 дм³ і 2 дм³ у пляшках, закупорених кришками. Цей метод базується на вимірюванні тиску вуглекислого газу в газовому просторі пляшки та температури напою до 25 °С.

Прилад для визначення тиску в пляшках для напоїв STEINFURTH D - 45309 ESSEN має манометр 7 (рис. 3.5) з діапазоном вимірювання 0-0,4 МПа. Також до складу пристрою входить електропривод 9, на вихідному горизонтальному валу 4 якого закріплений циліндр 3 для розміщення бутля та обертання його відносно горизонтальної осі зі швидкістю 50 об/хв. Циліндр має відкидну кришку 6 з засувкою 5, всередині якої встановлена порожниста голка, з'єднана з манометром і навколишнім середовищем через вентиль 8. Керування пристроєм здійснюється за допомогою пульта управління 10.

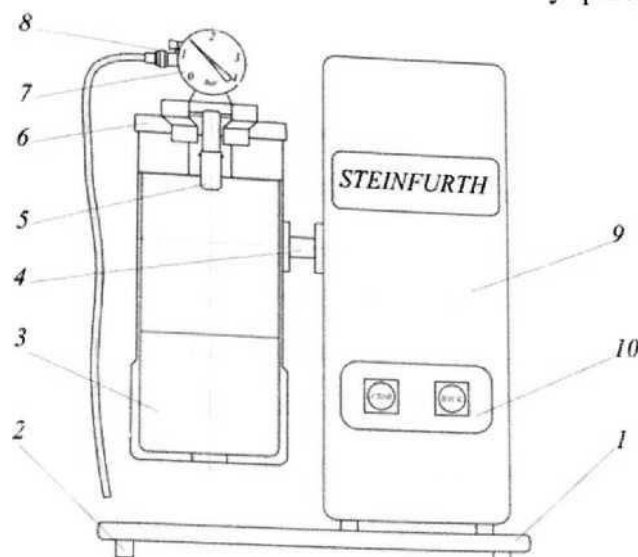


Рис. 3.5. Пристрій для визначення тиску в пляшках з напоями:
 1 - основа; 2 - стійки; 3 - циліндр з пляшкою; 4 - приводний вал; 5 - засувка; 6 - кришка з голкою; 7 - манометр; 8 - клапан з трубкою; 9 - привод; 10 - управління панель

Випробування проводиться наступним чином. Пляшка з напоєм закріплюється в циліндрі приладу таким чином, щоб голка, встановлена в кришці приладу, проколювала кришку в закритому стані і входила в пляшку при закритому клапані, з'єднаному з навколишнім середовищем. Пристрій, із затиснутою в ньому пляшкою, запускається в роботу. Циліндр з пляшкою обертається навколо горизонтальної осі зі швидкістю 50 хв^{-1} протягом 2 хв.

Після струшування пляшки переконайтеся в герметичності системи (незмінність показань манометра протягом 2 хвилин) і зніміть показання манометра. Після вимірювання тиску, відкрийте клапан і скиньте тиск у пляшці. Вийміть її з приладу і виміряйте температуру напою за допомогою термометра. Масову концентрацію CO_2 в напої знаходять за таблицею (Додаток Б) в залежності від виміряного тиску і температури. За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів трьох паралельних визначень. Розрахунки проводять з точністю до 0,001 % мас. з наступним округленням результату до 0,01 % мас.

Для отримання достовірних результатів експерименти повторювали 3...6 разів.

4. Розрахункова частина

Розрахуємо годинний виробіток безалкогольного напою під час розливу в пляшки для заводу продуктивністю 2000000 дал, 50% продукції випускається в пляшках місткістю 0,5 л, 50% - 0,33 л.

Змінний виробіток безалкогольних напоїв становитиме:

$$C_{зм} = \frac{P}{323} = \frac{2000000}{323} = 6191,9 \text{ дал.}$$

Часовий виробіток напоїв становитиме:

$$Ч = \frac{6191,9 \cdot 1,025}{8 \cdot 0,8} = \frac{6346,7}{6,4} = 991,67 \text{ дал.}$$

При розливі 50% усієї продукції в пляшки місткістю 0,5 л і 50% у пляшки місткістю 0,33 л кількість пляшок, що наповнюються за годину, становитиме:

$$Ч_{0,5} = \frac{991,67 \cdot 10 \cdot 50}{0,5 \cdot 100} = 9916,7 \text{ пл./год,}$$

$$Ч_{0,33} = \frac{991,67 \cdot 10 \cdot 50}{0,33 \cdot 100} = 15025,3 \text{ пл./год.}$$

Потім обираємо продуктивність автоматичної лінії розливу. Знаючи годинне вироблення продукції та паспортну продуктивність ліній, розраховують їх кількість.

Розлив безалкогольних напоїв здійснюється на автоматичних лініях продуктивністю 6000, 12000, 24000 пляшок/год. Лінії укомплектовані пакетоформувальними та пакеторозформувальними автоматами, автоматами з виймання пляшок із ящиків, пляшкомийними машинами. У комплект ліній також входять розливно-закупорювальний блок, автомат для бракеражу пляшкової продукції, етикетувальний автомат, лічильники готової продукції, транспортери для переміщення ящиків і пляшок.

Розрахунок кожухотрубного теплообмінника

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Доломакін Ю.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа		
Власник документа МАХФВ	Розробник документа Литвин В.О.	Назва, додаткова назва Розрахункова частина	221889.КР.44.000.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/

Протягом години необхідно охолодити купаж з одного апарата в об'ємі $V_1 \times 0,9$, де V_1 - повний об'єм одного купажера; 0,9 - коефіцієнт заповнення купажера.

Купажні апарати працюють за таким графіком (у хв.): внесення цукрового сиропу – 10...15, соку або виноматеріалу – 10...15, розчину лимонної кислоти – 5...10, розчину колера – 5...10, розчину ароматичних речовин – 5...10; перемішування – 15...20, перевірка якості – 15...20, фільтрування – 15...20, миття резервуару - 10...15. Тривалість циклу становить 90...130 хв.

З одного купажного апарата місткістю 1000 л виходить 900 л купажу, тобто $1000 \text{ л} \times 0,9$.

Кількість теплоти, яку необхідно відвести, становитиме:

$$Q = 900 \cdot 1,31028 \cdot 3,35 \cdot (25 - 10) \cdot 1,05 = 62\,206,9 \text{ кДж/год},$$

де 1,31028 - відносна густина сиропу;

3,35 - питома теплоємність купажу, кДж/(кг·К);

25 і 10 - початкова і кінцева температура купажу, °С;

1,05 - коефіцієнт, що враховує втрати теплоти в навколишнє середовище.

Охолодження купажу проводиться розсолем температурою -5°C .

Визначимо середню різницю температур:

$$\begin{array}{l} \text{для купажа} \\ \text{для расола} \end{array} \quad \frac{25 - 7}{(-3) - (-5)} \quad \Delta t_{cp} = \frac{28 - 12}{2,31g \cdot 28} = 18,9^\circ\text{C}$$

Площа поверхні охолодження становитиме:

$$F = \frac{62206,9}{21 \cdot 290,8 \cdot 3,6} = 3 \text{ м}^2,$$

де 290,8 - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К).

Приймаємо до встановлення кожухотрубний теплообмінник із площею поверхні охолодження 3 м², діаметром кожуха 273 мм, довжиною труб 1000 мм.

Підбір збірників

Збірники для соків, настоїв розчину колера, есенції, композицій, розчину лимонної кислоти та іншої сировини розраховуємо на добову витрату за коефіцієнта заповнення 0,9. Збірник для лимонної кислоти розраховуємо на зберігання 50% розчину за коефіцієнта заповнення 0,8. Збірник для робочого розчину колера розраховується для колера, розведеного водою у співвідношенні 1:5. Барвники та екстракти розбавляють водою у співвідношенні 1:5.

Витрата настою на добу становить 373,87 л, тоді об'єм збірника для настоїв дорівнюватиме 411,26 л, тобто $373,87 \times 1,1$. Приймаємо до установки два збірники типу СЗ місткістю 250 л, діаметром 700 мм. висотою 1562 мм.

Колер розбавляється водою у співвідношенні 1:5. Відносна густина колера 1,347. Витрата кольору на добу дорівнює 155,457 кг.

Об'єм збірника для колера складе:

$$V_{зб} = 1,1 \cdot 6 \cdot \frac{155,457}{1,347} = 761,71 \text{ л.}$$

Приймаємо до установки збірник типу СЗ місткістю 1000 л, діаметром 1200 мм. висотою 2030 мм.

Добова витрата лимонної кислоти 112,042 кг. Кислота вживається у вигляді 50%-вого розчину. Густина кислоти 0,8 т/м³.

Об'єм збірника для лимонної кислоти складе:

$$V_{зб} = 1,2 \cdot 2 \cdot \frac{112,042}{0,8 \cdot 1000} = 0,336 \text{ м}^3 \text{ або } 336 \text{ л.}$$

Приймаємо до встановлення два збірники типу СЗ місткістю 250 л.

4.3 Охолодження води перед сатурацією

Воду охолоджують на пластинчастому теплообміннику ОО1-У10 продуктивністю 10 м³/год.

Добова кількість тепла, що відводиться, за тривалості охолодження 16 год така:

$$Q_{\text{вод,сут}} = 10 \cdot 16 \cdot c_{\text{вод}} \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}),$$

$$Q_{\text{вод,сут}} = 10 \cdot 16 \cdot 4,19 \cdot (25 - 2) = 15419,2 \text{ кДж},$$

$$Q_{\text{вод,ч}} = 15419,2 / 16 = 963,7 \text{ кДж},$$

$$Q_{\text{вод,год}} = 15419,2 \cdot 238 = 3669769,6 \text{ кДж}.$$

4.4 Витрата двоокису вуглецю

Двоокис вуглецю у виробництві безалкогольних напоїв витрачається на операції, представлені в таблиці 4.

Табл. 4

Витрата двоокису вуглецю

№ п/п	Найменування операції	Норма витрати	Примітка
1.	Сатурація води для безалкогольних напоїв	За рецептурою залежно від ступеня насичення напою	Тиск 1,0...0,5 атм
2.	Перемішування купажів	2,0 кг на 100 дал продукту	
3.	Створення вуглекислотної подушки в розливних апаратах	За паспортними даними машини (Витрата CO ₂ для насичення напоїв не входить)	

Річні витрати CO₂ за операціями знаходять за формулою:

$$C_{\text{год}} = Q_{\text{год}} \cdot H / 100,$$

де $Q_{\text{год}}$ - продуктивність заводу, дал;

H - норма витрати CO₂ на операцію.

Добову витрату CO₂ на операцію знаходять шляхом ділення річної витрати на число робочих днів - 238. Годинну витрату визначають з урахуванням роботи лінії розливу в 2 зміни по 8 годин за коефіцієнта використання обладнання 0,8.

Річна витрата CO₂ на сатурацію:

$$C_{\text{сат. год}} = 2000000 - 20/100 = 400000 \text{ кг}.$$

Добова витрата CO₂ на сатурацію:

$$C_{\text{сат. доб}} = 400000 / 238 = 1681 \text{ кг}.$$

Годинна витрата CO₂ на сатурацію:

$$C_{\text{сат. год}} = 1681 - 0,8 / 2 - 8 = 84,1 \text{ кг.}$$

Годинна витрата CO₂ для створення вуглекислотної подушки за норми 52 кг/год для кожної лінії становитиме для двох ліній: $52 \times 2 = 104$ кг/год.

Добова витрата CO₂ для створення вуглекислотної подушки під час розливу:

$$C_{\text{розл. доб}} = 104 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,8 = 1331,2 \text{ кг.}$$

Річна витрата CO₂ для створення вуглекислотної подушки при розливі:

$$C_{\text{розл. рік}} = 1231,2 \times 238 = 316825,6 \text{ кг.}$$

Дані щодо витрат двоокису вуглецю зводимо у таблицю 5.

Табл. 5

Зведені дані про витрату двоокису вуглецю

Найменування операції	Тиск, МПа	Норма витрати	Витрата на операцію			Питома витрата, кг/100 дал
			кг/год	кг/доб.	кг/рік	
Сатурація напою	1,0	20 кг/100 дал	84,1	1681	400 000	20
Створення вуглекислотної подушки при розливі	0,2...0,25	52 кг/год	104	1331,2	316825,6	15,84
РАЗОМ:			184,1	3012,2	716825,6	35,89

4.2.6 Обладнання відділення водопідготовки

На сучасних заводах застосовують різні схеми водопідготовки. Основне обладнання схем підбирають за годинною і добовою витратами води, які розраховують за обраними лініями розливу. Для прикладу приймаємо схему водопідготовки, що складається з натрій-катіонітового фільтра для пом'якшення води, солерозчинника, збірника пом'якшеної води, фільтра керамічного для тонкої фільтрації, теплообмінника.

Катіонітовий фільтр

Витрата води 0,8 дм³ на 1 дм³ напою. Витрата води за обраними лініями

розливу (Q_B , м³/год):

$$Q_B = (6 + 4,5) - 0,8 = 8,4 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Продуктивність фільтра ($W_{\text{доб}}$, м³/доб)

$$W_{\text{доб}} = Q_B \cdot n \cdot \tau,$$

де n - число змін; τ - число годин роботи за зміну.

$$W_{\text{доб}} = 8,4 \cdot 2 \cdot 8 = 134,4 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Площа фільтрування (F , м²)

$$F = W_{\text{доб}} - (W_{\text{п}} - W_{\text{к}}) - (T + t) / h \cdot e,$$

де $W_{\text{п}}$ і $W_{\text{к}}$ - початкова і кінцева жорсткість води, г екв/м³;

T - час роботи фільтра (10 год);

t - час регенерації фільтра (1,5 години);

h - висота шару катіоніту (2 м);

e - обмінна здатність катіоніту (300).

Приймаємо початкову жорсткість води 3,7 г екв/м³, а кінцеву - 0,7 г екв/м³:

$$F = 134,4 \cdot (3,7 - 0,7) \cdot (10 + 1,5) / 2 \cdot 300 = 7,73 \text{ м}^2.$$

До установки приймаємо 2 катіонітових фільтри. Тоді площа фільтрування одного фільтра (f , м²):

$$f = F/2 = 7,73/2 = 3,86 \text{ м}^2.$$

Діаметр фільтра (D , м):

$$D = \sqrt{4 \cdot f / \pi},$$

$$D = \sqrt{4 \cdot 3,86 / 3,14} = 2,2 \text{ м.}$$

Висота катіонітових фільтрів 3,1...3,6 м.

Приймаємо висоту колонки 3,5 м.

Добове число генерацій одного фільтра (Z_1):

$$Z_1 = 16 / (T + t) = 16 / (10 + 1,5) = 1,39.$$

Добове число генерацій 2 фільтрів (Z_2):

$$Z_2 = 2 \cdot Z_1 = 2 \cdot 1,39 = 2,78.$$

Витрата води на розпушування, регенерацію і відмивання катіоніту (W ,

м³/добу.):

$$W = f \cdot h \cdot Z \cdot K,$$

де К - витрата води на одну регенерацію в м³ на м³ катіоніту.

Для однієї установки К = 4,5 м³.

$$W = 3,86 \cdot 2 \cdot 2,78 \cdot 4,5 = 96,6 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Повна годинна витрата води (W_п, м³/год):

$$W_{\text{п}} = Q_{\text{в}} + W/16,$$

$$W_{\text{п}} = 8,4 + 96,6/16 = 14,4 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрата кухонної солі на одну генерацію (М, кг):

$$M = f \cdot h \cdot e \cdot K_c / 1000,$$

де К_с - питома витрата солі (200...225 г/г екв).

$$M = 3,86 \cdot 2 \cdot 300 \cdot 200 / 1000 = 463,2 \text{ кг}$$

Для розчинення солі приймаємо солерозчинник В-7075/с ємністю 0,2 м³ (діаметр 480 мм; висота 1792 мм; маса з арматурою 167 кг).

Збірник пом'якшеної води

Збірник розраховується на годинний запас води з урахуванням коефіцієнта запасу місткості 1,1. Обсяг збірника (V_{зб}, м):

$$V_{\text{зб}} = Q_{\text{в}} \cdot 1,1,$$

$$V_{\text{зб}} = 8,4 \cdot 1,1 = 9,25 \text{ м}^3.$$

Приймаємо збірник сталевий циліндричний місткістю 10 м³. При діаметрі 2 м його висота складе:

$$H = 4 \cdot v / \pi \cdot D^2,$$

$$H = 4 \cdot 10 / 3,14 \cdot 4 = 3,2 \text{ м.}$$

Керамічний свічковий фільтр

Керамічний фільтр підбирається за годинною продуктивністю. Застосовують керамічні фільтри ФК-2М продуктивністю 2500 дм³/год (габаритні розміри (мм): 580×565×820).

Кількість фільтрів (N_ф):

$$N_{\text{ф}} = Q_{\text{в}} / 2,5,$$

$$N_{\text{ф}} = 8,4 / 2,5 = 3,4.$$

Приймаємо 4 фільтри.

4.5. Експериментальні дослідження з процесу насичення за допомогою комп'ютерного моделювання

З літературного огляду відомо, що питання використання ГДЦП для насичення напоїв у потоці та визначення їх гідродинамічних та енергетичних характеристик практично не вивчалися. Враховуючи важливість цих питань для розробки нового кавітаційного пристрою для сатурації напоїв, були проведені експериментальні дослідження, спрямовані на вирішення наступних завдань:

- встановити конструктивні особливості БФД, які є найбільш ефективними для насичення напоїв;
- оцінити вплив характерних розмірів кавітаційних мішалок на процес масообміну;
- визначити гідродинамічні та енергетичні характеристики ГПЗ.

При визначенні конструкції пристрою, найбільш придатної для процесу сатурації, були досліджені змішувачі з кавітаторами у вигляді циліндра, дросельної шайби, конічно-циліндричної вставки і т.д. Комп'ютерне моделювання проводилося для кавітаційних апаратів однакового поперечного перерізу з кавітаторами різних конструкцій. Їх розміри підбиралися таким чином, щоб ступінь стиснення потоку був однаковим у всіх випадках. Цим досягалася рівність перерізів проточної камери досліджуваних змішувачів.

Для вивчення явища кавітації використовують різні експериментальні установки, такі як гідродинамічні або кавітаційні трубки. Оскільки явище кавітації відбувається при високих швидкостях і тисках, цей процес моделювався за допомогою програмного пакету CFD.

4.5.1 Експериментальні дослідження гідродинамічних пристроїв з використанням програмного комплексу CFD

Розглянуто моделювання як сучасний метод дослідження технологічних процесів і як форму відображення дійсності. У зв'язку з

технічним прогресом і появою сучасних комп'ютерів розкривається роль і значення теорії відображення в пізнанні дійсності, а також у розвитку методів моделювання. Весь процес моделювання відбувається в пристрої з певними геометричними характеристиками, які в свою чергу впливають на характер процесу. CFD вирішує завдання моделювання тепло- і масообміну в різних технічних і природних об'єктах. Основне завдання полягає в чисельному розв'язанні рівнянь, що описують динаміку рідини.

Моделювання проводилося з метою вибору оптимальної конструкції МПКС для подальшої побудови експериментальної ділянки сатурації у складі СППС та проведення експериментальних досліджень у виробничих умовах з метою вивчення впливу різних факторів на процес сатурації напоїв та інтенсифікації процес насичення.

Основними параметрами для вибору ефективної конструкції МПКП були максимальне значення питомої площі відновлюваної поверхні контакту рідкої і газової фаз, що утворюється при проходженні рідинного і газового потоків через кавітаційний пристрій і визначається кінетичною енергією газорідного потоку, конструкцією кавітатора і пристрою в цілому. А також мінімальними витратами питомої енергії на виникнення кавітації.

Критерієм вибору оптимальної конструкції кавітаційного пристрою був коефіцієнт ефективності, який враховує витрати енергії на створення одиниці площі питомої поверхні контакту фаз. Коефіцієнт корисної дії визначається з рівняння

$$K_e = \frac{J}{F},$$

де J - питомі витрати енергії на створення кавітації, Дж/м³; F - питома площа поверхні контакту між рідкою та газовою фазами, м²/дм³.

Чим менше значення цього коефіцієнта, тим ефективніше використовується енергія для створення нової поверхні.

Практично у всіх МРПС пристрій регулюється лише одним параметром - зміною тиску на вході і виході з пристрою.

У розроблених моделях МКУ досліджувалась динаміка їх роботи в

залежності від конструктивного виконання пристрою, таких як різке звуження та розширення трубопроводу, розділення безперервного технологічного потоку на декілька потоків, конічно-циліндричні вставки на шляху руху потоку рідини та ін. В експерименті досліджували зміну швидкості рідини і газу в проточній камері, розподіл тиску всередині апарату в залежності від основної конструкції Згідно з отриманими результатами.

В ході дослідження розраховано кавітаційне число, кінетичну енергію, питому швидкість потоку енергії для створення кавітації та питомої площі відновленої поверхні.

При розрахунку явища кавітації можливе отримання від'ємного значення тиску потоку рідини за кавітатором, що свідчить про порушення суцільності цього потоку (виникнення кавітації). Оскільки тиск не може бути нижчим за певне додатне значення (тиск насиченої пари), то для розрахунків використовували саме це значення, а рівень кавітації оцінювали за величиною від'ємного тиску: чим більша величина цього тиску, тим більша стадія кавітації і, відповідно, питома площа оновленої поверхні.

Всі дослідження ГДЦП з використанням CFD проводились при незмінних початкових умовах: внутрішній діаметр пристрою $D = 0,066$ м, тиск рідини на вході в кавітаційний пристрій $p_{вх} = 0,4$ МПа, тиск газу на вході в кавітатор $p_{со2} = 0,5$ МПа, досліджувані речовини: рідина (вода) та газ (CO₂). На графіках залежності швидкості, тиску та густини по довжині пристрою від часу виражені в м/с, Па, кг/м³ та м відповідно.

Взаємодія рідини і газу в кавітаційному пристрої при створенні штучної кавітації гідродинамічним способом моделювалася тільки для існуючого пристрою, що працює за принципом трубки Вентурі, і пристрою, який є оптимальним серед досліджуваних пристроїв за рядом параметрів на основі проведених досліджень.

На основі проведених розрахунків було проведено порівняння пристроїв та зроблено висновки щодо правильності вибору оптимальної конструкції пристрій для насичення напоїв вуглекислим газом. Дані для

розрахунків були взяті безпосередньо з графіків розроблених комп'ютерних моделей.

В результаті дослідження були виявлені переваги та недоліки кожного з досліджуваних гідродинамічних пристроїв, що дозволило зробити певні висновки щодо кожного з цих пристроїв.

На рис. 4.6 показано пристрій № 1, який має конструкцію у вигляді різкого звуження трубопроводу з наступним різким розширенням до початкового розміру. Вхідний внутрішній діаметр трубопроводу становить $D = 0,066$ м, звуження має діаметр $d = 0,04$ м, коефіцієнт низького стиснення $\xi = 0,36$. Розглянемо проходження рідини через пристрій № 1 при її початковому тиску на вході в пристрій $0,4$ МПа.

