

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Розробка та дослідження автоматизованої системи керування процесом
отримання водного розчину формаліну на базі ТОВ «Карпатнафтохім»

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи КАМ-61

напряму підготовки (спеціальності) 151

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ Балич Т. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Михайлишин Р. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Козбур І. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Карташов В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) _____

Керівник проекту (роботи) _____

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

Затверджені наказом по університету від « _____ » _____ 201__ року № _____

2. Термін подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

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

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

АНОТАЦІЯ

В дипломній роботі розглядався і досліджувався вплив конструкції поверхні пластини теплообмінника на його параметри. Пластина була профільована похилими ребрами для посилення передачі тепла. Потік в каналі між пластинами досліджувався числовими методами з використанням програмного забезпечення Fluent. Граничні умови моделі визначалися на основі очікуваної роботи фактичного теплообмінника. З отриманих значень були виражені безрозмірні коефіцієнти для оцінки втрат тиску та інтенсивності передачі тепла, а згодом були оброблені їх залежності від конструкції ребер.

Було досліджено вплив кількості ребер, також встановлено, що теплопередача та падіння тиску сильно залежать від їх кількості. З отриманих залежностей було визначено граничне значення кількості ребер, коли збільшення втрат тиску та коефіцієнтів теплопередачі можна вважати постійними під час подальшого додавання ребер.

Були створені функціональні залежності коефіцієнтів втрат тиску та коефіцієнтів теплопередачі від кількості ребер, відстані між ними та кутом нахилу. Оскільки це складні взаємозв'язки, ці функції не можна використовувати для прямого проектування поверхні теплообміну. З цієї причини була розроблена програма, яка оцінює отримані параметри обмінника для різних комбінацій розмірів поверхні теплообміну на основі використання функціональних залежностей коефіцієнтів. Аналізуючи коефіцієнт тепловіддачі (шукаючи максимум) окремих варіантів, ми знаходимо значення розмірів оптимальної конструкції. Користувач визначає граничні умови довжини поверхні теплопередачі та максимально можливий перепад тиску.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЯ, ФОРМАЛІН, ДОСЛІДЖЕННЯ, ТЕПЛООБМІННИК, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ХІМІЗМ, УПРАВЛІННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

ANNOTATION

In the thesis the influence of the surface design of the heat exchanger plate on its parameters was considered and investigated. The plate was profiled with inclined ribs to enhance heat transfer. The flow in the channel between the plates was investigated by numerical methods using Fluent software. The model boundary conditions were determined based on the expected performance of the actual heat exchanger. From the values obtained, dimensionless coefficients were expressed to estimate pressure losses and heat transfer rates, and subsequently their dependences on the rib structure were processed.

The influence of the number of edges was investigated and it was found that heat transfer and pressure drop are highly dependent on their number. From the dependences obtained, the limit value of the number of edges was determined, when the increase in pressure losses and heat transfer coefficients can be considered constant as the edges are further added.

Functional dependences of pressure loss coefficients and heat transfer coefficients on the number of edges, the distance between them and the angle of inclination were created. Because these are complex relationships, these functions cannot be used to directly design the heat transfer surface. For this reason, a program was developed that estimates the obtained exchanger parameters for different combinations of heat exchange surface sizes based on the use of functional dependencies of the coefficients. Analyzing the coefficient of heat transfer (looking for maximum) of individual variants, we find the values of the sizes of the optimal design. The user determines the boundary conditions of the length of the heat transfer surface and the maximum possible pressure drop.

Key words: TECHNOLOGY, FORMALINE, RESEARCH, HEAT EXCHANGE, TECHNOLOGY, CHEMISTRY, CONTROL, MATHEMATICAL MODEL

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналітична частина	9
1.1 Способи виробництва формальдегіду	9
1.2 Виробництво формаліну	16
1.3 Актуальність виконання роботи по одержанню карбамідоформальдегідного концентрату	17
2 Технічна частина.....	19
2.1 Характеристика об'єкту дослідження	19
2.2 характеристика продукції	20
2.3 характеристика вхідної сировини, матеріалів і напівпродуктів	23
2.4 одержання карбамідоформальдегідного концентрату (кфк).....	26
2.5 опис технологічної схеми	28
2.6 оптимізація технологічного процесу, хімізм процесу	53
2.7 норми експлуатації	59
2.8 норми технологічного режиму	66
3 конструкторська частина	70
3.1 програмований логічний контролер simatic s7-300.....	70
3.2 технічний опис системи диспетчеризації та управління wincc.....	71
3.3 комунікаційні зв'язки і обмін даними.....	73
3.4 центральний блок управління.....	75
3.5 центр візуального контролю.....	76
3.6 аварійний і сигнальний контур.....	77
3.7 склад цбу.....	83
3.8 підключення устаткування	84
3.9 панель інструментів.....	87

4	спеціальна частина.....	90
4.1	обчислювальна модель.....	90
4.2	створення комп'ютерної мережі.....	94
4.3	fluent - попередня обробка.....	95
4.4	методика оцінки результатів.....	99
4.5	розробка програми для розрахунку пластинчастих теплообмінників .	103
5	науково-дослідницька частина.....	107
5.1	вплив ребрової конструкції пластини на параметри теплообмінника .	107
5.2	оптимізація поверхні теплообміну.....	114
5.3	висновки.....	122
6	обґрунтування економічної ефективності.....	125
6.1	вихідні дані.....	125
6.2	проектна потужність і об'єм випуску продукції.....	126
6.3	розрахунок зміни собівартості продукції.....	127
6.4	розрахунок техніко-економічних показників.....	129
7	охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	133
7.1	охорона праці.....	133
7.2	безпека в надзвичайних ситуаціях.....	139
8	екологія.....	145
8.1	фізико-географічна та кліматична характеристика майданчика.....	145
8.2	характеристика викидів в атмосферу, стоків і твердих відходів.....	145
8.3	заходи по забезпеченню надійності охорони водних ресурсів і атмосферного повітря, заходи контролю.....	146
	висновки.....	148
	перелік посилань.....	149
	додатки.....	153

ВСТУП

З поміж усіх органічних сполук, які ми знаємо в даний час, формальдегіду, належить особлива роль. Формальдегід є першим у гомологічному ряду аліфатичних альдегідів.

Поруч з метанолом, метаном, мурашиною кислотою і ціановоднем формальдегід можна поставити до найбільш простих, в тому числі елементарних органічних сполук. Дослідниками була доведена можливість утворення формальдегіду в близьких до природного умовах. Так, зареєстроване утворення формальдегіду при фотохімічному окислюванні метану або метанолу при атмосферному тиску, а також за відсутності каталізатора. Можливе і термодинамічне одержання формальдегіду гідруванням оксиду й діоксиду вуглецю.

Формальдегід можна віднести до активних хімічних сполук, які легко вступають в реакцію з іншими речовинами з утворенням великого класу нових сполук, багато з них мають важливі властивості. Під час взаємодії формальдегіду з такими реагентами, як кисень, аміак, пероксид водню, хлор та водень виходять досить фундаментальні для органічного синтезу продукти - карбамід, уротропін, мурашина й надмурашина кислоти, фосген, метанол і т.д. Практично всі ці реакції протікають спонтанно, при низьких температурах, або вимагають самих примітивних каталізаторів, наприклад кислот або солей. Формальдегід здатен реагувати із більшістю класів органічних речовин, за винятком лише насичених вуглеводнів і ефірів.

Формальдегід завдяки своїй реакційній здатності за короткий проміжок часу перетворився в один з незамінних напівпродуктів великотоннажного органічного синтезу.

Його використовують в промисловості у якості сировини для виробництва пластичних мас, синтетичних смол, поверхнево-активних речовин, нових органічних барвників, лаків, лікарських препаратів і вибухових речовин. У сільському господарстві для протруювання насіння, в шкіряній промисловості для

дублення шкіри, в медицині як антисептичний засіб. Сфера застосування формальдегіду зростає з року в рік. У зв'язку з цим зростає і його виробництво.

В даний момент основним споживачем формальдегіду є промисловість синтетичних смол: виробництво фенолформальдегідних, мочевіноформальдегідних смол; смол, модифікованих шляхом обробки формальдегідом: малорозчинних покриттів, лаків, клеїв, шаруватих пластиків.

Серед всього цього найбільшого поширення набув продукт, що містить 35 - 37% формальдегіду і 6 - 11% метанолу, названий формаліном. Рецептuru формаліну сформувався історично, під впливом наступних чинників. По-перше, метанол і вода супроводжують формальдегід на стадії його отримання найпоширенішим методом (метанол - сировина, вода - побічний продукт і абсорбент). По-друге, розчин зазначеного складу при позитивних температурах цілком стабільний до випадання полімеру і може зберігатися або транспортуватися протягом невизначено довгого часу. По-третє, у вигляді водно-метанольного розчину формальдегід може застосовуватися в більшості виробничих синтезів, а також при безпосередньому використанні. І по-четверте, саме формалін утворюється при окислювальній конверсії метанолу в присутності металевих каталізаторів на стадії абсорбції контактного газу. Жодних додаткових операцій із додавання продукту товарних властивостей (концентрування, очищення і т. д.), як правило, не потрібно.

Важливий показник якості формаліну – це вміст мурашиної кислоти. Це пов'язано з інтересами виробництв, що застосовують формальдегід для синтезів в лужних середовищах. При великому вмісті мурашиної кислоти формалін проходить стадію аніонітного очищення.

Роль метанолу, як і інших спиртів, у стабілізації водних розчинів, полягає у блокуванні кінцевих груп полімерних молекул і в запобіганні утворення нерозчинних поліоксиметиленів надто великої молекулярної маси.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

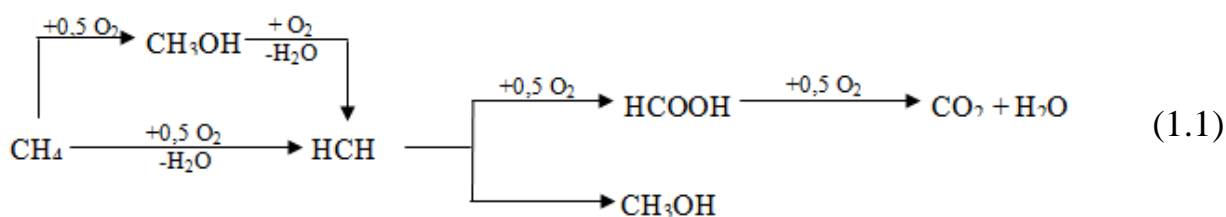
1.1 Способи виробництва формальдегіду

1.1.1 Виробництво формальдегіду окисненням газоподібних парафінів

Існує два методи виробництва формальдегіду. Перший складається в окисненні газоподібних парафінів, при якому формальдегід утворюється разом з іншими продуктами окиснення: метиловим спиртом і ацетальдегідом.

Високий вихід нестійких продуктів неповного окиснення парафінів при газофазному процесі окиснення досягається шляхом проведення реакції при нестачі кисню й малому часі контакту, а це 0,5 – 1,5 с. Окрім цього, відіграє важливу роль температура і тиск, «загартовування» продуктів водою, розведення реакційних газів водяною парою, використання гомогенних ініціаторів (HNO₃, NO₂), а у певних випадках – гетерогенних каталізаторів [1].

На практиці процес окиснення метану у формальдегід ускладнюється можливістю подальшого окиснення формальдегіду і його розпаду на окис вуглецю й водень:



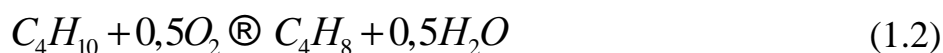
Це не давало довгий час одержувати формальдегід зі значним виходом, незважаючи на широке варіювання умов процесу і перебиранням ініціаторів та каталізаторів. Успіху вдалося досягти при використанні великого надлишку метану стосовно кисню. Для цього у реактор подавався свіжий метан [1] і повітря у співвідношенні 3,7:1 і додатково розбавлялася суміш десятикратним обсягом циркулюючого газу. При температурах 400 – 600 °С і окисом азоту як ініціатором, вихід формальдегіду почав становити коло 35% за метаном який прореагував,

недоліком окиснення метану стали значні витрати на рециркуляцію неперетвореного газу, а також великий обсяг апаратури й трубопроводів [1].

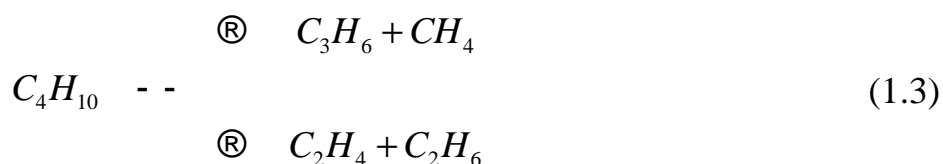
Найбільше застосування процесу знайшлося для окиснення пропану, бутанів і їхніх сумішей. При цьому крім метанолу, формальдегіду й ацетальдегіду утворюються інші спирти й альдегіди, ацетон, ацеталі, складні ефіри, карбонові кислоти, двоокис вуглецю й вода. Щоб уникнути глибокого окиснення використовують об'ємне співвідношення повітря до вуглеводню від 1:3,5 до 1:4 [3].

Можливе також використання замість повітря, технічного кисню. При цьому рециркулюючі гази не розбавляються азотом. Кількість кисню в газовій суміші, що надходить на окиснення, становить 4 - 6 об'ємн. %. Підвищення температури й тиску сприяє прискоренню окиснення й збільшенню продуктивності апаратури. При газофазному окисненні парафінів підвищений тиск сприяє утворенню спиртів і альдегідів. Найчастіше працюють при 0,9 МПа, іноді при 2 МПа, але не вище, тому що стиск газу пов'язаний з додатковими енергетичними витратами [1].

Верхня межа температури при газофазному окисненні парафінів обмежується можливістю розвитку реакцій дегідрування й крекінгу вуглеводнів, які йдуть як первинні процеси при високій температурі [2]. Так, н-бутан при 450 – 500 °С лише в невеликому ступені піддається власному окисненню, а головним чином дегідрується:



Ця реакція окисного дегідрування парафінів, що обмежує вибір температури окиснення, представляє, однак, самостійний інтерес як метод синтезу олефінів і дієнів. При газофазному окисненні парафінів навіть при 400 °С не вдалося уникнути протікання побічних процесів дегідрування й крекінгу вихідних вуглеводнів. У результаті реакційні гази містять олефіни й парафіни з меншим числом вуглецевих атомів, чим у вихідному парафіні:



Мінімальна температура газофазного окиснення парафінів обмежена швидкістю реакції й перебуває в інтервалі 250 – 280 °С. На практиці процес проводять при 350 – 430 °С. Найчастіше здійснюють некаталітичну реакцію, оскільки навіть «м'які» каталізатори окиснення можуть знизити вихід спиртів і альдегідів, сприяючи утворенню продуктів глибокого окиснення [3].

Суміш свіжого й рециркулюючого вуглеводню з киснем або повітрям підігрівають до 350 – 370 °С і направляють у реакційний апарат, що не має охолоджувальних пристроїв. За рахунок тепла, що виділяється при окислюванні, газ нагрівається до температури 430 - 450 °С и надходять в абсорбер, зрошуваний водою, де їхня температура швидко знижується до 70 - 90 °С. Одночасно з газу витягають формальдегід і малолетучі продукти (карбонові кислоти й ін.). у наступному абсорбері газ промивають надлишком холодної води й витягають більше летучі речовини (метанол, ацетальдегід, кетони, ацетали). Залишковий газ містить неперетворений парафін, N₂ і нижчі вуглеводні (метан, етан, етилен), що утворилися в результаті крекінгу. Іноді цей газ використовують як паливо, але вигідніше здійснювати його рециркуляцію. У випадку рециркуляції основну кількість газу знову подають на реакцію, а частину, що залишилася, очищають від домішок шляхом абсорбції вуглеводнів маслом або їхнім скрапленням під тиском. Очищений газ повертають на реакцію, чим запобігає надмірне нагромадження домішок у рециркулюючому газі [1].

Розчин, отриманий у першій абсорбційній колоні, містить 15 - 20 % формальдегіду. З нього спочатку відганяють летучі домішки, а потім водний формальдегід, залишаючи в кубі висококиплячі продукти. Отриманий 35 - 40 % розчин формальдегіду (формалін) очищають від кислот на іонообмінних смолах, а від інших домішок - екстракцією розчинником. Багатокомпонентну суміш летучих продуктів із другого абсорбера піддають ректифікації, азеотропній перегонці, гідруванню й ін. З її спочатку відганяють найбільш летучий ацетальдегід, а потім у вигляді азеотропної суміші з водою й гептаном -

метиловий спирт. Спирт очищають від ацетону й ацеталю ректифікацією. Крім ацетальдегіду й ацетону із одуктів реакції іноді виділяють ацетон, а суміш інших речовин випускають у вигляді змішаного розчинника [1].

1.1.2 Виробництво формальдегіду на окисних каталізаторах

Основним методом виробництва формальдегіду залишається окислювальне дегідрування метанолу. Цей метод на відміну від розглянутого раніше не припускає складної схеми поділу продуктів, а також витрат на рециркуляцію неперетвореного вуглеводню.



У виробництві, у якості каталізаторів найбільше поширення отримали суміші оксидів заліза та молібдена MoO_3 , з атомним співвідношенням молібдена до заліза від 1,7 до 2,5. По суті єдиною побічною реакцією даного процесу є подальше окиснення формальдегіду що утворився.

За рахунок проведення процесу у кінетичній області для основної реакції і високої ступені селективності окисного контакту конверсія метанолу може бути доведена до 98-99%, при мольному виході формальдегіду на сировину 95-96 % [3].

Окиснення метанолу проводять у кожухотрубчатих ізотермічних реакторах із трубками невеликого діаметру. Це дозволяє отримувати формалін із складом метанолу у ньому не більше 0,6%, а мурашиної кислоти менш ніж 0,02 % [3].

Очищене повітря за допомогою повітрядувки подається у теплообмінник, де нагрівається за рахунок тепла контактних газів. У трубопровод після теплообмінника вприскується метанол. Нагріта до 180 °С спиртоповітряна суміш, яка має у своєму складі 6-7% метанолу, поступає у верхню частину реактора,

(температура всередині трубок із каталізатором складає 360-380 °С, а у міжтрубному просторі 250-290 °С). Термостатування реактора здійснюється за допомогою нагрітого теплоносія. Строк служби окисного каталізатора складає приблизно півтора роки, причому продуктивність 1кг каталізатора перевищує 20 т 37% - го розчину формальдегіду. Контактний газ, охолоджений до 140 °С, із реактора направляється у нижню частину скрубера. Приблизно 1/3 газів після абсорбера направляється на факел, а те що залишилося подається на рецикл. Із нижньої частини абсорбера виводиться 37% формалін [3].

1.1.3 Виробництво формальдегіду на срібному каталізаторі

Технологічний процес заснований на каталітичній взаємодії метанолу з киснем повітря в парогазовій фазі на гетерогенному срібному каталізаторі проводиться під тиском не більше 0,06 МПа при температурі від 650 до 750 °С із максимально можливою конверсією метанолу.

Безперервність потоку здійснюється нагнітанням повітря в спиртовипарювач повітродувкою.

Технологічний процес виробництва формаліну складається з наступних стадій:

- спиртовипарення (готування метанольно-водно-повітряної суміші);
- окисної конверсії;
- поглинання (абсорбції із продуктів реакції формальдегіду, що утворився, і непрореагувавшого метанолу, тобто готування водяного розчину формальдегіду);

Однією з головних умов, що визначають ведення процесу одержання формаліну, є температура в шарі каталізатора, що у свою чергу залежить від складу вступника в реактор робочої суміші.

Робоча суміш утвориться при барботажі повітря крізь шар нагрітої до заданої температури метанольно-водної суміші.

Особливістю ведення технологічного процесу одержання формаліну є те, що повітря в процес подається в кількості меншому стехіометричного. Внаслідок

цього процес ведеться на робочій суміші зі змістом метанолу вище верхньої межі руйнування, тобто при великому надлишку метанолу стосовно кисню.

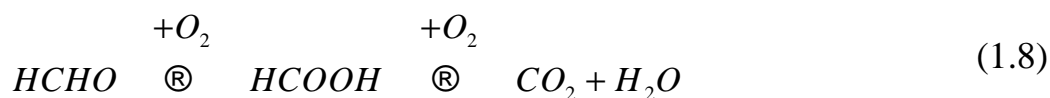
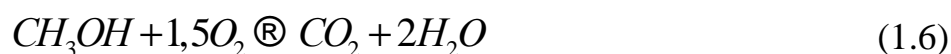
Склад робочої суміші залежить від декількох факторів:

- температури повітря;
- концентрації вступника в спиртовипарювач метанольно-водної суміші;
- температури метанольно-водної суміші в спиртовипарювачі;
- висоти барботажного шару;
- лінійної швидкості повітря;
- тиску в спиртовипарювачі.

При сталості перерахованих параметрів регулювання складу робочої суміші виробляється шляхом зміни температури метанольно-водної суміші в спиртовипарювачі, тобто зміною температури теплоносія (циркуляційного конденсату), поданого в теплообмінник спиртовипарювача, або співвідношення повітря : метанол.

Перетворення метанолу у формальдегід протікає в адіабатичному реакторі ідеального витиснення. Формальдегід утвориться по двох основних реакціях - дегідрування й окиснення метанолу: (1.4), (1.5).

Одночасно з основними протікають побічні реакції:



Окисне дегідрування проводять при недоліку кисню, тому глибоке окиснення не одержує значного розвитку [1]. У той же час, саме дегідрування, що ініціює кисень, протікає швидше, і усі раніше згадані побічні реакції не так помітні, як при дегідруванні первинних спиртів.

Сумарний тепловий ефект основних і побічних реакцій сильно екзотермічний, що призводить до значного розігріву реакційної маси до температури більше 600 °С.

Каталізатор «срібло на пемзі» дуже вимогливий до дотримання встановленої максимально припустимої температури в зоні реакції й чистоти сировини.

Температура вихідних з реактора реакційних газів досягає 700 °С, тому великий вплив на підвищення виходу формальдегіду небажаних побічних реакцій має різке первісне їхнє охолодження. Основна з побічних реакцій це розкладання отриманого формальдегіду на оксид вуглецю й водень. Швидке охолодження продуктів реакції здійснюється у підконтактному холодильнику, на трубній дошці якого поміщений контактний апарат. Охолодження продуктів і нагрівання метанольно-водної суміші у спиртовипарювачі здійснюється циркуляційним конденсатом, що циркулює за схемою: теплообмінник спиртовипарювача - насос - підконтактний холодильник - теплообмінник циркуляційного конденсату - теплообмінник спиртовипарювача [2].

Охоложені реакційні гази з підконтактного холодильника надходять у нижню частину абсорбера, виконаного у вигляді тарілчастої колони. В абсорбері здійснюється поглинання, як формальдегіду, так і метанолу що непрореагував, що втримується в продуктах реакції в кількості, достатньому для стабілізації формальдегіду. Стабілізація необхідна для запобігання глибокої полімеризації формаліну й випадання осаду [1]. Як абсорбент використовується конденсат.

Тому що абсорбція йде з виділенням тепла, а температура газів, що відходять із абсорбера (викидів) не повинна перевищувати 30 С°, рідина на тарілках абсорбера проохолоджується за допомогою виносних холодильників по трьох контурах.

У процесі абсорбції стандартний формалін, що утвориться, з куба колони крізь холодильник направляєється на склад.

Не поглинений газ із верхньої частини колони направляєється на природоохоронний комплекс і далі на утилізацію [4].

1.2 Виробництво формаліну

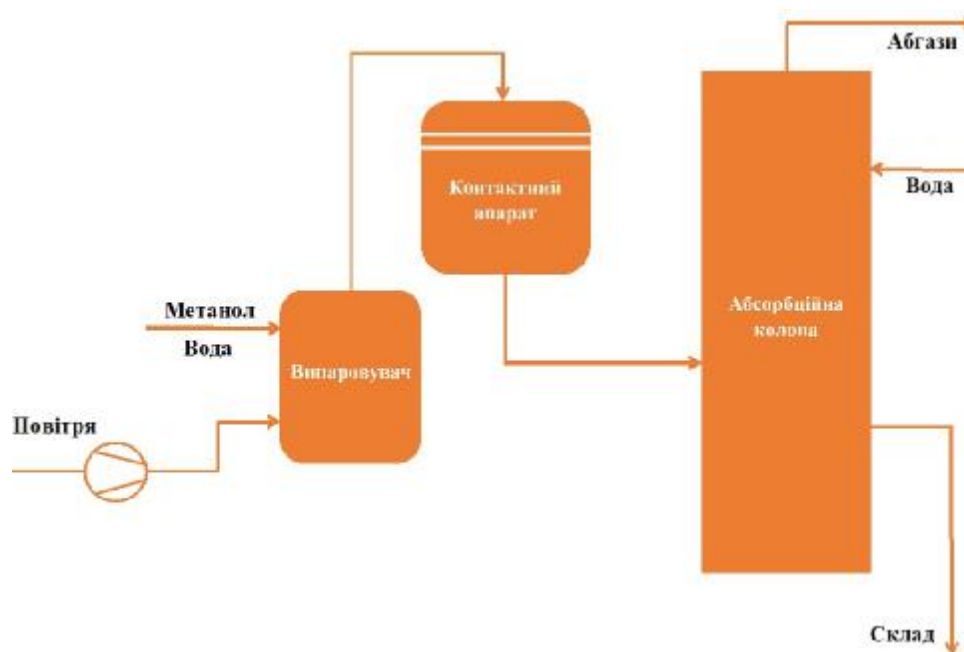


Рис. 1.1 - Процес виробництва формаліну

У загальних рисах, процес виробництва формаліну виглядає наступним чином:

- Стадія підготовки спиртоповітряної суміші, яка проводиться в випарнику метанолу.

- Каталітичне перетворення метанолу в формальдегід, яке проводиться в контактному апараті при температурі понад шестисот градусів, в шарі каталізатора.

- Стадія поглинання формальдегіду водою, яка проводиться в абсорбційній колоні.

- Готова продукція, розчин формальдегіду, направляєється на склад готової продукції.

Варто згадати, що карбамідоформальдегідний концентрат (КФК) отримують так само, як і формалін, тільки абсорбцію формальдегідомісного газу ведуть розчином карбаміду, а не водою, як в разі отримання формаліну [2].

1.3 Актуальність виконання роботи по одержанню карбамідоформальдегідного концентрату

На сьогоднішній день виробництво карбамідоформальдегідного концентрату досить актуальне.

Науковці та керівники, які працюють над підвищенням якості продукції та оптимізації виробництва розробляють нові методи керування процесом, застосовуючи нові інноваційні технології. Також постійно удосконалюються технологічні і виробничі процеси, ведеться робота з модернізації і розробки нових видів продукції.

Розвитку виробництва карбамідоформальдегідного концентрату сприяли розробка й початок промислового випуску фенольно-формальдегідних смол Смітом у 1906 р. і Бакеландом у 1909р. у США, Петровим, Тарасовим і Лосєвим - у Росії у 1912р. і подальше збільшення їхнього виробництва й асортиментів; розробка й промисловий випуск карбаміду (сечовини) і меламіну й синтез із їхнім застосуванням великих асортиментів карбамідно-формальдегідних смол; розробка й промисловий випуск ізопренового каучуку з ізобутилену й формальдегіду. У Німеччині у 1923 р. був розроблений і організований промисловий випуск синтетичного метанолу, що раніше стримувало виробництво формаліну [3].

У цей час загальноновизнано, що при споживанні формаліну більше 10 тис. т. у рік економічно доцільно мати на місці споживання власне виробництво формаліну [3].

Найбільш великий напрямок використання формальдегіду - одержання полімерних матеріалів [3]. Розрізняють процеси, у яких формальдегід використовується у вигляді мономера (сомономера) і у вигляді сировини для наступного синтезу того або іншого мономера. До процесів першої групи

ставляться виробництва смол і пластмас конденсацією формальдегіду з фенолами й амінами.

Серед мономерів, синтезованих на основі формальдегіду, крім ізопрену, виділяються багатоатомні спирти й 1,4 - бутандіол, 4,4 - дифенілметандіізоціанат, алкілпірідиній т.д. Формальдегід полягає в основі різноманітних синтезів таких продуктів, як присадки до масел, вибухові речовини, уротропін і т.д.

Значна частина формальдегіду використовується й безпосередньо у вигляді водно-метанольного розчину або низькомолекулярного полімеру (параформ), як консервант, дубителя, інсектициду й т.п [4].

2 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика об'єкту дослідження

Дільниця одержання карбамідоформальдегідного концентрату (далі за текстом продукт, продукція КФК) газофазним методом, входить в склад виробництва карбамідоформальдегідної смоли і призначена для одержання, приймання, зберігання і видачі в процес (на дільницю одержання карбамідоформальдегідної смоли) карбамідоформальдегідного концентрату.

Дільниця одержання карбамідоформальдегідного концентрату (КФК) введена в експлуатацію в 2006 р.

Потужність виробництва:

а) проектна – 29 102 т/рік;

б) досягнута – 29 102 т/рік.

Гранично виправдана економічна потужність виробництва, нижче якої питомі витрати на одиницю продукції різко зростають проти запланованих нормативів складає 14 150 т/рік.

Мінімальна стійка потужність виробництва становить 12 000 т/рік карбамідоформальдегідного концентрату.

Кількість технологічних потоків – 1.

Метод виробництва дільниці - одержання карбамідоформальдегідного концентрату здійснюється безперервним методом.

Генеральним проектувальником дільниці карбамідоформальдегідного концентрату (КФК) є фірма „ALDER” (Італія).

Проектувальником будівельної та технологічної частини допоміжних установок дільниці з виробництва карбамідоформальдегідної смоли є проектний відділ ТОВ „Карпатнафтохім”.

2.2 Характеристика продукції

Технічна назва продукту – карбамідоформальдегідний концентрат.