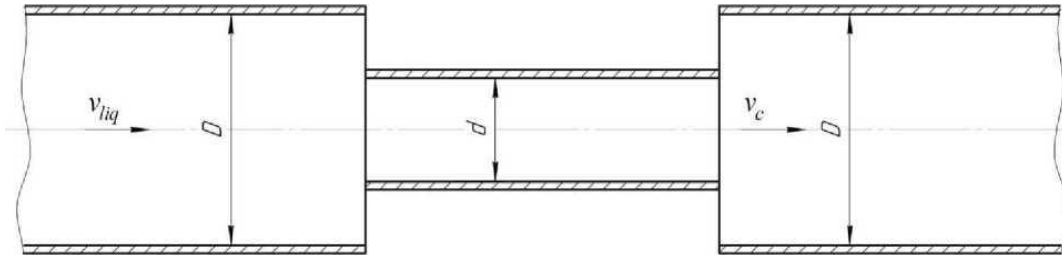


Рис. 4.6. Різде звуження трубопроводу з подальшим розширенням (№ 1)

При вивченні проходження потоку рідини через звуження пристрою (рис. 4.7), спостерігається збільшення його швидкості від початкового значення $10,3$ м/с на вході в пристрій до максимального значення $30,3$ м/с в місці звуження трубопроводу. Таким чином, внаслідок різкого звуження трубопроводу швидкість потоку збільшується на 20 м/с і порушується його суцільність з утворенням бульбашок (газової фази). У місці різкого розширення трубопроводу швидкість потоку рідини поступово зменшується до початкового значення.

При цьому тиск рідини поступово зменшується від початкового значення на вході до від'ємних значень в горловині пристрою і в місці різкого розширення трубопроводу (Рис. 4.8). Тобто в цих місцях відбувається незначний механічний розрив потоку, що сприяє виникненню кавітації. Також різке розширення потоку призводить до утворення зон відриву потоку

з рециркуляційними вихорами на виході із звуження, що призводить до різке зниження швидкості потоку рідини до початкових значень.

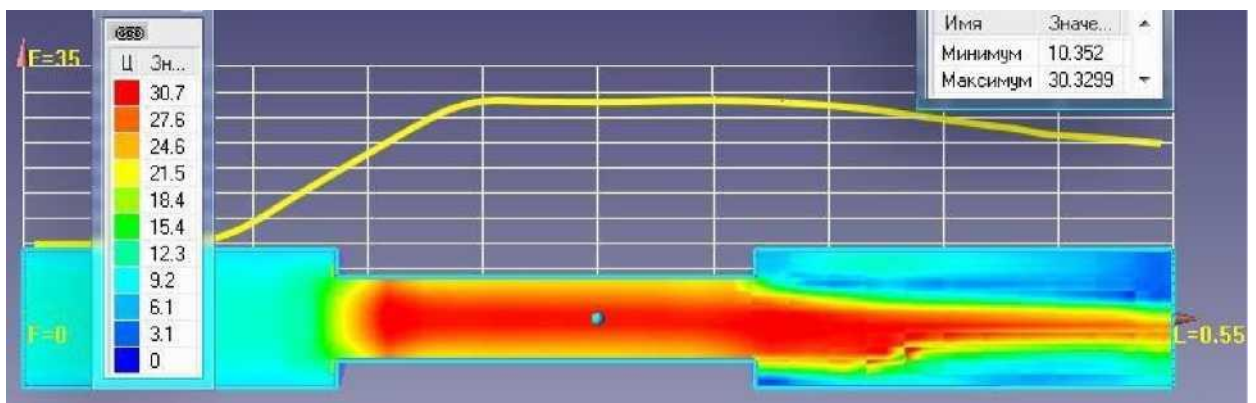


Рис.4.7. Карта розподілу швидкостей пристрою № 1

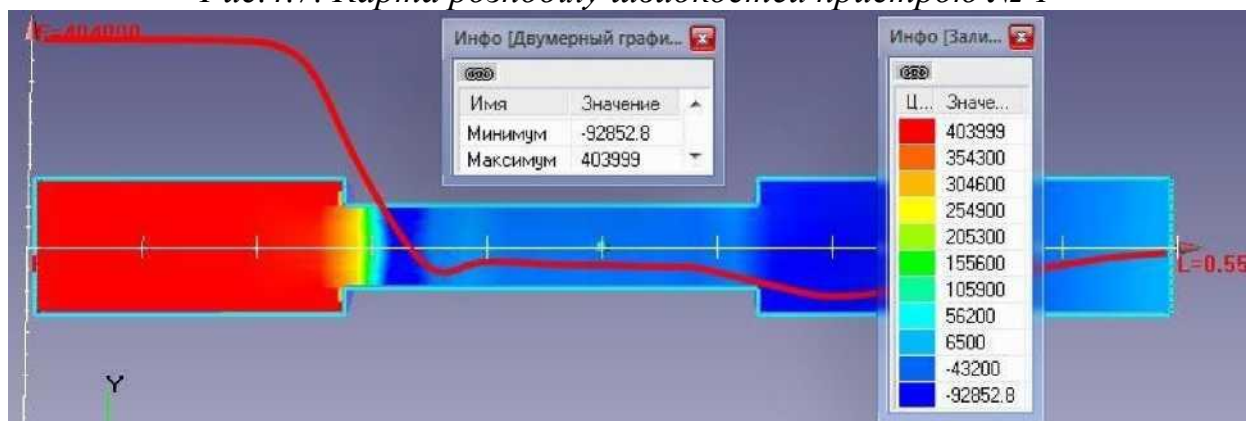


Рис. 4.8. Карта розподілу тиску в апараті № 1

Проведемо розрахунки для апарата № 1. Оскільки в цьому апараті є від'ємні значення тиску, то для підтвердження його існування визначимо коефіцієнт кавітації за формулою:

$$\chi_1 = \frac{2 \cdot (P_{\text{вх1}} - P_{\text{Д}})}{\rho_{\text{л}} \cdot v_{\text{с1}}^2} = \frac{2 \cdot (403999 - 2338,8)}{1000 \cdot 30,3^2} = 0,87,$$

де $P_{\text{Д}} = 2338,8 \text{ Па}$ - тиск насиченої водяної пари при $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Значення фактичного тиску на вході в апарат та максимальної газорідинної витрати взято з рис. 4.7 та 4.8.

Оскільки безрозмірне число $\chi < 1$, то в цьому випадку маємо плівкову течію (плівкову кавітацію). Тобто, при проходженні рідини через звуження утворюється кавітаційна порожнина, відокремлена від решти суцільного потоку, яка на виході з звуження розпадається на значну кількість бульбашок.

Таким чином, швидкість потоку рідини $28,3 \text{ м/с}$ є критичним значенням

для кавітації в апараті № 1 за цих умов. Перевищення цього значення призводить до кавітації і перетворення потоку рідини у двофазний потік.

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через пристрій:

$$Q_{liq1} = \vartheta_{liq1} \cdot S_1 = 28,3 \cdot 0,785 \cdot 0,04^2 = 0,0355 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c1} = \vartheta_{c1} \cdot S_1 = 30,3 \cdot 0,785 \cdot 0,04^2 = 0,0380 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas1} = Q_{c1} - Q_{liq1} = 0,0380 - 0,0355 = 0,0025 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №1:

$$G_{liq1} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq1} = 1000 \cdot 0,0355 = 35,5 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas1} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas1} = 1,29 \cdot 0,0025 = 0,0032 \text{ кг/с};$$

$$G_{c1} = G_{liq1} + G_{gas1} = 35,5 + 0,0032 = 35,503 \text{ кг/с}.$$

Густина кавітаційного потоку:

$$\rho_{c1} = G_{c1}/Q_{c1} = 35,503/0,038 = 934,3 \text{ кг/м}^3$$

Кінетична енергія кавітаційного потоку:

$$\Delta E_1 = G_{c1} \cdot \frac{\vartheta_{c1}^2}{2} - G_{liq1} \cdot \frac{\vartheta_{liq1}^2}{2} = 35,503 \cdot \frac{30,3^2}{2} - 35,5 \cdot \frac{28,3^2}{2} = 2081,7 \text{ Дж}.$$

Питома поверхня контакту фаз в області кавітації:

$$F_1 = \frac{m_{c1} \cdot (\vartheta_{c1}^2 - \vartheta_{liq1}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,934 \cdot (30,3^2 - 28,3^2)}{2 \cdot 0,073} = 749,8 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

П

итомі витрати енергії на створення кавітації:

$$J_i = \rho_{c1} \cdot g \cdot \Delta P_1 = 934,3 \cdot 9,81 \cdot (403999 - 2338,8) = 3,7 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3$$

Коефіцієнт корисної дії пристрою №1:

$$K_{el} = J_i/F_1 = 3,7 \cdot 10^6/749,8 = 4,9 \text{ кДж/лг}.$$

Так, у пристрої № 1 через різке звуження і подальше різке розширення трубопроводу, початковий тиск рідини знижується до тиску насиченої пари, відбувається механічний розрив потоку, а кавітація. Однак такий пристрій не є ефективним, оскільки має застійну зону з рециркуляційними вихорами на виході з звуження, що є негативним явищем, і значні питомі витрати енергії на створення одиниці площі поверхні контакту фаз.

Розглянемо пристрій №2 - трубопровід з дросельною шайбою на шляху потоку рідини (Рис. 4.9). Він відрізняється від попереднього пристрою

значно меншою довжиною звужувальної ділянки, яку в даному випадку виконує дросельна шайба. Внутрішній діаметр вхідного трубопроводу становить $D = 0,066$ м, діаметр звужувальної ділянки $d = 0,04$ м, а коефіцієнт стиснення потоку $\epsilon = 0,36$. Тиск рідини на вході в пристрій становить $0,4$ МПа.

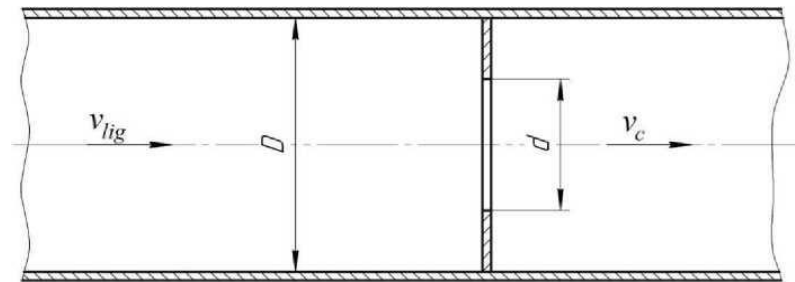


Рис. 4.9. Шайба дросельної заслінки (пристрій № 2)

Завдяки дросельній шайбі швидкість газорідного потоку за кавітатором збільшується до $31,3$ м/с (рис. 4.10), але через таку конструкцію швидкість рідини на вході в пристрій також збільшується до $17,9$ м/с.

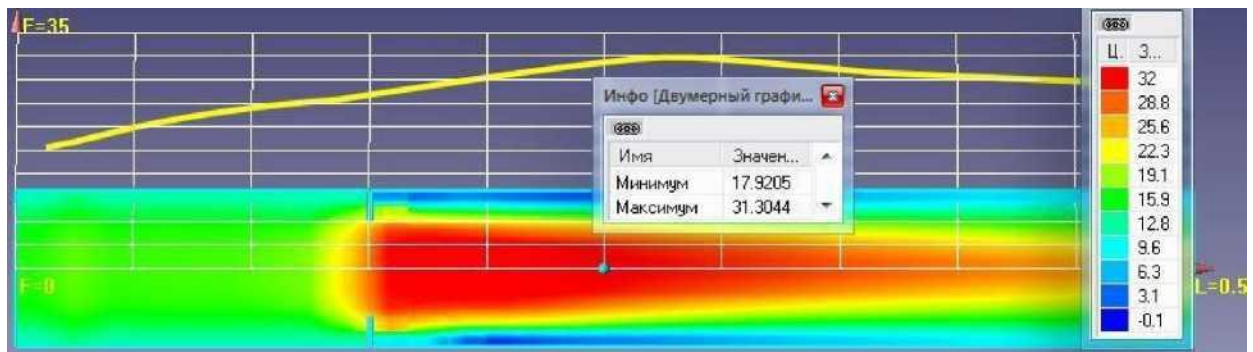


Рис. 4.10. Карта розподілу швидкостей пристрою № 2

За дросельною шайбою, як і в пристрої №1 після звуження, спостерігаються від'ємні значення тиску (рис. 4.11). Тиск зменшується до критичного значення ($0,075$ МПа), що свідчить про механічний розрив потоку і виникнення кавітації. За рахунок розширення потоку на шайбі дросельної заслінки створює зону розділення потоку з рециркуляційними вихорами, але через більшу швидкість газорідного потоку ця зона вузла, а рециркуляційні вихори набагато довші.

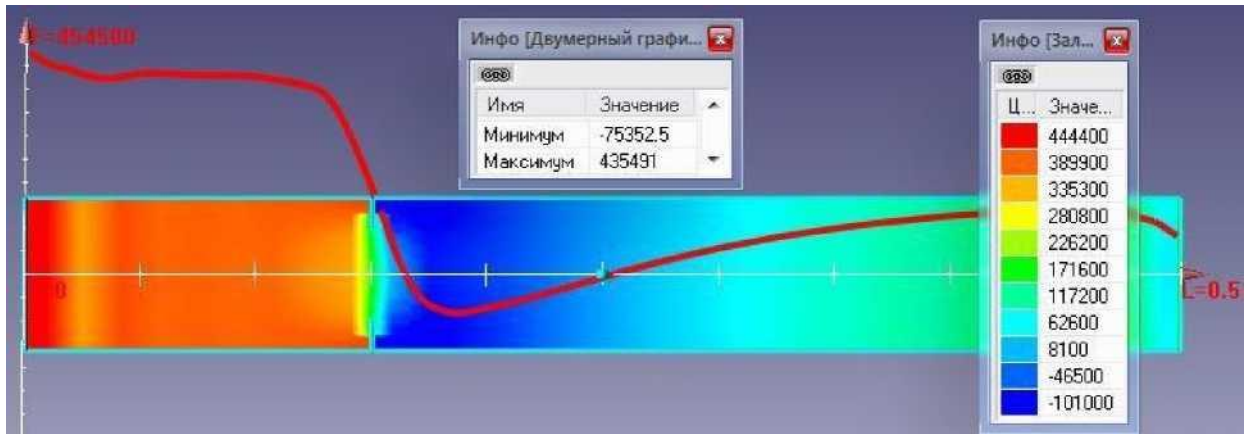


Рис. 4.11. Карта розподілу тиску в апараті № 2

Коефіцієнт кавітації для приладу №2:

$$\chi_2 = \frac{2 \cdot (P_{ex2} - P_D)}{\rho_{liq} \cdot \vartheta_{c2}^2} = \frac{2 \cdot (435491 - 2338,8)}{1000 \cdot 31,3^2} = 0,88.$$

Безрозмірне число $\chi < 1$, тому в даному випадку за дросельною пластиною виникає плівкова кавітація. Тобто, при проходженні рідини через дросельну заслінку, за нею утворюється кавітаційна порожнина з газом, відокремлена від решти суцільного потоку, який після розділення розпадається на значну кількість бульбашок.

Критична швидкість потоку рідини при $\chi = 1$:

$$\vartheta_{liq2} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{ex2} - P_D)}{\rho_{liq} \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (435491 - 2338,8)}{1000 \cdot 1}} = 29,5 \text{ м/с.}$$

Так, для виникнення кавітації в пристрої № 2 необхідна швидкість потоку рідини більше 29,5 м/с.

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через пристрій:

$$Q_{liq2} = \vartheta_{liq2} \cdot S_2 = 29,5 \cdot 0,785 \cdot 0,04^2 = 0,037 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c2} = \vartheta_{c2} \cdot S_2 = 31,3 \cdot 0,785 \cdot 0,04^2 = 0,039 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas2} = Q_{c2} - Q_{liq2} = 0,039 - 0,037 = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №2:

$$G_{liq2} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq2} = 1000 \cdot 0,037 = 37,0 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas2} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas2} = 1,29 \cdot 0,002 = 0,003 \text{ кг/с};$$

$$G_{c2} = G_{liq2} + G_{gas2} = 37,0 + 0,003 = 37,003 \text{ кг/с}.$$

Густина газорідинного потоку:

$$\rho_{c2} = G_{c2}/Q_{c2} = 37,003/0,039 = 948,8 \text{ кг/м}^3$$

Кінетична енергія кавітаційного потоку:

$$\Delta E_2 = G_{c2} \cdot \frac{v_{c2}^2}{2} - G_{liq2} \cdot \frac{v_{liq2}^2}{2} = 37,003 \cdot \frac{31,3^2}{2} - 37,0 \cdot \frac{29,5^2}{2} = 2026,1 \text{ Дж.}$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_2 = \frac{m_{c2} \cdot (v_{c2}^2 - v_{liq2}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,949 \cdot (31,3^2 - 29,5^2)}{2 \cdot 0,073} = 711,4 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення кавітації:

$$J_2 = \rho_{c2} g \cdot \Delta P_2 = 948,8 \cdot 9,81 \cdot (435491 - 2338,8) = 4,0 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3$$

Коефіцієнт корисної дії пристрою №2:

$$K_{e2} = J_2/F_2 = 4,0 \cdot 10^6/711,4 = 5,6 \text{ кДж/м}^2$$

Таким чином, пристрій № 2, у порівнянні з попереднім пристроєм, має майже однакову продуктивність. Однак для досягнення цих результатів пристрій потребує більших питомих витрат енергії на перетворення потоку рідини в кавітацію.

Що стосується перших двох МПКУ, то вони не зовсім ефективні, оскільки мають малу площу кавітації та застійні зони з рециркуляційними вихорами, що є негативним явищем. Крім того, ці апарати є безкавітаторними і тому мають певні недоліки, які обмежують сферу їх застосування: неможливість керування гідродинамічними характеристиками кавітаційної зони, а, отже, і ефективністю обробки середовища; труднощі керування частотою та амплітудою пульсацій при постійних витратах середовища.

Інший спосіб змінити геометрію потоку текучого середовища - розмістити статичні кавітатори в потоці рідини. Вони є одним з найпростіших і найефективніших способів зміни геометрії потоку технологічного середовища.

Далі розглянемо поширений тип кавітаційного пристрою (пристрій № 3) у вигляді трубопроводу зі статичним циліндричним кавітатором, встановленим перпендикулярно до осі трубопроводу (рис. 4.12). Початкові умови такі ж, як і в попередніх пристроях: потік рідини на вході в пристрій

має площу поперечного перерізу $0,0043\text{m}^2$ і початковий тиск $0,4\text{ МПа}$; площа поперечного перерізу звуження трубопроводу $S_3 = 0,00125\text{m}^2$, коефіцієнт стиснення потоку $\epsilon_3 = 0,36$.

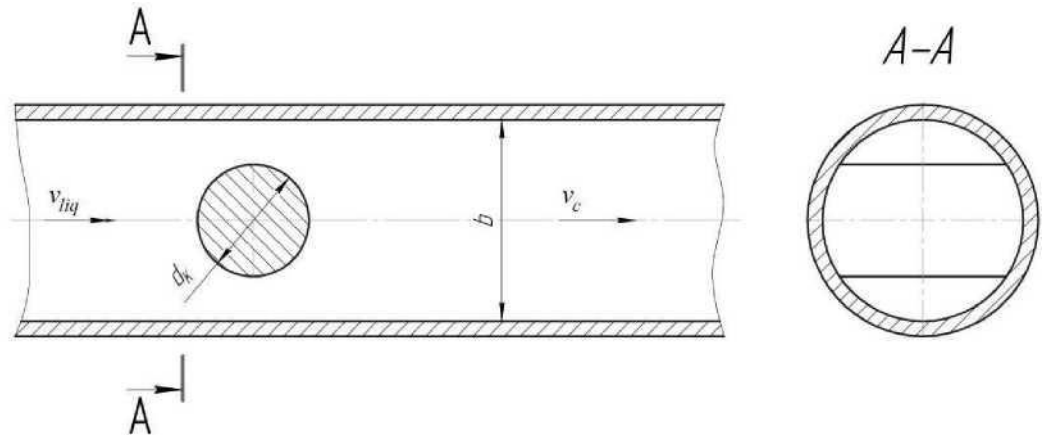


Рис. 4.12. Трубопровід зі статичним циліндричним кавітатором (позиція № 3)

Потік рідини з початковим тиском $0,4\text{ МПа}$ (рис. 4.13 і 4.14) і швидкістю $10,1\text{ м/с}$ проходить через проточну камеру пристрою. Перед кавітатором його тиск зростає до максимального значення $0,41\text{ МПа}$, а швидкість потоку на огині кавітатора досягає максимального значення $30,3\text{ м/с}$. Завдяки високій вхідній швидкості потоку рідини вихори, що утворюються за кавітатором, витягуються в напрямку потоку. Безпосередньо за кавітатором виникає кавітаційна область - тиск стає від'ємним, і відбувається механічний розрив потоку з утворенням кавітаційних порожнин. Через певну відстань швидкість і тиск потоку повертаються до попередніх значень, а бульбашки руйнуються з виділенням енергії, що створює динамічний вплив на оброблюване середовище.

Кавітаційне число для цього пристрою:

$$\chi_3 = \frac{2 \cdot (P_{\text{ex3}} - P_{\text{д}})}{\rho_{\text{liq}} \cdot v_{\text{c3}}^2} = \frac{2 \cdot (410120 - 2338,8)}{1000 \cdot 30,3^2} = 0,89.$$

Безрозмірне число $\chi < 1$, що відповідає кавітації плівки.