Карбамідоформальдегідний концентрат підлягає обов'язковій сертифікації і по своїм показникам повинен відповідати вимогам ТУ У 24.1-33578130-007:2015 приведеним в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Фізико-хімічні властивості КФК

Назва властивості (константи) та одиниця вимірювання	Значення фізичної величини з граничними відхиленнями			Джерело інформації
	КФК-70		КФК-80	
	Марка А	Марка Б		
1	2	3	4	5
Зовнішній вигляд	Однорідна в'язка рідина			ТУУ 24.1-335781 30-007:2015
Густина, при 20 ⁰ С, г/см ³	1,25-1,33			ТУУ 24.1-335781 30-007:2015
Концентрація водневих іонів, рН	7,0-8,5	8±0,5	7,0-8,5	ТУУ 24.1-335781 30-007:2015
В'язкість умовна по віскозиметру ВЗ-246 (сопло 4,000±0,015 мм), при 20 ⁰ С, с, не більше	20		60	ТУУ 24.1-335781 30-007:2015
Масова частка загального формальдегіду, %, не більше	49,0±1,0	47,0±1,0	55,0±3,0	ТУУ 24.1-335781 30-007:2015
Масова частка загального карбаміду, %, не більше	21,0±1,0	19,0±1,0	25,0±3,0	ТУУ 24.1-335781 30-007:2015
Буферна ємність, мл, не більше	12	20	15	ТУУ 24.1-335781 30-007:2015
Масова частка метилольних груп, %, не менше	22		20	ТУУ 24.1-335781 30-007:2015

Карбамідоформальдегідний концентрат КФК-85 підлягає обов'язковій сертифікації і повинен відповідати показникам ТУ У 24.1-33578130-008:2017 приведеним в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Фізико-хімічні властивості КФК-85

Назва властивості (константи) та одиниця вимірювання	Значення фізичної величини з граничним відхиленням	Джерело інформації
1	2	3
Зовнішній вигляд	Однорідна в'язка рідина	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017
Густина, при 20 ⁰ С, г/см ³	1,25-1,33	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017
Концентрація водневих іонів, рН	7,0-9,0	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017
В'язкість умовна по віскозиметру ВЗ-246 (сопло 4,000±0,015 мм), при 20 ⁰ С, с, не більше	80	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017
Масова частка загального формальдегіду, %, не більше	58,5-60,0	ТУУ 24.1-33578130-008:2017
Масова частка загального карбаміду, %, не більше	24,5-26,5	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017
Буферна ємність, мл, не більше	12	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017
Масова частка метилольних груп, %, не більше	25	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017
Показник заломлення за температури 20 ⁰ С	1,429-1,4738	ТУУ 24.1-33578130 - 008:2017

Технічна назва продукту – формалін.

Формалін підлягає обов'язковій сертифікації і повинен відповідати вимогам стандарту ТУ У 24.1-33270581-037:2014 приведених в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Фізико-хімічні показники формаліну

Назва властивості (константи) та одиниця вимірювання	Значення фізичної величини з граничним відхиленням			Джерело інформації
	Формалін			
	Вищий сорт ОКП 24 1731 0120	1-й сорт ОКП 24 1731 0130	ФБМ ОКП 24 1731 0200	
1	2	3	4	5
Зовнішній вигляд	Безбарвна прозора рідина. При зберіганні допускається помутніння або білий осад, розчинний при температурі не вище 40 °С			ТУУ 24.1-33270581-037:2014
Масова частка формальдегіду, %	37,2±0,3	37,0± 0,5	37,0 ± 0,5	ТУУ 24.1-33270581-037:2014
Масова частка метанолу, %		4-8	Не більше 1	ТУУ 24.1-33270581-037:2014
Масова частка кислот в перерахунку на мурашину кислоту, %, не більше	0,02	0,04	0,02	ТУУ 24.1-33270581-037:2014

Карбамідоформальдегідний концентрат є продуктом каталітичного окислення метанолу в атмосфері азоту до формальдегіду та подальшої газо-фазної абсорбції газоподібного формальдегіду розчином карбаміду.

Формалін водний розчин формальдегіду який як стабілізатор містить близько 3 – 4 % метилового (технічного) спирту. Це прозора безбарвна рідина, що має вельми характерний запах.

Карбамідоформальдегідний концентрат призначений для використання у виробництві карбамідоформальдегідних смол, а також як антизлежувач у виробництві мінеральних добрив.

Формалін використовується для протруювання зерна і коренеплодів у сільському господарстві, як сировина в хімічній промисловості, як дезінфікуючий засіб в медицині.

2.3 Характеристика вхідної сировини, матеріалів і напівпродуктів

Таблиця 2.4 - Характеристика сировини, матеріалів та напівпродуктів

Назва та хімічна формула (для хімічних речовин) сировини, матеріалів, напівпродуктів	Позначення та (або) назва нормативного документа, якому повинні відповідати сировина, матеріали, напівпродуктів	Показники, обов'язкові для перевірки (назва і одиниця вимірювання)	Норми показників, що регламентуються з допустимим відхиленням
1	2	3	4
Метанол технічний CH_3OH	ДСТУ 3057-95 марка А	Зовнішній вигляд	Безбарвна прозора рідина без нерозчинних домішок
		Густина за 20°C , г/см ³	0,791-0,792
		Масова частка води, %, не більша ніж	0,05
Карбамід $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	ДСТУ 7312:2013 марка Б	Масова частка азоту в перерахунку на суху речовину, %, не менша ніж	46,2
		Масова частка біурету, %, не менша ніж	1,4
		Масова частка вільного аміаку, %, не більша ніж, для карбаміду: кристалічного прилірованого Масова частка води, %, не більша ніж:	- - 0,3
		метод висушування метод Фішера	Сорт вищий - 0,5 Сорт 1-й - 0,6

Селітра калієва технічна (калій азотнокислий технічний) KNO_3	ТУ У 24.1- 33270581- 022:2009	Зовнішній вигляд	Білі кристали з жовтувато- сіруватим відтінком
--	-------------------------------------	------------------	---

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
		Масова частка азотнокислого калію, %, не менша ніж	99,85
Натрій азотистокислий $NaNO_2$	ТУ У 24.1- 05761614-015:2011	Масова частка азотистокислого натрію ($NaNO_2$) (з висушеного препарату), %, не менша ніж	(х.ч.) 99,0 (ч.д.а.) 99,0 (ч.)98,5
Натрій азотнокислий технічний $NaNO_3$	ТУ У 24.1- 33270581-002:2011 Марка А	Зовнішній вигляд	Білі прозорі кристали з сіруватим або жовтуватим відтінком
		Масова частка азотнокислого натрію в перерахунку на суху речовину, %, не більша ніж	99,8
Натрій їдкий технічний $NaOH$	ТУ У 24.1- 33129683-002:2010 Марка РД	Зовнішній вигляд	Безбарвна або слабо забарвлена рідина. Допускається викристалізований осад.
		Масова частка гідроксиду натрію, %, не менша ніж Масова частка вуглекислого натрію, %, не більша ніж	Сорт вищий 46,0 Сорт перший 44,0 Сорт вищий 3,0 Сорт перший 3,8

Натрій їдкий технічний NaOH	ТУ У 24.1- 33129683-002:2010 Марка TP	Зовнішній вигляд	Чешуйована маса білого кольору. Допускається слабке забарвлення
-----------------------------------	---	---------------------	--

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
		Масова частка гідроксиду натрію, %, не менша ніж	98,5
		Масова частка вуглекислого натрію, %, не більше	0,05
Каталізатор залізо- молібденовий	Технічна інформація надана компанією Alder S.p.A Італія	Зовнішній вигляд	Гранули сірого забарвлення
		Теоретичний вміст оксиду заліза, %	18-19
		Теоретичний вміст оксиду молібдену, %	80-81
		Насипна щільність, кг/м ³	700-750
Вода промислова	Технологічний регламент станції очищення промислової води	Масова частка завислих речовин, мг/дм ³ , не більша	12,0
		Масова частка сухого залишку, мг/дм ³ , не більша	300
		Показник концентрації іонів водню, одиниці рН	6,5-8,5
		Загальна твердість, мг- екв/дм ³ , не більша	3,5

		Загальна лужність, мг-екв/дм ³	0,35-1,80
		Масова частка сульфатів, мг/дм ³ , не більша	100,00
		Масова частка хлоридів, мг/дм ³ , не більша	35,0

Продовження таблиці 2.4

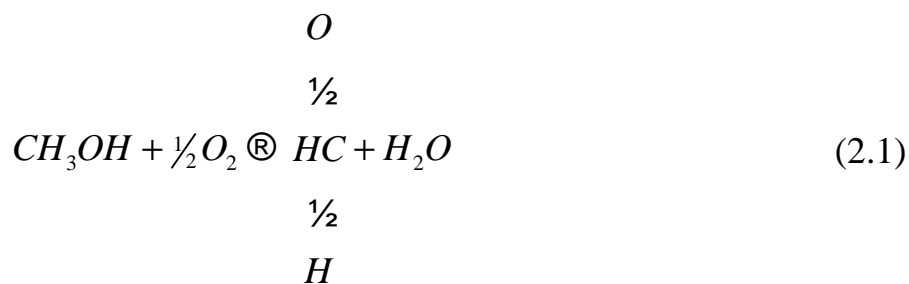
1	2	3	4
		Масова частка іонів амонію, мг/дм ³ , не більша	0,5
		Масова частка хлору активного, мг/дм ³	0,1-1,0

Кінець таблиці 2.4

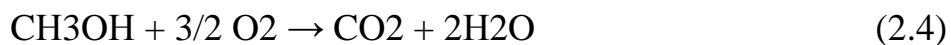
2.4 Одержання карбамідоформальдегідного концентрату (КФК)

Одержання КФК здійснюється в реакторі синтезу методом каталітичного окислення метанолу з подальшою абсорбцією газоподібного формальдегіду 55%-ним водним розчином карбаміду. В якості каталізатора використовуються гранули металооксидів (залізо-молібденовий каталізатор). Реакція каталітичного окислення протікає при температурі 240-310°С і тиску 4,0 кг/см² (0,4 МПа).

Основна реакція, що протікає в реакторі синтезу:



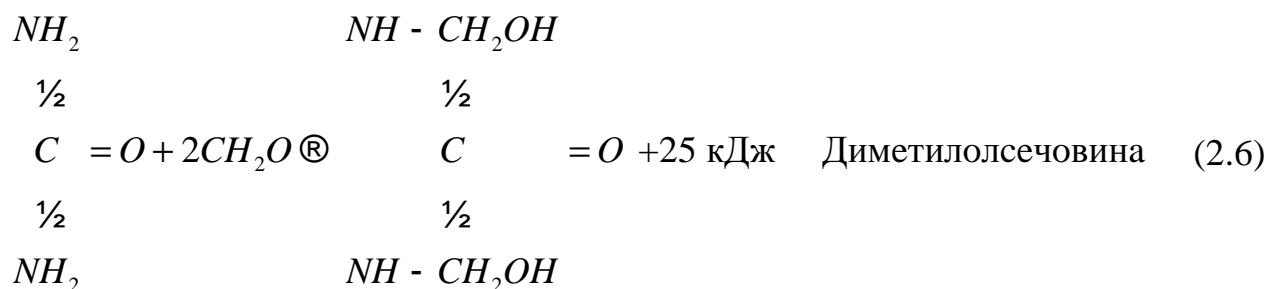
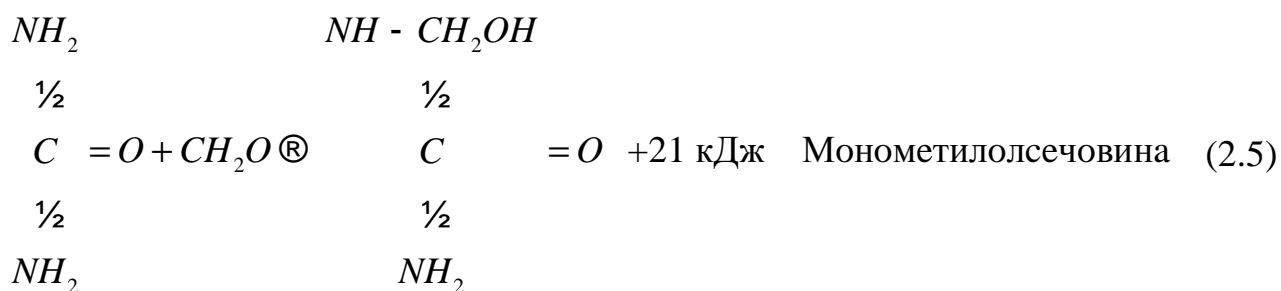
Побічні реакції:



Для протікання реакції окислення випарений метанол змішують з свіжим повітрям, яке нагнітається з атмосфери каскадом вентиляторів. Співвідношення метанолу в газі, що поступає на реактор, підтримується в довибухових концентраціях, що відповідно забезпечує вміст формальдегіду в реакційному газі так само в довибухових концентраціях.

Одержаний таким чином газоподібний формальдегід після охолодження поступає в абсорбційну колону, де поглинається 55%-ним водним розчином карбаміду. В абсорбційній колоні відбувається трьохстадійне відмивання реакційних газів від формальдегіду (реакція утворення монометилосечовини та диметилосечовини) на трьох штабелюючих столах з насадками (кільця Пола).

Водний розчин моно- і диметилосечовини отримав назву карбамідо-формальдегідного концентрату.



Абсорбція формальдегіду здійснюється по принципу прямого, тобто газ найвищої концентрації зрошується найміцнішим (55%-ним) розчином карбаміду, а газ на третій стадії абсорбції з вмістом формальдегіду до 0,5% об. остаточно відмивається від формальдегіду слабким розчином карбаміду. Розбавлений розчин карбаміду з третьої стадії абсорбції поступає на зрошення третьої стадії.

Відмиті від формальдегіду газ з залишковим вмістом метанолу до 0,5% об. подаються на змішування з свіжим повітрям і випареним метанолом, забезпечуючи замкнений цикл. Кількість оборотного газу регулюється, надлишок може скидатись в атмосферу (концентрації метанолу по проведенням розрахунках приземних концентрацій складатимуть менше, ніж 0,4 долі ГДК), попередньо проходячи через конденсатор-краплевідбійник і вологовідділювач.

По досягненні заданої концентрації карбамідоформальдегідного концентрату він відкачується з куба колони у ємності проміжного зберігання.

На установці в різний час можуть бути одержані як формалін (водний розчин формальдегіду), так і карбамідоформальдегідний концентрат різної концентрації шляхом зміни умов експлуатації секцій абсорбційної колони.

2.5 Опис технологічної схеми

Процес одержання карбамідоформальдегідного концентрату КФК, проводиться за стадіями:

- Приймання та підготовка сировини і видача в технологічний процес;
- Окислення;
- Абсорбція;
- Приймання та зберігання готового продукту.

2.5.1 Приймання та підготовка сировини і видача в технологічний процес

Приймання та видача метанолу на стадію одержання карбамідоформальдегідного концентрату.

Приймання, зберігання і відпуску метанолу описано в технологічному регламенті ТОВ “КАРПАТНАФТОХІМ” № 01-КС-2010.

Метанол з резервуарів зберігання поз. 104/1,2, або 105/1,2, або 106/1,2 за допомогою одного з двох зубчастих об’ємних насосів поз. P101 a, b подається на установку одержання карбамідоформальдегідного концентрату (КФК).

На всмоктуванні насосів встановлені фільтри для вловлювання механічних домішок. Двигуни насосів виконані у вибухобезпечному виконанні зі змінним числом обертів. Швидкість обертання двигунів регулюється двома частотними перетворювачами поз. SY101a, SY101b, пуск яких в роботу здійснюється пусковими кнопками на пульті управління в операторній корп. 715. Контроль за роботою насосів здійснюється за допомогою датчиків швидкості обертання двигуна поз. ST101 a, b, та датчиків струму двигуна поз. IT101 a, b.

На загальній лінії нагнітання насосів встановлений датчик витрати поз. FT101, який зв’язаний з пультом управління і через відповідні контури керування управляє частотними перетворювачами двигунів, задаючи необхідну витрату метанолу, що подається на установку.

2.5.2 Видача розчину карбаміду на установку КФК

Розчин карбаміду з ємності поз. S109 насосами поз. P107 a, b безперервно відкачується на установку КФК з масовою витратою 1265 кг/год. Трубопровід відкачки розчину карбаміду споряджений водосупутником з гарячою водою для запобігання замерзання розчину карбаміду взимку.

2.5.3 Випарювання метанолу

Метанол з тиском 0,3 МПа (3,0 кгс/см²) і температурою до 250 °С безперервно при заданій номінальній витраті 2,57 м³/год подається у нижню

частину випарника метанолу поз. T101 (в районі конічного розподільвача), де розпилюється через 223 форсунки в трубну частину випарника. Розпилений метанол підхоплюється потоком окислюючого газу, який піднімається по трубкам знизу вгору. Температура в випарнику підтримується від 40 до 600 °C шляхом подачі в міжтрубний простір теплої води, яка циркулює в замкнутому контурі: пластинчастий охолоджувач поз. T108 → відцентровий насос поз. P110 a, b → випарник метанолу поз. T101 → пластинчастий охолоджувач поз. T108. Циркуляцію води забезпечує відцентровий насос поз. P110 a, b. Вода, віддавши тепло при випаровуванні метанолу, знову нагрівається в пластинчастому охолоджувачі поз. T108 розчином формальдегіду, який повертається на абсорбційну колону поз. C101. Нагріта вода з пластинчастого охолоджувача поз. T108 насосом поз. P110 a, b знову подається у випарник метанолу.

При нормальному режимі роботи метанол повністю випаровується з утворенням однорідної газової суміші, що виходить з верхньої частини випарника поз. T101 і поступає в теплообмінник поз. T102.

Якщо поверхня теплообміну випарника забруднюється через присутність сторонніх речовин, або якщо надто високий вміст вологи в окислюючому газі, метанол не може повністю випаруватися і певна його кількість збирається в нижній частині випарника (до рівня оглядового скла).

Нижня частина випарника (підігрівач поз. T104) служить для захисту від накопичення на дні апарата крапель метанолу. Так як швидкість газу в нижній частині достатньо висока, це дозволяє запобігти укрупненню краплин метанолу середнього розміру. За час нагрівання розчином, одержаним в абсорбційній колоні, ці краплини встигають випаруватися.

Датчик рівня поз. LNA105, встановлений на дні підігрівача поз. T104, попереджує оператора про накопичення рідини і при невжитті заходів автоматично зупиняє установку для огляду та техобслуговування.

На трубопроводі подачі метанолу у випарник встановлені два (для додаткової безпеки) відсічні клапани поз. HV101a, b. При роботі насосів подачі метанолу поз.

P101a, b клапани відкриті. У випадку порушень у функціонуванні установки вони автоматично закриваються контуром безпеки.

2.5.4 Подача окислюючого газу

Окислюючий газ, необхідний для окислення метанолу у формальдегід, одержують шляхом змішування у рівних пропорціях свіжого повітря, яке нагнітають з атмосфери, та відпрацьованого газу з низьким процентним вмістом кисню, що відводиться з верха абсорбційної колони поз. С101.

Аналізатор поз. АТ101, встановлений на трубопроводі після вентиляторів поз. V101, 102, 103, 104, постійно показує в операторній корп. 715 на моніторі вміст кисню в окислюючому газі. Оператор може регулювати вміст кисню, змінюючи співвідношення свіже повітря/відпрацьований газ за допомогою регулюючих клапанів поз. FV103.

Суміш газу з повітрям всмоктується чотирма відцентровими вентиляторами поз. V101, 102, 103, 104, встановленими послідовно. Три з них приводяться в дію електродвигунами потужністю 110 кВт кожний. Живлення двигунів здійснюється через частотні перетворювачі поз. SY103 – SY105. Вентилятор поз. V104 приводиться в дію паровою турбіною (турбодетандером) поз. TD101.

Використання частини пари, що одержується на установці, для обертання турбіни, дозволяє підтримувати заданий тиск в системі отримання пари та знизити затрати електроенергії на виробництво КФК.

Робота вентиляторів дозволяє підтримувати тиск газу в системі на достатньому рівні і запобігає падінню тиску в окремих апаратах.

На повітропроводах всмоктування вентиляторів встановлені дві вимірювальні діафрагми поз. O102, 103, з'єднані з двома датчиками перепаду тиску для вимірювання потоку: перший - поз. FT102 - на трубопроводі відпрацьованого газу, другий – поз. FT103 - на трубопроводі свіжого повітря.

Потік газу контролюється регулюванням частоти живлення двигунів вентиляторів. При досягненні необхідного значення потоку газу, витрата

електроенергії на роботу кожного з трьох вентиляторів, стабілізується (фіксується) оператором.

Окислюючий газ, стиснений вентиляторами, піднімається з дна трубної частини випарників поз. T101, T104, де формується суміш розпиленого форсунками метанолу з газом.

При нормальній роботі (до моменту старіння каталізатору, коли падіння тиску в системі все ще мале), один з вентиляторів з електродвигунами може бути відключений. Напору від двох вентиляторів достатньо, щоб запобігти падінню тиску. На місце виведеного з роботи вентилятора встановлюють обвідну ділянку трубопроводу і по чергово проводять технічний огляд і ремонт двигуна, заміну підшипників.

Конденсат, що може утворитися в трубопроводі всмоктування вентиляторів, збирається у вологовловлювачі, встановленому в найнижчій точці повітропроводу і постійно відводиться через гідрозатвор.

2.5.5 Попереднє нагрівання суміші

Суміш метанолу і окислюючого газу, що виходить з випарника поз. T101, попередньо нагрівається в теплообміннику поз. T102 в між трубному просторі. В трубному просторі охолоджується гарячий газ, що виходить з реактора поз. R101. Підігрів суміші покращує перемішування метанолу і окислюючого газу.

Нагріта парогазова суміш поступає в нижню частину реактора поз. R101.

2.5.6 Окислення метанолу

Окислення метанолу до формальдегіду відбувається в трубках ректора поз. R101. Трубки в реакторі розміщені вертикально у вигляді кільцевого пучка. Центральна частина реактора трубками не заповнена.

В кожній трубці знаходиться фіксована (однакова) кількість каталізатора, що складається з гранул металооксидів.

Газова суміш проходить через реактор поз. R101 знизу вверху, попередньо додатково нагріваючись в нижній частині трубок. Підіймаючись по трубках через шар каталізатора, метанол окислюється окислюючим газом до формальдегіду, реакція практично завершується до виходу газової суміші з трубок.

Газова суміш, що виходить з трубок з каталізатором, складається з газів низьким вмістом кисню, формальдегіду, водяних парів, отриманих в результаті реакції окислення.

В реакторі протікає основна реакція – реакція каталітичного окислення метанолу киснем в присутності азоту з утворенням формальдегіду і водяних парів. При окисленні протікають також побічні реакції, в яких утворюється невелика кількість оксиду вуглецю (II). Кількість метанолу, що не вступає в реакцію, складає до 5%.

Реакція окислення – екзотермічна. Додатково за рахунок тепла реакції одержують пару середнього тиску.

2.5.7 Контроль температури в реакторі

Кількість тепла, яке виділилось в результаті екзотермічної реакції окислення метанолу в формальдегід, перевищує кількість, необхідну для підігріву газу, що входить в реактор, до температури реакції.

Так як реакція повинна протікати у вузькому температурному діапазоні, надлишок тепла необхідно відводити. Зйом тепла проходить від трубок з каталізатором до розплаву суміші солей, який циркулює всередині реактора. Циркуляція розплаву здійснюється вертикальним насосом поз. PR101/1, встановленим в центрі ректора поз. R101.

В безтрубній центральній частині реактора змонтовані змійовики, в яких постійно циркулює під високим тиском потік киплячої води, яка забирає у розплаву солей отримане від трубок тепло, підтримуючи таким чином температуру.

Величина потоку контролюється і регулюється автоматично по приладам.

Температура розплаву солей підтримується в межах від 260 до 320°C. Температура плавлення солей 140°C.

Суміш солей складається з 53% мас. нітрату калію (KNO₃), 7% мас. нітрату натрію (NaNO₃) і 40% мас. нітриту натрію (NaNO₂).

Перед пуском установки суміш солей розплавлюється паром, що конденсується в змішувачах реактора. Нагрів солей до температури, необхідної для початку реакції, здійснюється за допомогою ряду електронагрівальних опорів поз. RR101, RR102, RR103, загальною потужністю 96 кВт.

Опори розміщені в центральній частині реактора, їх робоча частина занурена в розплав солей. Ці опори використовуються не тільки в період запуску, а також під час роботи установки на період усунення неполадок та при її зупинці для підтримування необхідної температури розплаву солей.

В усіх випадках електрообігрів дозволяє підтримувати необхідну температуру в реакторі поз. R101.

2.5.8 Розривні мембрани

Випарник метанолу поз. T101, рекуператор тепла поз. T102, реактор поз. R101 укомплектовані розривними мембранами поз. d101 – d107, кожна з яких складається з фланця Ду 300, закритого двома алюмінієвими листами товщиною 0,1 мм кожний.

У випадку загорання метанолу, що може стати причиною раптового підвищення тиску газової суміші, один або більше алюмінієвих листів на мембранах рвуться і дозволяють скинути газу в атмосферу. Розривні мембрани захищають від пошкодження технологічне устаткування і трубопроводи. Різка зниження тиску внаслідок розриву мембрани стає причиною різкої зміни потоку газу, внаслідок чого вмикається автоматичний контур безпеки і подача метанолу припиняється автоматичним закриттям відсічних клапанів поз. HV101a, b з зупинкою насосів поз. P101a, b.

2.5.9 Засоби гасіння полум'я

Каталізатор в трубках реактора засипається на сітку з нержавіючої сталі, розміщену між трубною решіткою і рамою, прикріпленою до цієї ж трубної решітки болтами.

Така сітка служить для гасіння полум'я при загорання метанолу всередині трубок з каталізатором або в нижній частині реактора. З тією ж метою над пучком труб реактора також встановлюють рами, що підтримують сітку з нержавіючої сталі, яка затримує поширення полум'я, що може виникнути в трубках або в верхній частині реактора.

2.5.10 Контур безпеки

Для попередження виникнення аварійних ситуацій, передбачений вивід параметрів процесу на монітор пульта управління, а також автоматичне блокування роботи установки при відхиленні від нормального технологічного режиму.

Такий ефект досягається завдяки логічним схемам в центрі управління, які активуються, якщо будь-який з параметрів перевищує допустиме значення, попередньо задане оператором.

Схема безпеки негайно перекриває два пневматичних двоходових клапани поз. HV101a, b, встановлених послідовно на лінії подачі метанолу у випарник. Ці клапани закриваються автоматично також у випадку збоїв в системі електрозабезпечення. З припиненням подачі метанолу рівень небезпеки значно знижується, так як маса метанолу, що залишається в устаткуванні, не перевищує 10 кг.

Інші функції схеми безпеки такі:

- звукова сигналізація наявності небезпеки;
- фіксація з виводом на принтер часу і причини зупинки установки;
- після зупинки установка може бути пущена в роботу тільки після втручання оператора.

Схема безпеки може бути відключена при перевірці або налагоджуванні її функціонування. В цьому випадку всі попередження про відхилення в роботі установки з'являються на моніторі.

Система автоматичного контролю завжди попереджає оператора про інші менш критичні відхилення від заданих центром управління величин.

Після затримки у часі установка зупиняється і залишається в режимі безпечного очікування, до втручання оператора і повторного пуску установки в роботу.

2.5.11 Контроль за температурою каталізатора і процесом парогенерації

Кількість тепла, яка виділяється під час реакції окислення, перевищує кількість тепла, необхідного для підігріву газів реакції від вхідної до вихідної температури. Тому надлишок тепла передається термостатичній рідині, що циркулює всередині реактора.

Ця термостатична рідина підтримується при необхідній температурі, а надлишок тепла відводиться шляхом підігріву до кипіння води з одержанням пари низького тиску.

Вода кипить в одному або декількох зміювиках, що занурені в термостатичну рідину в центральній частині реактора.

Циркуляція води в зміювиках здійснюється з допомогою термосифону. Кожний зі зміювиків з'єднаний одною вхідною та одною вихідною трубою з паровим барабаном поз. S101, в якому одержаний пар відділяється від води.

Кожний зміювик обладнаний запірним і продувочним клапанами для можливості часткового випуску пари, що в такий спосіб підібрати найбільш раціональну поверхню теплообміну, виходячи з кількості тепла, що підлягає відведенню.

На лінії, що живить зміювики, встановлений один швидкодіючий клапан поз. NV 102, який при роботі насоса подачі метанолу залишається відкритим. Клапан автоматично перекривається контуром безпеки або оператором при

виникненні неполадок, щоб не охолодити реактор при зупинці насоса подачі метанолу.

Контроль за теплообміном здійснюється за допомогою схеми в центрі управління, яка підтримує установлені показники температури розплаву солей (вимірюється поз. TT101), за допомогою пневматичного клапана поз. TV101, розміщеного на лінії подачі води в середній за розмірами змійовик, тому потік води підтримується на необхідному рівні.

Рівень води в паровому барабані поз. S101 підтримується на одному рівні шляхом подачі свіжої води з ємності для води поз. S102 одним або двома вертикальними насосами поз. P102 а, б. Насоси приводяться в рух двигунами, які живляться через частотні перетворювачі поз. SY102 а, б.

Потік води контролюється центром керування за допомогою датчика потоку поз. FT 104, який змінює вихід частотного перетворювача двигуна насоса: витрата води пропорційна потоку метанолу, а саме – одержаному пару. Пропорційна константа контролюється двома контрольними перемикачами рівня поз. LIS 101 і поз. LHS101, встановленими на колонці горизонтального розділювача пари і конденсату парового барабану поз. S101.

Якщо контролер не працює і рівень води (конденсату) перевищує заданий об'єм, сигналізація на моніторі і звуковий сигнал звертають увагу оператора на необхідність відрегулювати величину рівня в поз. S101 за допомогою двох контрольних перемикачів поз. LIA101, поз. LHA101.

Тиск в паровому барабані поз. S101 автоматично підтримується на заданому рівні від 1,5 до 1,8 МПа (від 15 до 18 кгс/см²) шляхом відбору необхідної кількості пари на парову турбіну поз. TD101, що обертає вентилятор поз. V104.

Решта пари поступає в трубопровід пари низького тиску. Тиск пари підтримується датчиком тиску поз. PT101, з'єднаним з центром управління. Датчик тиску діє на пневматичний клапан поз. PV101, встановлений на лінії виходу із парового барабану поз. S101.

Тиск в трубопроводі пари підтримується на рівні від 0,15 до 0,30 МПа (від 1,5 до 3,0 кгс/см²) (максимум 0,45 МПа (4,5 кгс/см²)). Надлишок пари з трубопроводу пари відбирається на повітряний конденсатор поз. Т109.

Величина потоку регулюється розташованим на лінії входу в конденсатор поз. Т109 пневматичним клапаном поз. РV102 за допомогою датчика тиску поз. РТ102, зв'язаного з центром управління. Всередині конденсатора поз. Т109 пара конденсується, нагріваючи атмосферне повітря, що подається осьовими вентиляторами поз. V105, V106, V107. Необхідна температура конденсату (в межах 80 °С) досягається автоматичним ввімкненням або вимкненням необхідного числа вентиляторів з центра керування.

Температура на виході з конденсатора вимірюється датчиком температури поз. ТЕ122.

2.5.12 Охолодження газів реакції

Газ, що виходить з трубок з каталізатором, поступає в міжтрубний простір ребристо-трубчастого теплообмінника поз. Т103, де охолоджується до температури 240°С. Всередині трубок – кипляча вода, що циркулює з допомогою термосифона з парового барабана поз. S101. Внаслідок циркуляції утворюється пара середнього тиску.

Газ реакції після першого охолодження в теплообміннику поз. Т103 поступає в трубки рекуператора тепла поз. Т102, де відбувається подальше його охолодження. При цьому нагрівається суміш окислюючого газу і парів метанолу, що проходить по міжтрубному простору рекуператора. До попадання в нижню частину абсорбційної колони поз. С101 газ реакції встигає охолотитися до температури 130°С.

2.5.13 Абсорбція газу концентрованим розчином

Нижня частина абсорбційної колони заповнена насадкою (кільця Пола). Через нижню частину колони ведеться циркуляція концентрованого розчину формальдегіду за допомогою одного з двох насосів поз. P103a, b. Нижній шар насадки, де проходить контакт з гарячим газом, виготовлений з кілець з нержавіючої сталі, другий шар – з поліпропіленових кілець. З газу в розчин потрапляють:

- формальдегід;
- пара;
- тепло внаслідок охолодження газу з 130°C до 50°C.

Частина розчину з нижньої частини колони циркулює через рН-метр (рНТ101), під'єднаний до центру управління.

Схема контролю і керування складається з датчика витрати поз. FT107 і пневматичного клапана поз. FV107, що контролює величину потоку на трубопроводі відкачування продукту насосами поз. P103a, b в добові ємності поз. S105, 106. Відрегульована видача продукту в добові ємності пропорційна потоку метанолу, тобто випущеному розчину формаліну.

Постійна пропорція контролюється двома контрольними перемикачами рівня поз. LIS102, LHS102, виходячи від теоретичного виходу, різного при різних концентраціях.

Якщо указані контролери не справляються і рівень розчину перевищує установлений безпечний об'єм, сигнал на моніторі і звуковий сигнал привертають увагу оператора.

Оператор перевіряє достовірність інформації по двох інших дублюючих контрольних перемикачах рівня поз. LIA102, LHA102. Таким чином з установки відбирається надлишкова кількість розчину, що циркулює на першій стадії абсорбції, з концентрацією, яка частково перевищує задану концентрацію продукту. Згаданий вище витратомір поз. FT107 одночасно вимрює і густину (денсиметр поз. DT101 передає дані про густину розчину в центр управління). Густина приблизно пропорційна концентрації формальдегіду при певній постійній температурі.

2.5.14 Контроль температури концентрованого розчину

Під час виробництва водного (карбамідного) розчину, розчин, що циркулює в нижній частині колони, охолоджується в нижній частині випарника метанолу поз. T104 і у пластинчастому охолоджувачі поз. T108. Таким чином на випаровування метанолу витрачається питоме тепло газу реакції, охолодженого до температури в межах 45-55°C, тепло розчину поглинутого формальдегіду і тепло сконденсованої пари, наявної в складі газів реакції.

2.5.15 Поглинання газу розчином низької концентрації

Гази, що піднімаються вище нижньої насадки абсорбційної колони C101, проходять через два шари насадок. Розбавлені розчини зрошують ці насадки за рахунок циркуляції їх відцентровими насосами поз. P104 і поз. P105а, б. Насос поз. P104 з'єднаний з насосами першої стадії колони, таким чином кожний з трьох насосів може знаходитися в резерві при роботі двох інших насосів: один для нижньої, другий для верхньої насадок.

Розчини охолоджуються в двох пластинчастих охолоджувачах поз. T105 і T106. Поз. T105 живиться оборотною водою (верхні насадки), а поз. T106 – заохолодженою водою (літом) або водою з колони (зимою) – третя стадія.

На другій і третій стадіях колони добиваються охолодження газу до 25°C, подальшої абсорбції формальдегіду та часткової конденсації пари.

Розчини формальдегіду низької концентрації, які одержуються на кожній з насадок, перетікають через перегородку всередині колони, проходять через сітчасті тарілки (одна – між першою і другою стадіями, і сім – між другою і третьою стадіями). Продовжується абсорбція формальдегіду і змішування з більш концентрованим розчином, що циркулює на нижніх стадіях. Над п'ятою і сьомою тарілками, рахуючи знизу колони, установлені два вологовідділювачі, які

дозволяють зменшити захоплення крапель розчину в газ, що піднімається вверх вище сітчастих тарілок.

2.5.16 подача абсорбційної води

Над стадією третьої насадки подається вода для промивки разом з невеликою кількістю води з закритого контуру циркуляційної води. Цей контур постійно живиться промивною водою, що поступає з торцевих ущільнень насосів циркуляцій розчинів формальдегіду.

Промивна вода абсорбує з газу деяку частину залишків формальдегіду і попадає в стадії насадок.

Потік промивної води, що подається насосами поз. P106a, b підтримує необхідну концентрацію в продукті колони. Потік води вимірюється витратоміром поз. FT105, зв'язаним з частотними перетворювачами двигунів насосів поз. SY106a, b, які підтримують швидкість двигунів названих насосів на бажаному рівні.

Приблизний індекс концентрації продукту визначається по густині, яка вимірюється денсиметром поз. DT101 або в лабораторії за допомогою ареометра.

Газ, що виходить після третьої насадки, практично позбавлений формальдегіду і виходить з верху колони.

2.5.17 Використання газу, що виходить з колони

Для випуску певної кількості газу в атмосферу використовують розподільну поворотну заслінку поз. FV103. Решта газу, що виходить з колони, використовується після відповідної підготовки для окислення метанолу.

Перед вимірюванням величини потоку і всмоктуванням вентиляторами, цей газ охолоджується заохолодженою водою в ребристотрубчастому охолоджувачі поз. T107, в якому відділяється певна кількість конденсату за допомогою вологовідділювача.

Після відділення вологи газ нагрівається для перетворення в пар захоплених крапель води (краплини води можуть пошкодити вимірювальну діафрагму перед вентиляторами). Такий підігрів досягається за рахунок охолодження невеликої кількості води з парового барабана поз. S101.

Охолоджена в ребристотрубчастому охолоджувачі поз. T107 вода використовується для промивання і охолодження торцевих ущільнень насосів циркуляції розчинів формальдегіду.

2.5.18 Титрування

Розчин, що виходить з нижньої частини колони, є готовим продуктом, який насосом відкачується в добові ємності зберігання поз. S105, S106. Кожен раз, коли заповнюються ємності (або через певні проміжки часу, наприклад, через кожні 24 години) свіжий продукт направляється в другу ємність і вираховується кількість використаного метанолу. Виходячи з одержаної інформації, можна оцінити загальний вихід продукту. Після заповнення ємності продукт перемішують шляхом циркуляції насосом. Після перемішування продукту дають відстоятись. Час відстоювання визначають практичним досвідом, враховуючи зміни концентрації, що мали місце протягом часу випуску розчину для титрування. Пробу продукту відбирають з ємності. Після аналізу проби і уточнення об'єму продукту в ємності, визначають об'єм води, необхідної для одержання розчину потрібної концентрації. Точний об'єм води, необхідної для розбавлення розчину в заповненій ємності, вимірюється шляхом заміру рівня в невеликій допоміжній ємності S107a, яка заповнюється при відкриванні ручного крана поз. V196, встановленого на трубопроводі від ємності для технічної води поз. S121. Визначена кількість води з ємності поз. S107a подається на всмоктування насоса поз. P108 (P109), яким одночасно ведеться циркуляція розчину з метою бистої гомогенізації продукту. Після додавання необхідного об'єму води продовжують циркуляцію розчину протягом однієї-двох годин. Після циркуляції проводять повторне визначення концентрації розчину. Якщо концентрація понизилась в

границях допуску, ємність звільняють, перекачуючи продукт в головні ємності для зберігання продукту насосами поз. P108 або поз. P109.

Щоб не залишати в трубопроводах залишки формальдегіду, який при низьких температурах вступає в реакцію полімеризації, в кінці звільнення ємності для титрування закачують в ємність фіксовану кількість води з допоміжної ємності поз. S107a. Об'єм закачаної води точно відповідає місткості трубопроводів і таким чином вода замінює в трубопроводах розчин формальдегіду, проштовхуючи його в ємності для зберігання без додаткового розбавлення розчину. В кінці прокачування насос зупиняють і вода з трубопроводів самопливом повертається в допоміжну ємність, де зберігається до наступного титрування або наступного закачування в сховище.

2.5.19 Випуск водного розчину високої концентрації

Коли необхідно отримати водний розчин формальдегіду високої концентрації, установка продовжує працювати в описаному режимі, тільки зменшують потік промивної води, що подається в колону. При цьому температури в колоні підрастають на декілька градусів від указаних вище значень.

У випадку виробництва розчину високої концентрації зростає ймовірність утворення в таких розчинах параформальдегіду при їх зберіганні при понижених температурах. Параформальдегід – твердий полімер формальдегіду, який при низьких температурах може стати причиною мутності розчину, а також при збільшенні його вмісту відбуваються забивки трубопроводів і устаткування. Параформальдегід, що осів, погано розчиняється, тому необхідно підтримувати рівень рН високим, не знижувати температуру і, в основному, працювати на одержання розчинів невисоких концентрацій. Щоб запобігти утворенню побічного продукту параформальдегіду, необхідно високонцентровані розчини формальдегіду завжди зберігати при температурі вище 50°C для 45%-го і при 55°C для 50%-го розчину. Також при зупинці насосного устаткування (наприклад, насос циркуляції першої стадії P103a, b) трубопроводи обв'язки і сам насос

необхідно звільнити від залишків або залишки продукту розбавити водою чи розчином низької концентрації.

Випуск карбамідоформальдегідного розчину

Для одержання карбамідоформальдегідного концентрату на установці з одержання карбамідоформальдегідної смоли попередньо готують 50 – 55 % розчин карбаміду в одному з ректорів полімеризації поз. R301 (R302). Після досягнення встановленої густини та концентрації розчину карбаміду мішалку виключають і розчин карбаміду відкачують за допомогою насосів поз. P112 а, б у ємність поз. S109 для проміжного зберігання і видачі на установку КФК.

Ємність поз. S109 споряджена внутрішнім змішувиком, в який подається гаряча вода з теплопункту з температурою до 60°C для підтримання температури розчину карбаміду в межах до 58°C. При температурі розчину карбаміду вище 58°C з нього починає виділятися аміак.

Карбамідоформальдегідний розчин з низьким вмістом води може бути одержаний при зміні умов проведення технологічного процесу, а також при використанні допоміжного обладнання.

Необхідний водний розчин карбаміду подається з окремої ємності на п'яту сітчасту тарілку, встановлену між другою і третьою стадіями абсорбції в колоні поз. S101. Подача розчину ведеться за допомогою одного з двох насосів поз. P107 а, б. Керування роботою двигунів насосів здійснюється через частотні перетворювачі поз. SY107а, б.

Потік розчину карбаміду вимірюється і підтримується на встановленому рівні за допомогою схеми контролю. Потік стабілізується на певному рівні, виходячи з кількості формальдегіду, що підлягає абсорбуванню (пропорційно до подачі метанолу). Зазвичай розчин виготовляється у співвідношенні формальдегід : карбамідний розчин 2,3:1 (масові частки). Це співвідношення не повинно бути нижче як 2,1:1 і не має перевищувати 3:1 (залежить від вимог споживачів). Теоретичний вміст сухого залишку в розчині (сума вмісту формальдегіду і карбаміду) знаходиться в межах від 6 до 85% мас. Стабільність продукту в кожному випадку вище при низькому вмісті сухих речовин.

Розчин карбаміду з концентрацією 50%, одержаний шляхом розчинення кристалів в технічному конденсаті, необхідно зберігати при температурі від 50 до 58°C. Температура вимірюється температурним датчиком TE119. Зниження температури нижче нижньої межі (50°C) веде до часткової кристалізації сечовини у розчині. Підвищення температури вище дозволеного максимуму (58°C) при зберіганні розчину призводить до розпаду карбаміду. Тому і резервуар зберігання, і проміжна ємність обладнані змійовиками для обігріву. Рекомендується для підігріву розчину подавати в змійовики воду з температурою 60°C або конденсат з такою ж температурою.

Карбамідоформальдегідний розчин, отриманий в нижній частині колони, збирається в ємності для титрування, де заміряється його об'єм, а також проводиться аналіз. Переважно карбамідоформальдегідний розчин не титрується в ємності з додаванням води, так як стійкий при зберіганні і постійно використовується для одержання карбамідоформальдегідної смоли також різної концентрації.

2.5.20 Контроль за величиною рН

Для недопущення утворення нерозчинних осмолів, необхідно підтримувати в карбамідоформальдегідному розчині величину концентрації водневих іонів (рН) в межах від 8 до 9. Величина рН постійно вимірюється двома рН-метрами за допомогою датчиків поз. рНТ101, рНТ102, встановлених на двох тонких відгалуженнях від ліній циркуляції першої і другої стадій абсорбції з виводом даних на монітор. Розчини мають тенденцію до зниження рН за рахунок часткового окислення формальдегіду до мурашиної кислоти. Для її нейтралізації необхідно введення в колону розчину каустичної соди.

Використовують 25%-й розчин каустичної соди (NaOH), що зберігається в ємності для дозування поз. S103. Для того, щоб розчин лугу поступав в колону самоплином, ємність розташована на необхідній висоті. Заповнення мірника розчином лугу необхідної концентрації, який готують у проміжній ємності,

проводиться періодично за допомогою насосу поз. S120. Дозування розчину каустичної соди на стадії колони проводять шляхом ручного відкривання клапанів поз. V310 (перша стадія абсорбції) або поз. V311 (друга стадія). За витратою лугу слідкують по показах ротаметрів поз. F1108, 109. Розчин лугу поступає на кожну стадію одночасно з циркулюючими розчинами через рН-датчики рНТ101, 102.

2.5.21 Вміст води в карбамідостабілізованому розчині

Так як одержаний карбамідоформальдегідний розчин має мати низький вміст води, під час абсорбції формальдегіду в колоні, необхідно сконденсувати тільки невелику кількість пари. Тому основна маса пари, що утворилась внаслідок реакції окислення метанолу, не повинна поглинатись. Ця пара викидається з колони разом зі звільненим від формальдегіду газом.

Для цього температура газу над другою насадкою має бути достатньо високою, між 45 і 55°C, а температура на першій стадії абсорбції на 10°C вища.

Значить тепло, яке необхідно відвести з першої стадії абсорбції, тільки в незначній мірі нагріває воду у замкнутому контурі води, необхідної для випаровування метанолу у випарнику поз. T101.

Тому пластинчастий охолоджувач поз. T108, нагріваючи замкнутий контур води, живиться частиною розчину, що циркулює на другій стадії абсорбційної колони (решта такого розчину обмінюється теплом в пластинчастому охолоджувачі поз. T105).

2.5.22 Охолодження відпрацьованого газу

Газ, що виходить з п'ятої тарілки (куди подається розчин карбаміду), майже вільний від формальдегіду.

Тому верхні три тарілки, на які подається невеликий потік промивної води, використовуються одночасно з встановленими вологовідділювачами для відділення від газу крапель розчину карбаміду.

Вода для промивки подається таким же способом, і тим же обладнанням, що і під час випуску водного розчину, але значно меншим потоком.

Ця промивна вода, захопивши з собою наявні в газі краплини розчину карбаміду, стікає в нижню частину колони разом з розчином карбаміду, який реагує з формальдегідом, перетворюючись в кінцевий продукт.

Газ, що виходить з восьмої тарілки, практично вільний від органічних речовин, насичений паром і має достатньо високу температуру (від 45 до 55 °С). Частина газу використовується для окислення метанолу, частина викидається з установки.

Так як кількість пари в газі для окислення надто велика, його необхідно перед відправкою в секцію окислення метанолу охолодити, що дає можливість сконденсувати його і відділити частину пари з газу.

Таке охолодження досягається в третій насадці колони, яка працює як конденсатор газопарової суміші. В третій насадці газ промивається конденсатом, який циркулює при роботі насоса поз. P105 а, б через пластинчастий охолоджувач поз. T106.

Надлишкова частина одержаного водного конденсату відправляється в ємність технічного конденсату поз. S121 і використовується для приготування розчину карбаміду, що подається на восьму тарілку колони, а також служить для першого наповнення третьої насадки.

Охолоджений газ після третьої насадки використовується повністю, так як при виробництві карбамідоформальдегідного розчину поворотна заслінка поз. V158 на відборі частини газу з верха колони закривається.

Як і під час виробництва водного розчину, відпрацьований газ охолоджується заохолодженою водою в ребристотрубчастому охолоджувачі поз. T107, де невелика частина конденсату відділяється з допомогою вологовловлювача.

2.5.23 Установа водопідготовки

Установка водопідготовки призначена для одержання пом'якшеної та демінералізованої води і складається з:

- дозуючої станції вводу гіпохлориту натрію;
- вузла механічної фільтрації;
- дозуючої станції метабісульфіту натрію;
- дозуючої станції вводу інгібітора відкладень;
- вузла бар'єрної фільтрації;
- зворотноосмотичної машини;
- вузла хімічної промивки зворотноосмотичної машини.

2.5.24 Вузол хімічної промивки та консервації

Служить для підтримання та відновлення робочих характеристик системи водопідготовки. Робота вузла базується на приготуванні та циркуляції промивних розчинів. Циркуляція здійснюється циркуляційним насосом (Н9). Накопичувач об'ємом 1 м³ (Б5) використовується для створення резерву перміату для промивних та консерваційних потреб. Датчик рівня перміату (Д5) контролює рівень наповнення і забору перміату. Накопичувач перміату заповнюється автоматично в режимі роботи РО-машини. В момент відключення РО-машини або наповнення одного з накопичувачів перміату відбувається автоматичне наповнення перміатом корпусів-тримачів мембранних елементів. Ємність промивного розчину об'ємом 220 дм³ (Б6) використовується для приготування та циркуляції промивних, знезаражуючих та консерваційних розчинів (хімічні промивки мембранних елементів проводяться в ручному режимі циркуляції промивного розчину). Для забезпечення очистки розчинів, які подаються на промивку або консервацію, використовується фільтр (Ф15) з поліпропіленовим фільтром-мішком і вентилям скиду повітря (ВФ15). Контроль тиску здійснюється за допомогою манометрів промивного розчину (М12, М113). Відбір перміату здійснюється за допомогою шарового вентиля (В24), промивного розчину (В23). Шаровий вентиль (В25) – вентиль наповнення промивної ємності. Подача і відвід

на фільтр промивного розчину здійснюється за допомогою шарових вентилів (відповідно В 26 та В 27). Подача промивного розчину на ВМФ відбувається за допомогою гнучкого поліетиленового шлангу та шарового вентиля В 28. Подача промивного розчину на першу ступінь мембранного розділення здійснюється за допомогою шарового вентиля (В30) та зворотного клапана (К10), на другу – шарового вентиля (В29).

2.5.25 Охолодження оборотної води

Для виробництва оборотної води призначена градирня поз. Г-1 типу БВГ-600 „МАКСІ”.

Градирня БВГ-600 „МАКСІ” призначена для охолодження оборотної води, що поступає з об’ємною витратою від 300 до 620 м³/год на охолодження пластинчастих теплообмінників поз. Т105, Т106, та реакторів полімеризації поз. R301 (302).

2.5.25.1 Конструкція та принцип будови градирні

Градирня представляє собою теплообмінник з примусовою циркуляцією, що працює по принципу протитоку води та повітря.

Градирня складається з двох автономних секцій (блоків), кожна з яких має свою вентиляторну установку, водорозподільну систему з форсунками, зрошувач та водовловлювач.

Зрошувач складається з гофрованих ПВХ листів, зібраних в блоки.

Водорозподільна система кожної секції складається з двох з’єднаних між собою колекторів, які підключаються до трубопроводу подачі за допомогою фланців. В середині градирні кожний колектор має патрубки, які закінчуються різьбою 2" для під’єднання форсунок (загальна кількість 32 шт.)

Водорозподільна система кожної секції підключається до окремого трубопроводу подачі, обладнаному засувкою з манометром.

Над водорозподільною системою розміщені блоки водовловлювача, які є набором профільних листів ПВХ, розміщених паралельно один до одного та зафіксованих між собою за допомогою з'єднуючих елементів.

Повітрязабірні вікна градирні обладнані блоками жалюзі.

Принцип роботи градирні:

Нагріта вода від технологічного обладнання по трубопроводах подачі поступає в колектори водорозподільної системи кожної секції та розбризкується форсунками рівномірно по всій площі зрошувача. Стікаючи по гофрованій поверхні листів зрошувача, вода частково випаровується та віддає тепло зустрічному потоку повітря, створюваному вентиляторами. Краплі вологи, що уносяться током повітря, затримуються вологовловлювачем та стікають вниз. Проходячи по зрошувачу, вода збирається в басейні градирні, звідки подається назад на технологічне обладнання. Підпитка градирні (підтримання рівня в басейні градирні) здійснюється пом'якшеною водою з ємності поз. S123 за допомогою насосів поз. P116 а, б.

2.5.25.2 Експлуатація градирні в зимовий час

В зимовий період охолодження в градирні проходить більш інтенсивно і, як наслідок, градирня працює з більш значним перепадом температур.

При малих теплових навантаженнях може виникнути загроза обледеніння в нижній частині зрошувача. Обледеніння може початись з кутів і створити підвищене механічне навантаження на окремі блоки. З метою попередження виникнення подібних ситуацій необхідно проводити вчасне регулювання роботи системи охолодження.

Якщо обледеніння вже виникло, його не можна усувати механічним шляхом, так як це призведе до пошкодження зрошувача. В цьому випадку необхідно вимкнути вентилятор та збільшити, в межах допустимого, протік води.

В зимовий час особливу увагу необхідно приділяти роботі вентиляторів. При температурі повітря нижче 0°C не допускається ввімкнення в роботу вентиляторів без теплового навантаження, тобто без подачі теплої води в градирню.

Вентилятори можна включати тільки після прогріву лопастей. Якщо ввімкнення вентиляторів керується автоматичним регулятором, то час затримки їх ввімкнення (з моменту подачі теплої води), необхідний для обігріву, вже запрограмований. Вентилятори завжди вмикаються на більш низькі оберти, ця тимчасова затримка достатня для того, щоб лопасті вентиляторів прогрілись.

2.5.25.3 Правила експлуатації вентилятора ВГ-248-485

У відповідності з потребами експлуатації потужність вентилятора можна регулювати за допомогою зміни кута атаки лопастей і зміною кількості обертів електродвигуна. При цьому необхідно слідкувати за струмовим навантаженням, величина якого не повинна перевищувати значення, вказаного на паспортній таблиці.

Візуальний огляд вентилятора проводиться щозмінно. При виникненні стороннього шуму вентилятор має бути зупинений.

2.5.25.4 Система керування і захисту двигунів вентиляторів, порядок її роботи

Система керування і захисту (СУ-2д) призначена для управління та захисту двох швидкісних двигунів типу РМ8-485Д двохсекційної градирні типу БВГ-600 „МАКСІ”.

Дана система забезпечує:

1 Ручне та автоматичне керування частотою обертання двигунів у співвідношенні 1:2.

2 Захисне відключення кожного двигуна, яке спрацьовує при:

- виході напруги живлення трьохфазної мережі за задану межу;
- обриві, замиканні, перекосі фаз;
- перегріві обмоток двигуна;
- перевищенні номінального струму двигуна.

3 Проводить автоматичний запуск кожного двигуна в таких випадках:

- відновленні робочих параметрів мережі;
- відновленні температури обмоток двигуна.

4 Сушку обмоток двигуна після тривалої зупинки перед запуском.

Система керування (СУ-2д) складається з:

- шафи керування – ШУ;
- перехідної коробки – ПК;
- датчиків температури води- 1TRта 2TR.

Порядок роботи системи керування.

Включити одночасно автоматичні вимикачі 1GF1,1GF2 (2GF1, 2GF2), а потім 1GF3 (2GF3). На лицьовій панелі ШУ засвітиться індикація „Сеть”, „Авария”. Якщо напруга в мережі знаходиться в заданий зоні допуску, то на приладі 1KV (2KV) засвітиться індикатор „20%”, а індикатор „U!” буде блимати раз на секунду. В такому стані монітор 1KV (2KV) буде знаходитись 3 хвилини. Щоб скоротити цей час, необхідно короткочасно натиснути кнопку „S” на 1KV (2KV), в результаті чого засвітиться індикатор „Вкл.”, а індикатор „U!” буде блимати раз на 2,5 секунди. На лицьовій панелі ШУ індикація „Авария” згасне.

Для роботи в ручному режимі перемикач 1SA(2SA) перевести в положення „I ступень”. При переключенні в положення „II ступень”, через 8 сек пускач I ступені відключиться.

Для роботи в автоматичному режимі перемикач 1SA(2SA) перевести в положення „Автомат”. Частота обертання двигуна (I або II ступень) буде визначатись температурою води на виході з градирні і температурою, встановленій на вимірювачі-регуляторі ТК для кожного двигуна.

Для перегляду та зміни встановлених параметрів терморегулятора ТК, необхідно короткочасно натиснути кнопку „Прог.”, при цьому засвітиться індикація „Г”, „I”, а на цифровому індикаторі буде вказана температура установки першого двигуна. Повторне натискання кнопки „Прог.” Викличе засвічування індикації „Δ”, „I”, а на цифровому індикаторі буде вказано значення гістерезису для першого двигуна. При наступних натискання кнопки „Прог.” Буде виведена

індикація „Т”, „П”, а потім „Δ”, „П” – температура установки і гістерезіса для другого двигуна.

Для заміни заданих параметрів „Т” або „Δ”, необхідно короткочасно натиснути кнопку „Прог.”, а потім „Λ” або „V”. Прилад повертається в робочий стан короткочасним натисканням кнопки „Прог.” або самовільно через 20 сек. Задані параметри зберігаються в енергонезалежній пам’яті.

В робочому стані терморегулятор вказує поперемінно температур прямої (охолодженої) та зворотної води. При засвічування на терморегулятора червоного світлодіоду „I” висвічується температура прямої (охолодженої) води. При загоранні червоного світло діода „II” – висвічується температура зворотної води. Світлові індикатори „I ступень”, „II ступень” вказують частоту обертання двигуна на даний момент.

При спрацюванні захисту по струму, відбувається аварійне відключення двигуна і на лицьовій панелі висвітлюється індикація „Аварія”.

Для зупинки двигуна або при спрацюванні захисту (загорання індикації „Аварія”) необхідно перемикач режиму роботи 1SA(2SA) перевести в положення „0”.

Після тривалої зупинки двигуна в зимовий період або ранньою весною необхідно провести сушку обмоток двигуна протягом 6-8 годин.

2.6 Оптимізація технологічного процесу, хімізм процесу

Кількість формальдегіду, одержаного за одинцю часу, яка дозволяє отримати максимальну економію при експлуатації установки, відповідає наступним умовам:

1 Отримання найвищого загального виходу в трансформації метанолу в формальдегід, а саме:

- робота при швидкості переміщення в просторі від 6 до 9 кг/год газової суміші на кожен кубічний дециметр каталітичного шару, зменшуючи цей показник по мірі старіння каталізатора;

- робота при постійному контролі за підтримуванням температурного режиму в регламентованих межах;

- робота абсорбційної колони в умовах, передбачених технологічним процесом.

2 Подача максимально можливого потоку метанолу, тобто виробництво максимально можливої кількості розчину формальдегіду в годину. Це означає роботу при самій високій дозволений концентрації метанолу в суміші, яка складає 8% вагових.

Важливою умовою є необхідність підтримування характеристик продукту в заданих межах.

3 При випуску водного розчину, регулюючи потік промивної води і температуру в колоні, отримувати продукт бажаної концентрації, тобто щоб розчин, що виходить з дна колони, мав концентрацію трохи вищу, ніж розчин для титрування.

4 У випадку виробництва карбамідоформальдегідного розчину, працювати з таким абсорбуючим потоком розчину карбаміду, який дозволяє підтримувати співвідношення формальдегід:карбамід в продукті на рівні рекомендованого показника.

Також підтримування рН одержаного розчину на бажаному рівні шляхом введення в колону розчину каустичної соди.

Підтримування температури в абсорбційній колоні зі значеннями, які відповідають необхідній концентрації продукту.

Щоб створити найбільш оптимальні умови одержання продукту, необхідно відповідно витримувати важливі вимірювальні параметри:

- температуру і тиск, в межах, близьких до показників, наведених в матеріальному і тепловому балансах;

- потоки зі значеннями, пропорційними подачі метанолу у відповідності до співвідношень у матеріальному і тепловому балансі.

Найбільш важливі кількісні пропорції автоматично підтримуються на необхідному рівні центром управління згідно заданих показників.

Частина параметрів автоматично контролюється згідно зафіксованих завдань.

Менш важливі кількісні показники контролюються оператором в ручному режимі (в основному там, де настроювання параметрів проводиться рідко).

Частина показників тільки вимірюється і необхідні оператору для виявлення неполадок в функціонуванні установки.

2.6.1 Показники (кількості), що контролюються автоматично

Автоматично підтримуються на необхідному рівні центром управління такі показники:

- потік подачі метанолу у випарник (поз. FT101);
- температура розплаву солей в реакторі (поз. TT101);
- тиск одержаної пари (поз. PT101);
- тиск в паропроводі (поз. PT102);
- потік подачі води на виробництво пари (поз. FT104);
- потік промивної води в колону (поз. FT105);
- потік розчину карбаміду (поз. FT106);
- потік одержаного формальдегіду (поз. FT107).

Система контролю для перерахованих показників (кількостей) оснащена цифровим комп'ютеризованим центром управління (Siemens, модель S7), з монітором і клавіатурою (Siemens, програма WinCC), що координується оператором, який вибирає настройки. Крім того, дві схеми можуть контролюватися в автоматичному або каскадному режимі: це потік подачі води для виробництва пари (поз. FT104) і уловлювання одержаного на установці формальдегіду (поз. FT107). В обох випадках їх установки визначаються установками потоку метанолу (поз. FT101), який задають. Їх співвідношення поступово коректується контролерами рівня води в паровому барабані (поз. LHS101 і поз. LIS101) для схеми подачі води, або контролерами рівня на дні абсорбційної колони (поз. LHS102 і поз. LIS102) для схеми виведення продукту з колони.

2.6.2 Показники (кількості), що контролюються в ручному режимі

Перелік числових величин, що контролюються оператором в ручному режимі, у відповідності зі значеннями, які відповідають потребам виробництва. Вони відповідають вимогам пунктів 3.3, 3.1 і розраховані на роботу в нормальних умовах. Такі значення необхідно налаштувати рідко (деякі рідше ніж раз на тиждень), або у випадку необхідності зміни кількості або якості продукту.