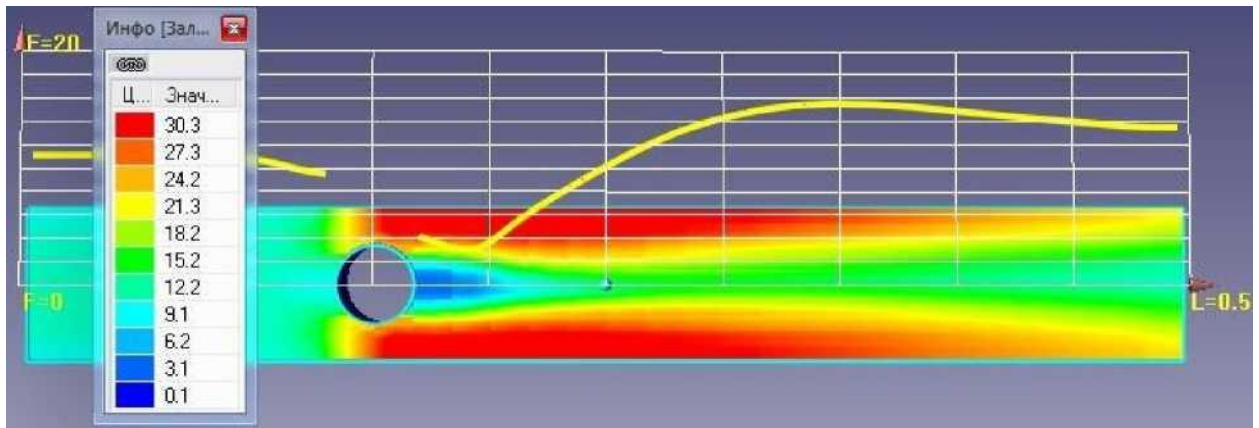


Рис. 4.13. Карта розподілу швидкостей пристрою № 3

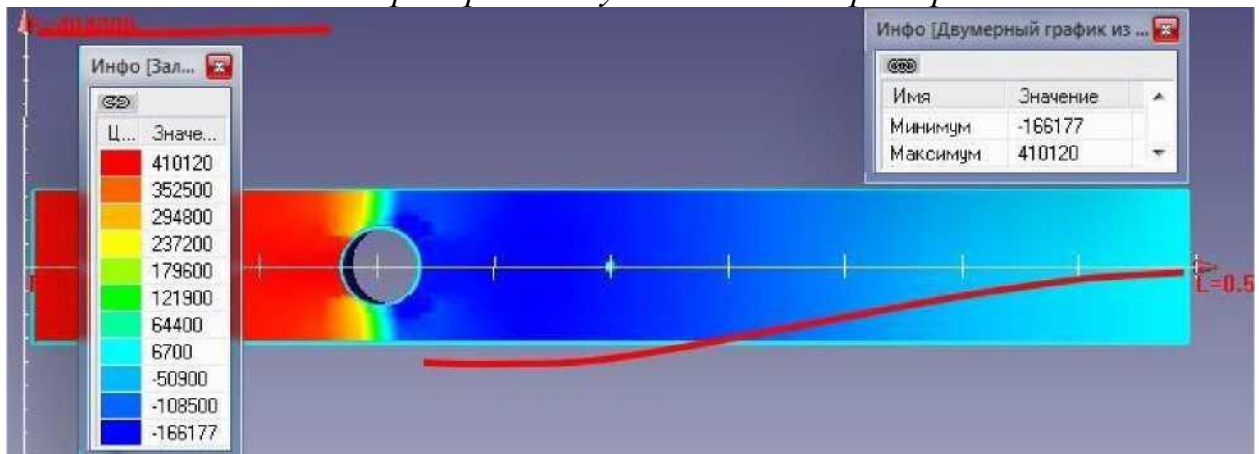


Рис. 4.14. Карта розподілу тиску в апараті №3

Критична швидкість потоку рідини при $x = l$:

$$v_{liq3} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{ex3} - P_d)}{\rho_{liq} \cdot X}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (410120 - 2338,8)}{1000 \cdot 1}} = 28,6 \text{ м/с.}$$

Об'ємні рідинні витрати, газорідинної суміші та газу через пристрій:

$$Q_{liq3} = v_{liq3} \cdot S_3 = 28,6 \cdot 0,001256 = 0,036 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c3} = v_{c3} \cdot S_3 = 30,3 \cdot 0,001256 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas3} = Q_{c3} - Q_{liq3} = 0,038 - 0,036 = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові рідинні витрати, газу та газорідинної суміші через пристрій №3:

$$G_{liq3} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq3} = 1000 \cdot 0,036 = 36,0 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas3} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas3} = 1,29 \cdot 0,002 = 0,003 \text{ кг/с};$$

$$G_{c3} = G_{liq3} + G_{gas3} = 36,0 + 0,003 = 36,003 \text{ кг/с}.$$

Густина двофазного потоку:

$$\rho_{c3} = G_{c3}/Q_{c3} = 36,003/0,038 = 947,5 \text{ кг/м}^3.$$

Кінетична енергія газорідинного потоку:

$$\Delta E_3 = G_{c3} \cdot \frac{\vartheta_{c3}^2}{2} - G_{liq3} \cdot \frac{\vartheta_{liq3}^2}{2} = 36,003 \cdot \frac{30,3^2}{2} - 36,0 \cdot \frac{28,6^2}{2} = 1803,7 \text{ Дж.}$$

Питома поверхня контакту фаз в області кавітації:

$$F_3 = \frac{m_{c3} \cdot (\vartheta_{c3}^2 - \vartheta_{liq3}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,948 \cdot (30,3^2 - 28,6^2)}{2 \cdot 0,073} = 650,2 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення кавітації:

$$J_3 = \rho_{c3} \cdot g \cdot \Delta P_3 = 947,5 \cdot 9,81 \cdot (410120 - 2338,8) = 3,8 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3.$$

Коефіцієнт ефективності пристрою № 31

$$K_{e3} = J_3/F_3 = 3,8 \cdot 10^6/650,2 = 5,8 \text{ кДж/м}^2.$$

Таким чином, відомий кавітаційний пристрій також не є достатнім ефективним, оскільки при низьких питомих витратах енергії на кавітацію і відносно невеликій питомій поверхні контакту фаз коефіцієнт корисної дії є вищим.

Пристрій № 4 (Рис. 4.15) аналогічний попередньому, але замість одного має два кавітатори у вигляді циліндра, розміщених один над одним і рівновіддалених від стінки трубопроводу та один від одного. Початкові умови для моделювання такі ж, як і для інших пристроїв.

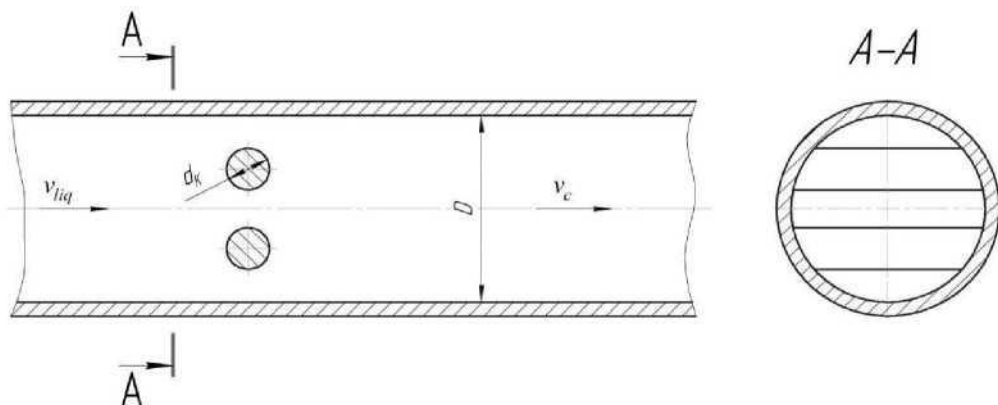


Рис. 4.15. Трубопровід з двома рівновіддаленими статичними циліндричними кавітаторами (пристрій № 4)

За рахунок поділу одного циліндричного кавітатора на два дещо зменшився опір проходженню рідини через апарат. Тому максимальний тиск потоку рідини перед кавітатором залишився рівним вхідному тиску (Рис. 4.17), а максимальна швидкість при обтіканні кавітаторів зросла на 0,2 м/с порівняно з попереднім пристроєм (рис. 4.16).

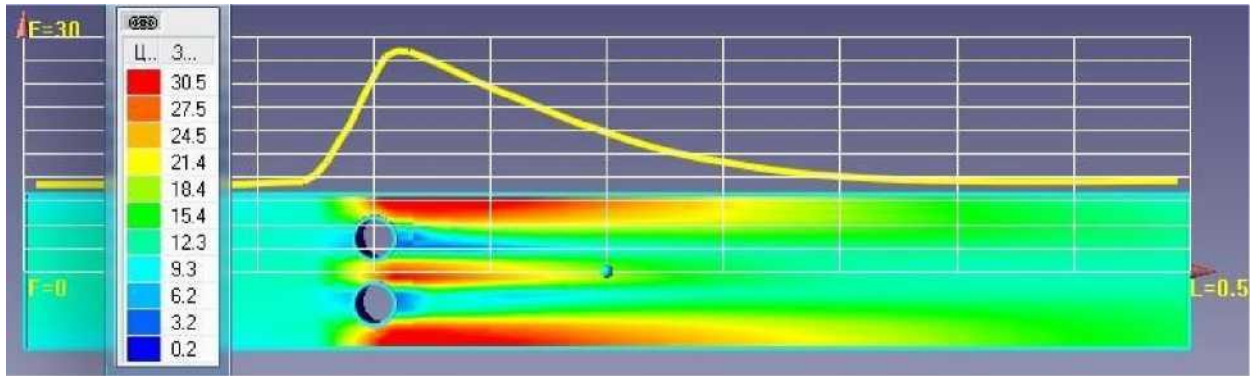


Рис. 4.16. Карта розподілу швидкостей пристрою №4

За кавітаторами з'являється область від'ємного тиску, значення якого на 0,02 МПа вище, ніж у попередньому пристрої, що свідчить про більший ступінь кавітації і можливе збільшення питомої поверхні контакту фаз.

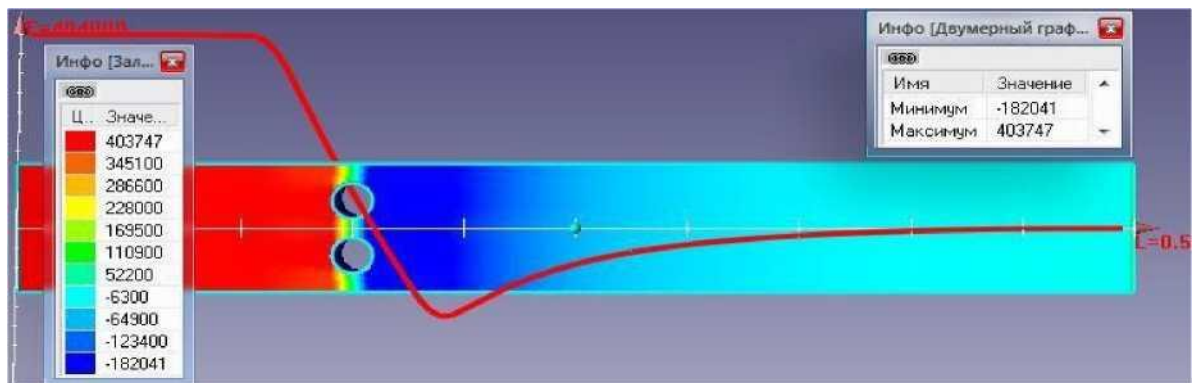


Рис. 4.17. Карта розподілу тиску в апараті № 4

Визначимо коефіцієнт кавітації для пристрою №4:

$$\chi_4 = \frac{2 \cdot (P_{ex4} - P_D)}{\rho_{liq} \cdot \vartheta_{c4}^2} = \frac{2 \cdot (403747 - 2338,8)}{1000 \cdot 30,5^2} = 0,86.$$

Коефіцієнт кавітації $\chi < 1$, що відповідає плівковій кавітації, як і в попередніх випадках.

Критична швидкість потоку рідини при $\chi = 1$:

$$\vartheta_{liq4} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{ex4} - P_D)}{\rho_{liq} \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (403747 - 2338,8)}{1000 \cdot 1}} = 28,3 \text{ м/с.}$$

У пристрої № 4 для досягнення критичної швидкості кавітації потрібен дещо нижчий тиск, ніж для пристрою № 3.

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через пристрій:

$$Q_{liq4} = \vartheta_{liq4} \cdot S_4 = 28,3 \cdot 0,001256 = 0,0355 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c4} = \vartheta_{c4} \cdot S_4 = 30,5 \cdot 0,001256 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas4} = Q_{c4} - Q_{liq4} = 0,038 - 0,0355 = 0,0025 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №4:

$$G_{liq4} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq4} = 1000 \cdot 0,0355 = 35,5 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas4} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas4} = 1,29 \cdot 0,0025 = 0,003 \text{ кг/с};$$

$$G_{c4} = G_{liq4} + G_{gas4} = 35,5 + 0,003 = 35,503 \text{ кг/с}.$$

Густина газорідинного потоку:

$$\rho_{c4} = G_{c4}/Q_{c4} = 35,503/0,038 = 934,3 \text{ кг/м}^3$$

Кінетична енергія кавітаційного потоку:

$$\Delta E_4 = G_{c4} \cdot \frac{\vartheta_{c4}^2}{2} - G_{liq4} \cdot \frac{\vartheta_{liq4}^2}{2} = 35,503 \cdot \frac{30,5^2}{2} - 35,5 \cdot \frac{28,3^2}{2} = 2297,5 \text{ Дж}.$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$\rho_{c4} = G_{c4}/Q_{c4} = 35,503/0,038 = 934,3 \text{ кг/м}^3.$$

Кінетична енергія кавітаційного потоку:

$$\Delta E_4 = G_{c4} \cdot \frac{\vartheta_{c4}^2}{2} - G_{liq4} \cdot \frac{\vartheta_{liq4}^2}{2} = 35,503 \cdot \frac{30,5^2}{2} - 35,5 \cdot \frac{28,3^2}{2} = 2297,5 \text{ Дж}.$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_4 = \frac{m_{c4} \cdot (\vartheta_{c4}^2 - \vartheta_{liq4}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,934 \cdot (30,5^2 - 28,3^2)}{2 \cdot 0,073} = 827,5 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення кавітації:

$$J_4 = \rho_{c4} \cdot g \cdot \Delta P_4 = 934,3 \cdot 9,81 \cdot (403747 - 2338,8) = 3,7 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3.$$

Коефіцієнт ефективності пристрою № 4:

$$K_{e4} = J_4/F_4 = 3,7 \cdot 10^6/827,5 = 4,5 \text{ кДж/м}^2.$$

Таким чином, поділ потоку рідини на кілька потоків за допомогою за тих самих умов сприяє збільшенню максимальної швидкості потоку, кінетичної енергії та питомої поверхні контакту фаз порівняно з безперервним потоком в апараті № 3, що є одним з визначальних факторів для розробки нового апарату.

Пристрій №4 є найбільш ефективним серед розглянутих пристроїв. Його

можна використовувати для насичення напоїв вуглекислим газом, якщо циліндричні кавітатори зробити порожнистими для подачі CO_2 з отворами для впорскування газу в потік, оскільки цей пристрій має меншу питому витрату енергії для створення кавітації за тих самих умов, що і в попередніх пристроях, але його рівень кавітації все ще недостатній для досягнення мети. Тому доцільно дослідити існуючий пристрій, який працює за принципом труби Вентурі для насичення напоїв вуглекислим газом, щоб порівняти його з більш ефективним пристроєм, що розробляється.

Труба Вентурі є відомим пристроєм для створення кавітаційного режиму течії середовища і конструктивно містить злиття, вузьку горловину з критичним перерізом та дифузор (рис. 4.18). Пристрій № 5, крім труби Вентурі, додатково має трубу з розтрубом для введення газу в потік рідини, яка розміщена коаксіально на вході в пристрій і одночасно виконує функцію статичного кавітатора. Таким чином, апарат № 5 має два послідовно встановлених кавітатора.

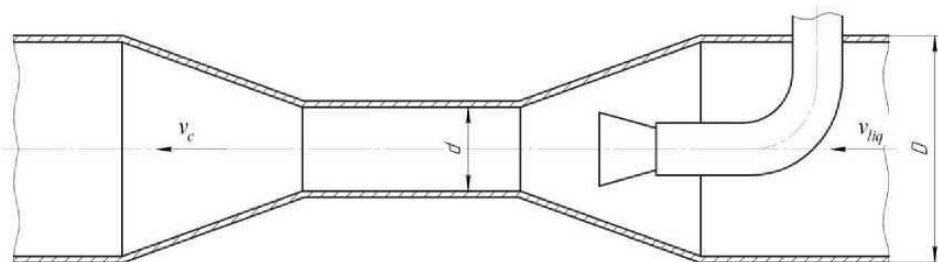


Рис. 4.18. Пристрій, що працює за принципом трубки Вентурі

Встановлення розтруба в трубі Вентурі сприяє розриву потоку рідини (рис. 4.19), в результаті чого виникають від'ємні тиски, максимальне значення яких становить 0,19 МПа (рис. 4.20). Саме в цей момент газ зі штуцера подається в рідину під час насичення напою.

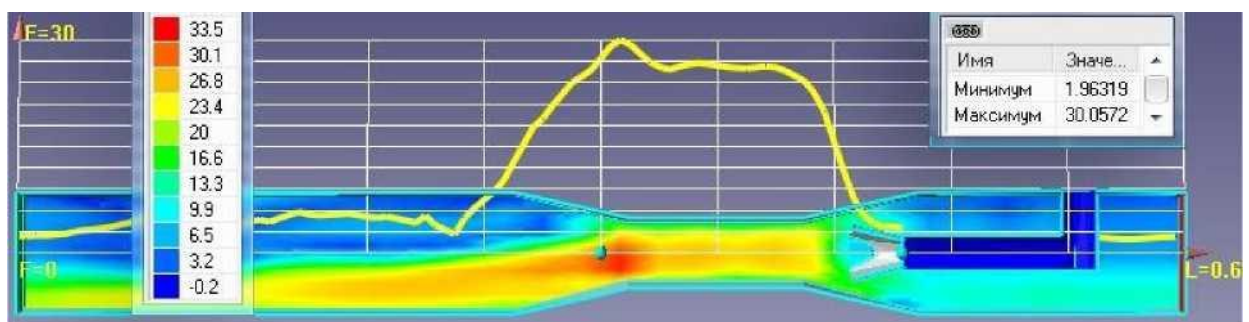


Рис. 4.19. Карта розподілу швидкостей пристрою №5

За тих самих початкових умов, що й попередні прилади, прилад №5 має майже 91 однакову максимальну швидкість (30,1 м/с) при проходженні через робочу камеру з двома кавітаторами. Незначне від'ємне значення швидкості спостерігається на виході з труби Вентурі, що свідчить про виникнення рециркуляційних вихорів у цій точці.

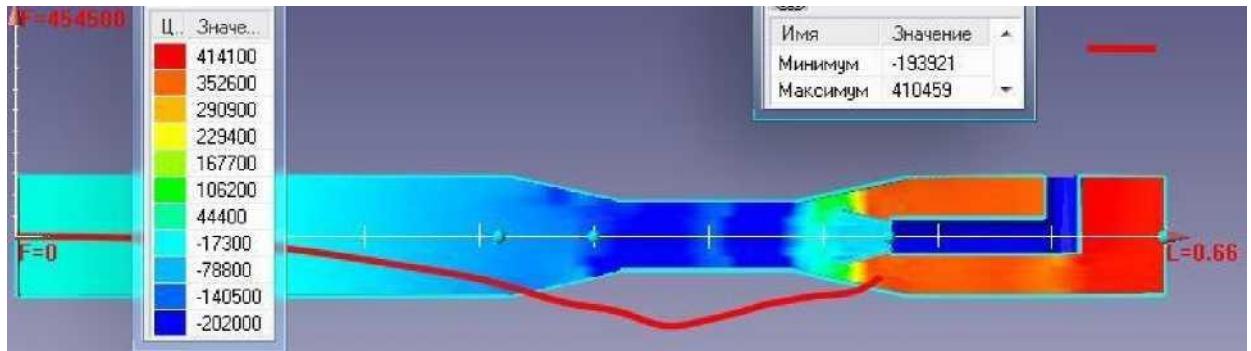


Рис. 4.20. Карта розподілу тиску в апараті № 5

Коефіцієнт кавітації цього пристрою:

$$\chi_5 = \frac{2 \cdot (P_{ex5} - P_D)}{\rho_{liq} \cdot v_{c5}^2} = \frac{2 \cdot (410459 - 2338,8)}{1000 \cdot 30,1^2} = 0,90.$$

Безрозмірне число $\chi \approx 1$, що свідчить про існування кавітаційної течії в цьому пристрої.

Критична швидкість потоку рідини при $\chi = 1$:

$$v_{liq5} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{ex5} - P_D)}{\rho_{liq} \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (410459 - 2338,8)}{1000 \cdot 1}} = 28,6 \text{ м/с.}$$

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через цей пристрій:

$$Q_{liq5} = v_{liq5} \cdot S_5 = 28,6 \cdot 0,785 \cdot 0,04^2 = 0,036 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c5} = v_{c5} \cdot S_5 = 30,1 \cdot 0,785 \cdot 0,04^2 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas5} = Q_{c5} - Q_{liq5} = 0,038 - 0,036 = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №5:

$$G_{liq5} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq5} = 1000 \cdot 0,036 = 36,0 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas5} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas5} = 1,29 \cdot 0,002 = 0,003 \text{ кг/с};$$

$$G_{c5} = G_{liq5} + G_{gas5} = 36,0 + 0,003 = 36,003 \text{ кг/с}.$$

Густина двофазного потоку:

$$\rho_{c5} = G_{c5}/Q_{c5} = 36,003/0,038 = 947,5 \text{ кг/м}^3.$$

Кінетична енергія газорідного потоку:

$$\Delta E_5 = G_{c5} \cdot \frac{\vartheta_{c5}^2}{2} - G_{liq5} \cdot \frac{\vartheta_{liq5}^2}{2} = 36,003 \cdot \frac{30,1^2}{2} - 36,0 \cdot \frac{28,6^2}{2} = 1586,3 \text{ Дж.}$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_5 = \frac{m_{c5} \cdot (\vartheta_{c5}^2 - \vartheta_{liq5}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,948 \cdot (30,1^2 - 28,6^2)}{2 \cdot 0,073} = 571,7 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Конкретна площа контакту фаз:

$$F_5 = \frac{m_{c5} \cdot (\vartheta_{c5}^2 - \vartheta_{liq5}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,948 \cdot (30,1^2 - 28,6^2)}{2 \cdot 0,073} = 571,7 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення кавітації:

$$J_5 = \rho_{c5} \cdot g \cdot \Delta P_5 = 947,5 \cdot 9,81 \cdot (410459 - 2338,8) = 3,8 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$$

Коефіцієнт корисної дії пристрою №5:

$$K_{e5} = J_5/F_5 = 3,8 \cdot 10^6/571,7 = 6,6 \text{ кДж/м}^2$$

Так, у порівнянні з попередніми апаратами, апарат №5 має цей тип пристроїв не виділяється своєю продуктивністю, а також має небажані рециркуляційні вихори і один з найгірших коефіцієнтів корисної дії. Тому використання такого пристрою для насичення напоїв є досить сумнівним, навіть якщо він відповідає мінімальним вимогам до якості насичення напоїв під час роботи.

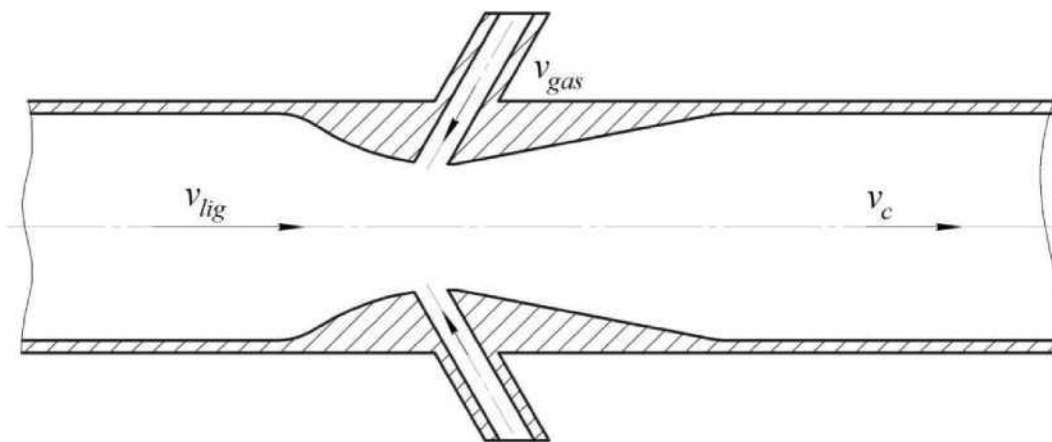


Рис. 4.21. Струминно-кавітаційний пристрій (пристрій №6)

Інший кавітаційний пристрій показаний на рис. 4.21. Конструкція

струминного пристрою також базується на трубі Вентурі, але збурення технологічного потоку відбувається за рахунок додаткових потоків рідини або газу, які рухаються під тиском через сопла назустріч технологічному потоку. Безпосередньо в робочій камері апарату №6 потоки змішуються і порушується безперервність основного потоку рідини. При цьому тиск досягає максимального від'ємного значення $0,19 \text{ МПа}$ (рис. 4.23). На виході з горловини в дифузорі апарату утворюється поле кавітаційних бульбашок, які з часом руйнуються, а газ з них розчиняється в рідині.