Це:

- тиск окислюючого газу: заміри на моніторі (поз. FT102 + поз. FT103), зміна настройок виходів частотних перетворювачів двигунів вентиляторів (поз. SY103, поз. SY104, поз. SY105) – управління з клавіатури;

- поверхня теплообміну для охолодження, засоби терморегуляції реактора: ця поверхня змінюється припиненням подачі циркулюючої киплячої води на один, два або три окремих змійовики охолодження; кількість працюючих змійовиків визначається необхідністю підтримувати відкритим на 30% пневматичний клапан, що автоматично підтримує температуру засобів терморегуляції реактора поз. TV1010;

- вміст кисню в окислюючому газі: дані виведені на монітор від приладу поз. AT101. Контролюються положенням поворотної розподільної заслінки поз. FY103, яке задається з клавіатури. Вміст кисню при збільшенні відкриття клапана не підвищується;

- співвідношення сечовина : формальдегід – значення визначають шляхом вимірів, розрахунку та аналізу продукту. Потік розчину сечовини змінюють, змінюючи установлене значення автоматичного контролера поз. FT106;

- концентрація формальдегіду в продукті: непрямі заміри з допомогою безперервного заміру густини денсиметром поз. DT101 з виведенням даних на монітор або визначається шляхом заміру густини ареометром в лабораторії при аналізі відібраної проби. Проводять шляхом ручного регулювання температури розчинів на різних стадіях колони (під час випуску сечовино стабілізованого

розчину) або шляхом зміни установок автоматичного контролера потоку промивної води поз. FT105 (при виробництві водного розчину);

- рН одержаного розчину: дані рН-метрів поз. рНТ101, рНТ102 виведені на монітор. При виробництві карбамідоформальдегідного концентрату додатковий контроль кількості доданого розчину каустичної соди при відкриванні ручних клапанів поз. V303, 304 проводиться шляхом спостереження за показами ротаметрів поз. FI108, FI109;

- температура розчину, що циркулює в другій насадці (тільки при випуску карбамідоформальдегідного концентрату): покази на моніторі від приладу поз. TE110. Зміна температури регулюється зміною подачі на пластинчастий охолоджувач поз. T105 оборотної води за допомогою розподільно-поворотної заслінки поз. TV110, управління якою здійснюється з клавіатури.

2.6.3 Інші величини, що виводяться на монітор

Інші величини, не згадані вище, виводяться на монітор, щоб дати можливість оператору контролювати роботу установки, а також для надійної роботи логічного контуру безпеки, програма якого виконується центром управління.

2.6.4 Швидкість поширення в просторі

Ефективність окислення метанолу вимірюється кожний день, порівнюючи кількість отриманого формальдегіду з споживанням метанолу за цей же час.

Підрахунок проводиться згідно формули:

$$\text{Ефективність} = \frac{F * D \left(\frac{C}{M}\right) * 32}{30} * 100 \% \quad (2.7)$$

де: F – об'єм випущеного продукту, м³;

D – виміряна густина, кг/м³;

C – концентрація формальдегіду, w/w за минулу добу;

М – витрачений метанол в кг.

Одержана ефективність має бути вищою за 90% (при доброму стані устаткування і процесу ~ 92 – 93%). Ефективність залежить від такого настроювання процесу, щоб переважно протікала основна реакція, з мінімальною кількістю побічних.

Якщо каталізатор завантажений в трубки реактора згідно рекомендацій, до висоти 850 мм (50 мм висоти трубки залишаються незаповненими), тоді загальний об'єм каталізатора в трубках складає 3780 дм³. Швидкість поширення газу в просторі (в кг/год·дм³), що поступає в реактор, визначається як співвідношення між кг/год газу (суміш метанолу з свіжим повітрям та відпрацьованим газом з колони) і об'ємом завантаженого каталізатора (3780 дм³). Вибрана швидкість поширення в просторі має бути максимальним значенням, що забезпечує досягнення задовільної ефективності окислення метанолу без необхідності працювати при максимально можливих температурах у реакторі. Таке значення відповідає максимальному потоку окислюючого газу, тобто вентилятори поз. V101, V102, V103 працюють на максимальній швидкості, або з максимальним нормованим струмом двигуна. Виходячи з поступової втрати каталізатором його активності за період його придатності для роботи (від 10 до 18 місяців в нормальних умовах), швидкість поширення в просторі також зменшується протягом цього періоду від максимуму 8 до приблизно 5 кг/год·дм³.

2.6.5 Температура каталізу

Номінальна температура каталізу – це температура речовини, використовуваної для терморегуляції реактора, що вимірюється двома незалежними термодатчиками поз. TE101, поз. TE101a з виведенням показів на монітор. Реальна температура каталізу різна в різних трубках і змінюється по довжині кожної трубки. Номінальна температура каталізу повинна мати значення, яке дозволяє отримати найкращу ефективність окислення відповідно до реальної швидкості поширення в просторі і часу роботи каталізатора, тому вимоги до контролю за температурою дуже суворі.

Показник оптимальної температури реакції отримують аналізуючи кількість метанолу, що не вступить в реакцію. Метанол залишається в одержаному розчині формальдегіду. В 37% - му розчині міститься від 0,5 до 0,8% метанолу.

Такий вміст метанолу неприпустимий при виробництві карбамідоформальдегідного розчину. Слід мати на увазі, що вміст метанолу в карбамідоформальдегідному розчині складно визначити за допомогою аналізу.

Перевірку ефективності необхідно проводити не рідше як один раз в чотири тижні.

2.6.6 Повторне використання відпрацьованих газів колони

Після майже закінченої абсорбції формальдегіду в колоні частина газу повторно використовується в технологічному процесі для зниження вмісту кисню і недопущення утворення вибухонебезпечної суміші при розпиленні метанолу в окислюючому газі.

Під час пуску установки, до часу, коли у викидах з колони вміст кисню достатньо зменшиться, робота безпечна, так як ще низький вміст метанолу в газі. При нормальній роботі установки вміст кисню в окислюючому газі не перевищує від 10,2 до 11% мас.

Не допускається робота при значеннях вмісту кисню в окислюючому газі нижче 9,7 % мас., так як при цьому відбувається постійне руйнування каталізатора (активні центри його структури можуть бути безповоротно ослаблені).

2.7 Норми експлуатації

2.7.1 Розплав солей

Склад розплаву контролюється за допомогою аналізу. Особливу увагу слід приділити наявності вуглецю в точці плавлення суміші солей. Невелика кількість нітриту натрію постійно окислюється в нітрат натрію, тому оптимальний склад

суміші відхиляється від евтектичного (нітрат калію 53%, нітрит натрію 40%, нітрат натрію 7%). У випадку, коли точка плавлення перевищує 160-170°C, проводиться часткова заміна суміші солей шляхом додаткового завантаження суміші з складом 53% нітрату натрію і 47% нітриту натрію, щоб знизити відсоток вмісту нітрату натрію.

Щоб частково або цілком вивантажити солі, необхідно після зупинки установки дати можливість розплаву викристалізуватися біля зовнішніх стінок реактора. Для цього необхідно зняти теплоізоляцію. Після цього зняти зливні заглушки на дні реактора (в середині основи реактора) і установити голкоподібний клапан діаметром $\frac{1}{2}$ ".

Акуратно почистити підлогу під реактором, особливо від горючих органічних речовин. Всю зону реактора загороджують козловою опорою, щоб запобігти проникненню в зону сторонніх людей. Заповнюють 6 форм з листової сталі розміром 130x50 см з краями висотою 3 см. Форму розміщують на підставці висотою 80 см під зливними заглушками (на період зливу замінені голкоподібний клапанами). Реактор розігрівають паровими зміювиками і електричними опорами, щоб розплав почав капати в форму через відрегульований голкоподібний клапан. Стикаючись з холодним металом форми, розплав практично відразу ж твердіє. Після заповнення форми її замінюють на іншу. Через декілька хвилин затвердлу сіль в наповненій формі розламують на куски і завантажують в чисті сталеві барабани. Таким же чином проводять розвантаження солей при необхідності виконання ремонтних робіт в реакторі.

2.7.2 Завантаження в реактор коригуючої сольової суміші

Перед завантаженням термостатичної рідини в обшивку реактора поз. R101 міжтрубний простір необхідно промити знежирюючим розчином (5%-й розчин карбонату натрію). Заливають знежирюючий розчин через верхній фланець, встановивши на місце заглушок в дні реактора кульовий клапан діаметром $\frac{1}{2}$ ". Вмикають в роботу циркуляційний насос поз. PR101a і на низькій швидкості проводять циркуляцію протягом 4-х годин. Знежирюючий розчин зливається і

обшивка реактора двічі промивається чистою водою з температурою 50 °С. Підігрів води можна провести гострою парою або подачею пари в головний змійовик. Вода повинна циркулювати в реакторі протягом 4-х годин. Циркуляцію ведуть насосом вертикальної циркуляції. Звільнення реактора від промивної води здійснюють через отвір в днищі реактора. На сушку реактора відводиться один день. При встановленні на місце в днищі реактора пробок необхідно слідкувати за цілісністю мідних прокладок.

Термостатичною рідиною реактор завантажується після перевірки наявності пари, після встановлення верхніх і нижніх кришок та після повної термоізоляції реактора. Рекомендується розплавити солі або в допоміжному котлі (за межами реактора), або в реакторі після їх завантаження. В реакторі розплавлення солей проводять подачею пари тиском більше 1 МПа (більше 10 кгс/см²) в головні змійовики. Завантаження відбувається шляхом повільного засипання в камеру розміщення змійовиків біля 20% від загальної маси солей, що є раніше приготовленою евтектичною сумішшю і містить нітрит натрію. Як тільки сіль розплавиться, завантаження продовжують, засипаючи в обшивку реактора окремо два інших компоненти суміші, при збереженні необхідних пропорцій. Швидкість засипки залежить від швидкості розплавлення солей, так щоб не допустити переповнення реактора твердою сіллю.

Солі завантажують до досягнення розплавом рівня на 50 см нижче центральної плоскої кришки реактора. Після завантаження необхідно очистити зовнішню поверхню реактора від просипів солей.

2.7.3 Розривні мембрани

Алюмінієві листи розривних мембран необхідно замінювати через кожні 3-4 місяці. Така періодичність заміни дозволяє запобігти розривам мембран через фізичний знос листів алюмінію в умовах температурної експлуатації.

2.7.4 Абсорбційна колона

Нижню частину колони промивають гарячою водою з температурою 50-60°C через кожні 6 місяців. Після звільнення колони від концентрату дно колони заповнюють водою (можливе використання технічної води) до рівня, який забезпечує можливість циркуляції з допомогою насоса.

В підігріту гострою парою воду добавляють розчин каустичної соди до досягнення рН 9÷10. Лужне середовище пришвидшує розчинення параформальдегіду (смолистої кірки). Циркуляцію проводять протягом 8-10 годин. Отриманий розчин аналізують. При позитивних аналізах його зберігають і використовують для наступної очистки колони або для виробництва смоли.

При необхідності проведення робіт всередині колони, після промивки відкривають всі люки для максимального провітрювання. Залазити всередину колони можна при вмісті формальдегіду, близькому до ГДК і наявності кисню в повітрі робочої зони всередині колони не менше 20% об.

2.7.5 Обладнання для охолодження розчину

Два рази в рік необхідно відкривати пластинчасті охолоджувачі зі сторони води і карбамідоформальдегідного розчину для їх очистки від можливого забруднення і для заміни (при необхідності прокладок).

2.7.6 Сітчасті тарілки абсорбційної колони

Необхідно періодично перевіряти, чи не забиті сітчасті тарілки, особливо верхні, вапняковим чи кремнистим осадом. Наявність осаду зменшує прохідність отворів. При наявності забруднень тарілки виймають з колони і очищають механічним або хімічним способом. Контролювати стан засміченості тарілок можна і не виймаючи їх, а оглядаючи їх через оглядове скло, або оглядом тарілок через оглядові люки при зупинці установки і попередній відповідній підготовці колони до огляду.

2.7.7 Охолоджуючі змійовики реактора

Якщо вода для виробництва пари недостатньо демінералізована через неполадки на установці водоочищення, на внутрішній поверхні охолоджуючих змійовиків реактора наростає вапняковий або кременистий наліт. Наявність осаду на стінках значно погіршує процес теплообміну і може призвести до неможливості регулювання температури реакції. В такому випадку наліт необхідно терміново видалити.

З цією метою проводиться циркуляція розчином соляної кислоти (пасивація соляною кислотою).

Температуру розплаву солей в реакторі піднімають до 300°C, демонтують насос циркуляції розплаву солей і замінюють запасним змійовик, що підлягає промивці. Змійовик бажано замінити протягом години, що дозволяє без ускладнень знову запустити установку в роботу.

Під забитий змійовик промивають розчином для видалення накипу протягом 12 годин. Після циркуляції внутрішню поверхню змійовика промивають демінералізованою водою з дотриманням вимог безпеки.

2.7.8 Чистка розподільвача випарника метанолу

Не рідше одного разу в рік розподільючі форсунки розподільвача метанолу всередині теплообмінника поз. T101 / T104 необхідно промивати гарячою водою. При неефективності промивки і необхідності прочистки забитих форсунок їх необхідно демонтувати.

При повторному збиранні розподільвача необхідно слідкувати, щоб не було найменшого протікання на різьбових з'єднаннях.

Пересвідчитись у відсутності пропусків можна подачею у зібраний за межами теплообмінника розподільвач м'якої води з витратою 2,5 т/год. Про відсутність пропусків свідчить формування однорідного туману.

2.7.9 Відглушування трубок реактора

У випадку, коли неможливо усунути протікання зварних швів між трубками і трубними решітками реактора без впливу на сусідні трубки, або у випадку, якщо трубка пошкоджена всередині – необхідно від глушити пошкоджену трубку. З цією метою необхідно спочатку видалити зварні шви на обох кінцях трубки. Кінці трубки розсвердлюють свердлом діаметром 26 мм на глибину 15 мм з кожної сторони (по можливості використовувати електродріль на магнітній основі, що забезпечує її стійкість на трубній решітці). Після дві заглушки, кожна з яких має діаметр 24 мм і товщину 10 мм, приварюють на місце трубки на кожній трубній решітці, слідкуючи, щоб не пошкодити інші трубки. Таким чином заглушена трубка залишається всередині реактора і може вільно розширюватись при нагріванні і не розтягувати решітку, так як температура пошкодженої трубки відрізняється від температури робочих трубок.

2.7.10 Заміна каталізатора

При необхідності заміни каталізатора установку зупиняють. Наступні дії:

- розплав солей охолоджують з можливим додатковим виробництвом пари;
- відкривають кришки реактора;
- ведуть поступове (не менше 6 годин, доцільніше протягом ночі) охолодження.

Коли температура понизилась настільки, що дозволяє проводити роботи всередині реактора, під дном реактора закріплюють брезент, знімають решітки, що підтримують каталізатор і створюють додаткову вібрацію постукуванням молотком по нижній трубній решітці. Більша частина каталізатора випадає з трубок на брезент. Цей каталізатор необхідно зібрати в барабани, в яких він поступив на установку. Його можна використати повторно після відстоювання і змішування зі свіжим. Каталізатор, що залишився в трубках, можна вивантажити,

використовуючи сталевий прут з різьбою по всій довжині. Роботи по прочистці трубок проводити в протипилових респіраторах і захисних окулярах.

Так як каталізатор, вивантажений при прочистці трубок за допомогою сталевий прута, частково подрібнений, його необхідно збирати окремо від першої порції вивантаженого каталізатора. Цей (подрібнений) каталізатор необхідно відправляти постачальнику для вилучення молібдену.

Звільнені від каталізатору трубки промивають водою і прочищають йоржиком. Ретельним оглядом переконуються в тому, що трубки мають дзеркальну внутрішню поверхню. В трубках не повинен залишатись каталізатор. Реактор необхідно ретельно висушити шляхом помірної подачі пари в центральні змійовики. Далі акуратно, не пошкоджуючи сітки, встановлюють опорні решітки і готують реактор до завантаження каталізатора.

Як новий каталізатор, так і каталізатор з першої порції після вивантаження, необхідно перед завантаження ретельно оглянути для видалення зламанних гранул і пилу.

Для отримання шару каталізатору об'ємом 3780 дм^3 , необхідно завантажити біля 2900 кг каталізатора. Перед доповненням трубок каталізатором від іншого постачальника, необхідно перевірити рівень наповнення трубок, так як дуже важливо, щоб в кожній трубці була однакова кількість каталізатора.

Гранули розподіляють по трубній решітці слідкуючи, щоб вони заповнювали трубки рівномірно (не закупорювали їх і не створювали тим самим незаповнених місць). Якщо використовують суміш нового та бувшого в роботі каталізатора, її перед завантаженням необхідно перемішати, щоб в кожену секцію трубної решітки засипати каталізатори в необхідному співвідношенні.

Для розподілу каталізатора по трубній решітці і ущільнення його в трубках використовують щітку і йорж.

Заповненою вважається трубка, в якій рівень каталізатора становить 85-86 см, при цьому незаповненими залишаються верхні частини трубок, на 4-5 см нижче від трубної решітки. Надлишок каталізатора на трубній решітці і у деяких трубках відсмоктується пилососом.

Перед закриттям реактора необхідно провести ретельний огляд, щоб не залишити пустих і частково заповнених трубок: якщо одна з трубок під час роботи установки покаже більш низьке від середнього показника падіння тиску, це означає, що через неї проходить великий потік газу і наявний в газі метанол не перетворюється в формальдегід. Тобто, при нестачі каталізатора недостатній час контакту, і не окислений підігрітий метанол на виході з трубки може стати причиною займання метанолу на виході з реактору.

Після закінчення завантаження каталізатора реактор закривають і починають пуск установки. При введенні в роботу нового каталізатора обов'язкова подача малих потоків газу і метанолу в початковий період роботи, тобто пуск проводити по такій програмі:

Таблиця 2.1 - Програма пуску установки при введенні нового каталізатора

День роботи	Потік газу (% від показника матеріального балансу)	Потік метанолу, %	Температура реакції, С
1	60	5	265
2	70	5	265
3	90	5	265
4	100	6	265
5	100	6,6	265
6	100	7,5	265
7	110	7,5	265

2.8 Норми технологічного режиму

Таблиця 2.2 - Норми технологічного режиму

Найменування стадій і потоків реагентів	Найменування параметру та одиниця	Ном. знач. з доп. відх. або діап. рег.	Межі доп. значень параметрів
1	2	3	4
Одержання карбамідоформальдегідного концентрату			

Подача метанолу від насосів поз. P101a, вна випарник метанолу поз. T101	витрата, кг/год	1575±575	1000 - 2150
Випарник поз. T101: - вхід метанолу; - вихід метанолу; - вхід технічного конденсату від P110; - вихід технічного конденсату з поз. T101	температура, °C температура, °C температура, °C температура, °C		навколишн. середовища не менше 30 50-51 49-50
Пред-підігрівач поз. T104: - вхід окислюючого газу; - окислюючий газ; - вхід кубової рідини колони від поз. P103; - вихід кубової рідини	температура, °C вміст кисню, % температура, °C температура, °C	11,0±0,5	не менше 31 10,5 – 11,5 52-53 51-52
Пластинчастий конденсатор поз. T108: - вхід кубової рідини від поз. T101; - вихід кубової рідини (на поз. C101)	температура, °C температура, °C		51-52 50-51

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
Реактор поз. R101: - вхід газу в реактор поз. R101; - верхня частина реактора; - окислюючий газ; - газ на виході з реактора поз. R101	температура, °C температура, °C вміст метанолу, % температура, °C		150-160 265-300 не більше 8 від 267-270 до 302-305
Охолоджувач газу поз. T103: - вихід газу в поз. T102	температура, °C		не менше 220
Підігрівач метанолу поз. T102: - міжтрубний простір, газоподібний метанол: Вхід/вихід - трубний простір, реакційний газ на виході	температура, °C температура, °C температура, °C		не менше 30 150-160 100-120

Абсорбційна колона поз. С101: - рідина на 1-й стадії абсорбції (вхід в поз. С101); - рідина на 2-й стадії абсорбції (пластинчастий конденсатор поз. Т105); - рідина на 3-й стадії абсорбції (пластинчастий конденсатор поз. Т106);	температура, °С температура, °С температура, °С		49-51 при роб. на формаліні 30-35 при роб. на КФК 49-50 при роб. на формаліні 21-22 °С при роб. на КФК не більше 30°С
- кубова рідина до поз. Р103; - оборотний газ на виході з поз. С101;	температура, °С витрата, кг/год температура, °С		60-65 350-3750 при роб. на формаліні не більше 25 при роб. на КФК не більше 45
- гази на викиді в атмосферу;	температура, °С		при роб. на формаліні не більше 25 при роб. на КФК не більше 45

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
- промивна вода від поз. Р106	витрата, кг/год		не менше 500
Каскад вентиляторів поз. V101-104: - оборотний газ; - свіже повітря; - відношення: оборотний газ/свіже повітря	витрата, кг/год витрата, кг/год		не більше 20000 не більше 7000 не більше 2,5
Паровий барабан по. S101: - демінералізована вода від поз. Р102;	витрата, у відношенні до витрати метанолу		1,6-1,7
- система парогенерації: система високого тиску система низького тиску	тиск, кгс/см ² тиск, кгс/см ²		11-18 2-3

Система водооборотного постачання: - вихід води від градирні; - вхід води на градирню	температура, °С температура, °С		15-20(з) 25-30(з)
Добові ємності КФК: - розчин КФК	температура, °С рівень, % вміст формал., % вміст карбам., %		не менше 30 10-80 45-50 25-20
Подача розчину карбаміду: - розчин карбаміду	температура, °С		55-58

Кінець таблиці 2.2

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Програмований логічний контролер SIMATIC S7-300

SIMATIC S7-300 – це програмований контролер модульної конструкції. Його модулі, з яких складається необхідна конфігурація контролера, можуть бути як центральними (розташовуватися по сусідству з центральним процесором CPU) так і розподіленими. Конфігурований SIMATIC S7-300 контролер включає в себе:

- стійку, яка використовується для розміщення і з'єднання модулів між собою;

- модуль введення та виведення дискретних сигналів SIPLUS SM 323, який використовується для перетворення вхідних дискретних сигналів контролера в його внутрішні логічні сигнали, а також для того щоб перетворити його внутрішні логічні сигнали у дискретні сигнали;

- центральний процесор CPU 315-2PN / DP з вбудованим інтерфейсом провідного DP-устрою, який використовується для розміщення та обробки програми користувача. Процесор є активним вузлом мережі PROFIBUS, який циклічно обмінюється даними зі своїми відомими DP-пристроями.

CPU має пам'ять яка логічно розділена на області. Користувацька програма розташована у завантажувальній і в робочій пам'яті. Завантажувальна пам'ять конструктивно є частиною CPU або його окремим вбудованим модулем пам'яті. Програма яка ввелася і конфігурація обладнання запишуться у завантажувальну пам'ять.

Основний принцип роботи ПЛК – це обробка по прикладних програмах користувачів даних які надходять із входів модулів (наприклад, сигнали від датчиків що підключені) і подальша видача сигналів керування, за допомогою вихідних модулів і модулів зв'язку, що забезпечують підключення виконавчих пристроїв (рис.3.1).

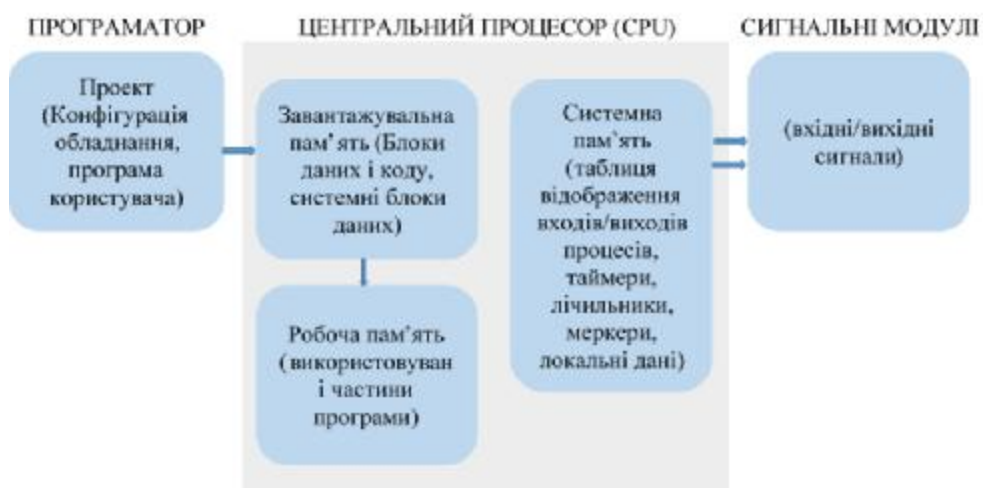


Рис. 3.1 - Принцип роботи контролера

Програма користувача з програматора, включаючи дані конфігурації, пересилається в завантажувальну пам'ять. Операційна система CPU копіює частину програмного коду і дані у робочу пам'ять. Під час зчитування програми програматором з CPU, блоки вибираються з поточними значеннями адрес із робочої пам'яті.

В CPU завантажувальна пам'ять для S7-300 містить в собі вбудовану RAM-пам'яті, яка здатна повністю вміщати програму. Від збоїв живлення застосовують модуль EPROM флеш-пам'яті який виступає у якості носія для даних і програм користувача. Таким способом можна, забезпечити збереження даних без застосування резервної батареї.

3.2 Технічний опис системи диспетчеризації та управління WinCC

WinCC являє собою потужний інтерфейс для взаємодії між людиною та машиною, і являється зручною для користувача системою з інтерфейсом. Її можна використовувати в офісах, виробництвах. Вона є функціонально закінченою і надійною в роботі, дозволяє ефективно проектуватися і легко пристосовуватись для вирішення простих, і складних завдань.

Система WinCC забезпечує управління і спостереження за процесами, що відбуваються на установці. Зв'язок між WinCC і установкою забезпечується за допомогою системи управління (рис. 3.2).

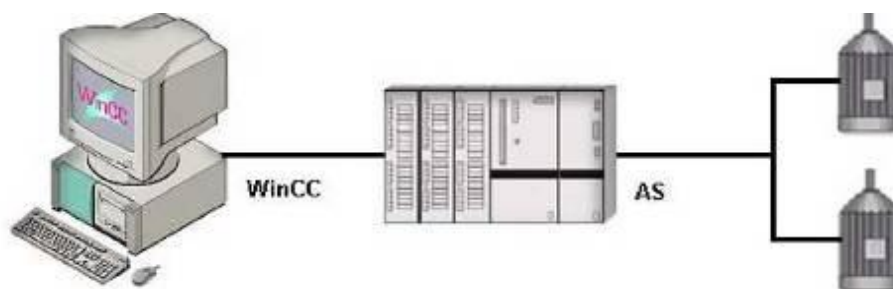


Рис. 3.2 - WinCC в структурі системи управління і моніторингу

Система WinCC надає наступні можливості:

- спостереження за процесом. Графічне представлення процесу відображається на екрані. Екран оновлюється при кожній зміні стану процесу;
- управління процесом за допомогою завдання уставки, а також подачею сигналів на запуск і зупинку системи за допомогою інтерфейсу користувача;
- моніторинг процесу. У разі критичного стану процесу автоматично подається аварійний сигнал. Якщо перевищено встановлене задане значення, то на екран виводиться повідомлення;
- архівування даних процесу. Під час роботи WinCC значення процесу можна роздрукувати або помістити їх в електронний архів. Це спрощує документування процесу і забезпечує доступ до старих виробничих даних.

До базових компонентів WinCC відносяться програмне забезпечення для конфігурації (CS) і програмне забезпечення середовища виконання (RT) (рис. 3.3).

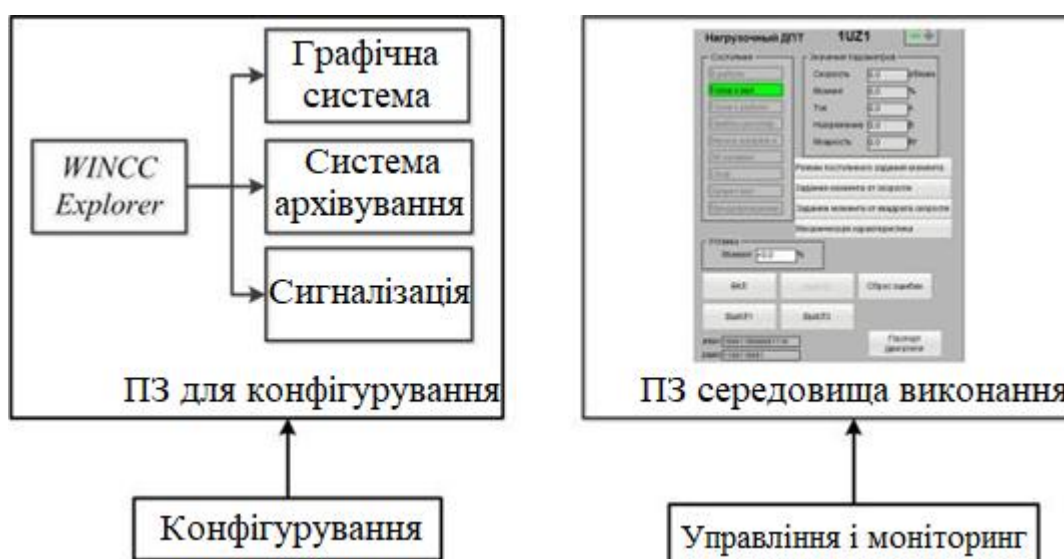


Рис. 3.3 - Базові компоненти WinCC

Програмне забезпечення WinCC володіє доступом до бази змінних та повідомлень контролера SIMATIC, також може використовувати параметри комунікації для настройки зв'язку. Що з самого початку дозволяє уникнути великих втрат часу на багатократний ввід даних і пошук джерел помилок. А вбудовані діагностичні можливості здатні забезпечити підтримку обслуговуючого персоналу на протязі всього життєвого циклу системи.

3.3 Комунікаційні зв'язки і обмін даними

На даному підприємстві зв'язок з розподіленою периферією здійснюється за допомогою мережі PROFIBUS, при цьому використовується відповідна служба обміну PROFIBUS-DP.

Міжнародний стандарт PROFIBUS є промисловою шиною для технологічних процесів. Мережа PROFIBUS використовує перший і другий рівні моделі OSI. PROFIBUS технологія, стандартизована відповідно до IEC 61158 та IEC 61784, заснована на двохпровідній системі RS-485 напівдуплексної передачі.

Служба обміну PROFIBUS-DP визначає, як відбувається обмін даними між комунікаційними вузлами, і як ці дані обробляються. Служба обміну базується на протоколі обміну, який крім усього іншого описує процедуру координації роботи між комунікаційними вузлами.

PROFIBUS-DP забезпечує стандартний інтерфейс для передачі двійкових даних між інтерфейсним модулем центрального програмованого контролера і приладами польового рівня. Інтерфейсний модуль називають провідним DP-пристроєм, а прилади польового рівня відомими DP-пристроями. Широкому поширенню PROFIBUS-DP сприяє те, що PROFIBUS-DP є незалежним від виробників стандартом для підключення стандартних відомих DP-пристроїв.

PROFIBUS використовує сервіс SRD, який може відправляти і отримувати дані в одному циклі обміну. Для пристроїв введення-виведення цей спосіб обміну дуже зручний, оскільки можна і відправляти, і отримувати дані в одному циклі.

Щоб передати дані використовується NRZ-кодування і 11-бітний формат, що містить стартовий біт (0), молодшими розрядами вперед 8 біт даних, біт паритету (парний) і стоп-біт (1) (рис. 3.4).

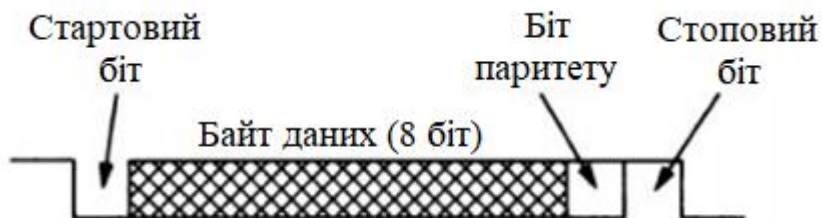


Рис. 3.4 - Формат передачі даних

У PROFIBUS повідомлення називають телеграмами. Телеграма здатна вміщувати в собі до 256 байт, з яких 244 байт дані, і довжина заголовка телеграми довжиною у 11 службових байт (рис. 3.5). Усі телеграми містять заголовки з однаковою довжиною, за виключенням телеграми з назвою Data_Exchange.

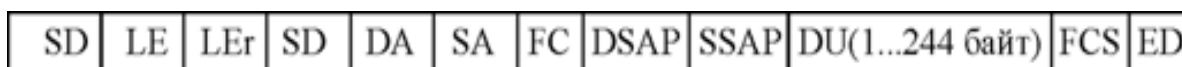


Рис. 3.5 - Структура телеграми PROFIBUS

Поля телеграми на рисунку мають такий зміст:

SD - стартовий роздільник. Використовується для вказівки початку телеграми і її формату.

LE - довжина переданих даних ($DA + SA + FC + DSAP + SSAP + DU$);

LEr - повторення поля LE з метою його резервування;

SA - адреса відправника;

SSAP - порт відправника;

DA - адреса пристрою-одержувача телеграми;

FC - код типу телеграми;

DSAP - пристрій-одержувач використовує це поле, щоб визначити, який тип сервісу потрібно виконати;

DU - дані довжиною від 1 до 244 байт;

ED - ознака кінця.

FCS - контрольна сума телеграми (сума значень полів DA + SA + FC + DU, по модулю 255);

Структура мережі PROFIBUS

Стенд представляє собою систему з одним ведучим DP-пристроєм і групою відомих DP-пристроїв (рис. 3.6) У такій мережі один провідний DP-пристрій управляє декількома відомими DP-пристроями.

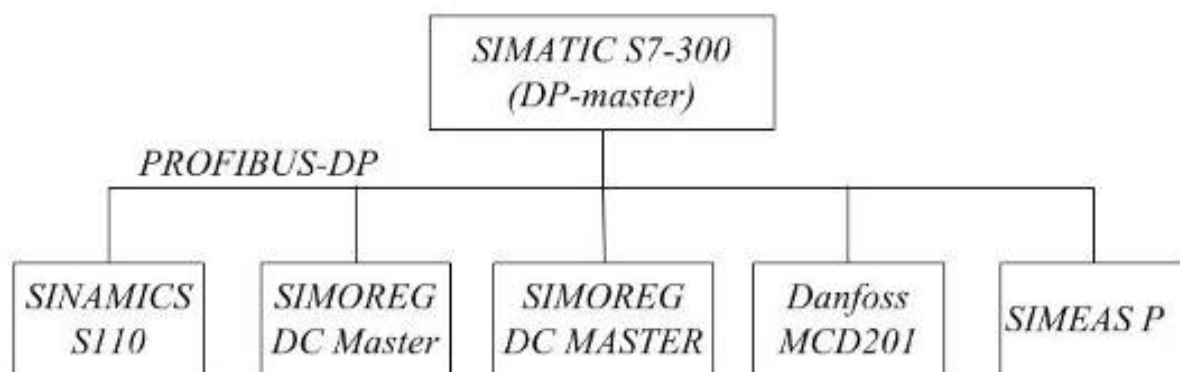


Рис. 3.6 - Структура системи провідного DP-пристрою

3.4 Центральний блок управління

Виробничий процес на заводі контролюється центральним блоком управління (ЦБУ), що складається з ПЛК і встановлений у розподільній електромережі.

Цифрове з'єднання між процесором та базовими стелажними інтерфейсами отримане за допомогою кабелів PROFIBUS, роз'ємів PG12 та послідовних портів. Мережа PROFIBUS також є підключеною до перетворювачів частоти, встановлених на панелях розподілу електроенергії через спеціалізовані модулі та роз'єми.

ПЛК виконує математичні операції необхідні для управління процесом регулювання циклів, кожен з яких пропорційний, швидкості та скиданню дій.

Циклами можна керувати на основі математичних обчислень або зовнішніх сигналів від контактів чи реле.

ПЛК додатково управляє комбінацією реле, зовнішніми контактами, програмованими таймерами, лічильниками імпульсів, всіма математичними обчисленнями, порівнянням та рухом даних, всім на логічній драбині.

Час обробки логічної драбини становить максимум 0,2 сек.

Другий ПЛК, що виконує тільки основний ланцюг тривоги. Час обробки ПЛК тривоги становить 0,01 с максимум.

Далі ПЛК обмінюються даними через вторинну мережу Ethernet, через спеціальне програмне забезпечення з одним або декількома блоками управління, де оператор може вводити дані або переміщувати комутатори чи читати пам'ять ПЛК або отримувати сигнали тривоги, або друкувати вибрані дані.

ПЛК забезпечені схемою для автоматичної діагностики та автоматичного виключення у випадок можливих збоїв.

Програми зберігаються в пам'яті ПЛК, захищеній буферною батареєю.

Блок живлення: 220-240 В змінного струму, 50 Гц.

Постачання модулів: 24 В постійного струму.

3.5 Центр візуального контролю

Інтерфейс між центральним блоком управління та оператором оснащений двома центрами візуального контролю (ЦВК).

ЦВК складається з таких компонентів:

- 32-бітний персональний комп'ютер (ПК) у комплекті з клавіатурою, мишкою, аудіо картою з гучномовцем, мікрофоном;

- подвійна комунікаційна система з центральним пультом управління складається з мережевої карти 10/100 ETHERNET, встановленої на вищезгаданому ПК;

- робоча програма оснащена програмним ключем, що працює на платформі WINDOWS (WinCC®) вже запрограмованій на контроль обох установок;

- 256 кольорів 17 "1280 x 1024 LCD монітор;

- струменевий принтер.

ПК оснащений 2.93 ГГц INTEL® процесором, 80 GByte жорстким диском, 768 MB RAM, Combo CD-RW / DVD, 10/100 ETHERNET мережевою картою.

ПК використовує оперативну систему WINDOWS XP PRO® англійську версію.

Монітор відтворює всі види процесів обох формальдегідних установок (перетворені в інженерні блоки), графіки, тексти, діаграми, криві зростання, зведені схеми операцій.

Гучномовці попереджають оператора де трапилася тривога.

За допомогою клавіатури і мишки оператор може змінити виведені показники на сторінці монітора, і запустити інші дії, необхідні для контролю над процесом через центральний пульт управління.

Установка візуального контролю програмована і її програма розміщена на жорсткому диску.

Установка візуального контролю також може використовуватися для програмування центрального пульта управління діючи як програмна одиниця через відповідне програмне забезпечення. Програма центрального пульта управління зберігається на тому ж жорсткому диску установки візуального контролю.

Другий ПК, з тими ж характеристиками що і перший, на якому завантажені всі програми, використовується як запасний.

Живлення: 220-240 VAC, 50 Гц.

3.6 Аварійний і сигнальний контур

Призначення: автоматичне відключення установки та сигналізація у разі ненормальної роботи.

Опис: будь-які невідповідності в роботі заводу, що може призвести до небезпечних наслідків, розпочинає автоматичну процедуру переходу в безпечний режим очікування. Якщо невідповідності не відразу спричиняють потенційно небезпечну ситуацію, процедура відключення затягується на заданий час.

Обидва типи відхилень активують процедуру попередження оператора за допомогою звукового сигналу, зображення на моніторі і друку звіту на принтері.

Відповідно до небезпечності відхилень, активується один з двох логічних контурів.

Другий незалежний ПЛК, що відповідає лише за контур безпеки, перевіряє любий збій в роботі по основних вимірюваних значеннях і тимчасово зупиняє завод – переводячи його в режим очікування, і перекриває подачу метанолу.

3.6.1 Аварійний контур основного ПЛК

Активація аварійного контуру

Перший логічний контур безпеки запрограмований на основному ПЛК і активується коли один із перелічених параметрів, перевищує значення задане управляючим заводу, після вводу паролю, максимальне значення становить:

- витрата метанолу (високе значення) (поз. FT101)
- температура реактора (високе значення) (поз. TT101)
- витрата окислювального газу (низьке значення) (поз. FT102 + FT103)
- витрата окислювального газу (високе значення) (поз. FT102 + FT103)
- температура реакційного газу (високе значення) (поз. TT102)
- тиск пари, що виробляється (високе значення) (поз. PT101)

Далі логічний контур безпеки активується, коли один з наступних перемикачів фіксує невідповідність:

- тиск повітря (низьке значення) (поз. PA124)
- натиснута кнопка тривоги, яка розташована на конструкції заводу

Цей логічний контур також запускається, коли:

- метанол / загальне співвідношення газу перевищує встановлене граничне значення після введення пароля, керівником заводу на час довший 20 секунд (поз. FT101 / (FT101 + FT102 + FT103))

- насос розплавленої солі зупиняється (поз. PR101)

- другий контур безпеки не нейтралізується протягом 5 хвилин після активації через другорядну аварійну сигналізацію.

Коли виникає не особливо небезпечна ситуація, активується вторинний аварійно логічний контур, запрограмований на основному ПЛК, а саме коли нижченаведені параметри перевищують задані керуючим заводом, після введення пароля в меню «УСТАНОВКИ», нормальні робочі умови:

- витрата метанолу (низьке значення) (поз. FT101)
- температура реактора (низьке значення) (поз. TT101)
- тиск пари, що виробляється (низьке значення) (поз. PT101)
- тиск пари в мережі (високе значення) (поз. PT102)
- вміст кисню (низьке значення) (поз. AT101)
- потік промивної води в колону (низьке або високе значення) (поз. FT105)
- подача сечовини (низьке або високе значення) (поз. FT106)
- контроль рН першого ступеня (низьке або високе значення) (поз. рНТ101)
- контроль рН другого ступеня (низьке або високе значення) (поз. рНТ102)
- температура газу на виході випарника (низьке значення) (поз. TT106)
- температура на вході в колону (високе значення) (поз. TT113)
- температура подачі розчину сечовини (низьке значення) (поз. TT119)
- різниця температур між входом і виходом першого пластинчатого охолоджувача – сторона охолоджувача (низьке значення) (поз. TT117 - TT118)
- різниця температур між входом і виходом охолоджувача другої стадії колони (низьке значення) (поз. TT109 - TT110)
- різниця температур між входом і виходом конденсатора (низьке значення) (поз. TT114 - TT116)
- різниця температур між входом і виходом рідини з випарника (низьке значення) (поз. TT120 - TT121)
- температура вторинного газу (високе значення) (поз. TT116)
- швидкість обертання насоса розплавлення солей (низьке значення) (поз. ST108)
- різниця температур між входом і виходом води з чиллера (низьке значення) (поз. TT901 - TT902)

Далі вторинний аварійний логічний контур активується коли один з нижчеперелічених перемикачів фіксує невідповідність:

- рівень водо-паро роздільник (найнижчий показник) (поз. LIA101)
- рівень водо-паро роздільник (високий показник) (поз. LhA101)
- рівень в нижній частині колони С101 (високий показник) (поз. LhA102)
- рівень в нижній частині колони С101 (найнижчий показник) (поз. LIA102)
- рівень в ємності з содою S103 (найнижчий показник) (поз. LIA103)
- рівень в дегазатор води S102 (найнижчий показник) (поз. LIA104)
- рівень в нижній частині випарника Т104 (високий показник) (поз. LhA105)
- рівень водного контуру в розширювальній ємності S104 (найнижчий показник) (поз. LIA106)

Та ж схема активується коли:

- працюють менш ніж два з трьох насосів рециркуляції першої та другої стадій колони (маркування Р103а, б, Р104) або обидва насоса рециркуляції третьої стадії колони не працюють (маркування Р105а, б)
- не працюють обидва рециркуляційних насоса замкнутого контуру води (маркування Р110а, б)
- допоміжне живлення вимкнено

3.6.2 Дія аварійного контуру

Перший аварійний логічний контур перекриває подачу двома електричними електромагнітними клапанами (поз. НУ101а і НУ101б). Ці клапани, без напруги, випускають повітря з приводу двох пневматичних двох-ходових клапанів (НУ101а і НУ101б), розташованих на лінії метанолу (біля насосів і на вході в розподільник) моментально їх перекриваючи за допомогою пружин в згаданих одноступінчатих пневмо-приводах. Також двох-ходові клапани закриваються при перепадах живлення.

Більш того логічний контур миттєво зупиняє насоси подачі метанолу (P101a або P101b) і перемикає контур управління подачі метанолу (маркування FT101) з оперативного режиму в ручний і виставляє вихідне значення на 0%.

Далі схема сигналізує на аварійний ПЛК що активований аварійний контур, відкладаючи активацію аварійного контуру на аварійному ПЛК на 2 с.

Коли виникають проблеми схема також запускає три таймера: через 5 хв. зупиняються вентилятори (поз. V101, V102, V103); Через 15 хвилин після виникнення неполадок зупиняється більшість двигунів установки (поз. P102a, b, P103a, b, P104, P105a, b, P106a, b, P107a, b, P110a, b).

Якщо контур безпеки активується через занадто високий тиск виробленої пари (поз. PT101), також передбачено моментальне перекриття клапанів TV101, перемикаючи оперативний режим контуру в ручний і встановлюючи вихідне значення на 0, і HV102.

Перший логічний контур безпеки не допускає пуску після виключення без дозволу оператора.

Вторинний аварійний контур запускає таймер: після визначеного періоду часу (5 хв.), якщо оператор не виключає аварійний контур, активується перший логічний контур безпеки.

Відстрочка в часі для автоматичного вимкнення встановлюється, щоб дати оператору час зрозуміти яка неполадка привела до активації аварійного контуру і по можливості виправити це.

3.6.3 Деактивація аварійного контуру

Запобіжні схеми нейтралізуються в основному за допомогою відповідних пускових кнопок в ієрархічному меню праворуч на кожній сторінці монітора, під час пуску і перевірки або налагодження ефективної роботи установки, але в такому випадку попередження показано на моніторі. Тільки сигнал який виник унаслідок надмірного тиску виробленого пара (поз. PT101) або через зупинку насоса розплаву солей (поз. PR101) не можна нейтралізувати. Вторинний аварійний контур можна нейтралізувати із монітору за допомогою кнопки в

ієрархічному меню праворуч на кожній сторінці поки працює перший аварійний контур; через 5 хв. після нейтралізації вторинний аварійний контур знову встановлюється автоматично.

Деякі аварійні сигнали можуть бути тимчасово деактивовані і по одному, після введення пароля, керуючим заводу, який виставляє аварійне значення на нуль на сторінці «УСТАНОВКИ» в центрі візуального контролю:

- вміст кисню (найнижчий показник) (поз. АТ101)
- потік промивної води в колону (низький або високий показник) (поз. FT105)
- подача сечовини (низький або високий показник) (поз. FT106)
- рН контроль першої стадії (низький або високий показник) (поз. рНТ101)
- рН контроль другої стадії (низький або високий показник) (поз. рНТ102)
- температура розчину сечовини (найнижчий показник) (поз. ТТ119)
- різниця температур між входом і виходом з боку рідини першого пластинчастого охолоджувача (найнижчий показник) (поз. ТТ117-ТТ118)
- різниця температури між входом і виходом охолоджувача другій стадії колони (найнижчий показник) (поз. ТТ109 - ТТ110)
- різниця температур між входом і виходом конденсатора (найнижчий показник) (поз. ТТ114-ТТ116)
- різниця температур між входом і виходом випарника - сторона рідини (найнижчий показник) (поз. ТТ120-ТТ121)
- швидкість обертів насоса розплаву солей (найнижчий показник) (поз. ST108)
- різниця температур між входом і виходом чиллера (найнижчий показник) (поз. ТТ901 - ТТ902)

За допомогою кнопки "PRODUCTION SOLUTION CHANGE - ЗМІНА ВИРОБЛЕНОГО РОЗЧИНУ", яка захищена паролем керуючого заводу, на сторінці "SETTINGS-УСТАНОВКИ", при виборі виробництва водного розчину всі сигнали, які призначені для виробництва карбамідного розчину, автоматично відключаються:

- подача сечовини (низький або високий показник) (поз. FT106)

- рН контроль першої стадії (низький або високий показник) (поз. рНТ101)
- рН контроль другій стадії (низький або високий показник) (поз. рНТ102)
- температура розчину сечовини на подачі (найнижчий показник) (поз. ТТ119)
- рівень в ємності соди S103 (найнижчий показник) (поз. LIA103)

3.6.4 Запис аварійних сигналів

Обидва логічних контури також повідомляють оператору про неполадки в роботі заводу, і це повідомлення записується в такий спосіб:

- звуковий сигнал - сирена, в структурі заводу або зовні біля операторної, протягом 4 хв.
- повідомлення відправляється на гучномовці, встановлені в операторній, і описує вид тривоги, яка запустила контур.
- внизу на кожній сторінці записаний сигнал, який активував контур.

3.7 Склад ЦБУ

Головний центральний блок управління підключений до приладів, встановлених на полі засоби електричних кабелів, закріплених на позначених затискачах у межах двох панелей, де встановлено три базових стелажа ССУ. Дві панелі, пульт управління двигуном та панель приладів розташовані наступним чином:

- пульт управління двигуном у приміщенні МСС, приєднаний до панелей розподілу електроенергії;
- інструмент панель на другому поверсі сталевій конструкції заводу.

1. Панель управління двигуна містить:

1.1. в стійці з 12 слотами (стелаж для тегів 1) наступні модулі:

0.0.1. 1 процесор SIMATIC S7-300 з порту зв'язку ETHERNET

0.0.1. 1 PROFIBUS МЕРЕЖА МЕРЕЖІ

0.0.1. 1 12-бітний 8 аналоговий вхідний модуль (адреса PEW 256-271)

0.0.1. 1 12-бітний 8 аналоговий вхідний модуль (адреса PEW 272-287)

0.0.1. 1 16 цифровий модуль введення (адреса E 0.0 – 1.7)

0.0.1. 1 16 цифровий модуль введення (адреса E 2.0 - 3.7)

0.0.1. 1 16 цифровий модуль введення (адреса E 4.0 - 5.7)

0.0.1. 1 16 цифровий вихідний модуль (адреса A 0.0 - 1.7)

0.0.1. 1 16 цифровий модуль виходу (адреса A 2.0 - 3.7)

0. Панель приладів містить:

0.0 в стійці з 12 слотами (стелаж для тегів 3) наступні модулі:

1.0.1. 1 дистанційний базовий контролер ET 200 (RBC)

1.0.3. 1 4 Вхідний модуль RTD (адреса PEW 304-319)

1.0.3. 1 4 Вхідний модуль RTD (адреса PEW 320-335)

1.0.3. 1 4 модуль введення RTD (адреса PEW 336-351)

1.0.3. 1 4 Вхідний модуль RTD (адреса PEW 352-367)

1.0.3. 1 4 модуль введення RTD (адреса PEW 288-303)

1.0.3. 1 4 Вхідний модуль RTD (адреса PEW 608-623)

1.0.3. 1 12-бітний 8 аналоговий вхідний модуль (адреса PEW 368-383)

1.0.3. 1 12-бітний 8 аналоговий вхідний модуль (адреса PEW 384-399)

1.0. в 8-слотовій стійці (стійка тегів 4) наступні модулі:

1.1.1. 1 дистанційний базовий контролер ET 200 (RBC)

1.1.3. 1 12-бітний 4 аналоговий вихідний модуль (адреса PAW 256-263)

1.1.3. 1 16 цифровий модуль введення (адреса E 6.0 - 7.7)

1.1.3. 1 16 цифровий модуль виходу (адреса A 6.0 - 7.7)

1.1.3. 1 8 аналоговий вхідний модуль термопари (адреса PEW 624-639)

3.8 Підключення устаткування

Більшість електричних пристроїв, встановлених на панелі розподілу електроенергії або в контрольній, підключаються за допомогою багатопровідних кабелів до клемних блоків пульта управління двигуна, поділено на групи;

всередині панелі проводом N07V-K від 0,5 до 1,5 мм² з'єднують провід клемні блоки до модулів вводу / виводу та / або, якщо потрібно, до основного 24 В постійного струму живлення. Деякі пристрої підключені всередині однієї панелі до терміналу блоків або до модулів через окремі 1,5 мм² N07V-K дроти. Якесь поле прилад або пристрої підключаються до виділених клемних блоків через екранований двопровід 1,5 мм² кабелі N1VC4V-K

Далі є перетворювачі частоти, встановлені на панелі розподілу електроенергії підключено через інтерфейс PROFIBUS, з незалежним джерелом живлення 24 В постійного струму від MCC, і екранований кабель PROFIBUS до згаданої мережі PROFIBUS до основного ЦКУ.

Групи пристроїв на панелі розподілу електроенергії, підключені через багатожильний провід кабелі такі:

A3) (дверцята чиллера) 24 VDC входи та виходи за допомогою одного 16-провідного кабелю (тег №1):

- вхідні контакти, що діють за допомогою головного чиллерного вимикача IC1;

- контактора і перемикачі перевантаження (два контакти кожен), що керують двигунами P901a, P901b;

- 2 виходу через реле (по одному контакту кожного), що живлять P901a, P901b;

- 24 В постійного струму (COM E) і повернення (COM A);

- вхідні контакти від чиллера;

- 1 вихід через реле (один контакт) для пуску чиллера;

- контакт 1 рівня, тег L1A901;

B3) 24 входів постійного струму, аналогові входи 4-20 mA, з одним 16-провідним кабелем (тег №2):

- вхідних контакту, що діють головним комутатором IG1;

- вхідні контакти через реле, що працює на виході 24 генераторів постійного струму;

- 1 вхідний контакт, що працює на потужності допоміжної ланцюга живлення;

- вхід і вихід через реле (два контакти) для управління світлом;
- вихід через реле (один контакт) для пускових вентиляторів;
- вихід через реле (один контакт) для рогу;
- 24 В постійного струму (COM E) і повернення (COM A);
- передавач напруги та струму (чотири контакти) VT101 / IT109;

C3) Аналогові входи 4-20 мА з одним 16-провідним кабелем (тег п.3):

- передавачі струму (по два контакти кожен) IT108, IT113, IT114, IT115, IT116 та IT117;

D3) 24 VDC цифрові входи від контакторів та перемикачів перевантаження, 24 VDC цифрові виходи на реле з одним 16-провідним кабелем (тег п.4):

- контактори та перемикачі перевантаження (два контакти кожен), що керують двигунами P103a, P103b, P104, P105a, P105b;

- реле (один контакт кожен), що живлять P103a, P103b, P104, P105a, P105b;

E3) 24 VDC цифрові входи від контакторів та перемикачів перевантаження, 24 VDC цифрові виходи на реле з одним 16-провідним кабелем (тег №5):

- реле (один контакт кожен), що живлять P110a, P110b, PR101, PR101a;

- контактори та перемикачі перевантаження (два контакти кожен), що керують двигунами P108, P109, P110a, P110b, PR101, PR101a;

F3) 24 VDC цифрові входи від контакторів та перемикачів перевантаження, 24 VDC цифрові виходи до реле з одним 16-провідним кабелем (тег №6):

- контактори та перемикачі перевантаження (два контакти кожен), що управляють двигунами V105, V106, V106;

- реле (по одному контакту кожен), що живить V105, V106, V106;

- 24 В постійного струму (COM E) і повернення (COM A);

G3) 24 VDC цифрових входів від контакторів, 24 VDC цифрових виходів до реле, 4-20 мА аналогові входи з одним 16-провідним кабелем (тег №7):

- реле (один контакт кожен), що живлять RR101, RR102, RR103;

- вхід від контакторів груп опорів RR101, RR102 і RR103;

- 24 В постійного струму (COM E) і повернення (COM A);
- передавачі струму (по два контакти кожен) IT110, IT111, IT112;

3.9 Панель інструментів

Польові прилади, встановлені на трубопроводах та посудинах, безпосередньо пов'язані через екрановані двопровідні, трижильні або чотирипровідні 1,5 мм² кабелі FG7, до клемні блоки панелі приладів (див. специфікацію KAL + FOR + STR 32); всередині панелі 0,5 до 1,5 мм² дроти N07V-K з'єднують клемні блоки до модулів вводу / виводу та / або, якщо потрібно, до основного джерела живлення 24 В постійного струму або 220 В змінного струму; далі всередині панель 1,5 мм² дроти N07V-K з'єднують клемні блоки до 6 електропневматичних перетворювачі, 1 вимикач тиску, 4 електромагнітні клапани, 2 передавача об / хв і Підсилювачі NAMUR, 1 аналізатор кисню, 2 передавачі температури, встановлені всередині панель.

Польові прилади або пристрої, які потрібно підключити, є такими:

A1) стандартні передавачі постійного струму 4-20 мА 24 В, кожен з одним екранованим 2-провідним кабелем:

- передавача диференціального тиску, мітка FT102, FT103.
- датчики тиску датчиків, мітки PT101, PT102.
- 2 передавача рН, мітка рНТ101, рНТ102.

B1) стандартні 4-20 мА 24 В постійного струму-передавача, з напругою живлення 24 В постійного струму, кожен з яких має один екранований 4-провідний кабель:

- передавача електромагнітних потоків, мітка FT104, FT105, FT106.
- 1 передавач потоку Коріоліса, мітка FT101.

C1) стандартний двовивідний передавач на постійний струм 4-20 мА 24 В постійного струму, що має 24 В постійного струму живлення, з одним екранованим 2-провідним кабелем (1 джерело живлення) та одним екранованим 4-провідним кабелем (2 сигналу):

- 1 передавач потоку / щільності Коріоліса, мітка FT107 / DT101.

E1) стандартні термостійкості Pt 100, кожен з одним екранованим 3-провідним кабелем (подача, сигнал, посилення):

- 26 штук, теги TE101,101a, 102,103,104,105,106,107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117,118,119,120,121,122,901,902,903.

F1) 24 вхідних вимикачів постійного струму, 24 В постійного струму живлення, кожен з одним екранованим 3-провідним кабелем:

- контакти 10 рівня, теги LhS102, LhA102, LIS102, LIA102, LIA103, LhS104, LIS104, LIA104, LhA105, LIA106.

G1) 24 В постійного струму вводять чисті контакти, кожен із екранованим 2-провідним кабелем:

- 1 на кнопці тривоги польового сигналу (чистий контакт).

- перемикачі близькості, тег SS108, SS109.

H1) 24 В постійного струму з подвійним входом чистих контактів, кожен із яких має один екранований 4-провідний кабель (два сигнали):

- контакти з плаваючою кулькою, мітки LhA101 / LhS101, LIA101 / LIS101.

Інструменти або пристрої, які потрібно підключити всередині панелі, є такими:

A2) стандартні передавачі 24 В постійного струму 4-20 мА, кожен з двома проводами:

- передавача температури, мітка TT101, TT102.

D2) стандартний передавач 24 В постійного струму 4-20 мА, з однією лінією живлення 24 В постійного струму (на датчик) і одна лінія живлення напругою 220 В постійного струму (на індикатор / підсилювач), кожна з шістьма проводами:

- 1 аналізатор кисню, мітка AT101.

Дроти:

B2) стандартний передавач 24 В постійного струму 4-20 мА, з однією лінією живлення 24 В постійного струму з чотирма дроти:

- передавача об / хв, мітки ST108, ST109.

G2) 24 В постійного струму вводять чисті контакти, кожен з двома проводами:

- 1 вимикач тиску, мітка PA124.

J2) електропневматичні перетворювачі 4-20 мА до 3-15 фунтів на дюйм, кожен з двома проводами:

- 6 перетворювачів, теги FY103, PY101, PY102, TY101, TY110, FY107.

K2) 24 VDC вихідних контактів, кожен з двома проводами:

- електромагнітні клапани, мітки HY101a, HY101b, HY102, LY104.

4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Сьогодні практично у всіх галузях промисловості при розробці нових виробів використовуються технології числового моделювання. Компанії, які піклуються про своє становище на ринку і перспективи, активно впроваджують ці технології, щоб в найближчому майбутньому залишатися конкурентоспроможними і отримувати віддачу від інвестицій в інженерні розрахунки. Програмний комплекс ANSYS є найбільш універсальним і доступним інженерним інструментом, що підвищує швидкість розробки виробів у віртуальному середовищі і дозволяє враховувати різні комплексні та міждисциплінарні явища в області гідродинаміки, міцності і електромагнетизму.

В даній магістерській роботі досліджується пластинчастий теплообмінник.

Об'єктом числового моделювання є моніторинг перепадів тиску та залежності передачі тепла від конструкції канавок на пластині, тип теплообміну повітря - повітря.

Температура на вході рідин (два повітряні потоки) є $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ і $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Швидкість потоку у входному перерізі обирається для обох потоків однакова, а саме $c_1 = c_2 = 2,5 \text{ м}\times\text{с}^{-1}$.

Моделювання виконується за допомогою програми Fluent, яка є частиною середовища ANSYS Workbench.

4.1 Обчислювальна модель

Пластини обмінника профільовані виступами трикутної форми, ми їх назвемо ребрами. Форму та розміри пластини показано на рис. 4.1.