Максимальної швидкості $29,2 \text{ м/с}$ кавітаційний потік досягає в горловині апарату (рис. 4.22). На виході з пристрою швидкість потоку різко зменшується і з'являється великий рециркуляційний вихор, який заважає проходженню газорідного потоку і є негативним фактором.

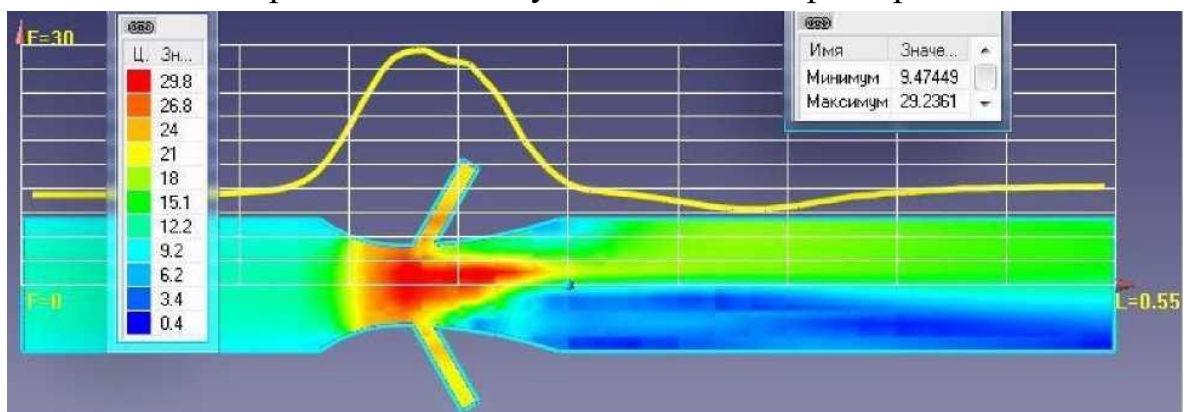


Рис. 4.22. Карта розподілу швидкостей пристрою №6

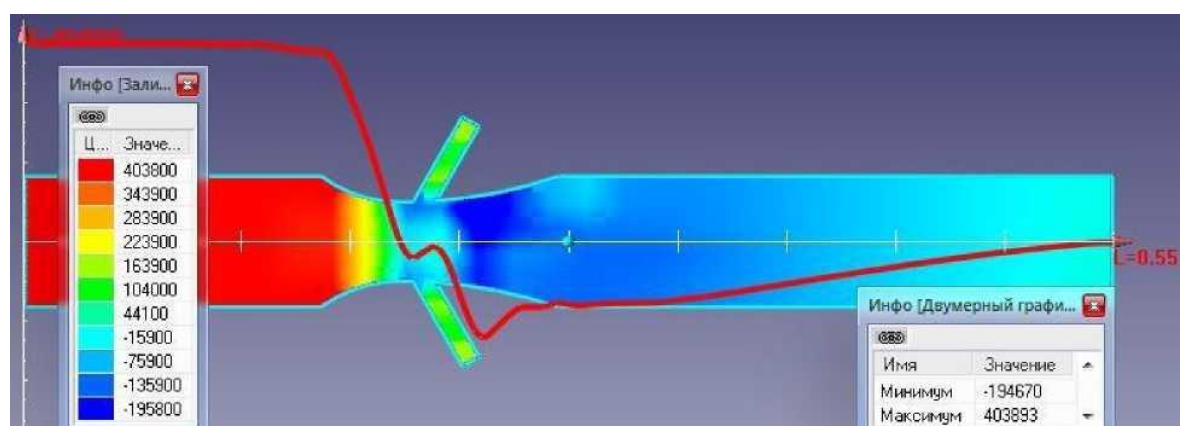


Рис. 4.23. Карта розподілу тиску в апараті № 6

Визначити коефіцієнт кавітації:

$$\chi_6 = \frac{2 \cdot (P_{\text{ex6}} - P_{\text{д}})}{\rho_{\text{liq}} \cdot \theta_{\text{с6}}^2} = \frac{2 \cdot (403893 - 2338,8)}{1000 \cdot 29,2^2} = 0,93.$$

Безрозмірне число $x < 1$, що підтверджує існування незначної кавітації.

Критична швидкість потоку рідини для досягнення кавітації:

$$v_{liq6} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{ex6} - P_D)}{\rho_{liq} \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (403893 - 2338,8)}{1000 \cdot 1}} = 28,3 \text{ м/с.}$$

Об'ємна витрата рідини, газорідинної суміші та газу через цей пристрій:

$$Q_{liq6} = v_{liq6} \cdot S_6 = 28,3 \cdot 0,001256 = 0,0355 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c6} = v_{c6} \cdot S_6 = 29,2 \cdot 0,001256 = 0,0366 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas6} = Q_{c6} - Q_{liq6} = 0,0366 - 0,0355 = 0,0011 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №6:

$$G_{liq6} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq6} = 1000 \cdot 0,0355 = 35,5 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas6} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas6} = 1,29 \cdot 0,0011 = 0,0014 \text{ кг/с};$$

$$G_{c6} = G_{liq6} + G_{gas6} = 35,5 + 0,0014 = 35,501 \text{ кг/с}.$$

Густина газорідинного потоку:

$$\rho_{c6} = G_{c6}/Q_{c6} = 35,501/0,0366 = 970,0 \text{ кг/м}^3.$$

Кінетична енергія кавітаційного потоку:

$$\Delta E_6 = G_{c6} \cdot \frac{v_{c6}^2}{2} - G_{liq6} \cdot \frac{v_{liq6}^2}{2} = 35,501 \cdot \frac{29,2^2}{2} - 35,5 \cdot \frac{28,3^2}{2} = 920 \text{ Дж}.$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_6 = \frac{m_{c6} \cdot (v_{c6}^2 - v_{liq6}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,970 \cdot (29,2^2 - 28,3^2)}{2 \cdot 0,073} = 343,8 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення кавітації:

$$J_6 = \rho_{c6} \cdot g \Delta P_6 = 970,0 \cdot 9,81 \cdot (403893 - 2338,8) = 3,8 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$K_{c6} = J_6 / F_6 = 3,8 \cdot 10^6 / 343,8 = 11,1 \text{ кДж/м}^2$$

Пристрій №6 має найгірший коефіцієнт корисної дії серед досліджуваних пристроїв.

Пристрій №7 являє собою конічно-циліндричну вставку, що

розміщується всередині трубопроводу (Рис. 4.24). Вставка має внутрішній циліндричний отвір з фаскою та зовнішню конічно-циліндричну поверхню. Кавітатор розділяє загальний потік рідини на два потоки: внутрішній, який проходить через отвір, що звужується, і зовнішній, який проходить в зазорі між зовнішньою поверхнею кавітатора і внутрішньою поверхнею трубопроводу.

Оптимальними кутами звуження внутрішнього отвору кавітатора $\alpha = 5...10^\circ$ і розширення зовнішньої поверхні $\beta = 5...15^\circ$, які призначені для локального збільшення швидкості потоку рідини при її проходженні через кавітатор. Завдяки такій конструкції (рис. 4.25) максимальна швидкість потоку рідини досягає $31,0 \text{ м/с}$.

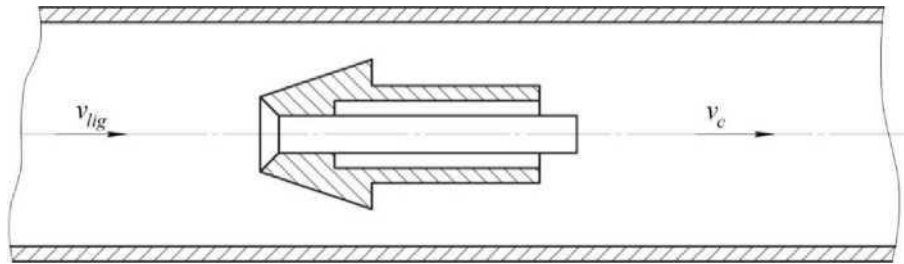


Рис. 4.24. Апарат з конічно-циліндричним кавітатором (апарат № 7)

На виході з кавітатора між двома потоками, розділеними товщиною стінки кавітатора, утворюється область зниженого тиску з певним критичним значенням, тобто виникає прохідний перетин, величина якого є найбільшою серед розглянутих апаратів і становить $0,22 \text{ МПа}$ (рис. 4.26). Саме тут виникає явище кавітації внаслідок розрідження. У точці розподілу потоку доцільно впорскуємо CO_2 , щоб наситити рідину вуглекислим газом.

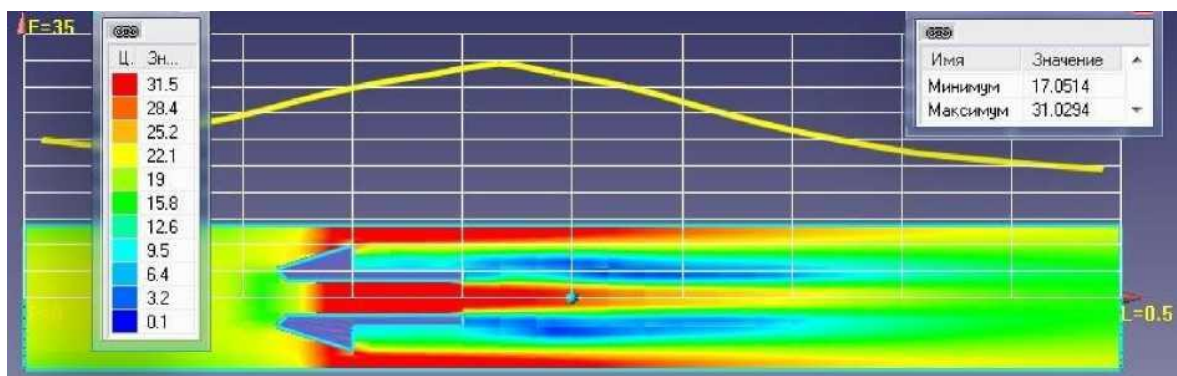


Рис. 4.25. Карта розподілу швидкостей пристрою №7

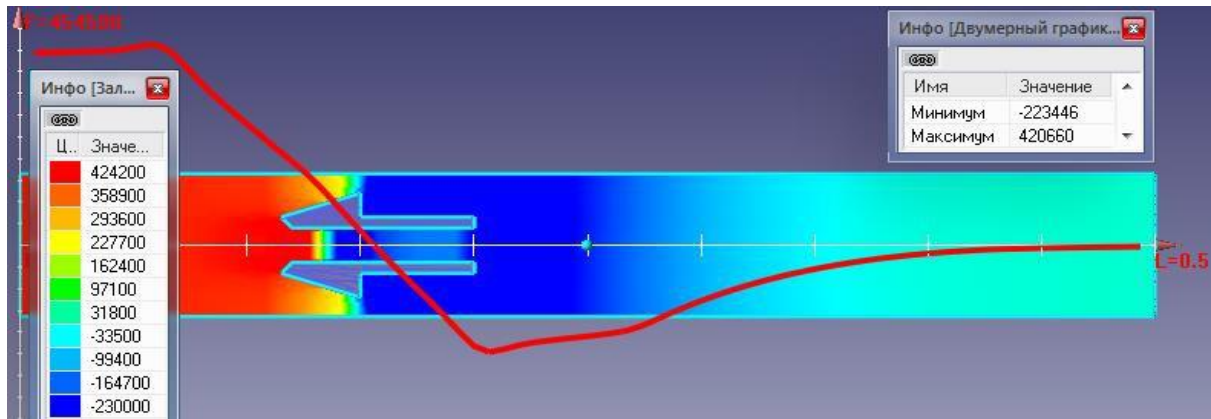


Рис. 4.26. Розподіл тиску пристрою № 7

При безрозмірному числі $x < 1$ маємо режим плівкової кавітації.

Критична швидкість течії рідини при $x = 1$:

$$\chi_7 = \frac{2 \cdot (P_{ex7} - P_d)}{\rho_{liq} \cdot \vartheta_{c7}^2} = \frac{2 \cdot (420660 - 2338,8)}{1000 \cdot 31,0^2} = 0,87.$$

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через пристрій:

$$Q_{liq7} = \vartheta_{liq7} \cdot S_7 = 28,9 \cdot 0,001256 = 0,036 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c7} = \vartheta_{c7} \cdot S_7 = 31,0 \cdot 0,001256 = 0,039 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas7} = Q_{c7} - Q_{liq7} = 0,039 - 0,036 = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №7:

$$G_{liq7} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq7} = 1000 \cdot 0,036 = 36,0 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas7} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas7} = 1,29 \cdot 0,003 = 0,004 \text{ кг/с};$$

$$G_{c7} = G_{liq7} + G_{gas7} = 36,0 + 0,004 = 36,004 \text{ кг/с}.$$

Густина двофазного потоку:

$$\rho_{c7} = G_{c7}/Q_{c7} = 36,004/0,039 = 923,2 \text{ кг/м}^3.$$

Кінетична енергія газорідинного потоку:

$$\Delta E_7 = G_{c7} \cdot \frac{\vartheta_{c7}^2}{2} - G_{liq7} \cdot \frac{\vartheta_{liq7}^2}{2} = 36,004 \cdot \frac{31,0^2}{2} - 36,0 \cdot \frac{28,9^2}{2} = 2266,1 \text{ Дж}.$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_7 = \frac{m_{c7} \cdot (\vartheta_{c7}^2 - \vartheta_{liq7}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,923 \cdot (31,0^2 - 28,9^2)}{2 \cdot 0,073} = 795,2 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення кавітації:

$$J_7 = \rho_{c7} \cdot g \cdot \Delta P_7 = 923,2 \cdot 9,81 \cdot (420660 - 2338,8) = 3,8 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3$$

Коефіцієнт корисної дії пристрою - 7:

$$K_{c7} = J_7/F_7 = 3,8 \cdot 10^6/795,2 = 4,8 \text{ кДж/м}^2.$$

В даному випадку вставка є статичним кавітатором МПК, що сприяє виникненню кавітації. Тому подальше моделювання та розрахунки буде пов'язано з використанням кавітатора у вигляді конічної вставки, оскільки в цьому випадку явно відбувається явище кавітації, а питома площа поверхні контакту фаз на виході з кавітатора має одне з найбільших значень у порівнянні з попередніми пристроями. Але для досягнення такого ефекту потрібні значні питомі витрати енергії.

Тому найкращим варіантом буде наступний пристрій, який поєднує в собі позитивні рішення попередніх пристроїв: конічно-циліндрична вставка, розділення безперервного потоку рідини на декілька тощо. На рис. 4.27 зображено пристрій № 8 зі статичним кавітатором у вигляді конічної циліндричної вставки з внутрішнім отвором для розділення потоку рідини на внутрішній і зовнішній. На зовнішній поверхні циліндричної частини додатково розташовані лопаті (6 шт.) під кутом 45° до напрямку потоку рідини, які призначені для закручування зовнішнього потоку рідини навколо своєї осі після проходження кавітатора і додаткового збурення потоку.

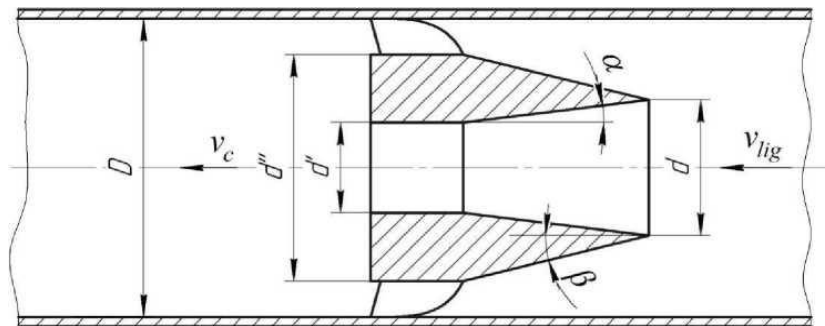


Рис. 4.27. Розроблена конструкція МРКС (пристрій № 8)

З графіка розподілу тиску рідини (рис. 4.29) випливає, що її тиск на вході в кавітатор збільшується на $0,01$ МПа порівняно з тиском на вході ($0,4$ МПа), а за кавітатором на всій ділянці трубопроводу на відстані близько $0,5$ м виникає розрідження, далі тиск поступово зростає. Саме така конструкція гідродинамічного пристрою призводить до стабільної кавітації (значення тиску в точці розриву потоку рідини досягає - $0,3$ МПа) та інтенсивного перемішування газорідного потоку, на відміну від попередніх версій кавітаційних пристроїв. Тобто, в даному випадку створюється значна

кавітаційна область.

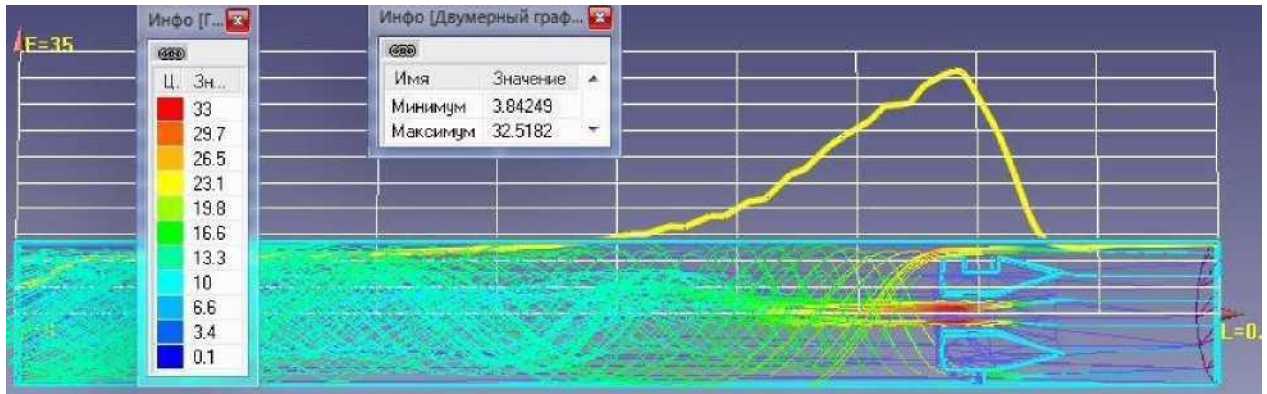


Рис. 4.28. Карта розподілу швидкостей пристрою №8

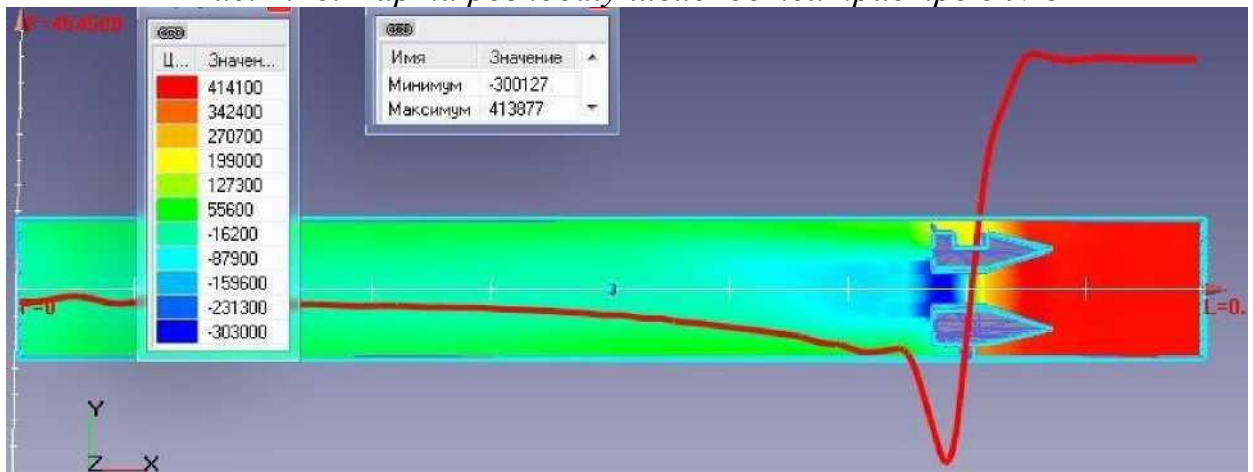


Рис. 4.29. Карта розподілу тиску в апараті № 8

Коефіцієнт кавітації:

$$\chi_{\text{в}} = \frac{2 \cdot (P_{\text{exв}} - P_{\text{Д}})}{\rho_{\text{liq}} \cdot \vartheta_{\text{св}}^2} = \frac{2 \cdot (413877 - 2338,8)}{1000 \cdot 32,5^2} = 0,78.$$

Безрозмірне число $\chi < 1$, в приладі №8 відбувається кавітація плівки.

Критична швидкість потоку рідини до виникнення кавітації:

$$\vartheta_{\text{liqв}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{\text{exв}} - P_{\text{Д}})}{\rho_{\text{liq}} \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (413877 - 2338,8)}{1000 \cdot 1}} = 28,6 \text{ м/с.}$$

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через пристрій:

$$Q_{\text{liqв}} = \vartheta_{\text{liqв}} \cdot S_{\text{в}} = 28,6 \cdot 0,001256 = 0,036 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{св}} = \vartheta_{\text{св}} \cdot S_{\text{в}} = 32,5 \cdot 0,001256 = 0,040 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{gasв}} = Q_{\text{св}} - Q_{\text{liqв}} = 0,040 - 0,036 = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №8:

$$G_{\text{liqв}} = \rho_{\text{liq}} \cdot Q_{\text{liqв}} = 1000 \cdot 0,036 = 36,0 \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{gasв}} = \rho_{\text{gas}} \cdot Q_{\text{gasв}} = 1,29 \cdot 0,004 = 0,005 \text{ кг/с};$$

$$G_{cv} = G_{liq} + G_{gas} = 36,0 + 0,005 = 36,005 \text{ кг/с.}$$

Густина газорідного потоку:

$$\rho_{cv} = G_{cv}/Q_{cv} = 36,005/0,04 = 900,1 \text{ кг/м}^3.$$

Кінетична енергія кавітаційного потоку:

$$\Delta E_8 = G_{cv} \cdot \frac{v_{cv}^2}{2} - G_{liq} \cdot \frac{v_{liq}^2}{2} = 36,005 \cdot \frac{32,5^2}{2} - 36,0 \cdot \frac{28,6^2}{2} = 4291,9 \text{ Дж.}$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_8 = \frac{m_{cv} \cdot (v_{cv}^2 - v_{liq}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,9 \cdot (32,5^2 - 28,6^2)}{2 \cdot 0,073} = 1468,9 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на генерацію кавітаційного потоку:

$$J_8 = \rho_{cv} \cdot g \cdot \Delta P_8 = 900,1 \cdot 9,81 \cdot (413877 - 2338,8) = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$$

Коефіцієнт корисної дії розробленого пристрою становить 8:

$$K_{e8} = J_8/F_8 = 3,6 \cdot 10^6/1468,9 = 2,5 \text{ кДж/м}^2,$$

Таким чином, розрахунки показали, що пристрій №8 має найкращий коефіцієнт кавітації, найбільша питома поверхня контакту фаз при мінімальних питомих витратах енергії на кавітацію та питомій поверхні контакту фаз, що свідчить про максимальну ефективність даного пристрою в порівнянні з іншими пристроями.

Якщо в порожнину через кавітатор, біля якого відбувається кавітація, ввести атмосферне повітря або інший газ, то розмір порожнини збільшиться. При цьому встановиться течія, яка буде відповідати кавітаційному числу, утвореному не тиском насиченої водяної пари, а тиском газу всередині порожнини. Оскільки σ , може бути значно більшим за σ_{liq} , то за таких умов можна отримати течії, що відповідають більшим значенням σ , тобто з глибоким ступенем розвитку кавітації, при менших швидкостях набігаючого струменя. Так, при русі тіла у воді зі швидкістю $6 \dots 10 \text{ м/с}$ можна отримати його що відповідає швидкостям до 100 м/с . Кавітаційні потоки, що виникають при подачі газу всередину порожнини називаються штучною кавітацією (суперкавітацією).

Якщо в якості газу для створення штучної кавітації використовувати CO_2 , то за кавітатором з'являться порожнини, заповнені вуглекислим газом,

які згодом розпадуться на бульбашки CO_2 . Потім вони будуть зіштовхуватися з утворенням кумулятивних мікроструменів і мікрогідроударів, що сприятиме перемішуванню і гомогенізації газорідного потоку. Циркуляційні потоки рідини, що утворюються при цьому, будуть постійно оновлювати поверхню контакту рідкої і газової фаз, що інтенсифікує процес насичення. Це створює дуже міцний зв'язок між системою рідина-вуглекислий газ.

Діоксид вуглецю доцільно вводити в потік рідини в точці найбільшого розрідження, яка утворюється відразу за кавітатором, тобто в точці зближення внутрішнього і зовнішнього потоків (рис. 4.29). Для того, щоб мати можливість вводити CO_2 в потік рідини в цій точці, на кінці кавітатора встановлені 4 змінні насадки, з'єднані з внутрішніми каналами порожнистого кавітатора для подачі CO_2 .

На рис. 4.30 показано розроблений кавітаційний пристрій № 8, який використовується як частина зони насичення СЗСС.

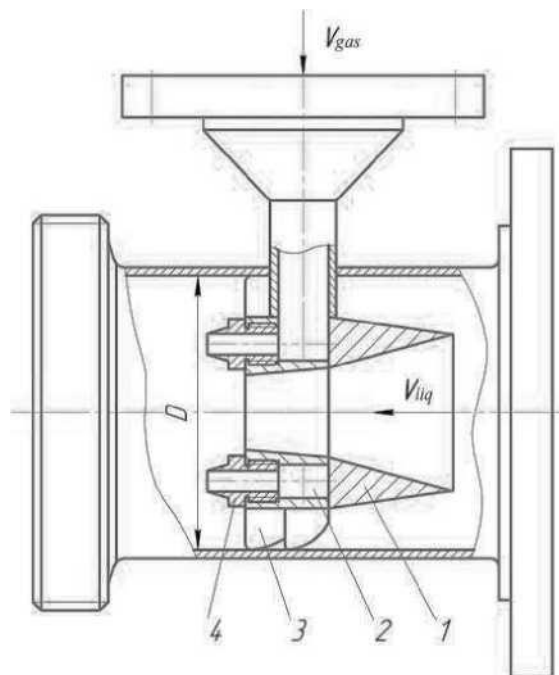


Рис. 4.30. Гідродинамічний кавітаційний пристрій

Він працює наступним чином При проходженні рідини через кавітаційний пристрій внутрішній потік рідини має більшу лінійну швидкість за рахунок звуження отвору всередині статичного кавітатора і захоплює

вуглекислий газ, який вводиться в зону низького тиску потоку рідини через форсунки, рівномірно розташовані по колу з торця кавітатора 1 форсунки 4. CO₂ подається до сопел через систему внутрішніх каналів 2 кавітатора. На зовнішній поверхні кавітатора по периметру кола закріплені лопаті 3 під певним кутом до напрямку потоку для закручування зовнішнього потоку рідини, що сприяє додатковому перемішуванню і кавітації рідини з газом за кавітатором. На виході з кавітатора виникають кавітаційні порожнини, заповнені вуглекислим газом. Вони розпадаються на бульбашки і закриваються, а завдяки мікрогідролічним ударам, що виникають при закритті бульбашок, рідина міцно зв'язується з CO₂.

Максимально можлива площа поверхні контакту між рідкою і газовою фазами для обох пристроїв оцінюється за формулою:

$$\frac{m_{liq} \cdot v_{liq}^2}{2} + \frac{m_{gas} \cdot v_{gas}^2}{2} = \frac{m_c \cdot v_{c.сеп.}^2}{2} = F \cdot \sigma_{liq},$$

де m_{liq} - питома вага рідини в газорідинній суміші, кг/дм³; v_{liq} - середня швидкість потоку рідини, м/с; m_{gas} - питома вага газу в газорідинній суміші, кг/дм³; v_{gas} - середня швидкість потоку газу, м/с; $m_c = m_{liq} + m_{gas}$ — питома густина газорідинної суміші, кг/дм³; $v_{c.сеп.}$ - середня швидкість газорідинної суміші в робочій камері кавітатора, м/с; F - питома поверхня контакту рідкої та газової фаз, м²/дм³; σ_{liq} - поверхневий натяг рідини на межі з повітрям, Н/м.

Формула для визначення питомої поверхні контакту між рідкою і газовою фазами виглядає наступним чином:

$$F = \frac{m_c \cdot v_{c.сеп.}^2}{2 \cdot \sigma_{liq}}$$

Карти і графіки розподілу швидкостей і тиску при взаємодії рідини і газу в апараті № 5 показані на Рис. 4.31 і 3.32.

Як видно з графіка на рис. 4.31, максимальна швидкість входу газу в рідину в апараті №5 становить 74,2 м/с. Оскільки розмір області зниженого

тиску незначний, швидкість газу швидко гаситься потоком рідини. Середня сумарна швидкість газорідинного потоку в точці входу газу в рідину становить 27,5 м/с і поступово зменшується до 10 м/с.

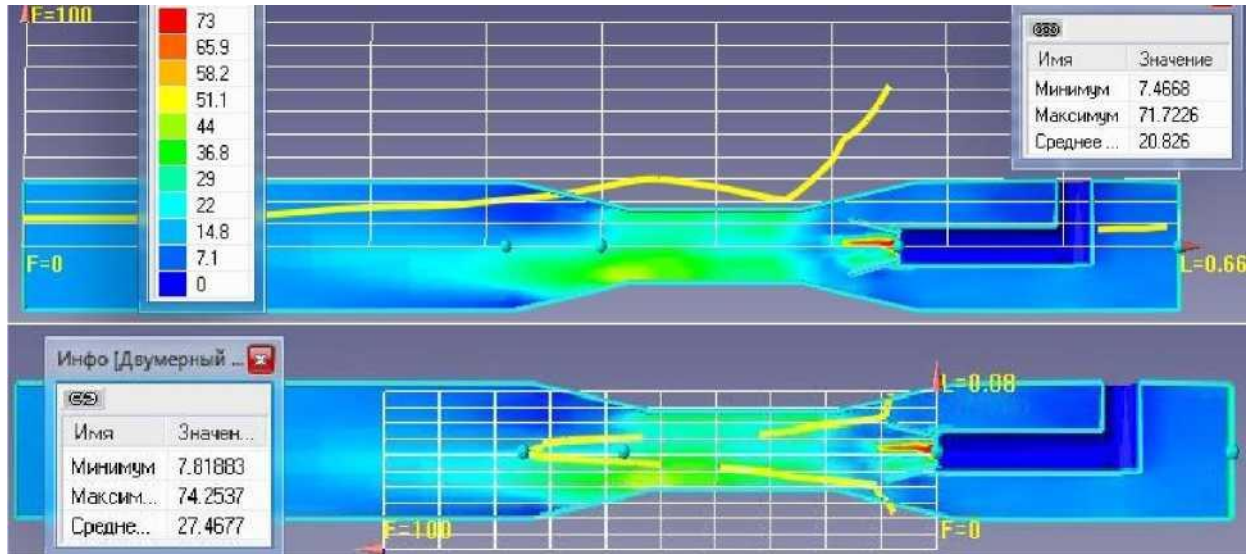


Рисунок 4.31. Карта витрат рідини та газу через пристрій №5

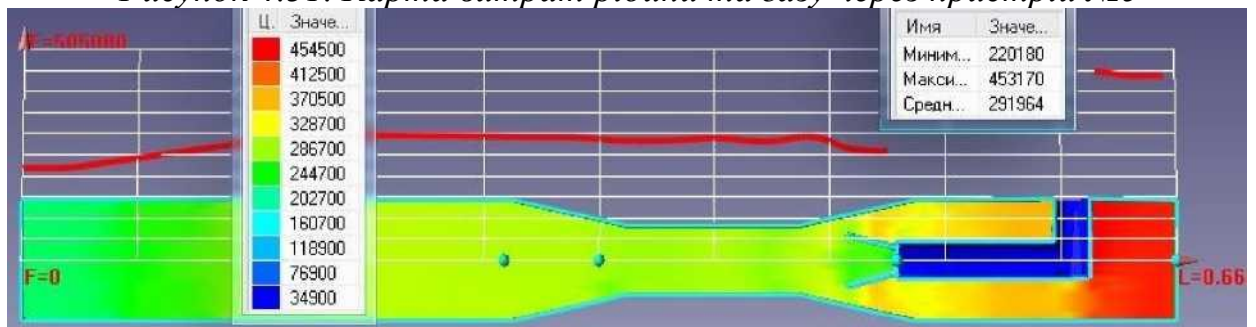


Рис. 4.32. Карта тиску потоку рідини та газу через пристрій № 5

Визначимо коефіцієнт кавітації та питому поверхню контакту фаз для існуючого пристрою, що працює за принципом трубки Вентурі:

$$\chi_{5+} = \frac{2 \cdot (P_{ex5+} - P_{k5+})}{\rho_{liq} \cdot v_{с.сеп5+}^2} = \frac{2 \cdot (453170 - 252500)}{1000 \cdot 27,5^2} = 0,53$$

Безрозмірне число $\chi < 1$, а отже, маємо плівкову кавітацію.

Критична швидкість потоку рідини при $\chi = 1$:

$$v_{liq5+} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{ex5+} - P_{k5+})}{\rho_{liq} \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (453170 - 252500)}{1000 \cdot 1}} = 20,0 \text{ м/с.}$$

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через пристрій №5 в процесі насичення:

$$Q_{liq5+} = \vartheta_{liq5+} \cdot S_5 = 20,0 \cdot 0,001256 = 0,025 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{c5+} = \vartheta_{c5+} \cdot S_5 = 27,5 \cdot 0,001256 = 0,035 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{gas5+} = Q_{c5+} - Q_{liq5+} = 0,035 - 0,025 = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №5:

$$G_{liq5+} = \rho_{liq} \cdot Q_{liq5+} = 1000 \cdot 0,025 = 25,0 \text{ кг/с};$$

$$G_{gas5+} = \rho_{gas} \cdot Q_{gas5+} = 8,2 \cdot 0,01 = 0,08 \text{ кг/с};$$

$$G_{c5+} = G_{liq5+} + G_{gas5+} = 25,0 + 0,08 = 25,08 \text{ кг/с}.$$

Густина кавітаційного потоку:

$$\rho_{c5+} = G_{c5+}/Q_{c5+} = 25,08/0,035 = 716,6 \text{ кг/м}^3.$$

Кінетична енергія газорідинного потоку:

$$\Delta E_{5+} = G_{c5+} \cdot \frac{\vartheta_{c5+}^2}{2} - G_{liq5+} \cdot \frac{\vartheta_{liq5+}^2}{2} = 25,08 \cdot \frac{27,5^2}{2} - 25,0 \cdot \frac{20,0^2}{2} = 4484 \text{ Дж}$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_{5+} = \frac{m_{c5+} \cdot (\vartheta_{c5+}^2 - \vartheta_{liq5+}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,717 \cdot (27,5^2 - 20,0^2)}{2 \cdot 0,073} = 1750 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення штучної кавітації:

$$J_{5+} = \rho_{c5+} \cdot g \cdot \Delta P_{5+} = 716,6 \cdot 9,81 \cdot (453170 - 252500) = 1,4 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3.$$

Ефективність існуючого пристрою:

$$K_{e5+} = J_{5+}/F_{5+} = 1,4 \cdot 10^6/1750 = 0,8 \text{ кДж/м}^2.$$

Таким чином, при штучному введенні газу в потік рідини кінетична енергія і площа поверхні контакту фаз для цього пристрою збільшуються у 3 рази, а витрати енергії на одиницю площі відновленої поверхні зменшуються на 8-раз.

На рис. 4.33...4.35 показано взаємодію рідини і газу в кавітаційному пристрої № 8.

На відміну від попередньої версії, де область низького тиску незначна і швидкість газового потоку досить швидко гаситься, в цьому пристрої область низького тиску дещо більша, і газовий потік з сопел потрапляє в рідину з максимальною швидкістю 83,4 м/с при тих же початкових умовах. Середня повна швидкість потоку газорідинної суміші після взаємодії становить 38,1

м/с (рис. 4.33).

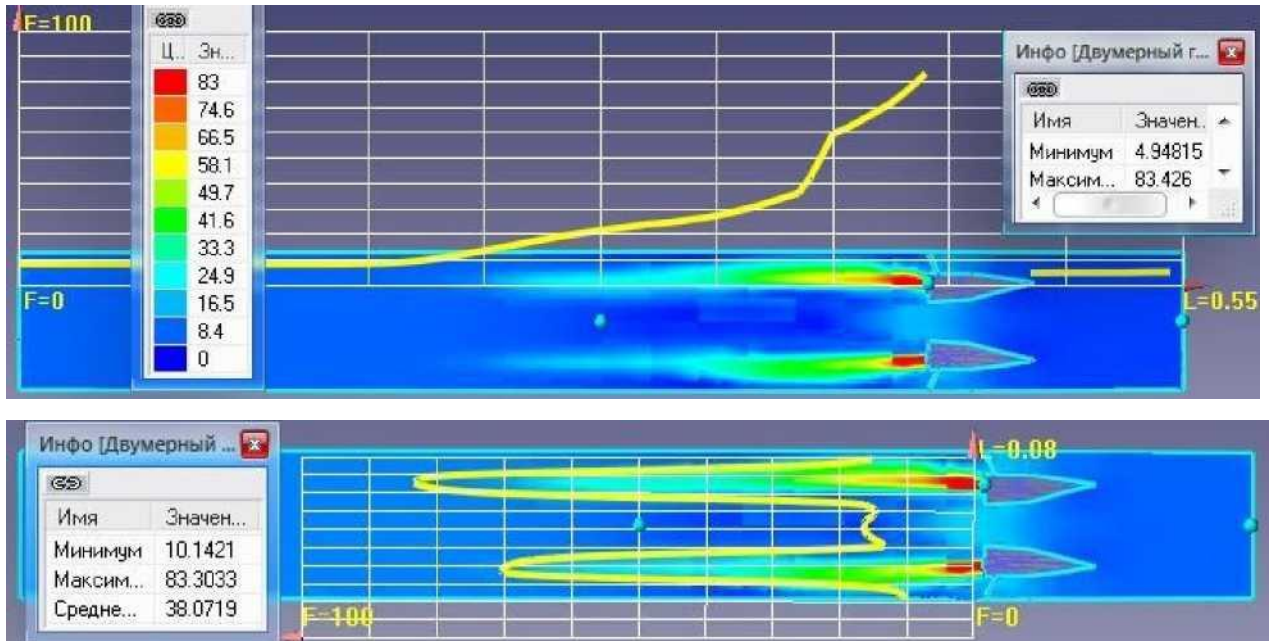


Рис. 4.33. Карта швидкості проходження рідини та газу через пр. № 8

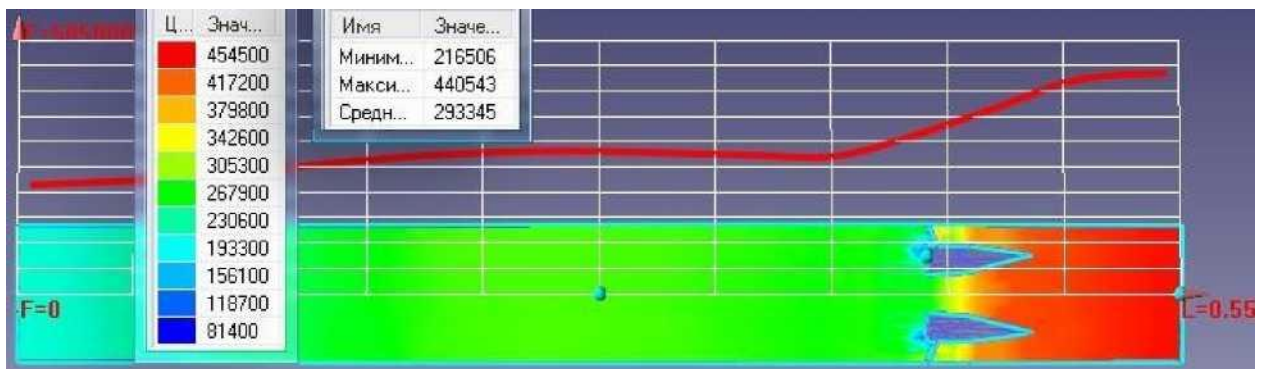


Рис. 4.34. Карта тиску потоку рідини та газу через пристрій № 8

Коефіцієнт кавітації:

$$\chi_{\text{в+}} = \frac{2 \cdot (P_{\text{схв+}} - P_{\text{кв+}})}{\rho_{\text{лїq}} \cdot v_{\text{срєв+}}^2} = \frac{2 \cdot (440543 - 262600)}{1000 \cdot 38,1^2} = 0,24.$$

Безрозмірне число $\chi \ll 1$, отже, ми маємо справу з суперкавітацією.

Критична швидкість потоку рідини для виникнення кавітації:

$$v_{\text{лїqкв+}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{\text{схв+}} - P_{\text{кв+}})}{\rho_{\text{лїq}} \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (440543 - 262600)}{1000 \cdot 1}} = 19,0 \text{ м/с.}$$

Об'ємні витрати рідини, газорідинної суміші та газу через пристрій:

$$Q_{\text{лїqкв+}} = v_{\text{лїqкв+}} \cdot S_{\text{в}} = 19 \cdot 0,001256 = 0,024 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{св+}} = v_{\text{св+}} \cdot S_{\text{в}} = 38,1 \cdot 0,001256 = 0,048 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{газсв+}} = Q_{\text{св+}} - Q_{\text{лїqкв+}} = 0,048 - 0,024 = 0,024 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масові витрати рідини, газу та газорідинної суміші через пристрій №8:

$$G_{liqв+} = \rho_{liq} \cdot Q_{liqв+} = 1000 \cdot 0,024 = 24,0 \text{ кг/с};$$

$$G_{gasв+} = \rho_{gas} \cdot Q_{gasв+} = 8,2 \cdot 0,024 = 0,2 \text{ кг/с};$$

$$G_{св+} = G_{liqв+} + G_{gasв+} = 24,0 + 0,2 = 24,2 \text{ кг/с}.$$

Густина газорідинного потоку:

$$\rho_{св+} = G_{св+} / Q_{св+} = 24,2 / 0,048 = 504,2 \text{ кг/м}^3.$$

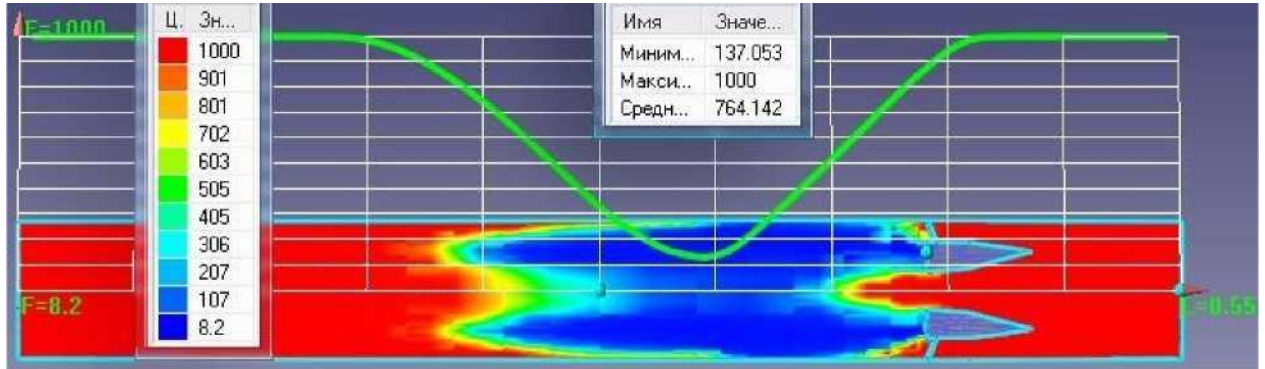


Рис. 4.35. Карта густини рідини та газу, що проходять через пристрій №8

Кінетична енергія кавітаційного потоку:

$$\Delta E_{в+} = G_{св+} \cdot \frac{\vartheta_{св+}^2}{2} - G_{liqв+} \cdot \frac{\vartheta_{liqв+}^2}{2} = 24,2 \cdot \frac{38,1^2}{2} - 24,0 \cdot \frac{19^2}{2} = 13233 \text{ Дж}$$

Питома поверхня контакту фаз:

$$F_{в+} = \frac{m_{св+} \cdot (\vartheta_{св+}^2 - \vartheta_{liqв+}^2)}{2 \cdot \sigma_{liq}} = \frac{0,504 \cdot (38,1^2 - 19^2)}{2 \cdot 0,073} = 3765,8 \text{ м}^2/\text{дм}^3.$$

Питомі витрати енергії на створення штучної кавітації:

$$J_{в+} = \rho_{св+} \cdot g \cdot \Delta P_{в+} = 504,2 \cdot 9,81 \cdot (440543 - 262600) = 0,9 \cdot 10^9 \text{ Дж/м}^3.$$

Ефективність існуючого пристрою:

$$K_{ев+} = J_{в+} / F_{в+} = 0,9 \cdot 10^6 / 3765,8 = 0,3 \text{ кДж/м}^2.$$

Проведені розрахунки показують, що введення газу в потік рідини зменшує питомі витрати енергії на створення кавітації та сприяє виникненню суперкавітації. Значну питому поверхню контакту фаз розробленого пристрою, порівняно з площею поверхні контакту фаз існуючого пристрою, що працює за принципом трубки Вентурі, можна пояснити тим, що при виникненні суперкавітації в пристрої № 8 весь потік рідини перетворюється на значну кількість дрібних бульбашок, сумарна площа яких більша, ніж

площа порожнини при плівковій кавітації в пристрої № 5.

Таким чином, використання пристрою № 8 для насичення напоїв діоксидом вуглецю є більш ефективним, ніж використання існуючого пристрою № 5 з тією ж метою, що підтверджує значну інтенсифікацію процесу насичення в розробленому пристрої порівняно з існуючим.

Результати розрахунків для кожного пристрою наведено у таблиці 4.1.

Аналіз науково-технічної інформації та дослідження гідродинамічних умов (в першу чергу швидкості та тиску газорідного потоку) показали, що вони є одним з важливих критеріїв, які визначають ефективність впливу гідродинамічної кавітації на оброблюване середовище.

Регулюючи і підтримуючи певне співвідношення швидкостей в пристрої, можна досягти певних умов для спливання кавітаційних бульбашок і локалізувати кавітаційне поле в об'ємі проточної робочої камери пристрою. У цьому випадку середовище проходить через "сітку", утворену локалізованим кавітаційним полем і піддається інтенсивній ударно-хвильовій дії. Це дозволяє досягти високої якості обробки носіїв.

Подальші експерименти спрямовані на дослідження впливу різних параметрів процесу насичення напоїв на масову концентрацію CO₂ в них з метою подальшої інтенсифікації процесу.