4.1.1 Геометрія моделі

Загальна довжина пластини була обрана $L_c = 500 \text{ мм}$. Що стосується числового моделювання, вони були з'єднані з профільованою частиною з обох сторін прямої секції, це дозволяє стабілізувати потік у каналі, утвореному між

пластинами. Частина, прикріплена до профілювання пластини, називається зоною введення, частина після профілювання зоною уповільнення. Мінімальні довжини цих частин однакові, а саме $L_n = L_d = 75$ мм. Висота виступів була обрана $\delta = 2$ мм.

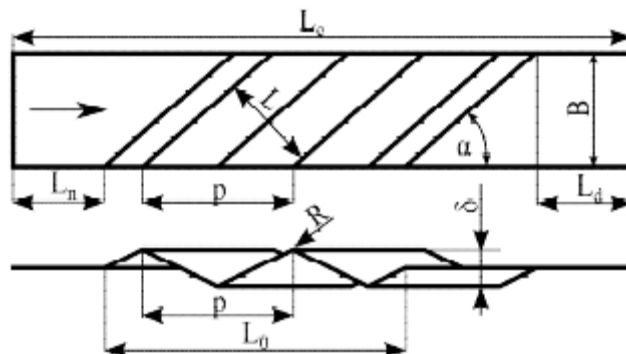


Рис. 4.1 – Рисунок пластини обмінника, кількість ребер $n = 2$

α - кут нахилу ребра;

B - ширина моделі;

δ - висота ребра;

L - відстань між ребрами;

L_c - довжина пластини;

L_0 - довжина ребра;

L_n, L_d - довжина підйому і падіння;

p - допоміжний розмір;

R - округлення верхньої частини ребра;

На основі створеної моделі були створені різні конструкції ребер:

- Кут нахилу ребра для $\alpha = (30^\circ, 45^\circ, 60^\circ)$.

- Відстань між ребрами для $L = (4; 5; 6; 7; 8)$ мм.

- Кількість ребер для значень $n = (0 \text{ до } 30)$.

- Округлення верхньої частини ребра для $R = (0; 0,5; 1; 2)$ мм.

Допоміжний розмір p , який визначається відношенням, був введений у модель:

$$r = \frac{L}{\sin \alpha}, (м) \quad (4.1)$$

де L (м) - відстань між ребрами, а α ($^{\circ}$) - кут нахилу ребра.

Ширина пластини B вибирається таким чином, щоб у отриманій моделі було створено чотири перетини пластини в напрямку, перпендикулярному напрямку вхідного потоку. Ця умова визначається відношенням:

$$B = \frac{4 \cdot L}{\cos \alpha}, (м) \quad (4.2)$$

де L (м) - відстань між ребрами, а α ($^{\circ}$) - кут нахилу ребра.

Довжина ребра L_0 визначається відношенням:

$$L_0 = r \cdot n, (м) \quad (4.3)$$

де p (м) - допоміжний розмір, а n - кількість ребер. Після підстановки (4.1) на (4.3) отримаємо відношення:

$$L_0 = \frac{4 \cdot n}{\sin \alpha}, (м) \quad (4.4)$$

де L (м) - відстань між ребрами, n - кількість ребер, а α ($^{\circ}$) - кут нахилу ребра.

Довжина профільованої пластини у напрямку вздовж пластини обмінника задається співвідношенням:

$$L_1 = L_0 + \frac{B}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{L \cdot (n + 4)}{\sin \alpha}, (м) \quad (4.5)$$

де L (м) - відстань між ребрами, n - кількість ребер, а α ($^{\circ}$) - кут нахилу ребра.

Поєднання цих параметрів призводить до утворення великої кількості варіантів, ми отримуємо функцію контрольованих змінних, за деякими параметрами.

Виходячи з попередніх зв'язків, були визначені розміри, необхідні для створення моделей.

4.1.2 Створення моделі

Моделі розрахунків були створені в Ansys Design Modeler. Створення моделі складалася з наступних етапів:

- Креслення профілю пластини в бічній площині (рис. 4.1).
- Створення прямокутного каналу довжиною L_c .
- Різка пластини шляхом витягування з профільованого листа у напрямку лінії, нахиленої кутом α .

Модель складається з пластини з ребрами, які з обох сторін оточені каналами які мають висоту ребра. Вирізаючи пластинчастий профіль, в районі ребер утворюються сегменти трикутного перерізу. Це половина моделі, що використовується для числового моделювання.

Створення повної обчислювальної моделі описано нижче.

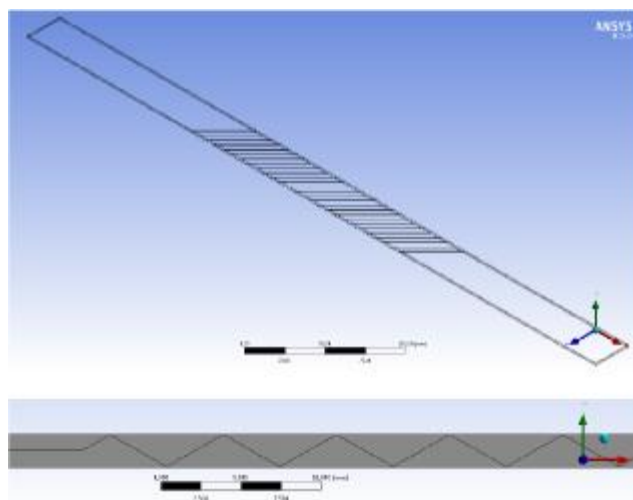


Рис. 4.2 - Розрахункова модель - загальний вигляд (зверху) та деталізація каналу вздовж пластини (знизу)

Для простоти, ефект округлення R та вплив кількості ребер n на величини, що контролюються досліджуємо лише для варіанту з розмірами $\alpha = 45^\circ$ та $L = 6$

мм. Для інших варіантів будемо вважати аналогічний хід контрольованих змінних.

Завдяки загальній довжині пластини та вимогам до встановленої площі, вхідних розмірів, створені моделі лише для $L = (4; 5; 6)$ мм для $\alpha = 30^\circ$. Це обмеження було прийнято з огляду на збільшення обчислювальної складності у разі збільшення загальної довжини пластини, яке було б потрібно для випадків $L = (7; 8)$ мм. Ці заходи значно зменшили загальну кількість розрахунків.

4.2 Створення розрахункової сітки

Дискретизація моделі (створення розрахункової сітки) проводилася за допомогою автоматичних функцій, що входять до складу Ansys Meshing. Параметри та функції були встановлені таким чином, що програма спочатку створила сітку на бічній стороні моделі, а потім спроектувала цей профіль у паралельні шари методом "Sweep".

Відстань між шарами є постійною і приймає однакове значення для всіх моделей. У зоні, що прилягає до пластинчастого теплообмінника, утворюється прикордонний шар з шестигранних елементів. Області підйому та падіння потоку утворені шестикутними елементами. Призматичні елементи з трикутною основою використовуються в зоні ребер.

В результаті виходить гібридна сітка (рис. 4.3), що складається приблизно з (1,2–1,4) мільйонів елементів. На кількість елементів впливає ширина кожної моделі.

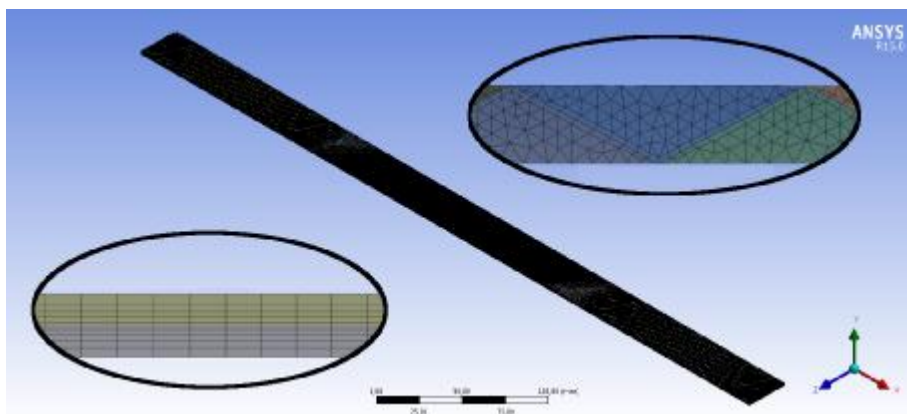


Рис. 4.3 – Розрахункова сітка – загальний вигляд та деталі ділянок і ребер

Після створення сітки поверхонь визначаються імена (іменовані підбори), послідовно з'єднані граничні умови (рис. 4.4). Немарковані бічні поверхні називаються «симетрією». Цифри вказують на окремі проходження рідини через теплообмінник.

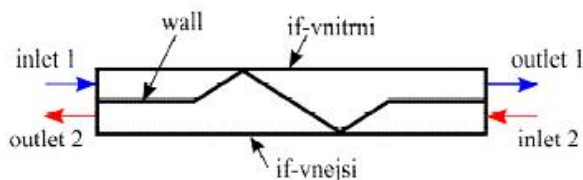


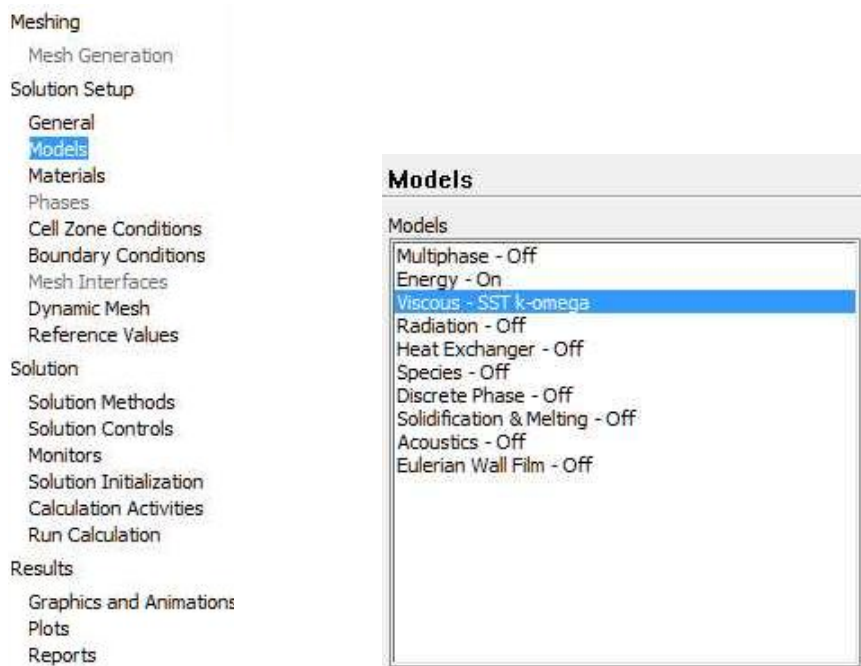
Рис. 4.4 - Граничні умови - позначення поверхні моделі

4.3 Fluent - попередня обробка

Готова сітка, включаючи іменовані поверхні, експортується з Ansys Meshing у форматі * .msh і потім завантажується у Fluent (File → Read → Mesh...).

4.3.1 Налаштування розрахунку

Встановлюючи параметри обчислення, переходимо на вкладку в лівій колонці вікна Fluent (рис. 4.5 а). На вкладці Загальні встановлюємо розрахунок (Steady) за допомогою розв'язувача Pressure-Based. У розділі Моделі активуємо рівняння енергії (Energy → On) та модель турбулентності SST $k-\omega$ (рис. 4.5 б).



а

б

Рис. 4.5 – Fluent - налаштування розрахунку

Будемо вважати, що повітря, що протікає через обмінник, є ідеальним газом з постійною питомою теплоємністю $C_p = 1006$ (Дж×кг⁻¹×К⁻¹). Відредагувати властивості повітря можна у вкладці Materials → Air → Create/Edit (рис. 4.6).

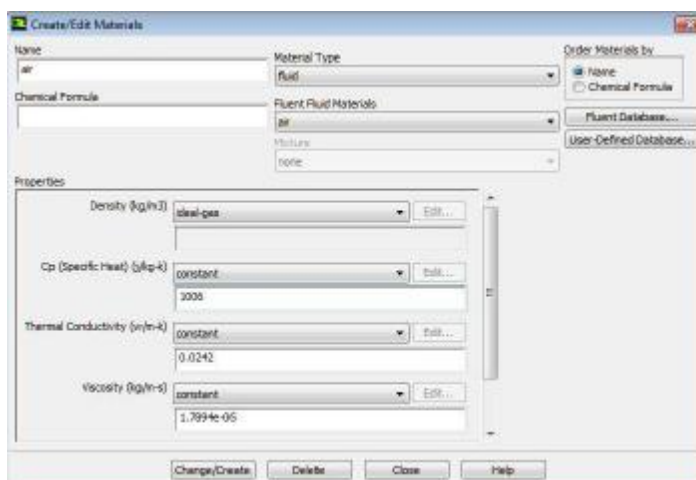


Рис. 4.6 - Fluent - встановлення властивостей повітря

4.3.2 Граничні умови

На вкладці Boundary Conditions ми призначаємо граничні умови (таб. 4.1) для окремих поверхонь (рис. 4.4) та визначаємо необхідні параметри.

Таблиця 4.1 - Граничні умови моделі

Маркування області	Опис	Тип граничної умови
вхід 1	вхідний перетин потоку 1	масова витрата на вході
вхід 2	вхідний перетин потоку 2	масова витрата на вході
вихід 1	вихідний перетин потоку 1	тиск на виході
вихід 2	вихідний перетин потоку 2	тиск на виході
якщо-внутрішній	інтерфейс всередині моделі	інтерфейс
якщо-зовнішній	інтерфейс зовнішньої поверхні моделі	інтерфейсно-періодичний
стіна	пластина теплообмінника	стіна
симетрія	площа симетрії моделі	симетрія

На вході 1 задаємо температуру $t_1 = 20$ °С, на вході 2 температуру $t_2 = 0$ °С. У пункті Mass Flow Rate (Вкладка Momentum) визначає масові потоки вхідного повітряного потоку 1 і 2 (вибираємо те саме), які обчислюються з рівняння безперервності:

$$\dot{m} = S \cdot \rho \cdot c, (\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}) \quad (4.6)$$

де $\rho = 1,232$ ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$) - густина повітря при середній температурі $t_{\text{str}} = 10$ °С, $c = 2,5$ ($\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$) - обрана середня швидкість потоку на вході, а S (м^2) – площа, визначається відношенням:

$$S = B \cdot d, (\text{м}^2) \quad (4.7)$$

де B (м) – ширина моделі, а d (м) - висота ребра ($d = 2 \times 10^{-3}$ м).

4.3.3 Налаштування сітки

Після встановлення граничних умов переміщуємо існуючу сітку так, щоб її межі були вирівняні в системі координат відповідно до рис. 4.7 зліва ($Z_{\text{min}} = -Z_{\text{max}} = 0,5 \times B$). Зберігаємо переміщену сітку у файл * _spodni.cas). Повертаємо сітку на 180° по осі x (Mesh \rightarrow Rotate, рис. 4.7 праворуч). Це створило верхню половину сітки.

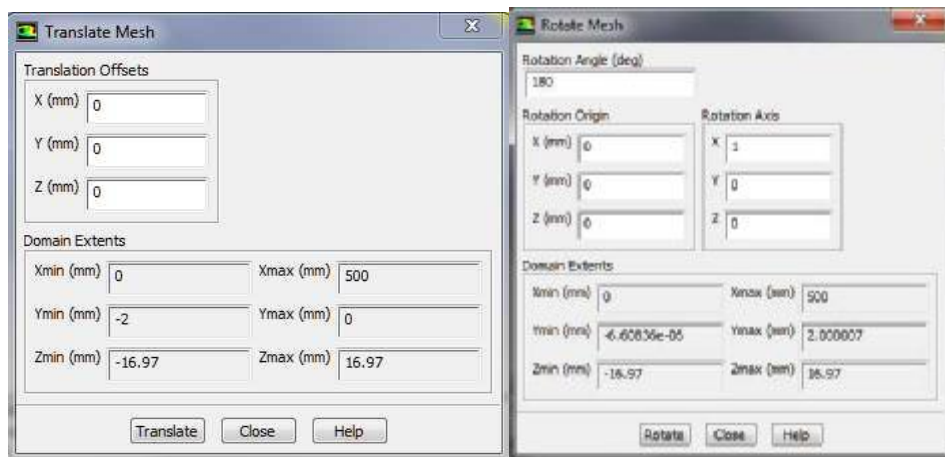


Рис. 4.7 - Діалогове вікно – налаштування сітки

Прикріплюємо нижню половину за допомогою команди Mesh → Zone → Append Case File і вибираємо * _spodni.cas. На цій моделі ми створимо інтерфейс та періодичний інтерфейс.

Таким чином модель готова до розрахунку (отримана модель рис. 4.8).

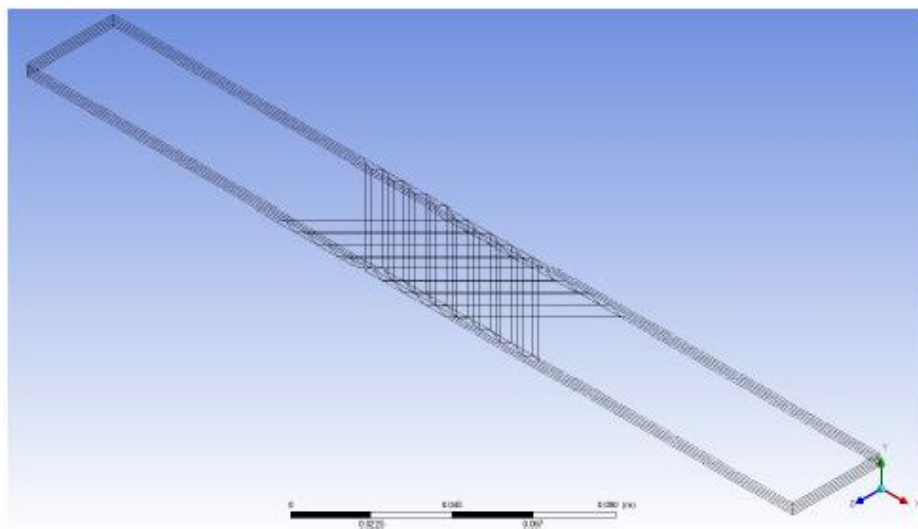


Рис. 4.8 - Модель розрахунку (без відображення сітки)

4.3.4 Вікна, початок розрахунків

На вкладці Solution → Monitors встановлено розміри залишків 1×10^{-6} для температури та 1×10^{-5} для інших розв'язаних величин. Для контролю конвергенції було введено вікно величини середнього значення температури в поперечному перерізі вихідного отвору (випускний отвір 1) з експортом даних у текстовий

файл (рис. 4.9). Виконуємо гібридну ініціалізацію (Solution Initialization → Hybrid Initialization). Встановлюємо кількість ітерацій на 500.

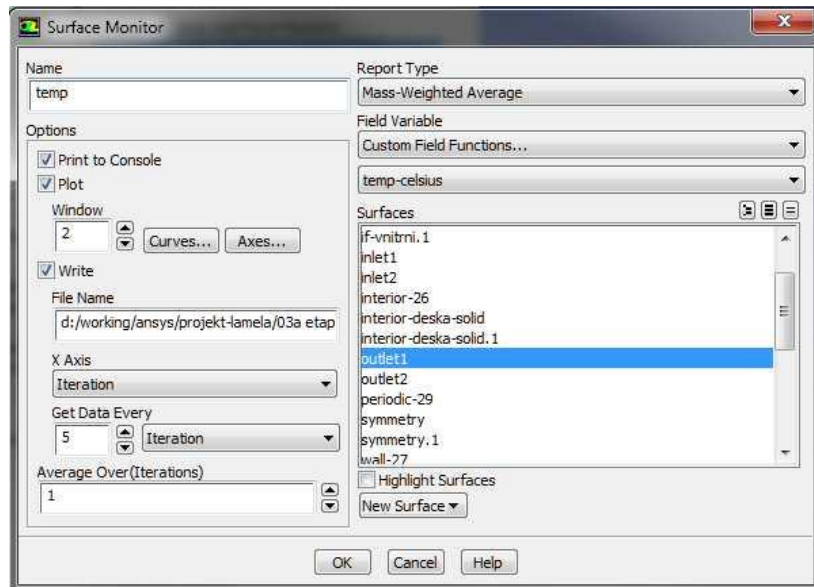


Рис. 4.9 - Налаштування вікна

4.4 Методика оцінки результатів

Розрахунок припиняється, коли досягаються критерії конвергенції або після 500 ітерацій. В останньому випадку необхідно оцінити необхідність продовження розрахунку на основі залишків. Приклади залишкової форми хвилі та температура завершеного розрахунку показані на рис. 4.10.

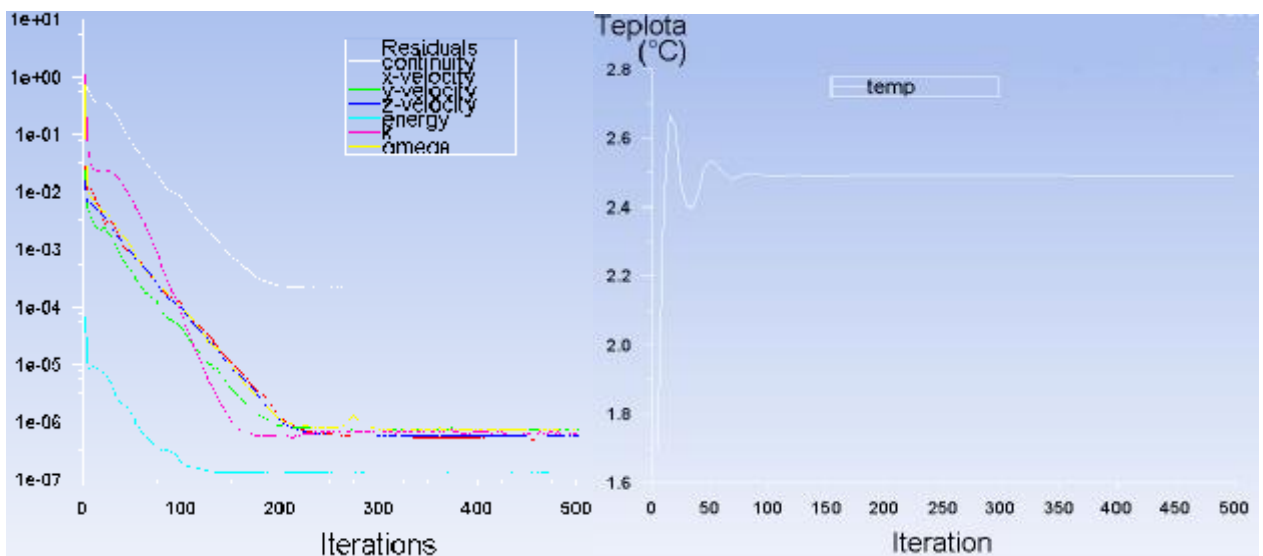


Рис. 4.10 - Залишки та вікно температури

4.4.1 Отримання даних із числових моделювань

Числові моделювання призводять до температурних і тискових полів. Отримані значення - це температура t ($^{\circ}\text{C}$) та загальний тиск p_c (Па) у вхідних та вихідних секціях окремих каналів та динамічні тиски p_c (Па) на впускних секціях.

Для визначення температури t ($^{\circ}\text{C}$) фактична функція `temp-celsius` була визначена на основі перетворення між шкалою Кельвіна і Цельсія (рис. 4.11).

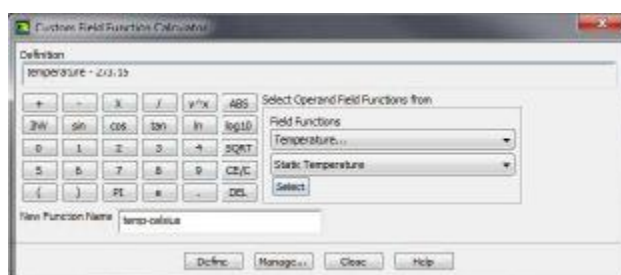


Рис. 4.11 - Певні функції для визначення температури

Оскільки обидва канали мають однакові розміри, а масові потоки обох рідин мають однакове значення, ми припускаємо однакові втрати тиску в обох каналах. Для подальшої обробки записуємо значення тиску в області рідини 1.

Для отримання середнього значення в поперечному перерізі використовуємо метод середньозваженої маси (у вкладці `Reports` → `Surface Integrals`). Діалогове вікно для отримання значень показано на рис. 4.12.

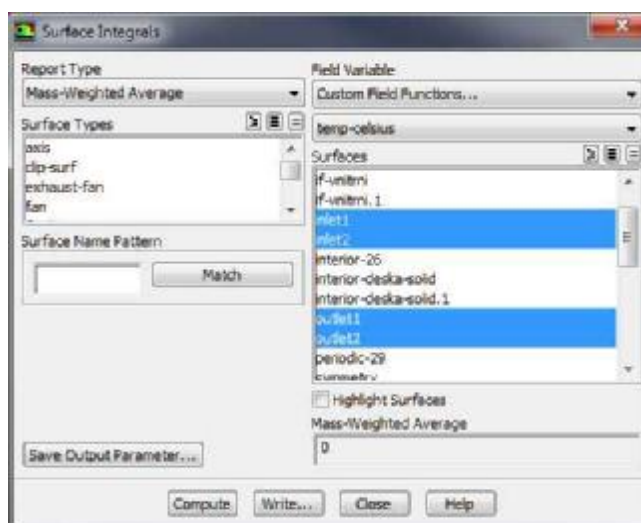


Рис. 4.12 - Оцінка результатів - діалогове вікно

4.4.2 Визначення коефіцієнта втрат тиску

Загальний перепад тиску обмінника визначається із співвідношення:

$$\Delta r = r_{cA} - r_{cB}, (Па) \quad (4.8)$$

де r_{cA} (Па) - загальний тиск у впускній секції, а r_{cB} (Па) - загальний тиск у вихідній секції каналу. Числове моделювання моделі з $n = 0$ (прямий канал) отримуємо за допомогою рівняння (4.8) падіння тиску, що відповідає r_{zt} втрат на тертя каналу L_c .

Рівняння отримання локальної залежності втрат:

$$r_{zm} = \Delta r - r_{zt}, (Па) \quad (4.9)$$

де Δr (Па) - загальний перепад тиску, а r_{zt} (Па) - падіння тертя каналу.

З рівняння (4.10) виражаємо локальний коефіцієнт втрат:

$$\chi = \frac{r_{zm}}{r \cdot \frac{c^2}{2}} \quad (4.10)$$

де r_{zm} (Па) - локальне падіння тиску та вираз $r \cdot \frac{c^2}{2}$ являє собою динамічний тиск на вході в обмінник.

Комбінуючи рівняння (4.8), (4.9) та (4.10), отримаємо співвідношення для визначення локального коефіцієнта втрат:

$$\chi = \frac{r_{cA} - r_{cB} - r_{zt}}{r_{dA}} \quad (4.11)$$

де $p_{сА}$ (Па) - загальний тиск у вхідному перерізі, $p_{сВ}$ (Па) - загальний тиск у вихідному поперечному перерізі каналу, p_{zt} (Па) - падіння тиску прямого каналу ($n = 0$), а $p_{дА}$ (Па) - динамічний тиск у поперечному перерізі вхідного каналу.

4.4.3 Визначення коефіцієнта тепловіддачі

Зв'язок між тепловим балансом і ефективністю виражається співвідношенням:

$$\dot{m} c_p \Delta T \eta = k S \Delta T (1 - \eta), (Вт) \quad (4.12)$$

де \dot{m} ($кг \times с^{-1}$) - масова витрата рідини, c_p ($Дж \times кг^{-1} \times К^{-1}$) питома теплоємність, ΔT (К) - різниця температур, η - ефективність обмінника, k ($Вт \times м^{-2} \times К^{-1}$) - коефіцієнт теплопередачі, а S ($м^2$) - площа теплопередачі.

З рівняння (4.12) висловлюємо співвідношення між параметром $k \times S$ і ККД обмінника:

$$k S = \dot{m} c_p \frac{\eta}{1 - \eta}, (Вт \cdot К^{-1}) \quad (4.13)$$

Для оцінки теплообмінників з точки зору теплообміну вводимо коефіцієнт теплопередачі:

$$y = \frac{k S}{\dot{m} c_p} \quad (4.14)$$

який при заміщенні рівняння (4.13) стає:

$$y = \frac{\eta}{1 - \eta} \quad (4.15)$$

де η - ефективність обмінника.

Формула для обчислення коефіцієнта тепловіддачі має вигляд:

$$y = \frac{T_{A1} - T_{B1}}{T_{B1} - T_{B2}} \quad (4.16)$$

де T_{A1} (К, °С) - температура на вході в рідину 1 ($T_{A1} = 20$ °С), T_{B1} (К, °С) - температура на виході рідини 1, а T_{B2} (К, °С) - температура на вході в рідину 2 ($T_{B2} = 0$ °С) (рис. 4.13).

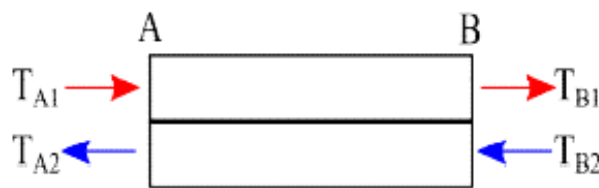


Рис. 4.13 - Протиточний теплообмінник

Коефіцієнт теплопередачі ψ - це міра для оцінки ефективності передачі тепла в обміннику. Чим вище значення ψ , тим ефективніше передача тепла в обміннику.

4.5 Розробка програми для розрахунку пластинчастих теплообмінників

Щоб автоматизувати розрахунок пластинчастих теплообмінників по заданим параметрам у програмному середовищі Microsoft Visual Studio було розроблено програму, яка виводить готове значення необхідної площі теплообмінного апарату, щоб досягти заданої температури.

Розрахунок теплообмінного апарату і визначення площі поверхні теплообмінника проводяться за рівнянням теплопередачі.

Охолодження потоку 2% розчину формальдегіду від температури	t1_1	<input type="text" value="35,6"/>	°C
Охолодження потоку 2% розчину формальдегіду до температури	t1_2	<input type="text" value="33"/>	°C
Масова витрата формальдегіду	G1	<input type="text" value="78"/>	kg/s
Температура охолоджуючої води на вход в теплообмінник	t2_1	<input type="text" value="28"/>	°C
Витрата охолоджуючої води	G2	<input type="text" value="56"/>	kg/s
Коефіцієнт тепловіддачі	α_1	<input type="text" value="2000"/>	W/(m ² ·K)
Коефіцієнт тепловіддачі	α_2	<input type="text" value="4000"/>	W/(m ² ·K)
Товщина стінки	$\delta_{ст}$	<input type="text" value="0,0015"/>	m
Коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки	$\lambda_{ст}$	<input type="text" value="100"/>	W/(m·K)
Питома теплоємність	Cp2	<input type="text" value="4191"/>	J/(kg·K)
Питома теплоємність	Cp1	<input type="text" value="4187"/>	J/(kg·K)

Результат: 145,26 м²



Рис. 4.14 - Скрін програми для розрахунку теплообмінників

Для початку створимо проект.