Табл. 4.1

№ пристрою	X	$F, \text{ м}^2/\text{кг}$	$J, \text{ ГДж}/\text{м}^3$	$\Delta E, \text{ Дж}$	$K, \text{ кДж}/\text{м}^2$
Пристрій № 1	0,87	749,8	3,7	2081,7	4,9
Пристрій № 2	0,88	711,4	4,0	2026,1	5,6
Пристрій № 3	0,89	650,2	3,8	1803,7	5,8
Пристрій № 4	0,86	827,5	3,7	2297,5	4,5
<i>Пристрій №5</i>	<i>0,90</i>	<i>571,7</i>	<i>3,8</i>	<i>1586,3</i>	<i>6,6</i>
Пристрій № 6	0,93	343,8	3,8	920,0	11,1
Пристрій № 7	0,87	795,2	3,8	2266,1	4,8
<i>Пристрій №8</i>	<i>0,78</i>	<i>1468,9</i>	<i>3,6</i>	<i>4291,9</i>	<i>2,5</i>
<i>Пристрій № 5+</i>	<i>0,53</i>	<i>1750,0</i>	<i>1,4</i>	<i>4484</i>	<i>0,8</i>
<i>Пристрій №8+</i>	<i>0,24</i>	<i>3765,8</i>	<i>0,9</i>	<i>13233</i>	<i>0,3</i>

5. Виробнича санітарія та безпечні прийоми праці

Мішки з цукром-піском акуратно розпорюють по шву і цукор засипають у бункер, не допускаючи його розпилення. Бочки, бідони і бутлі в разі поверхневого забруднення, обмивають водою і вибраковують розбиті та тріснуті. У міру звільнення порожню тару виносять із виробничого приміщення.

Перед направленням у виробництво воду і сиропи охолоджують.

Діоксид вуглецю з балонів до карбонізаторів і до фасувально-закупорочних машин подають через редуційний пристрій із манометром і запобіжним клапаном, установленим на штуцері балона. Балони з діоксидом вуглецю мають бути прикріплені хомутами до стіни або до спеціальної стійки.

Балони з CO₂, зберігаються на газобалонній станції, яку розміщують в окремому приміщенні із зовнішнім виходом, розташованому поблизу сатураторів.

Зберігати балони рекомендується в лежачому положенні за температури не вище 30 °С. Для великих підприємств потрібно багато балонів, робота з ними трудомістка і немеханізована. Маса тари становить близько 70%, а маса CO₂ - 30%. Щоб уникнути забруднення балони не можна звільняти повністю, що призводить до втрат CO₂.

У виробництво вуглекислий газ подають через редуктори для зниження тиску до 0,5...0,8 МПа. Процес переходу CO₂ з рідкого в газоподібний стан супроводжується поглинанням тепла, у зв'язку з цим у місцях витікання газу з балона в редуктор вуглекислота і вода, що міститься в ній, перетворюються на сніг і забивають вхідний отвір. Для усунення цього балон, вентиль, редуктор і ділянку трубопроводу обігривають теплою водою, що призводить до великої витрати води і підвищує вологість приміщення. Можна викорис-

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доломакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Виробнича санітарія та безпечні прийоми праці		221889.КР.44.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/

товувати для цієї мети електричні підігрівачі регулятора тиску і вуглекислотного вентиля, які виготовляють із ніхромового дроту, навитого на ізолювальній основі. Електрообігрівач живиться від мережі 12 В.

Робочий тиск у сатураторах і синхронно-змішувальних установках не повинен перевищувати 0,4 МПа, а експлуатація, порядок роботи та обслуговування цих апаратів мають здійснюватися відповідно до інструкцій з експлуатації, розроблених стосовно кожного типу обладнання.

Сироповарочні апарати і трубопроводи промивають гарячою водою з температурою не нижче 60°C щодня, а ємності для зберігання цукрового сиропу - після кожного звільнення.

Фільтри-пастки для цукрового сиропу раз на добу розбирають, очищають і промивають гарячою водою температурою 60°C і вище.

Купажні ємності, фільтр-преси, синхронно-змішувальну установку, розливальну машину та прилеглі трубопроводи перед розливом напою іншої назви, але не рідше ніж раз на добу промивають гарячою, потім холодною водою. Лінію браку з лійками для зливу, трубопровід і ємність для збору браку після звільнення один раз на добу промивають гарячою, а потім і холодною водою.

Сироповарочні апарати, ємності для сиропу, купажні ємності, фільтр-преси та ємності для збору браку раз на тиждень обробляють у такій послідовності: обполіскують водою температурою не нижче 35 °C; ретельно миють за допомогою щіток 0,5 %-им розчином кальцинованої соди температурою 40...50 °C; обполіскують водопровідною водою; дезінфікують не менше 30 хв або пропарюють 15 хв; обполіскують гарячою (60 °C) водою.

Трубопроводи, синхронно-змішувальні установки, розливні машини раз на тиждень дезінфікують, для чого промивають гарячою водою температурою 60°C, наповнюють дезінфектантом, витримують з ним не менше 30 хв, промивають гарячою, а потім і холодною водою.

Накопичувальний бак для питної води щотижня промивають рясним струменем води і один раз на місяць дезінфікують. Ємності для зберігання

соків у міру їх звільнення миють і дезінфікують. Повітряні фільтри очищають і перезаряджають не рідше двох разів на місяць.

Миття та дезінфекцію пастеризаційних охолоджувальних установок, тунельних пастеризаторів проводять відповідно до інструкцій з експлуатації.

Сироповарочні апарати, сатуратори та інші апарати, що працюють під тиском, повинні утримуватися відповідно до вимог "Правил будови і безпечної експлуатації посудин, які працюють під тиском". До обслуговування апаратів, які працюють під тиском, допускають осіб, які пройшли навчання і перевірку знань, у віці не молодше 18 років.

Протруювання керамічних свічок фільтрів соляною кислотою, марганцевокислим калієм та іншими хімічними речовинами виконують у спеціально відведеному для цієї мети приміщенні. Зберігання кухонної солі, активного вугілля, кислот, лугів та інших матеріалів у приміщенні підготовки води не допускається. Тут має бути вивішена схема трубопроводів із зазначенням положення всієї запірної арматури.

Цукровий сироп дозволяється варити тільки в сироповарочних апаратах з електричним або паровим обігріванням, обладнаних механічною мішалкою і відсмоктуванням. У сироповарочному відділенні застосовують переносні світильники напругою 12 В у вологозахисному виконанні.

Колер готують тільки в перекидних апаратах з електричним обігріванням, обладнаних механічною мішалкою і парасолькою для відсмоктування пари і газу. Приміщення сиропо- і колероварочних приміщень повинно мати припливно-витяжну вентиляцію.

Приготування розчинів лимонної кислоти, подача сировини і компонентів для купажу мають бути механізовані, а купажні апарати оснащені механічною мішалкою, мірними скельцями і кришками.

Есенції, композиції, спиртовані настої, виннокам'яну кислоту зберігають у закритому приміщенні.

Фасування газованих напоїв проводять в окремому приміщенні, обладнаному припливно-витяжною вентиляцією. Під час виробництва сухих

напоїв машини для подрібнення цукру, фасувальні автомати та інше обладнання, що виділяє пил, герметизують і забезпечують системою відсмоктування пилу. Дробильні машини встановлюють в окремому приміщенні. Сушарки для цукру, кислоти і сухого готового напою постачають тепловою ізоляцією та обладнують витяжною вентиляцією.

Не допускається складування коробів з готовою продукцією в цеху приготування і фасування сухих напоїв.

Джерелами інфекції в безалкогольному виробництві є сировина, вода, повітря, зерновий пил, виробничі дріжджі, виправний брак напоїв, промивні води, технологічне обладнання, трубопроводи, виробничий персонал.

Пил є основним переносником мікроорганізмів. Особливо небезпечним є сусідство пивобезалкогольного заводу з іншими виробництвами, що використовують мікроорганізми: спиртових, дріжджових, оцтових заводів, елеваторів. На самому підприємстві зерноочисне, дробильне, солодополірувальне обладнання повинно бути віддалене від основних виробничих цехів, і мати припливно-витяжну вентиляцію, аспіраційне обладнання.

5.1 Техніка безпеки на підприємствах з виробництва безалкогольних напоїв

Технологічні процеси в пожежонебезпечних і вибухонебезпечних виробництвах повинні здійснюватися згідно із затвердженим технологічним регламентом, при цьому слід передбачати автоматизацію контролю і управління процесами. Рекомендується здійснювати управління процесами з центрального пульта. Керування ж апаратами, розташованими ізольовано в кабінах і відсіках, слід передбачати дистанційним із коридорів керування або іншого безпечного місця. Якщо апарати потребують постійного спостереження, то в стінах кабін (відсіків) допускається передбачати вікна мінімальних розмірів з вітринного зміцненого скла або загартованого скла "сталініт". Відбір проб, регулювання та інші операції повинні виключати потрапляння вибухонебезпечних речовин у повітря приміщень. За

можливості належить здійснювати автоматичний контроль у потоці для відбору проб, а в разі відсутності такої можливості слід передбачати автоматичні пробовідбірники. Герметичне ж виконання повинні мати обладнання, комунікації та арматура, встановлені у вибухо- та пожежонебезпечних виробництвах. Для перекачування легкозаймистих рідин рекомендується використовувати безсальникові або мембранні насоси, що виключають пропуск продуктів, а пари або газу, як правило, повинні спрямовуватися на конденсацію, що виключає забруднення атмосферного повітря.

Розташування технологічного обладнання повинно забезпечувати безпеку і зручність його обслуговування, ремонту та своєчасну евакуацію працюючих у разі аварійних ситуацій. Зовнішні технологічні установки належить розташовувати з боку глухої стіни будівлі. Ємності з легкозаймистими рідинами, розташовані в цехах і на зовнішніх установках, а також резервуари спиртосховищ, зливних відділень, повинні мати пристрої для звільнення їх перед ремонтом, у разі аварії та пожежі. Спорожнення цих ємностей за допомогою насосів або будь-якими іншими способами може здійснюватися у вільні ємності спиртосховищ або складів, у технологічні апарати суміжних відділень, установок або цехів даного виробництва, розташовані за капітальними стінами, або у спеціально призначені для цієї мети аварійні ємності. Аварійні ємності встановлюються виходячи з техніко-економічних показників.

Апарати-агрегати, які потребують спостереження за температурою, тиском та іншими параметрами і розташовані на значній відстані від робочого місця, повинні забезпечуватися дистанційними приладами з показаннями на щиті управління і контрольними приладами на місці установки. Обладнання з вибухо- і пожежонебезпечними та агресивними речовинами не дозволяється розташовувати над і під допоміжними приміщеннями. Постійні робочі місця повинні бути обладнані письмовими столами, стільцем і шафою для робочого та аварійного інструменту, а на

робочому місці повинні бути комплект виробничих інструкцій по даному робочому місцю та інструкція з техніки безпеки і пожежної безпеки.

Проектування, виготовлення та експлуатація апаратів, що працюють під тиском вище 0,07 МПа, а також матеріали для їх виготовлення повинні відповідати вимогам "Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском". Для промивання і продування апаратів з вибухонебезпечними і токсичними речовинами перед ремонтом, внутрішнім оглядом і випробуванням повинні бути передбачені штуцери для приєднання ліній води, пари або інертного газу.

З'єднання трубопроводів для транспортування легкозаймистих рідин мають бути переважно звареними, фланцеві з'єднання слід передбачати тільки в місцях установлення арматури та приєднання до устаткування, а також для трубопроводів, які потребують періодичного очищення або заміни ділянок труб, що зазнали підвищеної корозії. Потрібно передбачати арматуру, що задовольняє вимогам підвищеної герметичності запірних і сальникових пристроїв. Запірна і регулювальна арматура, що встановлюється на трубопроводах, має бути легко доступною для обслуговування. На вводах у цехи трубопроводів для легкозаймистих рідин повинна встановлюватися запірна арматура з дистанційним керуванням. Кількість і розміщення запірної арматури усередині цехів має бути такою, щоб забезпечувалася можливість вимкнення кожного окремо взятого агрегату чи апарату. Необхідність застосування арматури з дистанційним керуванням або ручним приводом визначається умовами технологічного процесу і забезпеченням безпеки роботи.

Трубопроводи, що з'єднують установки з аварійними ємностями, зобов'язані забезпечувати випорожнення перших протягом якомога коротшого терміну, що не перевищує 15 хв. Ці магістралі повинні бути якомога прямолінійними, з ухилом і містити мінімальну кількість відводів і поворотів. Забороняється прокладати трубопроводи для транспортування вибухонебезпечних, отруйних і їдких речовин через допоміжні або складські

приміщення, розподільчі пристрої, електроприміщення, КВП і венткамери, а також транзитні трубопроводи для транспортування етилового спирту через виробничі приміщення, які технологічно не пов'язані з отриманням спиртів.

Для всіх трубопроводів, призначених для транспортування вибухонебезпечних продуктів, має бути передбачена можливість продування їх інертним газом, а за відсутності його - гострою водяною парою, причому приєднання трубопроводів для продування може здійснюватися тільки за допомогою знімних ділянок трубопроводів або гнучких шлангів. Виконання будь-яких робіт на трубопроводах, заповнених продуктами, не дозволяється.

Усі переходи, майданчики, сходи, приямки, відкриті колодязі оснащуються огороженнями заввишки не менше 1 м. До апаратів, резервуарів, засувок, приладів та іншого устаткування, що потребує доступу під час експлуатації та ремонту, повинні вести маршові сходи, забезпечені поручнями, завширшки не менше ніж 0,7 м.

На огороженій площі даху резервуара повинні знаходитися замірний люк, замірний пристрій та інша арматура. Заміри рівня рідин у резервуарах слід проводити, як правило, дистанційно. Для відбору проб із резервуарів необхідно застосовувати пробовідбірники, розташовані на висоті, доступній для обслуговування, або інші спеціальні пристосування. Засувками та іншою арматурою, розташованою на висоті, належить керувати дистанційно. При розташуванні засувок та іншої арматури в колодязях, лотках та інших поглибленнях слід передбачати подовжені штоки або штурвали керування, а також забезпечувати безпечний доступ до них на випадок ремонту або заміни арматури.

6. Монтаж та ремонт

Надійна і безпечна експлуатація обладнання в межах встановлених параметрів роботи може бути забезпечена тільки за умови суворого виконання певних, запланованих у часі заходів з нагляду та догляду за обладнанням, включно з проведенням необхідних ремонтів. Комплекс організаційних і технічних заходів з обслуговування та ремонту обладнання в харчовій і переробній промисловості, що проводяться із заданою послідовністю та періодичністю, являє собою єдину систему, яка має назву система технічного обслуговування і ремонту.

Поточний ремонт є найбільш часто проведеним видом ремонту; він покликаний забезпечити або відновити працездатність обладнання шляхом заміни або відновлення окремих його частин. Під час кожного поточного ремонту має виконуватися комплекс ремонтних робіт, що забезпечує працездатність обладнання до наступного запланованого ремонту (капітального або середнього).

Монтаж обладнання включає безліч трудомістких операцій, виконання яких пов'язане із застосуванням різних машин, механізмів, пристосувань та інструментів. Безпечні умови роботи можуть бути забезпечені тільки при беззастережному виконанні затверджених інструкцій, які припускають відповідну підготовку робочого місця, навчання і перевірку знань всього персоналу, що бере участь у монтажі.

Технічне обслуговування

На підприємстві діє система технічного обслуговування і ремонту яка займається сукупністю взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування (технічного догляду) і ремонту та виконавців, необхідних для підтримання і відновлення якості обладнання. До кола питань, що охоплюються системою, можуть входити також забезпечення матеріалами,

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доломакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Монтаж та ремонт	221889.КР.44.000.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/	

заготовками, запасними частинами тощо.

Система технічного обслуговування і ремонту устаткування повинна враховувати: порядок здавання устаткування в ремонт і приймання з ремонту; форми і методи організації ремонту; планування, облік і звітність; номенклатуру та норми витрат запасних частин; основні вимоги щодо забезпечення ремонтпридатності; загальні вимоги щодо техніки безпеки під час технічного обслуговування та ремонту; загальні технічні умови на ремонт устаткування; види та періодичність, а також трудомісткість і тривалість технічного обслуговування та ремонтів; розрахунок чисельності персоналу, що працює в компанії. На підприємстві ремонтна служба керується не тільки затвердженими положеннями і стандартами галузі, а й чинними положеннями з технічного обслуговування та ремонту для інших галузей або відомств, наприклад, для підсобного устаткування, яке експлуатується (металорізальних верстатів, пресів тощо), підймально-транспортного устаткування, вентиляційних установок тощо.

На підставі паспортів або формулярів, а також з урахуванням технологічного регламенту на виробничий комплекс (цех, установку) складають інструкції з технічного обслуговування та експлуатації устаткування, зміст яких визначено у "Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи".

В інструкціях з технічного обслуговування і ремонту (виробничі інструкції) зазначено порядок і наведено правила технічного обслуговування як працюючого обладнання, так і обладнання, яке перебуває у стадії підготовки до роботи і зберігання. У них наведені вичерпні вказівки щодо переліку робіт, які забезпечують працездатність устаткування при одночасному дотриманні всіх заходів безпеки (включно з пожежною та вибуховою безпекою). Порядок і місця змащення мають бути вказані за доданою картою змащення. Для складного обладнання вказано також спеціальні пристосування та інструмент, контрольно-вимірювальні прилади

та інші приналежності (і способи їх використання), необхідні під час технічного обслуговування.

Інструкції з експлуатації обладнання (технологічні карти) встановлюють допустимі межі параметрів експлуатації. У них наведені вказівки, правила і вимоги щодо режиму роботи і безпеки на всіх стадіях експлуатації устаткування, склад обслуговуючого персоналу, порядок спостереження за устаткуванням під час його роботи або короткочасних перерв, характерні несправності та методи їх усунення тощо.

Технічне обслуговування трубопроводів

За фізико-хімічними властивостями середовища, що транспортується, трубопроводи поділяють на п'ять груп, а за робочим тиском і температурою - на п'ять категорій. Трубопроводи проектують і споруджують з урахуванням вимог і рекомендацій нормативів, розроблених для кожної групи і категорії. Найважливішою частиною нормативів є матеріальне оформлення трубопроводів (труб, фланців, прокладок, фасонних частин, компенсаторів, кріпильних деталей тощо). Нормативами обумовлені також умови експлуатації, що включають особливості нагляду, ревізії та ремонту.

Способи монтажу та ремонту трубопроводів зумовлені матеріалом, з якого виготовлені трубопроводи, а також їхнім розміром і просторовим розташуванням.

Усі трубопроводи споруджують у повній відповідності до затверджених проєктів і робочих креслень. Залежно від конкретних умов (властивостей і стану середовища, що транспортується, діаметра труб, ситуації на ділянці, що монтується) трубопроводи прокладають у ґрунті, у відкритих і закритих лотках, у каналах або на опорах і естакадах. Технологічні трубопроводи, які потребують постійного догляду, частих ремонтів в умовах обмеженого простору прокладають, як правило, на опорах. При розташуванні на естакадах декількох трубопроводів різного призначення в кілька ярусів намагаються трубопроводи з отруйними, високоагресивними і вогненевибухонебезпечними середовищами розташовувати в найнижчому

ярусі. Це полегшує їхній ремонт і в разі аварій запобігає можливому протіканню продукту на інші трубопроводи. Паропроводи, трубопроводи для конденсату і теплоагентів прокладають на стійках і естакадах, а також у надійно каналізованих відкритих лотках.

Щоб забезпечити можливість огляду і виконання ремонтних робіт під час прокладання пучка трубопроводів, необхідно дотримуватися відстаней між осями трубопроводів, а також відстаней від крайніх трубопроводів до найближчих конструкцій (елементів опор, стін будівель, постаментів, апаратів тощо).

Не рекомендується прокладати трубопроводи по стінах виробничих будівель. У виняткових випадках можна прокласти трубопровід невеликих розмірів на ковзних опорах, прикріплених до стін, однак при цьому вони не повинні перетинати віконних і дверних прорізів.

Не можна прокладати трубопроводи під будівлями, фундаментами обладнання та іншими спорудами. Підземні трубопроводи необхідно надійно захищати від руйнування корозією. Технологічні трубопроводи повинні мати деякий ухил, щоб під час відключення можна було спорожнити їх.

Арматура. У процесі монтажу на трубопроводах встановлюють відповідну арматуру (вентилі, засувки, крани і клапани). Кожен вид арматури має бути забезпечений маркуванням, у якому точно відображені робочі умови експлуатації. Тому до встановлення арматури на трубопровід ретельно перевіряють відповідність її маркування робочим кресленнями. Крім того, звертають увагу на забарвлення арматури. Наприклад, сірий колір корпусу означає, що його виготовлено з вуглецевої сталі, блакитний - з кислотостійкої або нержавіючої сталі, чорний колір - з чавуну. За забарвленням приводу (маховика) визначають матеріал ущільнювальних деталей затвора: червоний колір - бронза або латунь, блакитний - кислотостійка або нержавіюча сталь, жовтий - бабіт, коричневий - шкіра або гума, зелений - ебоніт. Арматуру з кольорових металів або сплавів випускають незабарвленою.

Особливість ревізії запобіжних клапанів полягає в тому, що їх мають випробувати на спеціальному стенді, відрегулювати на необхідний тиск і опломбувати. Усі операції реєструють у спеціальному журналі.

Збірка трубопровідних вузлів

До початку складання готують і сортують усі необхідні деталі та матеріали. Сортування - вельми важлива операція, що сприяє підвищенню продуктивності праці та створенню безпечних умов роботи персоналу.

Деталі трубопровідних вузлів вибірково піддають контрольним вимірюванням. Якщо габаритні розміри деяких деталей не відповідають розмірам, зазначеним у кресленнях, але конструктивно можуть бути застосовані, то габаритний розмір вузла трубопроводу слід витримати, змінюючи довжину тільки прямих ділянок.

Складання вузлів трубопроводів проводиться в цеху або на монтажному майданчику на спеціальних складальних стендах, обладнаних необхідними складальними пристосуваннями: напрямними, поворотними столами, каретками, катками, штативами для вертикальних ділянок тощо. Такі стенди дають змогу збирати не тільки плоскі, а й просторові вузли трубопроводів.

Приварювання фланців до труб вимагає особливої ретельності; необхідно точно дотримуватися відстані між фланцями, їхнього взаємного розташування, перпендикулярності привалочних поверхонь до осі труби, а також розташування болтових отворів щодо головних осей трубопровідного вузла. Для цього користуються лінійкою і косинцем, а також пересувними пристосуваннями. Якщо один і той самий вузол багато разів повторюється на трубопроводі, для його складання слід виготовити спеціальне пристосування - кондуктор, забезпечений нерухомими відповідними фланцями.

Випробування трубопроводів

Трубопроводи випробовують на щільність і міцність. Усі стики трубопроводу мають бути доступні для візуального огляду. Зварні шви повністю або вибірково піддають фізичним методам контролю (за

допомогою рентгенівських і гамма-променів, магнітографуванням, ультразвуком).

Трубопроводи опресовують водою. Ділянку трубопроводу, що перевіряється, відключають заглушками, у верхній його частині приварюють штуцер із вентилям (засувкою) для випуску повітря під час нагнітання води. Випробувальний тиск вказується в технічних умовах проекту і зазвичай становить 1,25...1,5 робочого тиску, але не менше 0,2 МПа. При випробувальному тиску трубопровід витримують протягом 5 хв, потім знижують тиск до робочого і приступають до огляду. Результат випробування вважається позитивним, якщо за час випробування тиск у трубопроводі не знижується і зварні шви не пропускають воду.

Якщо випробування проводиться стисненим повітрям, нещільності виявляються за появою бульбашок мильної емульсії, нанесеної на шви.

Ремонт трубопроводів

У процесі експлуатації трубопроводи та їхні елементи зношуються. Характер зносу може бути найрізноманітнішим і визначається умовами експлуатації, властивостями матеріалу, з якого виготовлено трубопровід, його конструктивними особливостями, якістю ізоляції тощо. Часто порушення умов експлуатації призводить до руйнування незношеного трубопроводу: розриву труби, відриву фланця, вибивання прокладки, ослаблення болтових з'єднань тощо. Переважно трубопроводи схильні до корозійного та ерозійного зносу, тому головне завдання полягає в усуненні його причин. Передчасному зносу можна запобігти також, якщо правильно вибрати матеріал труб і вид ізоляції.

Стан трубопроводу систематично контролюється відповідальним персоналом. Трубопроводи всіх категорій піддають зовнішньому огляду не рідше одного разу на рік. В особливо важливих випадках стан трубопроводу контролюють безперервно. Дані спостережень і контрольних вимірювань розмірів, що характеризують стан трубопроводу, заносять в експлуатаційний журнал.

Ретельна ревізія трубопроводів здійснюється під час планових ремонтів. Однак трубопровід з тих чи інших причин може вийти з ладу і під час роботи, тобто в міжремонтний період, тому за трубопроводом має бути встановлено настільки ж ретельне спостереження, як і за іншим технологічним обладнанням.

На відповідальних трубопроводах, що працюють за високого тиску, практикують систему "свердлінь безпеки", за якої на ділянках трубопроводів, де зношення найвірогідніше, до пуску їх в експлуатацію висвердлюють поглиблення - ненаскрізні "отвори". Залишкова товщина труб повинна забезпечувати безаварійну роботу. У міру зносу трубопроводу в процесі його експлуатації найбільш вірогідний пропуск продукту через ці ослаблені свердлінням стінки трубопроводу. Отвір забивають пробкою і накладають хомут, трубопровід же ретельно ремонтують під час першого планового ремонту.

7. Технологія машинобудування

Складання - це частина технологічного процесу виготовлення виробу, яким закінчуються роботи по з'єднанню окремих деталей у вузли і компоновки останніх для додання виробу готового виду відповідно до його функціонального призначення.

У результаті складання досягається необхідне взаємне розташування деталей, що поєднуються, відносна рухомість або нерухомість елементів, що сполучаються, і міцність конструкції.

Сукупність декількох деталей, що з'єднані і скріплені між собою і представляють самостійну частину машини, називається - вузол. Залежно від конструкції і числа деталей у вузлі вони можуть бути різної складності.

Деталь або вузол, з якого починається складання, називається базовою деталлю або базовою групою. Базова деталь визначає положення всіх інших складальних одиниць. Щоб полегшити процеси складання, використовують технологічні схеми складання, на яких умовно зображена послідовність процесу.

7.1. Розроблення технологічного процесу

Вентиль-це клапан для регулювання й замикання потоку рідини, пари або газу, що тече трубопроводом. Фактично вентиль запірний використовується для замикання потоку трубопроводу. Проте технічні можливості цього вузла дозволяють не тільки замикати потік, але і регулювати його характеристики, змінюючи пропускну спроможність трубопроводу і швидкість течії середовища, що транспортується. Незважаючи на різноманітність форм, які приймає запірна арматура, вентилі є найбільш використовуваними і найбільш поширеними пристроями запірно-регулюючого типу.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> доц. Байко Ю.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Технологія машинобудування	221889.КР.44.000.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> проф. Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/	

Будова вентиля починається з корпусу. У корпусі деяких вентилів є отвір під клапан для травлення (або слива) середовища, що транспортується.

Крім того, саме в корпусі знаходиться посадочне місце під ще один важливий елемент, без якого не може працювати не один ventиль - клапан запірний (він же золотник). Цей вузол забезпечує повну або часткову герметизацію сідла корпусу, таким чином, замикаючи або регулюючи протягом середовища, що транспортується.

Загальний вигляд вентиля зображено на рисунку 7.1

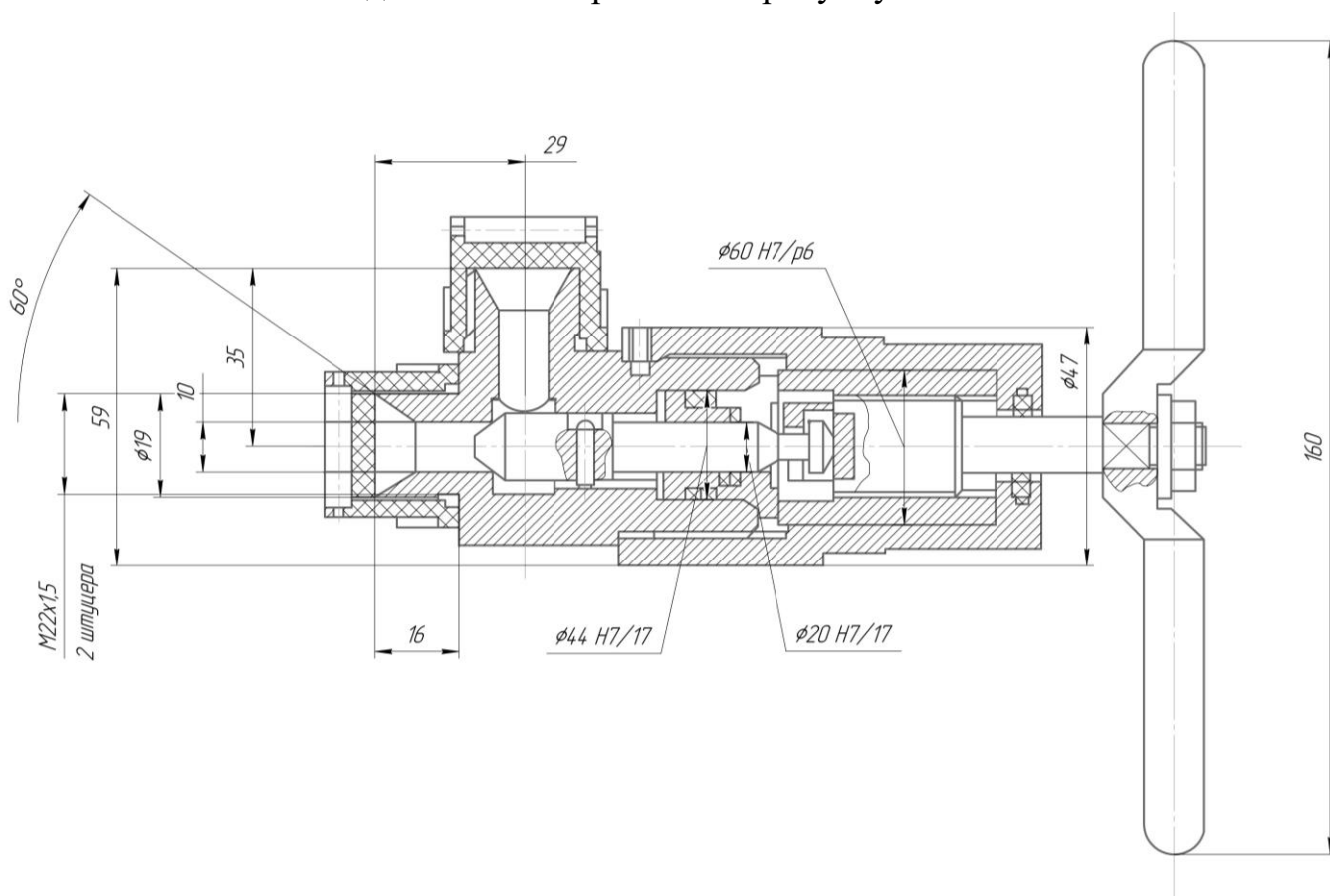


Рис 7.1.Вентиль

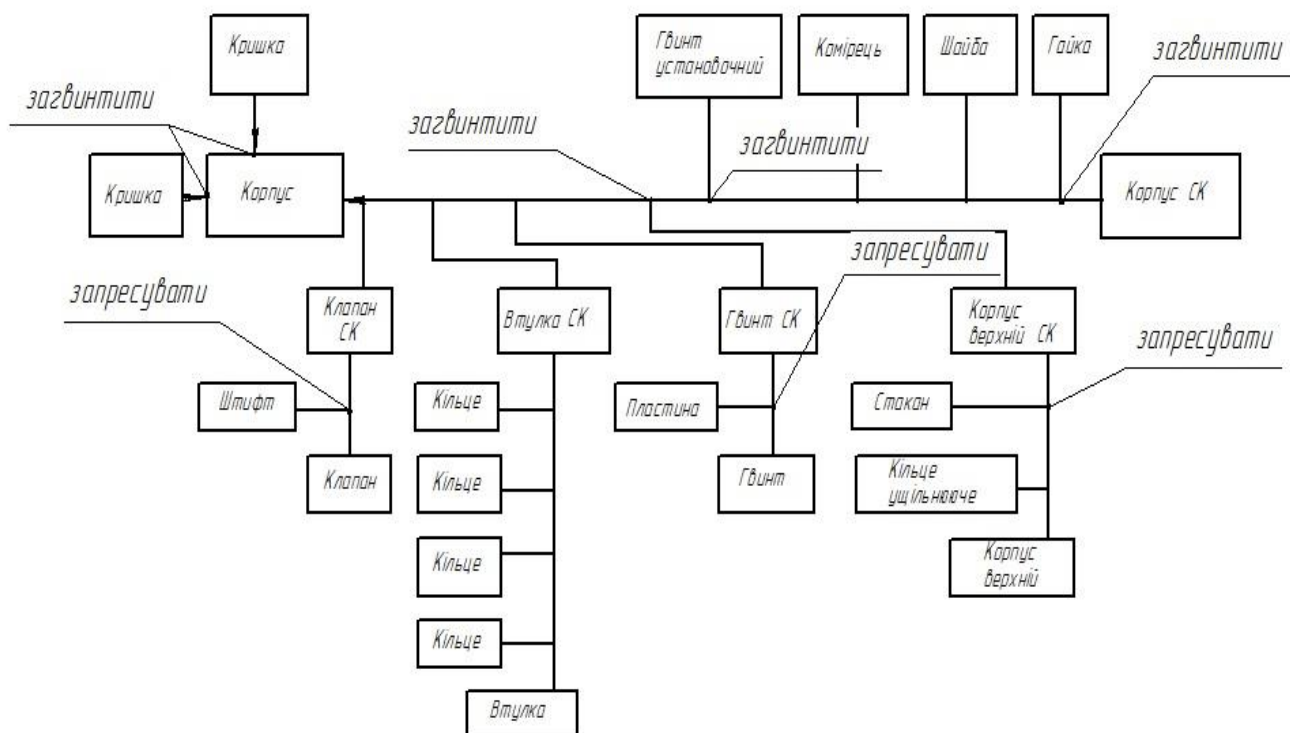
Технічні характеристики: тиск робочого середовища 40 МПа, температурний діапазон працездатності $\pm 50^\circ$, умовний прохідний діаметр 10мм, габаритні розміри 163×160×47 мм.

Комплектуючі деталі-характеризується тим, що їх вгвинчують в базові деталі або нагвинчують на них. Як правило, роль комплектуючих деталей при складанні активна, так як саме вони здійснюють необхідні рухи - обертання і поступальне переміщення.

Таблиця 7.1 Подетальний склад вентилі

Базові деталі :	Комплектуючі :
Клапан;	Штифт;
Втулка;	Кришка;
Гвинт;	Кільце;
Корпус верхній;	Кільце ущільнювача;
	Пластина;
	Стакан;
	Гвинт установочний;
	Комірець;
	Шайба;
	Гайка;

Технологічна схема складання вентилі зображена на рисунку 7.2



7.2. Аналіз технологічності деталі «Корпус»

Деталь корпус, відноситься до класу призматичних деталей. Виготовляється зі сталі 12Х18Н10Т, яка має наступний хімічний склад: С = 0.12% , Cr = 18 % , Ni = 10 % , Т » 1 % , S = 0.02 % , Р = 0.035 % . Дана сталь відноситься до конструкційних жароміцних сталей і має такі фізико - механічні властивості : $\sigma_b = 530\text{МПа}$, $\sigma_t = 236\text{МПа}$, задовільно обробляється різанням. На кресленні деталі є всі види, перетини і розрізи , необхідні для подання конструкції деталі. Розміри проставлені з відхиленнями, параметри шорсткості відповідають точності поверхонь. Допуски форми і розташування поверхонь достатньо обґрунтовані і не викликають труднощів при їх досягненні (увезення поверхні обробляються на одному установі). У конструкції даної деталі не має зайвих елементів

Конструкція деталі дозволяє вести обробку, як на універсальному обладнанні, так і на спеціалізованому. Обробка деталі можлива із застосуванням універсального і спеціального різального і вимірювального інструменту доступ , якого до оброблюваних поверхонь вільний. На деталі всі елементи технологічні, окрім отвору, т. к. отвори знаходяться на циліндричній поверхні. Найточнішими поверхнями є отвори $\Phi 13h8$ і $\Phi 22h8$. Їх отримуємо свердління, зенкування і розгортанням. Поверхні різьбові М36х2 - 6g і М22х1 ,5- 6g отримуємо дворазовим гострінням, а різьбу нарізаємо різцем. Квадрат 38h12х38h12 отримуємо фрезеруванням на горизонтально- фрезерному верстаті з використанням спеціальної фрези.

Деталь жорстка і це не обмежує вибір режимів різання. Немає сенсу замінювати її збірної. Всі поверхні деталі доступні і не викликають труднощів в обробці. Вимоги по радіальному биттю 0,05 мм можна забезпечити при обробці заготовки в трикулачні патроні. Незважаючи на зазначені недоліки, деталь є технологічною.

7.3. Вибір методу отримання заготовки

При виборі заготовки для заданої деталі призначаємо метод її отримання, визначаємо конфігурацію, розміри, допуски і припуски на обробку і складаємо технічні вимоги, пропоновані до заготівлі. Для отримання заготовки можливі наступні методи: лиття, кування, штампування, різання прокату. Кування не застосовується, тому це економічно не вигідно, заготівля не буде відповідати необхідній конфігурації. Лиття не використовуємо, тому що сталь 12Х18Н10Т високолегована, яка має погані ливарні властивості. Використання прокату обмежується через форми деталі і низького коефіцієнта використання металу,

$$K_{um} := \frac{M_d}{M_z}$$

M_z – маса заготовки,

M_d – маса деталі,

$$M_z = \frac{\pi \cdot (D \cdot 1.1)^2 \cdot 1.1 \cdot l}{4}$$

$K_{im}=0.18$, що неприпустимо в умовах масового виробництва. Застосування штампування в закритих штампах недоцільно, тому заготовка має складну конфігурацію. З кування і штампування приймаємо штампування у відкритих штампах, так як цей метод забезпечує отримання більш точної заготовки, зниження значень припусків і підвищення коефіцієнта використання металу. Як економічного обґрунтування наведемо приклад розрахунку вартості штампованої і литої заготовки. Вартість литої заготовки:

$$S = \left(\frac{C_i}{1000} Q \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_m \cdot K_n \right) - (Q - q) \frac{S_1}{1000},$$

де: C_i - базова вартість 1 т виливків, $C_i = 9800$ грн (с урахуванням коефіцієнта інфляції); Q - маса заготовки, $Q = 0,66$ кг; K_t - коефіцієнт точності, для виливків 2го класу точності $K_t = 1.05$; K_c - коефіцієнт складності, для заготовок 2й групи складності $K_c = 0,9$; K_b - коефіцієнт маси заготовки, для заготівлі з легованої сталі масою до 20 кг $K_b = 0,4$; K_m - коефіцієнт матеріалу, для легованої сталі $K_m = 1,93$; K_n - коефіцієнт

серійності , для 1й групи серійності $K_n = 0,5$; q - маса готової деталі ; S_1 -
ціна 1 т відходів , $S_1 = 750$ грн. $S = 114$ грн. Вартість штампованої заготовки:

$$S = \left(\frac{C_i}{1000} Q \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_m \cdot K_n \right) - (Q - q) \frac{S_1}{1000},$$

де: $Q = 0,66$ кг, K_t - коефіцієнт точності, для нормальної точності $K_t = 1$;
 K_c - коефіцієнт складності, для третіх ступеня складності $K_c = 1$, K_b -
коефіцієнт маси заготовки, для заготівлі з легованої сталі масою до 20 кг; K_b
 $= 0,75$; K_m - коефіцієнт матеріалу, для легованої сталі $K_m = 1,79$ [43]; $K = 1$.
 $S_{шт} = 407$ грн.

Розрахунок розмірів заготовки:

Розрахункова маса штампування :

$$m_p = m_d \cdot k,$$

де: m_d - маса деталі,

k - розрахунковий коефіцієнт ($k = 1.5$),

$$m_p = 0,44 \cdot 1,5 = 0,66 \text{ кг.}$$

Група сталі: сталь 12X18H10T відноситься до групи М1

Маса фігури:

$$m_f = ((\epsilon_P \cdot (1,05 \cdot D)^{2/4}) \cdot 1,05 \cdot L + 1,053 \cdot a^2 \cdot v) \cdot 7800,$$

де: D - діаметр деталі, L - довжина деталі, a - ширина квадрата, v - довжина
квадрата

$$m_f = (((3,14 \cdot (1,05 \cdot 0,022)^{2/4}) \cdot 1,05 \cdot 0,016) + ((3,14 \cdot (1,05 \cdot 0,022)^{2/4}) \cdot 1,05 \cdot 0,016)) + ((3,14 \cdot (1,05 \cdot 0,036)^{2/4}) \cdot 1,05 \cdot 0,027) + (1,053 \cdot 0,0382 \cdot 0,032)) \cdot 7800 = 0,775 \text{ кг.}$$

Ступінь складності: $C = m_p / m_f$,

де: C - розрахунковий коефіцієнт, m_f - маса фігури, в яку вписується деталь,

$$m_f = 0,775 \text{ кг,}$$

$$C = 0,66 / 0,775 = 0,85$$

Виходячи з коефіцієнта визначаємо ступінь складності С1.

Клас точності: приймаємо Т4.

Визначаємо вихідний індекс: 9

На фаски, канавки, отвори, пази призначаємо ковальські напуски. Отримані дані заносимо в таблицю 7.2

Таблиця 7.2

Размер детали	Допуск, мм	Припуск, мм	Размер заготовки
Ø 22h10	$1,2^{+0,8}_{-0,4}$	1,3*2	Ø 24,6 $^{+0,8}_{-0,4}$
Ø 36h10	$1,2^{+0,8}_{-0,4}$	1,4*2	Ø 38,8 $^{+0,8}_{-0,4}$
Ø 22h10	$1,2^{+0,8}_{-0,4}$	1,3*2	Ø 24,6 $^{+0,8}_{-0,4}$
75h12	$1,4^{+0,9}_{-0,5}$	1,1*2	77,2 $^{+0,9}_{-0,5}$
54h12	$1,4^{+0,9}_{-0,5}$	1,2*2	56,4 $^{+0,9}_{-0,5}$
38h12	$1,2^{+0,8}_{-0,4}$	1,1*2	40,2 $^{+0,8}_{-0,4}$
16h12	$1,2^{+0,8}_{-0,4}$	1-1,1	15,9 $^{+0,8}_{-0,4}$
16h12	$1,2^{+0,8}_{-0,4}$	1,1-1	16,1 $^{+0,8}_{-0,4}$

Висновки

На основі аналізу науково-технічної інформації виявлено основні недоліки в конструктивній реалізації технічних рішень з організації насичення напоїв газоподібним CO₂ і намічено основні шляхи вдосконалення їх конструкції;

Обґрунтовано більш ефективне й економічне насичення мінеральних вод і фруктових напоїв газоподібним двоокисом вуглецю в потоці рідини, що полягає в зниженні витрат і втрат CO₂ на насичення напоїв;

Запропоновано технічне рішення щодо введення CO₂ в напій, що дає змогу посилити зв'язок діоксиду вуглецю з рідиною.

Розроблено комп'ютерну модель кавітаційного пристрою зі статичним кавітатором з використанням програмного комплексу CFD. Технічний результат розробленого пристрою полягає в інтенсифікації процесу насичення напоїв без додаткових витрат енергії, а лише за рахунок зміни геометрії пристрою. При цьому питома площа поверхні контакту фаз збільшується в 2 рази, кінетична енергія кавітаційного потоку в 3 рази, питома витрата енергії знижується в 1,5 рази, втрати CO₂ скорочуються до 10 %, поліпшується якість продукту.