Відкриємо Visual Studio, далі тиснемо Файл → Створити → Проект, далі вибираємо пункт CLR і вибираємо Додаток Windows Forms, даємо ім'я проекту, наприклад calc і тиснемо Ok.

Після того як ми створили проект, з'являється пуста форма, яка повинна виглядати як на рис. 4.15.



Рис. 4.15 - Пуста форма

Справа повинна з'явитися панель елементів, якщо її немає, то можна включити її в меню Вид → Панель Елементів або натисканням гарячих клавіш - Ctrl + Alt + X.

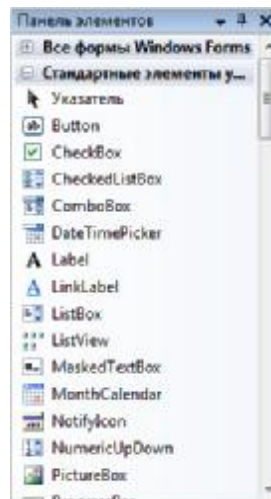


Рис. 4.16 - Панель елементів

На ній розташовані різні елементи для вставки в форму, нам знадобляться тільки елементи Button (Кнопка), Label (Напис) і TextBox (Текстове поле). Перетягуємо на форму три елементи Label, два елементи TextBox, і одну кнопку (Button), розставляємо елементи приблизно так:

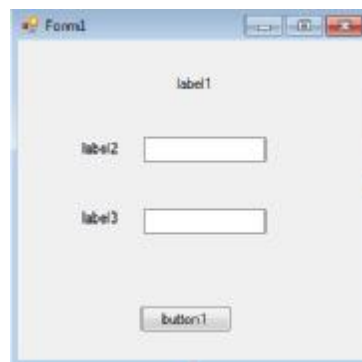


Рис. 4.17 – Початковий вид форми

Тепер нам потрібно буде змінити текст написів для елементів Label і Button і задати відповідні імена класів для елементів TextBox. Для цього Виділіть елемент label1, перейдіть в Панель властивостей, (зазвичай вона знаходиться під панеллю елементів, якщо панель вимкнена, включіть її в меню Вид -> Диспетчер властивостей.) і задайте для даного елемента своє значення атрибуту. Для всіх елементів Label і Кнопки Button аналогічним чином задаємо атрибути. Наша форма повинна прийняти приблизно такий вигляд, як на рис. 4.14.

Отже, каркас форми готовий, якщо відкомпілювати і запустити програму, то ми побачимо, якою буде наша форма на фініші, що правда на даному етапі вона абсолютно непотрібна. Перейдемо до написання обробника подій для кнопки Button, тобто що буде відбуватися при натисканні на цю кнопку, також ми

напишемо сам код для обчислення площі теплообмінника, який ми будемо використовувати в обробнику.

Насамперед потрібно додати заголовки Form1 в проект, для цього клацаємо правою кнопкою миші в Оглядачі рішень у папці Заголовки, далі меню Додати -> Створити Елемент, вписуємо назву файлу - calc і натискаємо Додати. В даному файлі буде міститися прототип функції для обчислення площі.

Пишемо код для обчислення площі пластини обмінника. Тепер наш проект містить функцію обчислення, відкомпільовуємо її, якщо помилок немає, то можна приступити до написання обробника подій для кнопки Button.

Відкриваємо файл Form1, в ньому ми бачимо візуальне представлення нашої форми. Клацаємо двічі клацнувши на кнопці Button і переходимо до вихідного коду. Після фігурної дужки ставимо абзац і приступаємо до кодування. Будь-який набір символів, які ми вводимо з клавіатури в текстове поле програми є рядком, тому нам потрібно витягти значення з текстового поля і привести його до цілочисловому типу. Це досить складна процедура, але в мові C ++ вже є безліч функцій, які виконують конвертування типів даних. Спочатку нам необхідно описати і форматувати змінну, в якій буде зберігатися значення числа.

Код готової програми наведений у додатку А.

5 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

5.1 Вплив ребрової конструкції пластини на параметри теплообмінника

В даному розділі досліджуємо вплив конструкції пластини на параметри теплообмінника.

З даними, отриманими за допомогою числового моделювання, обчислюємо відстежувані параметри:

- Локальний коефіцієнт втрат ξ .
- Коефіцієнти тепловіддачі ψ .

На основі обчислених значень ми створюємо графіки залежності контрольованих параметрів обмінника від конструкції пластини обмінника.

5.1.1 Результати числового моделювання

Числове моделювання було виконано для загальної кількості 85 моделей з різною конструкцією поверхні теплопередачі. На наступних рисунках показані контури значень результату для варіанту $\alpha = 45^\circ$, $L = 6$ мм, $n = 30$ і $R = 0$ мм.

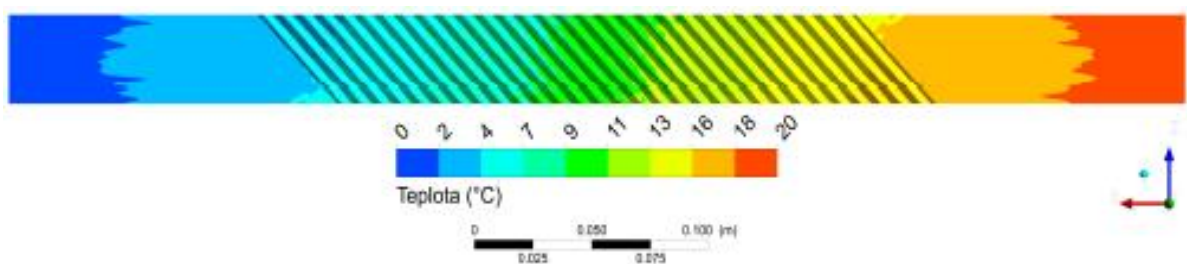


Рис. 5.1 - Контури температурного поля на поверхні теплообмінника

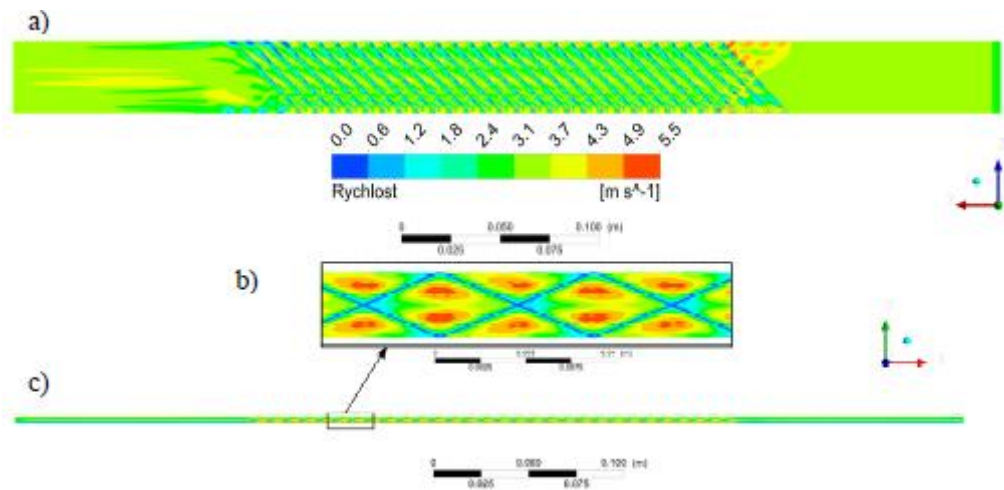


Рис. 5.2 - Контури поля швидкості на внутрішньому інтерфейсі (a) та в площині поперечного перерізу моделі (c) з деталями (b)

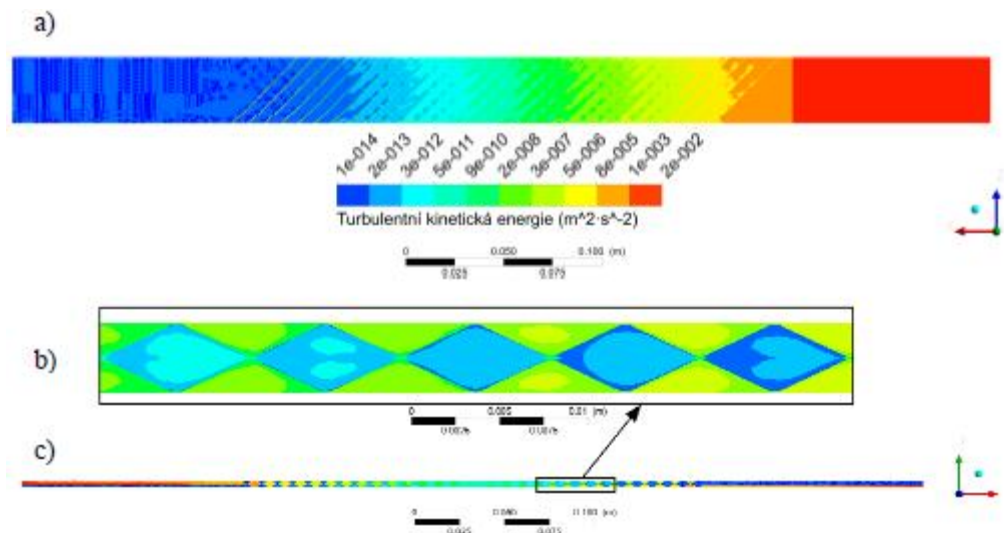


Рис. 5.3 - Контури турбулентної кінетичної енергії на внутрішньому інтерфейсі (a) та в площині перерізу через центр моделі (c) з деталізацією (b)

5.1.2 Вплив кількості ребер

Ефект кількості ребер спостерігався для моделей з $\alpha = 45^\circ$, $L = 6$ мм, $L_c = 300$ мм. Число ребер було обрано $n = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16\}$. Виходячи з результатів дослідження ефекту кількості ребер, необхідно визначити мінімальну кількість ребер, щоб визначити значення коефіцієнтів ξ і ψ . Тому ми вводимо так звану величину вимірювання, що визначається співвідношенням:

$$\Delta Q_i = \frac{Q_n - Q_{n-i}}{i} \quad (5.1)$$

де ΔQ_i , як правило, міра кількості, Q_n - це загальна величина для n ребер, а i - різниця в кількості ребер між Q_n і Q_{n-i} .

5.1.2.1 Коефіцієнт тепловіддачі

Коефіцієнт теплопередачі ψ збільшується зі збільшенням кількості ребер, але питомий коефіцієнт теплопередачі $\Delta\psi$ зменшується (рис. 5.4).

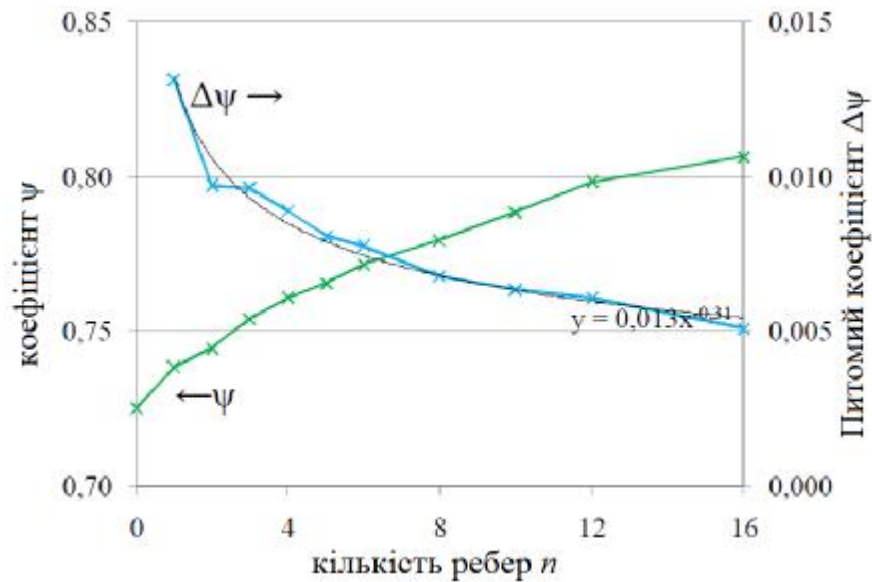


Рис. 5.4 - Вплив кількості ребер на теплопередачу

5.1.2.2 Коефіцієнт втрат тиску

Залежність коефіцієнта втрат тиску ξ та питомого коефіцієнта втрат тиску $\Delta\xi$ від кількості ребер (рис. 5.5).

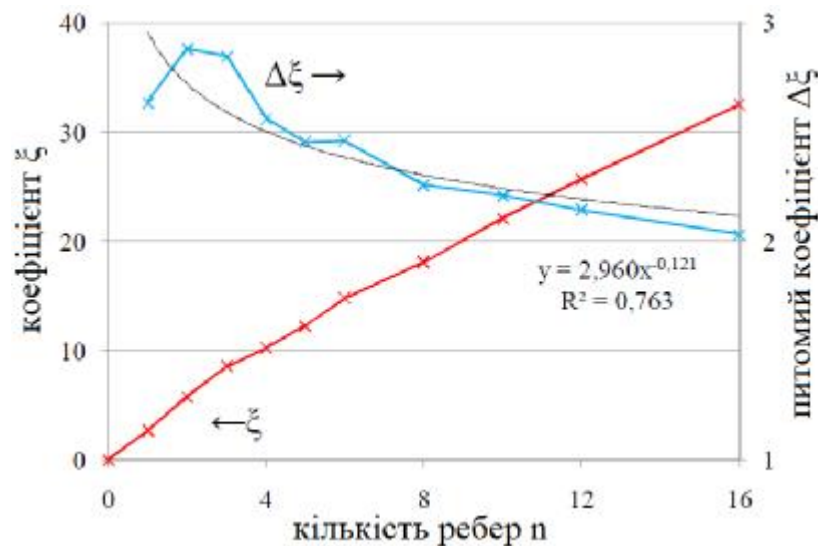


Рис. 5.5 - Вплив кількості ребер на втрати тиску

5.1.2.3 Мінімальна кількість ребер

З рис. 5.4 та рис. 5.5 видно, що при збільшенні кількості ребер питомі коефіцієнти теплопередачі $\Delta\psi$ і втрати тиску $\Delta\xi$ зменшуються.

Функціональну залежність $\Delta\psi = \Delta\psi(n)$ визначали за допомогою застосування лінії тренду в MS Excel. Питомий коефіцієнт тепловіддачі задається співвідношенням:

$$\Delta\psi_n = 0,006 \cdot n^{-0,26} \quad (5.2)$$

де $\Delta\psi_n$ - міра мінімальної кількості ребер n, яку потрібно знайти.

Для цього потрібно:

$$\frac{\Delta\psi_{n-1}}{\Delta\psi_n} \leq 1,01 \quad (5.3)$$

де $\Delta\psi_n$ - питомий коефіцієнт теплопередачі при кількості шуканих ребер, $\Delta\psi_{n-1}$ - питомий коефіцієнт при кількості ребер n - 1, а значення 1,01 являє максимум 1% відхилення двох послідовних значень $\Delta\psi$.

Підставивши рівняння (5.2) в рівняння (5.3), а потім відкоригувавши його, отримаємо співвідношення:

$$\frac{Dy_{n-1}}{Dy_n} = \frac{0,006 \cdot (n-1)^{-0,26}}{0,006 \cdot n^{-0,26}} = \frac{\alpha - 1}{\xi} \frac{\delta^{-0,26}}{n^{\frac{1}{\delta}}} \quad \text{£ 1,01} \quad (5.4)$$

де ми визначаємо ітеративно $n_{\psi-\min} = 30$ ребер.

Залежність питомого коефіцієнта втрат тиску задається співвідношенням:

$$D\xi_n = 2,954 \cdot n^{-0,112} \quad (5.5)$$

де $\Delta\xi_n$ - питомий коефіцієнт втрат тиску для кількості ребер n . Ми шукаємо мінімальну кількість ребер n аналогічно, як у випадку коефіцієнта тепловіддачі ітеративно з співвідношення:

$$\frac{D\xi_{n-1}}{D\xi_n} = \frac{2,954 \cdot (n-1)^{-0,112}}{2,954 \cdot n^{-0,112}} = \frac{\alpha - 1}{\xi} \frac{\delta^{-0,112}}{n^{\frac{1}{\delta}}} \quad \text{£ 1,01} \quad (5.6)$$

звідки ми визначаємо ітеративно $n_{\xi-\min} = 15$ ребер.

Мінімальна кількість ребер для визначення коефіцієнтів теплопередачі та втрати тиску становить $\max(n_{\psi-\min}, n_{\xi-\min}) = 30$ ребер.

5.1.3 Вплив округлення ребра

Вплив округлення спостерігався для моделей з $\alpha = 45^\circ$, $L = 6$ мм, $L_c = 300$ мм. Кількість ребер було обрано $n = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16\}$. Розміри округлення ребра були обрані $R = \{0; 0,5; 1; 2\}$ мм. Температура на вході рідини 1 - $t_{A1} = 20^\circ\text{C}$, температура на вході в рідини 2 - $t_{B2} = 0^\circ\text{C}$.

З результатів моделювання були отримані залежності від коефіцієнтів теплопередачі і локальної втрати ребра для різних округлень (рис. 5.6 та рис. 5.7).

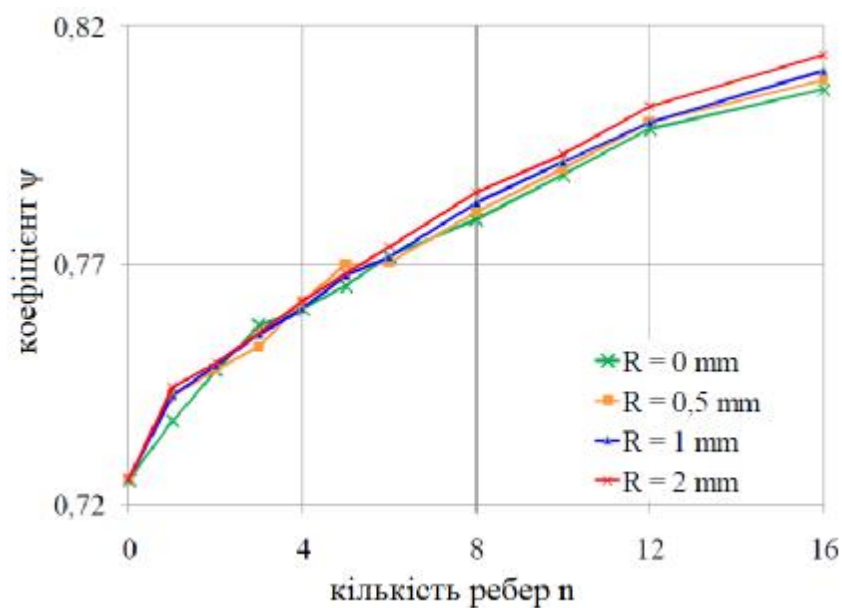


Рис. 5.6 - Вплив округлення на тепловіддачу

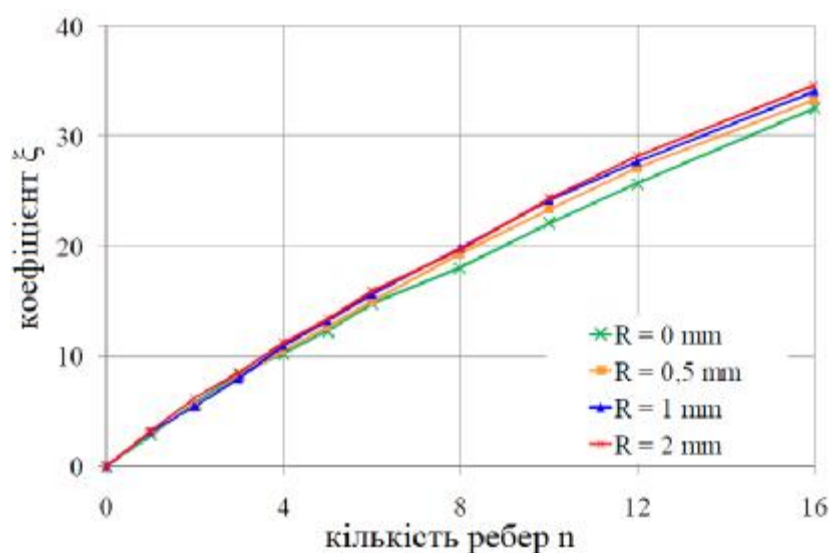


Рис. 5.7 - Вплив округлення на втрати тиску

З вищезазначених залежностей випливає, що при збільшенні радіусу округлення ребра значення коефіцієнта тепловіддачі і втрати тиску збільшуються, але збільшення мінімальне (відносне збільшення порядку 0,1%).

Округлення, таким чином, не має істотного впливу на параметри обмінника. Таким чином, в конструкції пластини можна обрати закруглення довільно щодо виробничих можливостей (технологія пресування), не впливаючи істотно на параметри обмінника.

5.1.4 Вплив кута α та відстані L

Дослідження впливу кута нахилу ребра α та відстані ребер L на коефіцієнти теплопередачі та втрати тиску проводиться при $n = \{28, 30\}$. Значення $n = 30$ було визначено у главі 5.1.2.3, для перевірки та виправлення співвідношень (5.2) та (5.5) використовуються моделі з $n = 28$. Розміри кута граблі вибираються $\alpha = \{30^\circ, 45^\circ, 60^\circ\}$. Значення відстані хребта $L = \{4, 5, 6, 7, 8\}$ мм. Загальна довжина пластини - $L_c = 500$ мм. Для спрощення створення моделі імітуються гострі ребра ($R = 0$ мм).

Для визначення падіння тиску була створена імітація моделі з $n = 0$. Падіння тиску цього (прямого) каналу $p_{z1} = 65,27$ Па. Будемо використовувати це значення для визначення локальних втрат кожного варіанту пластини, вирішеного в цьому розділі.

Залежність факторів ψ і ξ від відстаней ребер L для різних кутів α наведено на рис. 5.8 та рис. 5.12. З рисунків видно, що хід залежності від відстані ребра має аналогічний хід для різних кутів α . Криві зміщуються лише у напрямку до вертикальної осі.

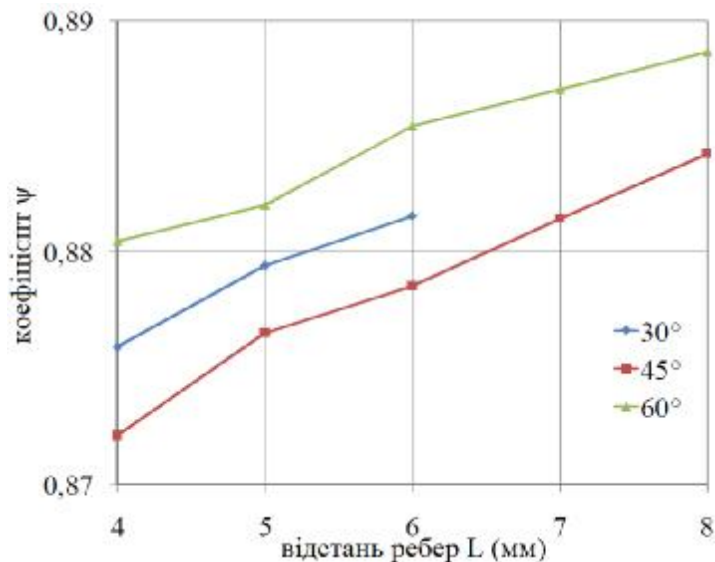


Рис. 5.8 - Вплив кута α та відстані ребер L на тепловіддачу

Зростання втрат тиску зі збільшенням кута значне. Якщо кут збільшити на 15° , коефіцієнт втрати тиску ξ збільшується більш ніж удвічі від початкового значення.

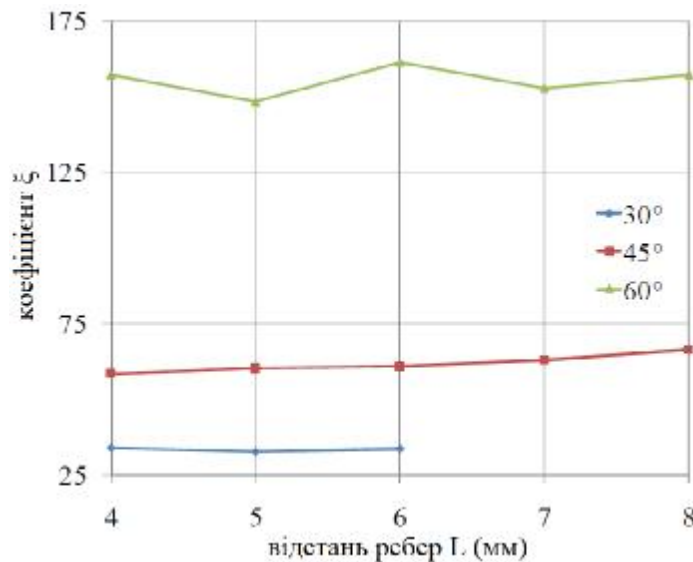


Рис. 5.9 - Вплив відстані ребер L та кута α на втрати тиску

Коефіцієнт теплопередачі ψ та коефіцієнт втрати тиску ξ збільшуються зі збільшенням відстані L.

З попередніх графіків видно, що кут нахилу ребра і відстань між ребрами сильно впливають на параметри обмінника.

5.2 Оптимізація поверхні теплообміну

На основі аналізу результатів числових моделювань створюємо алгоритм визначення оптимальної конструкції теплообмінної поверхні, який полягає у проектуванні кута нахилу ребра α , відстані ребер L та їх кількості n.

5.2.1 Залежність між коефіцієнтами ψ і ξ

Залежність коефіцієнта тепловіддачі від коефіцієнта втрат тиску (рис. 5.10, кожна з кривих представляє значення для $n = 28$ та $n = 30$ ребер) від збільшення втрат тиску. Тому не можна просто визначити оптимальний варіант проектування, виходячи виключно з досягнення максимального коефіцієнта теплопередачі, але необхідно вибрати обмежувальну умову у вигляді максимально допустимих втрат тиску, з яких походить коефіцієнт втрати тиску ξ .

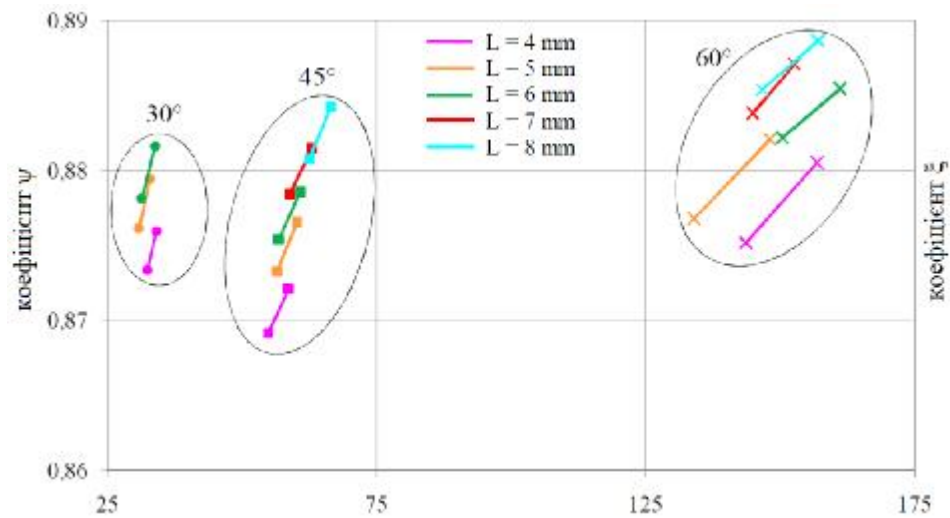


Рис. 5.10 - Взаємозалежність коефіцієнтів ξ і ψ

5.2.2 Висновок по цільових функціях

Виходячи із залежностей, отриманих у розділі 5.2.1, ми отримуємо залежності коефіцієнтів тепловіддачі та втрат тиску залежно від розмірів α , L та кількості ребер n . Припускаємо, що коефіцієнти в залежності від кількості ребер, отриманих при $\alpha = 45^\circ$ і $L = 6$ мм (рівняння (5.2) і (5.5)) має аналогічну характеристику для всіх значень α і L .

5.2.2.1 Функція коефіцієнта тепловіддачі ψ

Щоб визначити функціональну залежність теплопередачі від розмірів обмінника, почнемо з рівняння (5.1) і визначимо питомий коефіцієнт тепловіддачі:

$$Dy_{30} = \frac{y_{30} - y_0}{30} \quad (5.7)$$

де ψ_{30} - значення коефіцієнта тепловіддачі кожного модельованого варіанту для $n = 30$ ребер і $\psi_0 = 0.8058$ - значення коефіцієнта тепловіддачі для $n = 0$.

Визначимо поправочний коефіцієнт k , який представляє співвідношення між значенням коефіцієнта тепловіддачі для конкретного варіанту і значенням

коефіцієнта тепловіддачі відповідно до кількості ребер, згідно рівняння (5.2) для $n = 30$. Корекційний коефіцієнт задається відношенням:

$$k = \frac{Dy_{30}}{Dy_n} = \frac{Dy_{30}}{0,006 \cdot 30^{-0,26}} \quad (5.8)$$

Залежність коефіцієнта корекції від відстаней ребер для різних кутів α показана на рисунку 5.11.

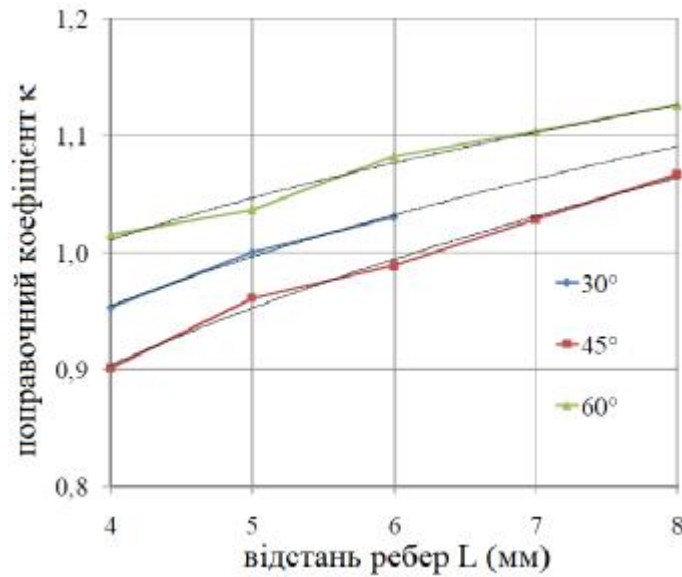


Рис. 5.11 - Залежність коефіцієнта корекції від L і α

Криві згладжуються ступеневою функцією виду:

$$k = a \cdot L^b \quad (5.9)$$

де a - змінна, що залежить від кута нахилу α ($^\circ$), b - константа, а L (мм) - відстань ребер. Прийmemo за постійне значення $b = 0,23$.