Визначено закономірність впливу різних чинників процесу насичення (тиск подачі напою та діоксиду вуглецю, температура напою, питома витрата CO₂ на насичення, розведення під час деаерації води, тиск діоксиду вуглецю на додаткове насичення води під час деаерації, компонентний склад напою) на масову концентрацію CO₂ в напоях. Встановлено, що найбільший вплив на процес насичення мають питома витрата діоксиду вуглецю, склад напою, температура напою та деаерація води.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Доломакін Ю.Ю.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> Литвин В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Висновки	221889.КР.44.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/

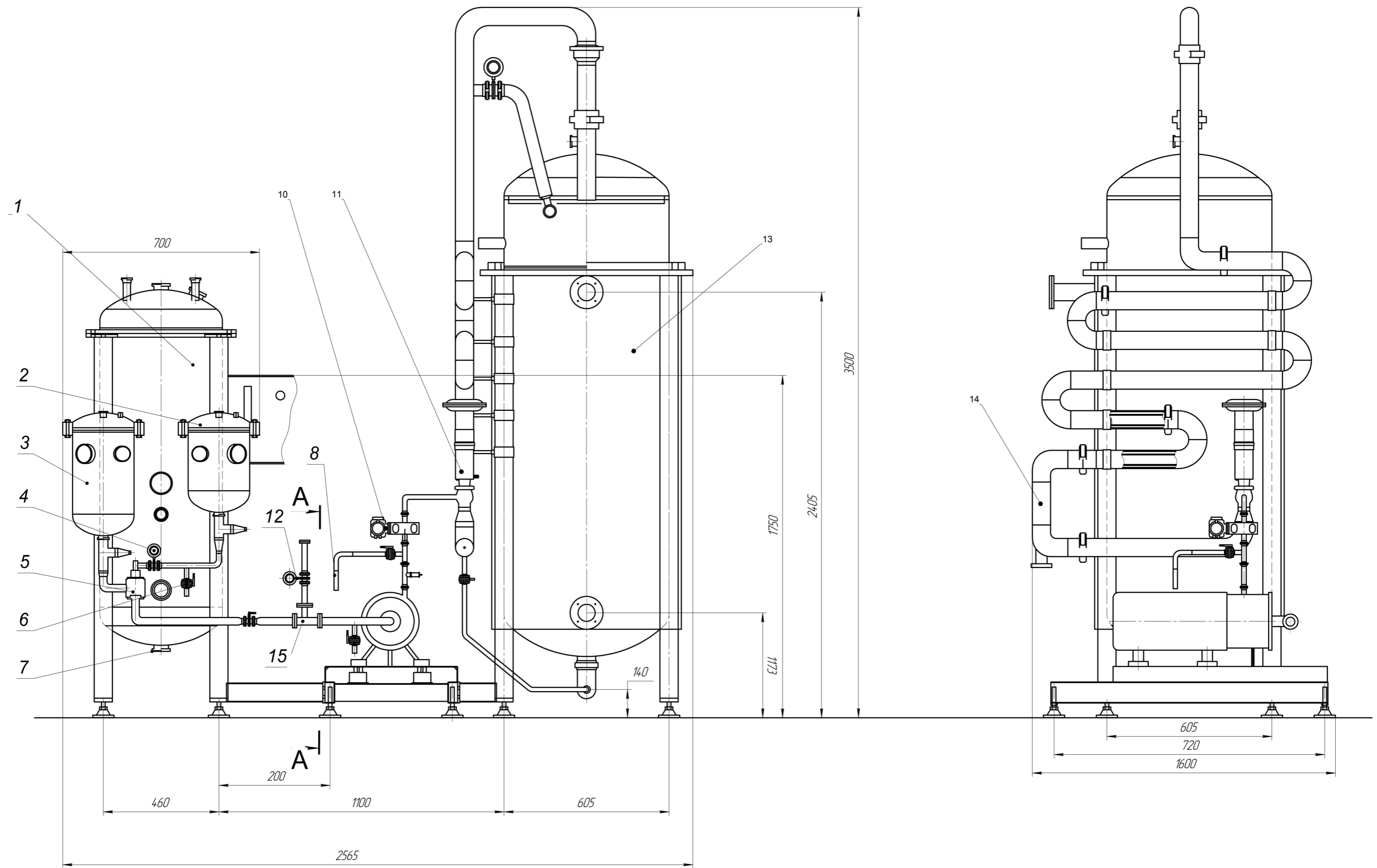
Література

1. ДСТУ 4069-2016 Напої безалкогольні. Загальні технічні умови.
2. ДСТУ 2368-2017 «Напої безалкогольні. Виробництво. Терміни визначення»
3. Стин Д.П. Газированные безалкогольные напитки. Рецептуры и технологии / Д.П. Стин, Ф.Р. Эшхерст. – СПб.: Профессия, 2008. – 416 с.
4. Тихомиров В.Г. Технология и организация пивоваренного и безалкогольного производств [Текст]: учебник – М.: КолосС, 2007. – 461 с.
5. Помозова, В. А. Производство кваса и безалкогольных напитков [Текст]: учебное пособие. – СПб.: Гиорд, 2006. – 192 с.
6. Технологическое проектирование солодовенных и пивобезалкогольных заводов / П.В. Колотуша, В.А. Домарецкий, Н.А. Емельянова и др. – Киев: Вища школа, 1987. – 256 с.
7. Рушійна сила процесу абсорбції CO₂ у воді при використанні капілярно-пористих пристроїв [Текст] / А.М. Світлик, О.М. Прохоров // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 171-177.
8. Снарядний рух газорідної суміші в капілярі [Текст] / А.М. Світлик, О.М. Прохоров // Харчова промисловість. – 2013. – Вип. 14. – С. 86-88.
9. Математичне моделювання процесу розчинення діоксиду вуглецю у рідині, що рухається в капелярі [Текст] / А.М. Світлик, О.М. Прохоров // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2014. – Т. 20, № 5. – С. 170-174
10. Моделювання процесу абсорбції в прохідних пористих капілярах

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Доломакін Ю.Ю.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> МАХФВ	<i>Розробник документа</i> <i>Литвин В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Література	221889.КР.44.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/

[Текст] / А.М. Світлик, О.М. Прохоров // Харчова промисловість. – 2014. – Вип. 16. – С. 78-80

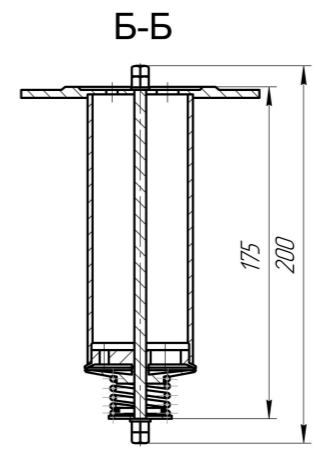
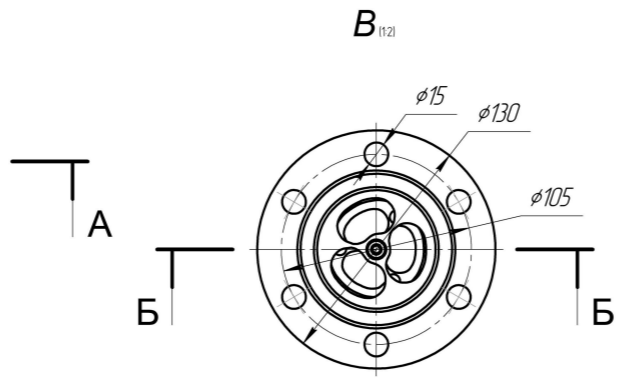
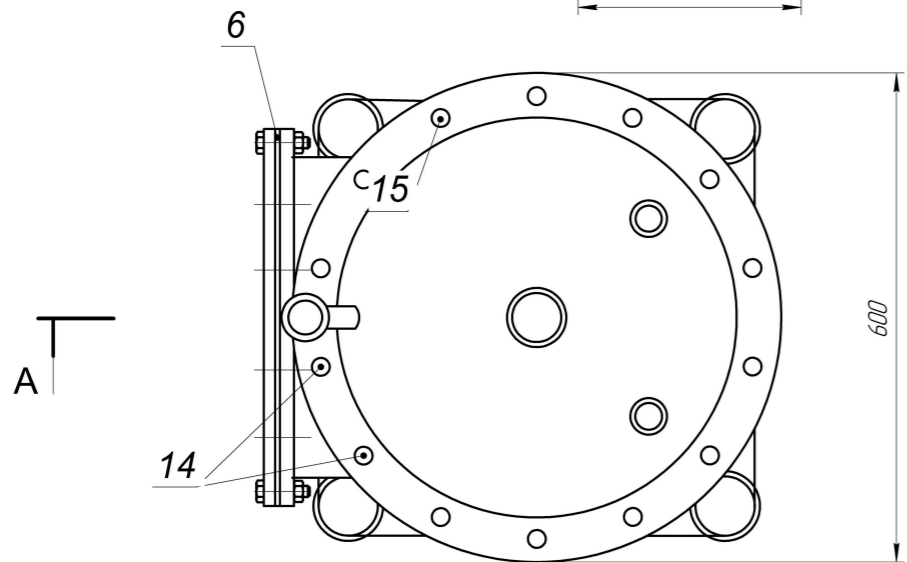
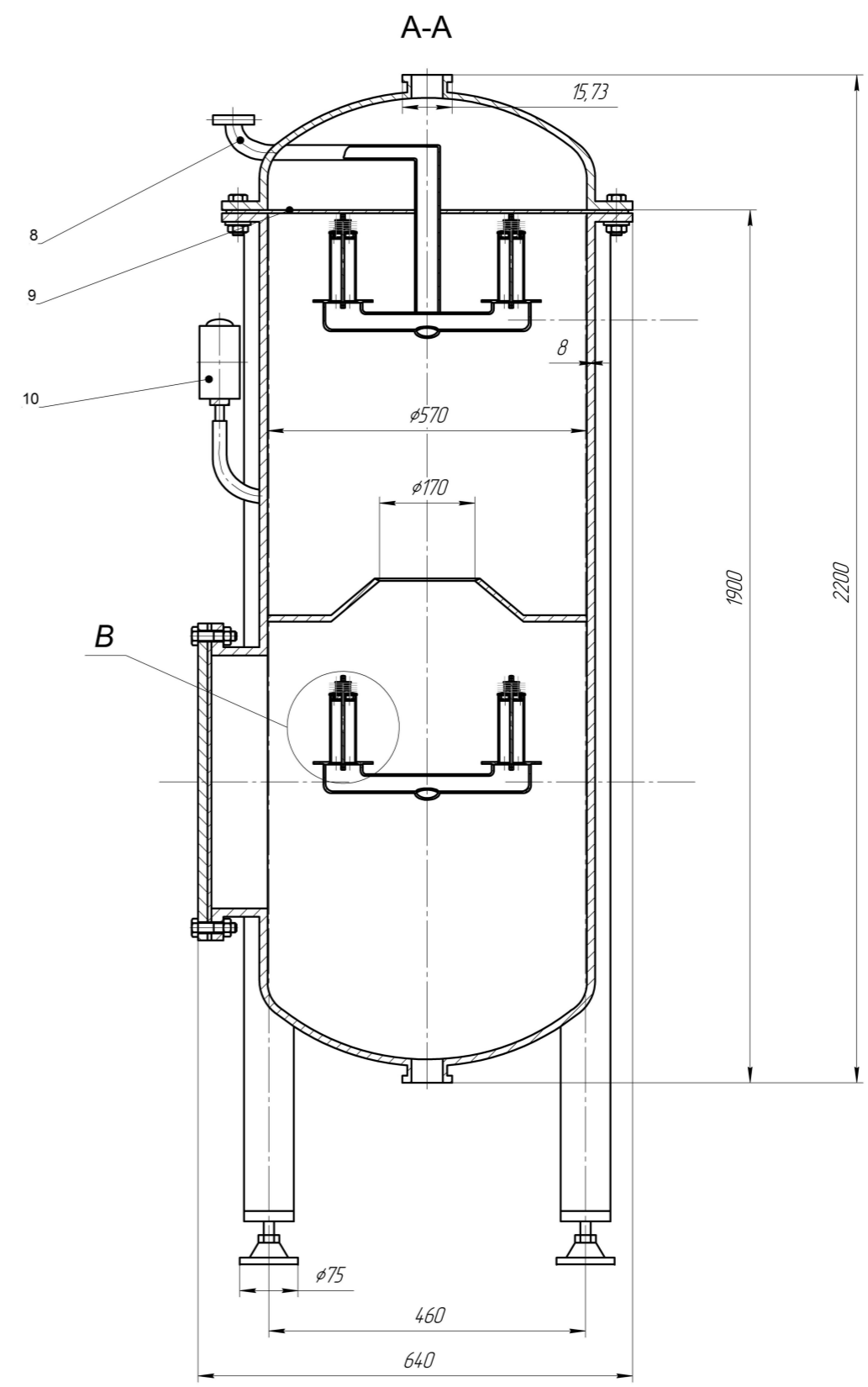
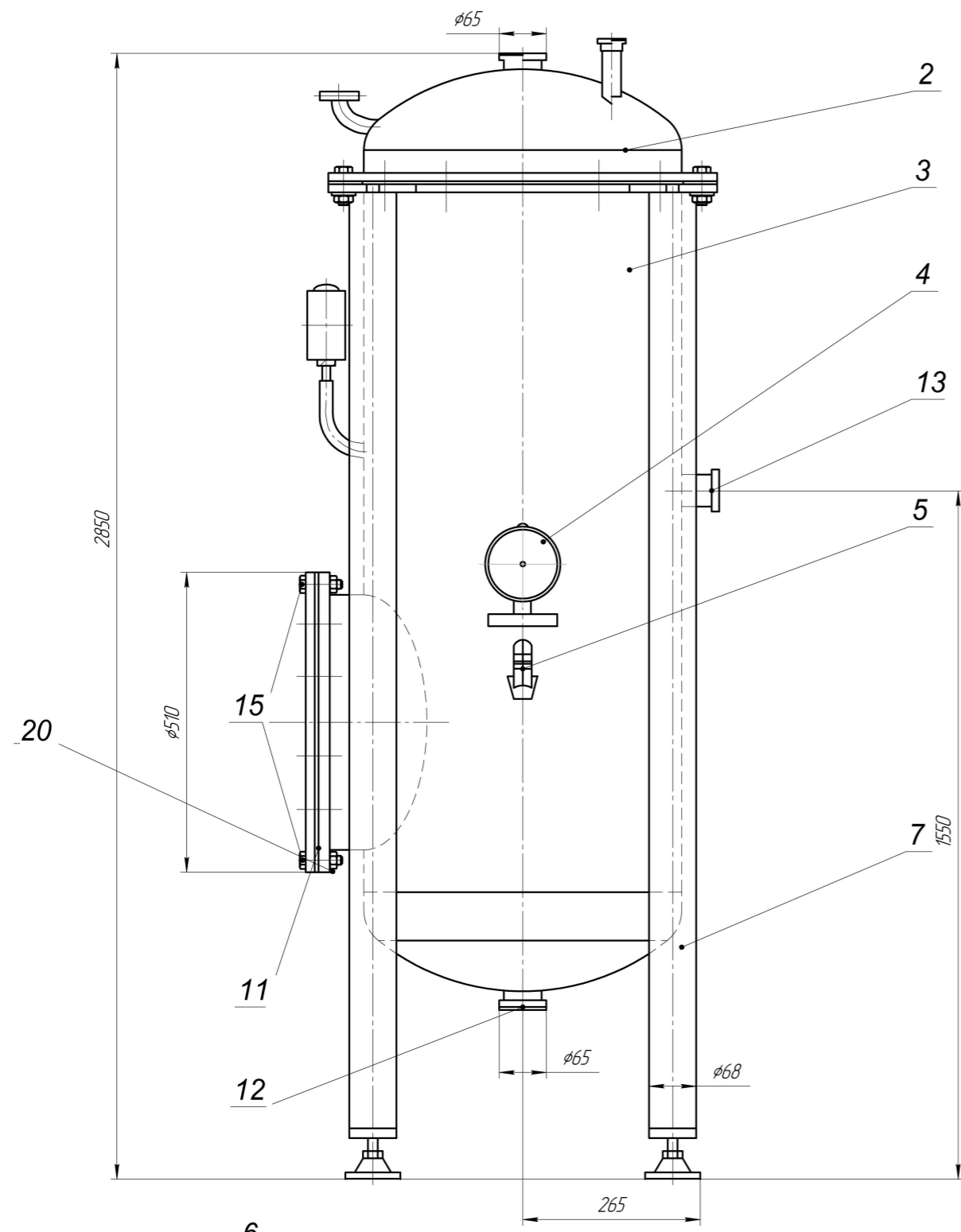
11. Динаміка руху двухфазних систем в капілярі [Текст] / А.М. Світлик, О.М. Прохоров // Харчова промисловість. – 2014. – Вип. 15. – С. 107-109
12. Варфоломєєв А.Й., Сторіжко Й.І. Удосконалення технології газованих напоїв. –К.: НУХТ, 2001. – 207 с.
13. Литвиненко О.А., Некоз О.І., Немирович П.М. Кавітаційні пристрої в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості. – К: РВЦ УДУХТ, 1999. – 87с.: іл.
14. Гурський П.В., Перцевий Ф.В., Гулий І.С. та ін. Практикум, Монтаж, ремонт, наладка обладнання харчових виробництв: Навч, посібник, - Харків, 2001. – 230 с.
15. Підприємства щодо виробництва і розливу мінеральних та штучно-мінералізованих вод: Державні санітарні правила та норми ДСанПіН 4.4.065- 00- Нормативний документ МОЗ України.



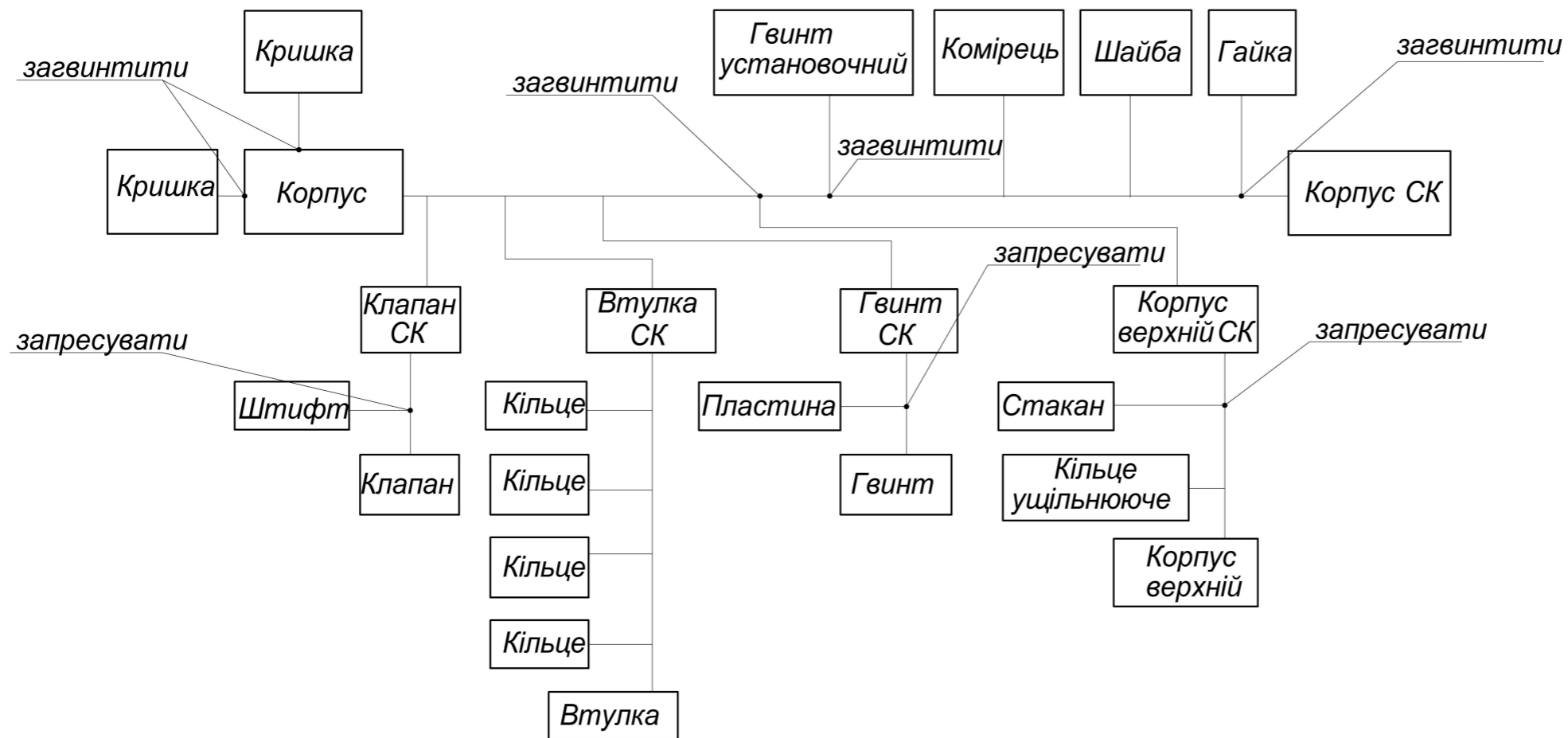
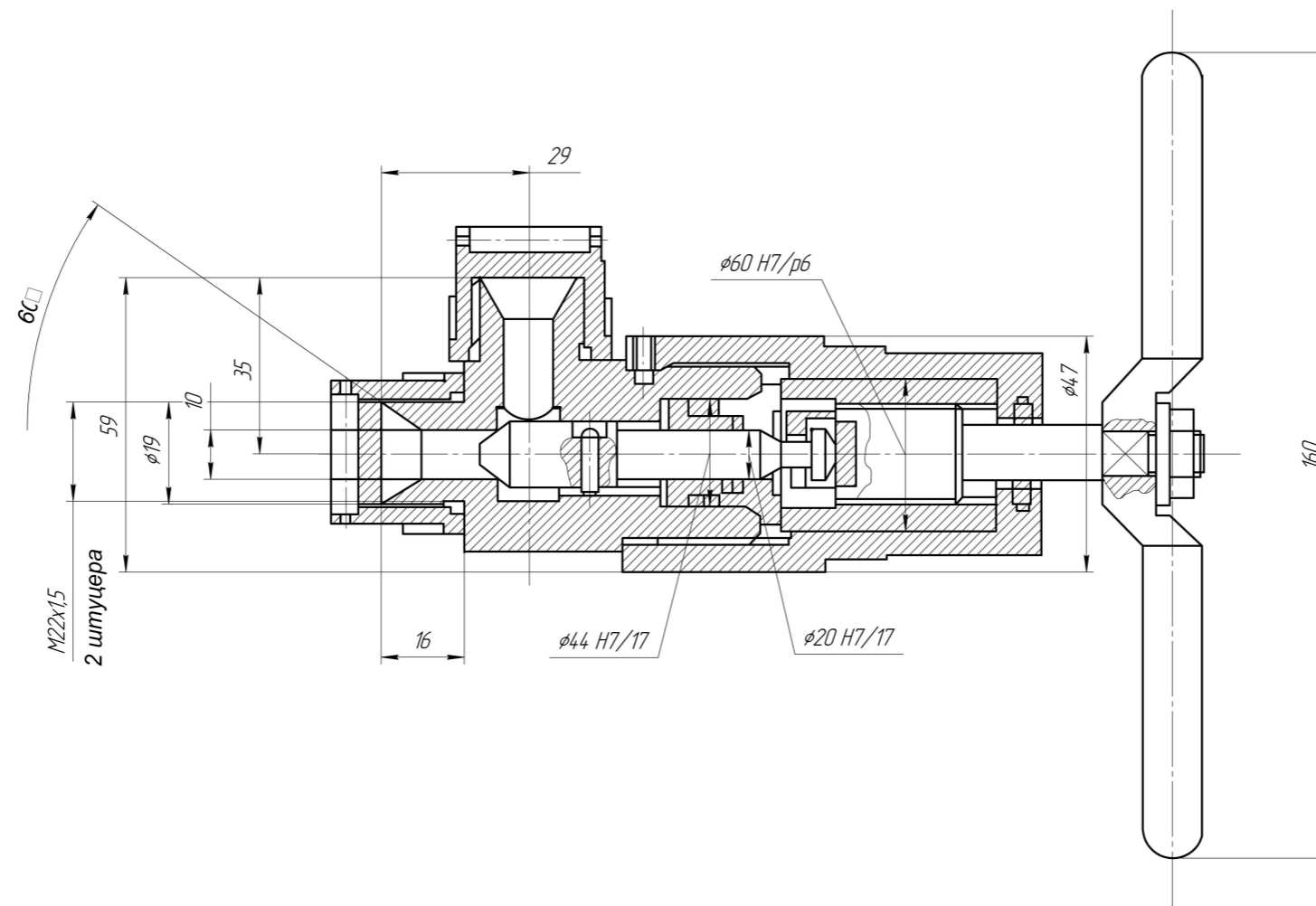
Технічна характеристика

1. Станція сатурації виробник...
2. Продуктивність л/год
3. Тиск C_2O у колоні готової продукції, 0,4 МПа
4. Насос СН...
5. Пневмоклапан...

Відповідальна організація	Технічне узгодження	Розробник документа	Документ затверджено	1:10
НУХТ	доц. Доломакін Ю.Ю.	Литвин В.О.	проф. Гава О.М.	
Вид документа		Статус документа		
Складальне креслення				
Назва, додаткова назва				
МАХФВ		Станція сатурації		
Головний вигляд				
№ зам.	Дата виходу	Мова	Аркуш	
		UA	ш 1	



Відповідальна організація: НУХТ	Технічне узгодження: доц. Доломакін Ю.Ю.	Розробник документа: Литвин В.О.	Документ затверджено: проф. Гава О.М.	1:10
Назва документа: Складальне креслення		Статус документа:		
Назва, додаткова назва: МАХФВ		Деаераційна колона		
Інв. змк.	Дата виходу	Мова	Аркуш	
		UA	1	



Відповідає органу	Технічне узгодження	Розробник документа	Виконав виконання	11
НУХТ	Воц. Бойко Ю.І.	Литвин В.О.	проф. Габда О.М.	
МАХФВ		Вентиль Складальне креслення		
№ зм.	Дата виходу	Місц.	Архив	
		UA	1	

Формат А1