Будемо вважати функцію константи a на кут α у вигляді:

$$a = a_1 \cdot \alpha^2 + a_2 \cdot \alpha + a_3 \quad (5.10)$$

де a_1 , a_2 , a та a_3 - константи. Критерієм визначення рішення є досягнення найменших відносних відхилень значень корекції, обчислених згідно (5.9) від

значень, отриманих в результаті моделювання. Відносне відхилення, як правило, визначається відношенням:

$$s = 1 - \frac{Q_{CFD}}{Q_{fce}} \quad (5.11)$$

де Q_{CFD} - це значення загальної величини, отриманої за допомогою числового моделювання, а Q_{fce} - це величина тієї ж кількості, обчислена на основі формули функції.

Визначивши константи, отримаємо відношення для коефіцієнта корекції:

$$k = 0,01 \cdot (0,023 \cdot a^2 - 1,998 \cdot a + 108,102) \cdot L^{0,233} \quad (5.12)$$

де α ($^\circ$) - кут ребра, а L (мм) - відстань ребра.

Коригуючи рівняння (5.1), ми отримуємо співвідношення для питомого коефіцієнта тепловіддачі:

$$Dy = k \cdot Dy_n \quad (5.13)$$

яке ми порівнюємо з рівнянням (5.8) і після коригування отримуємо загальне співвідношення для коефіцієнта тепловіддачі:

$$y_n = n \cdot k \cdot Dy_n - y_0 \quad (5.14)$$

де n - кількість ребер, k - поправочний коефіцієнт, $\Delta\psi_n$ - питомий коефіцієнт тепловіддачі і ψ_0 - константа, що представляє коефіцієнт тепловіддачі для прямого каналу.

Підставляючи формули (5.2) і (5.12) в рівняння (5.14) з подальшим коригуванням, отримуємо співвідношення залежності коефіцієнта тепловіддачі від розмірів обмінної пластини:

$$y = 1,4 \cdot 10^{-6} \cdot (a^2 - 86,43 \cdot a + 4700) \cdot L^{0,233} \cdot n^{0,737} + 0,8042 \quad (5.15)$$

де α ($^\circ$) - кут ребра, L (мм) - відстань ребер, а n - кількість ребер.

При порівнянні залежностей значень ψ , отриманих від моделювання, та значень, обчислених за рівнянням (5.15) (рис. 5.12), видно, що підрахунок призводить до дещо інших значень коефіцієнта тепловіддачі. Найбільші відхилення отримують для кута $\alpha = 60$ для низьких ($L = 4$ мм) та високих ($L \geq 7$ мм) значень відстані між ребрами. В цілому отримана функція підходить для обчислення коефіцієнта тепловіддачі, оскільки відхилення коефіцієнта ψ незначні, відносні відхилення складають у порядку декількох десятих відсотка.

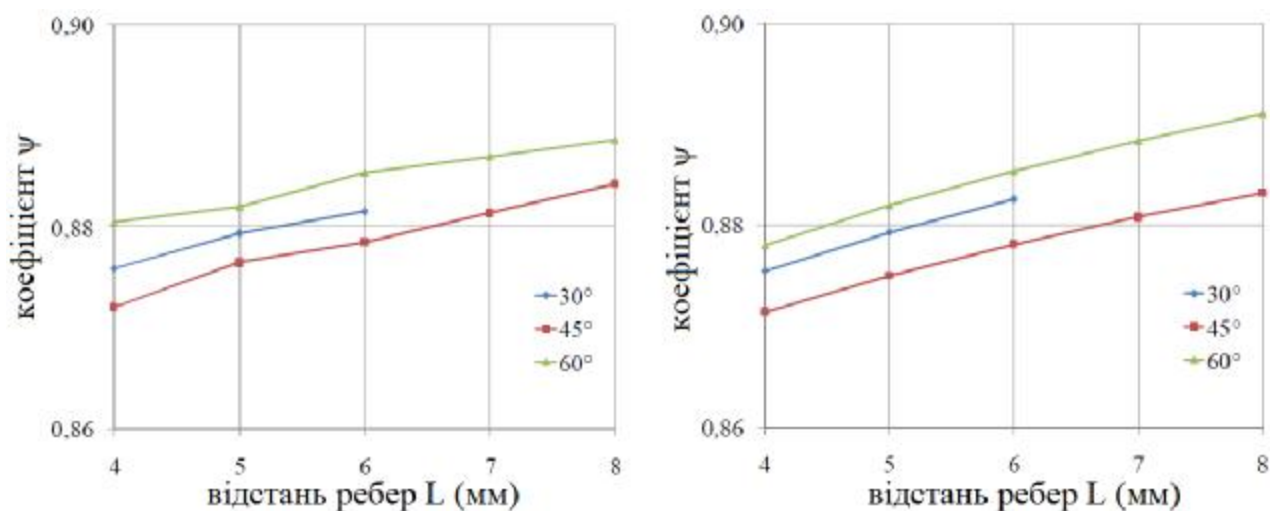


Рис. 5.12 - Порівняння залежностей коефіцієнта ψ від продуктивності поверхні теплообміну (значення, отримані з моделювання зліва, значення, обчислені за рівнянням (5.15) справа)

5.2.2.2 Функція для коефіцієнта втрат тиску ξ

Функція коефіцієнта втрат тиску на геометрії пластини визначається аналогічно, як коефіцієнт теплопередачі. Отримане співвідношення для коефіцієнта втрат тиску становить:

$$\chi = 1,78 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{a^2 - 59,9 \cdot a + 1032}{\sin a} \cdot L^{0,00167 \cdot |a - 45^\circ| + 0,0728} \cdot n^{1,887} \quad (5.16)$$

де α ($^{\circ}$) - кут ребра, L (мм) - відстань ребер, а n - кількість ребер.

На рис. 5.13 показано порівняння значень ψ , отриманих за допомогою моделювання, та значень, обчислених за рівнянням (5.16). Внаслідок кривої "зигзагу" залежності значень ψ , отриманих від моделювання кута $\alpha = 60$, крива обчислених значень для цього кута значно ідеалізована.

Однак у цілому рівняння (5.16) можна вважати задовільним для опису залежності коефіцієнта втрат тиску від конструкції обмінника. Відносні відхилення становлять до $\pm 5\%$.

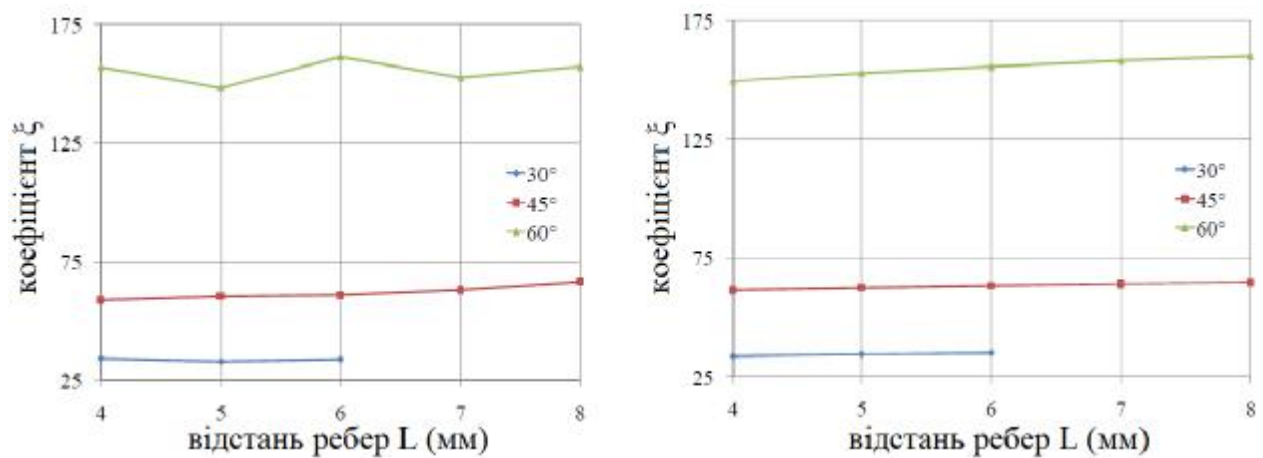


Рис. 5.16 - Порівняння залежностей коефіцієнта ξ від поверхні теплообміну (ліві значення, отримані від моделювання, праві значення, обчислені за рівнянням (5.16))

5.2.3 Інструмент для проектування поверхні пластини

На основі співвідношень (5.15) та (5.16) був створений інструмент для проектування розмірів, оптимальних для теплообміну. Метою є отримання значень кількості ребер, відстані між ребрами та кута їх нахилу. Розділимо це на кілька частин:

- вхідні значення;
- розрахунок максимально допустимого коефіцієнта втрат тиску;
- розрахунок максимальної кількості ребер;
- розрахунок коефіцієнта тепловіддачі;
- знаходження максимального значення коефіцієнта тепловіддачі.

Вхідні значення вводяться користувачем на основі вимог до обмінника. Це максимальна втрата тиску обмінника, максимальна довжина пластини обмінника і швидкість в поперечному перерізі на вході.

5.2.3.1 Коефіцієнт втрат тиску

Максимально допустиме значення коефіцієнта втрати тиску ξ_{\max} обчислюється за формулою (5.17), в якій втрати тертя прямого каналу довжиною 1 м, помножені на довжину пластини L_0 , замінюються на втрати тертя.

$$\chi = \frac{\gamma_{zm}}{\gamma \cdot \frac{c^2}{2}} \quad (5.17)$$

5.2.3.2 Проектування ребер

Алгоритм заснований на поступовому обчисленні значень для конкретних варіантів. Розрахункові таблиці розроблені таким чином, що стовпці представляють кути ребра на $\alpha = \langle 30^\circ; 60^\circ \rangle$ з кроком $2,5^\circ$, а рядки відповідають відстані між ребрами для $L = \langle 4 \text{ мм}; 8 \text{ мм} \rangle$ кроками $0,5 \text{ мм}$. На перетині ряду і стовпця знаходимо значення величини для пластини α і L .

5.2.3.3 Кількість ребер

З результатів дослідження впливу кількості ребер видно, що для максимальної ефективності слід використовувати якомога більше ребер, але при збільшенні їх кількості втрати тиску збільшуються. У випадку конкретної конструкції ми обмежені довжиною пластини L_1 та дозволеними втратами тиску. Максимальна кількість доступних ребер розраховується спочатку на основі значень L та α (згідно (4.5)).

5.2.3.4 Коефіцієнт тепловіддачі

Після визначення кількості ребер для кожного варіанту обчислюються значення коефіцієнта тепловіддачі. Розрахункове значення визначається максимальним значенням.

5.2.3.5 Оптимальний дизайн поверхні передачі тепла

Кут нахилу та відстань між ребрами для оптимального варіанту віднімаються від стовпців та міток рядків, що містять виділену клітинку (максимальне значення).

Інші розміри визначаються відповідно до співвідношень, наведених у розділі 4.1.

5.2.4 Перевірка функціональності інструменту проектування

За допомогою запропонованого алгоритму оптимізації оптимальне проектування поверхні теплообміну було розроблено для таких значень:

Дозволений перепад тиску $\Delta p = 150$ Па.

Швидкість введення $c = 2,5$ м \times с $^{-1}$.

Максимальна довжина профільованої деталі $L_1 = 300$ мм.

Значення втрат тиску було вибрано виходячи з характеристик обмінників, які зараз є на ринку. Швидкість і довжина профільованої пластини були вибрані таким чином, щоб модифікація однієї з раніше модельованих моделей могла бути використана для розрахунку моделей.

Оптимальний інструмент оцінювали як найбільш оптимальний варіант з кількістю ребер $n = 27$, відстані між ними $L = 5$ мм і кутом нахилу $\alpha = 32,5$ °. На основі цих значень були створені модель розрахунку та обчислювальна мережа. Згодом було проведено числове обчислення у Fluent та оцінено результати (див. Таблицю 5.1).

Таблиця 5.1 - Результати моделювання запропонованого варіанту

Кількість ребер	Температура			Загальний тиск		Динамічний тиск на вході
	вхід 1	вихід 1	вхід 2	вхід	вихід	
n	t_{A1} (°C)	t_{B1} (°C)	t_{B2} (°C)	p_{c-A1} (Pa)	p_{c-B1} (Pa)	p_{d-A1} (Pa)

27	20	2,533	0	189,0	5,5	3,7
----	----	-------	---	-------	-----	-----

Втрати тиску ξ і коефіцієнти теплопередачі ψ обчислювались за результатами числового моделювання та порівнювались зі значеннями, отриманими під час оптимізації (див. Таблицю 5.2).

Таблиця 5.2 - Оцінка процесу проектування

	моделювання	розрахунок	Відносне відхилення
коефіцієнт тепловіддачі ψ	0,87335	0,87326	-0,01%
коефіцієнт втрат тиску ξ	31,822	29,324	-8,52%

Ці цифри вказують, що обчислення коефіцієнта тепловіддачі відповідає числовому моделюванню з високою точністю.

5.3 Висновки

У цьому розділі розглядався вплив конструкції поверхні пластини на параметри теплообмінника. Пластина була профільована похилими ребрами для посилення передачі тепла. Потік в каналі між пластинами досліджувався числовими методами з використанням програмного забезпечення Fluent. Граничні умови моделі визначалися на основі очікуваної роботи фактичного теплообмінника. З отриманих значень були виражені безрозмірні коефіцієнти для оцінки втрат тиску та інтенсивності передачі тепла, а згодом були оброблені їх залежності від конструкції ребер.

На першій частині було досліджено вплив кількості ребер. Було встановлено, що теплопередача та падіння тиску сильно залежать від їх кількості. З отриманих залежностей було визначено граничне значення кількості ребер, коли збільшення втрат тиску та коефіцієнтів теплопередачі можна вважати постійними під час подальшого додавання ребер.

Дослідження ефекту округлення вершини ребра показало, що зі збільшенням кривизни в досліджуваному діапазоні, значення втрат тиску та тепловіддачі зростають, але збільшення не суттєве. Таким чином, дизайн пластини зроблений з

точки зору технології виробництва. Вплив на параметри обмінника шляхом зміни округлення вершин підходить лише у виняткових випадках.

Вплив кута нахилу ребра та відстані між ними було досліджено за кількості ребер, отриманих за попередніми висновками. Зі збільшенням відстані між ребрами збільшується передача тепла, що, ймовірно, пов'язано зі збільшенням загальної довжини ребер, що відповідає збільшенню площі поверхні теплообміну. Втрати тиску незначно збільшуються в міру збільшення відстані між ребрами, але відстань між ребрами не робить суттєвого впливу на втрати тиску, оскільки схема потоку всередині канавок не змінюється. Зі збільшенням кута нахилу ребра втрати тиску значно збільшуються. Збільшення кута на 15° призведе до збільшення падіння тиску в два-три рази від початкового значення.

Кут ребра представляє кут зміни напрямку основного потоку рідини під час потрапляння в профільовану частину. Різкіша зміна напрямку, ймовірно, призведе до більшої втрати тиску.

При вивченні взаємозв'язку між коефіцієнтом тепловіддачі та втратами тиску було встановлено, що збільшення коефіцієнта тепловіддачі призводить до збільшення втрат тиску. З цієї причини важко визначити оптимальну конструкцію теплообмінника поверхні теплообмінника, який мав би максимальну ефективність при мінімальних втратах тиску.

На підставі попередніх висновків були створені функціональні залежності коефіцієнтів втрат тиску та коефіцієнтів теплопередачі від кількості ребер, відстані між ними та кутом нахилу. Оскільки це складні взаємозв'язки, ці функції не можна використовувати для прямого проектування поверхні теплообміну. З цієї причини була розроблена програма, яка оцінює отримані параметри обмінника для різних комбінацій розмірів поверхні теплообміну на основі використання функціональних залежностей коефіцієнтів. Аналізуючи коефіцієнт тепловіддачі (шукаючи максимум) окремих варіантів, ми знаходимо значення розмірів оптимальної конструкції. Користувач визначає граничні умови довжини поверхні теплопередачі та максимально можливий перепад тиску.

6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Вихідні дані

При проведенні техніко-економічних розрахунків, за базу приймається діюча на ТОВ «КАРПАТНАФТОХІМ» дільниця одержання формаліну, вихідні дані на 2018 р. для якої наведено нижче:

Потужність виробництва – 29102 т/рік;

Годинна продуктивність устаткування – 3,35 т/год;

Фонд календарного часу – 8760 год;

Сумарна тривалість ремонтних простоїв протягом року – 72 годин;

Чисельність персоналу цеху складає 16 осіб, у т.ч. основні робочі 11 осіб;

Вартість основних виробничих фондів цеху складає 15106548,8 грн;

Відпускна ціна формаліну – 1350 грн/т.

Таблиця 6.1 - Норми витрат на 1 тону формаліну технічного

Найменування сировини, матеріалів, енергоресурсів	Найменування показників та одиниця вимірювання	Норми витрати	Витрата на одиницю		
			2018	ціна	сума
1	2	3	4	5	6
Формалін технічний					
Метанол технічний марки А, ДСТУ 3057-95	т	0,4735	1764,14	835,32	0,857116
Натрій азотнокислий технічний ДСТУ 828-77	кг	0,012	3,56	0,04	4,104371
Натрій азотистоокислий ДСТУ 4197-74	кг	0,088	1,81	0,16	0,000164
Калій азотнокислий технічний ДСТУ 19790-74	кг	0,113	5,1	0,57	0,000584
Каталізатор залізомолібденовий	кг	0,08	2,5	0,2	0,000205
Азот	нм ³	8,87	1,46	12,95	0,013287
Питома вага витрат в повній собівартості продукції				849,24	0,871399
Вода промислова	м ³	0,64	0,3	0,19	0,000194
Електроенергія	кВт/год	149,72	0,4183	62,63	0,064264
Загальновироб. витрати				38,76	0,039771

1	2	3	4	5	6
Ам. устаткування				16,92	0,017361
Питома вага витрат на ресурси				967,74	0,992991
Ам. основних засобів				12,60	0,012928
Загальновироб. витрати (цех)				31,68	0,032506
Заробітна плата основна				4,29	0,004401
Нарахування на зарплату				2,54	0,002606
Виробнича собівартість				974,57	1

6.2 Проектна потужність і об'єм випуску продукції

Для безперервних хімічних процесів розрахунок річної виробничої потужності визначається за формулою:

$$M_p = N \cdot q_r \cdot T_{\text{еф}}, \text{ т/рік} \quad (6.1)$$

де M_p – величина річної виробничої потужності;

N – кількість паралельно працюючих однойменних одиниць устаткування;

q_r – годинна продуктивність устаткування;

$T_{\text{еф}}$ – ефективний фонд робочого часу устаткування [17].

$$T_{\text{еф}} = T_k - T_{\text{рем}} - T_{\text{техн}}, \text{ год} \quad (6.2)$$

де T_k - фонд календарного часу: для безперервних виробництв 8760 год;

$T_{\text{рем}}$ – планова сумарна тривалість ремонтних простоїв в перебігу року;

$T_{\text{техн}}$ – тривалість технологічних простоїв, що регламентується, за рік:

$$T_{\text{еф}} = 8760 - 72 = 8688 \text{ год}$$

Річна виробнича потужність:

$$M_p = 1 \times 3,35 \times 8688 = 29104,8 \text{ т/рік}$$

Приймаємо річну виробничу потужність 29102 т/рік

Річний об'єм проектного виробництва (Q_1) приймаємо за 30112 т/рік.

При цьому відбувається зростання випуску продукції (ΔQ) в порівнянні з діючим виробництвом (Q_0).

Індекс потужності підприємства визначається за формулою:

$$I_Q = \frac{Q_1}{Q_0} \quad (6.3)$$

$$I_Q = 30112/29102 = 1,0347$$

Визначаємо величину ΔQ :

$$\Delta Q = Q_1 - Q_0 \quad (6.4)$$

$$\Delta Q = 1010$$

6.3 Розрахунок зміни собівартості продукції

6.3.1 Розрахунок індексів зміни витрат

Оскільки витрати матеріально-сировинних і енергетичних ресурсів залишаються незмінними, то розраховуються відношення показників питомої потужності виробництва після впровадження заходу (q_1) до їх базових (q_0) значень [17]:

$$I^p = \frac{H_{P1}}{H_{P0}} \quad (6.5)$$

$$I^p = \frac{29102}{30112} = 0,9664$$

де H_{P0} , H_{P1} – потужність виробництва до і після впровадження заходів проекту. Аналогічно визначаються індекси зміни цін на окремі види матеріально-сировинних і енергетичних ресурсів [17]:

$$I^u = \frac{U_1}{U_0} \quad (6.6)$$

В результаті впровадження проєктованих заходів індекс зміни річних витрат (I^{BYEY}) визначаються за формулою [17]:

$$I^{BYEY} = \frac{C_{OB1}}{C_{OB0}} \quad (6.7)$$

де C_{OB0} , C_{OB1} -вартість устаткування підприємства до і після впровадження заходів проєкту відповідно.

Оскільки впровадження проєктованих заходів не приводить ні до зміни чисельності основного виробничого персоналу (I_N), ні до зміни його середньої заробітної платні (I_3), та річних витрат по статті (I^{BYEY}), а також не приводить до зміни річних загальновиробничих витрат (I_{zar}), відповідні індекси зміни рівні 1 ($I_N=I_3=I_{zar}=I^{BYEY}=1$). Також впровадження проєктованих заходів не приводить до зміни питомих витрат і цін на всі види енергетичних ресурсів, індекси зміни їх питомих витрат і цін рівні 1 ($I_{c(e)}^p = I_{c(e)}^u = 1$).

6.3.2 Аналіз зміни собівартості

По умовно - змінних статтях калькуляції, залежно від проєктованої зміни питомої витрати на окремі види ресурсів розрахунок зниження повної собівартості продукції проводиться відповідно до залежності [17]:

$$\Delta C_i = 100 \cdot (I^p \cdot I^u - 1) \cdot d_{cm} \cdot d_i \quad (6.8)$$

де ΔC_i - зниження повної собівартості за рахунок зміни питомої витрати матеріально-сировинного або енергетичного ресурсу, %;

d_{ct} - питома вага статті витрат в повній собівартості продукції на діючому виробництві;

d_i - питома вага витрат на ресурси в статті витрат.

Зниження повної собівартості у вартісному еквіваленті розраховується відповідно до залежності [17]:

$$DC_i = \frac{C_0 \cdot DC_{i(\%)}}{100} \quad (6.9)$$

де C_0 – повна собівартість одиниці продукції на діючому виробництві, грн./т.

$$DC = 100 \cdot (0,9664 \cdot 1 - 1) \cdot 0,8714 \cdot 0,993 = - 2,90\%$$

$$DC = \frac{974,57 \cdot (- 2,90)}{100} = - 28,26 \text{ грн / т}$$

Оскільки індекси зміни чисельності основного виробничого персоналу, середньої заробітної платні, загальновиробничих витрат рівні 1 ($I_N=I_3=I_{\text{зар}}=1$), а також індекси зміни витрат і цін на всі види енергетичних ресурсів рівні 1 ($I_{c^{(э)}}^p = I_{c^{(э)}}^u = 1$), то зміна повної собівартості продукції, по статтях калькуляції: «Зарплата основних робочих з відрахуваннями», «Загальновиробничі витрати», «Енерговитрати», дорівнюють нулю.

У результаті впровадження проєктованих заходів кількість формаліну, що випускається збільшилася на 2,90%, при тих самих затратах, що дозволить зменшити собівартість на 28,26 грн/т.

6.4 Розрахунок техніко-економічних показників

1. Річний об'єм виробництва:

- у натуральному виразі:

у діючому виробництві $Q_0=29102$ т

у проєктованому виробництві $Q_1=30112$ т

- у вартісному виразі:

у діючому виробництві $Q_0=1350 \times 29102=39287$ тис. грн

у проєктованому виробництві $Q_1=1350 \times 30112=40651$ тис. грн

2. Чисельність працюючих:

у діючому виробництві $N_0=16$ осіб

у проектованому виробництві	$N_1=16$ осіб
у т.ч. основних робочих:	
у діючому виробництві	$N_0=11$ осіб
у проектованому виробництві	$N_1=11$ осіб

3. Вартість основних виробничих фондів цеху складає:

у діючому виробництві	$\Phi_0= 15106548,8$ грн
у проектованому виробництві	$\Phi_1= 15106548,8$ грн

4. Продуктивність праці працюючих, розраховується по формулі [17]:

$$Pn = \frac{Qp}{N} \quad (6.10)$$

де Q_p - річний об'єм виробництва продукції, в натуральному виразі.

N – чисельність працюючих осіб.

у діючому виробництві	$P_{T_0}=29102/16=1818$ люд
у проектованому виробництві	$P_{T_1}=30112/16=1882$ люд

5. Фондовіддача, розраховується по формулі [17]:

$$f = \frac{Qp}{Qz} \quad (6.11)$$

де Q_z - річний об'єм виробництва продукції, у вартісному виразі.

у діючому виробництві :

$$f_0 = (29102 \times 1350) / 15106548,8 = 2,60 \text{ грн/грн};$$

у проектованому виробництві:

$$f_1 = (30112 \times 1350) / 15106548,8 = 2,69 \text{ грн/грн.}$$

6. Собівартість виробництва продукції:

у діючому виробництві	$C_0= 974,57$ грн/т
у проектованому виробництві	$C_1= 946,31$ грн/т

7. Прибуток на одиницю виробленої продукції, що розраховується по формулі [17]:

$$P_{од} = Ц - С \quad (6.12)$$

де Ц – ціна одиниці виробленої продукції, грн./т.

у діючому виробництві	$P_{од0} = 1350 - 974,57 = 375,43$ грн/т
у проектованому виробництві	$P_{од1} = 1350 - 946,31 = 403,69$ грн/т

8. Річний прибуток від виробленої продукції, що розраховується по формулі [17]:

$$П = P_{од} \cdot Q \quad (6.13)$$

де Q – річний обсяг виробленої продукції підприємства у натуральному виразі, фіз.од.

у діючому виробництві	$P_0 = 375,43 \times 29102 = 10925763$ грн
у проектованому виробництві	$P_1 = 403,69 \times 30112 = 12155913$ грн

9. Рентабельність витрат виробництва продукції, що розраховується по формулі [17]:

$$P = \frac{П}{С} \cdot 100 \quad (6.14)$$

у діючому виробництві	$P_0 = (375,43 / 974,57) \times 100 = 38,52\%$
у проектованому виробництві	$P_1 = (403,69 / 946,31) \times 100 = 42,66\%$

10. Рентабельність основних виробничих фондів, що розраховується по формулі [17]:

$$P_{\Phi} = \frac{П}{\Phi} \cdot 100 \quad (6.15)$$

у діючому виробництві	$P_{\Phi 0} = (10925763 / 15106548,8) \times 100 = 72,32\%$
у проектованому виробництві	$P_{\Phi 1} = (12155913 / 15106548,8) \times 100 = 80,46\%$

11. Річний економічний ефект від:
- зниження собівартості [17]:

$$E_p(ΔC) = ΔC \cdot Q_1 \quad (6.16)$$

$$E_p(ΔC) = (946,31 - 974,57) \times 30112 = -850965,12 \text{ грн}$$

Зміна показників: [17]:

$$\text{Зміна} = \frac{(\text{Проектоване} - \text{Діюче})}{\text{Проектоване}} \cdot 100\% \quad (6.17)$$

Розраховані техніко-економічні показники зведені в таблицю 6.2

Таблиця 6.2 - Техніко-економічні показники

Показники	Одиниці вимірювання	Діюче виробництво	Проектов виробництво	Зміна показників, %
Річний об'єм виробництва продукції	т	29102	30112	3,35
Чисельність робітників цеху	осіб	16	16	—
Продуктивність праці робітників цеху	т/люд	1818	1882	3,40
Собівартість продукції	грн/т	974,57	946,31	-2,98
Прибуток на одиницю продукції	грн/т	375,43	403,69	7,00
Основні фонди	грн	15106548,8	15106548,8	—
Фондовіддача	грн/грн	2,60	2,69	3,34
Рентабельність витрат на виробництво	%	38,52	42,66	9,70
Річний економічний ефект від зниження собівартості:	тис. грн		850,965	

У результаті впроваджених змін, річний економічний ефект при обсязі виробництва 30112 т/рік становить 850965,12 грн.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці, являється системою правових, організаційно-технічних, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, які направлені на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Об'єктом її дослідження є людина в процесі праці, організація праці на виробництві, виробниче середовище.

На основі цих досліджень були розроблені методи задачі яких, збільшити рівень охорони праці на виробництві.

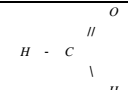
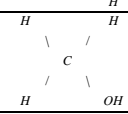
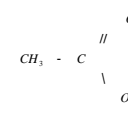
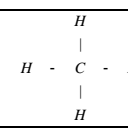
Хімічне виробництво формаліну має ряд особливостей, яким слід приділити підвищену увагу. В процесах виробництва використовують і отримують сировину, напівпродукти, цільові і побічні продукти, які є токсичні і небезпечні у пожежному відношенні. Багато з них - вибухові речовини [21].

7.1 Охорона праці

7.1.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечність речовин, що застосовано та добуто на виробництві

На виробництві, як сировину використовують метанол. В результаті протікання процесу утворюються речовини, які є токсичними, пожежо- і вибухонебезпечними, тому їх характеристики приведені в таблицях 7.1, 7.2, 7.3.

Таблиця 7.1 Основні фізико-хімічні властивості речовин

Назва сполуки		Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан за н.у.	Температура плавлення °С	Температура кипіння °С	Примітка
Раціонал номенклат	Систематич номенклат						
Формальдегід	Метаналь	CH ₂ O		Газ	-	99	
Метанол	Метиловий спирт	CH ₃ OH		Рідина	-97.8	64.9	
Діоксид вуглецю	Двоокис вуглецю	CO ₂	O=C=O	Газ	-	-	
Кисень	Кисень	O ₂		Газ	-218.4	-183	
Оксид вуглецю	Окис вуглецю	CO	C=O	Газ	-205	-191.5	
Оцтова кислота	Етанова кислота	CH ₃ COO H		Рідина	16,6	118	
Метан	Метан	CH ₄		Газ	-182.49	-218.4	
Водень	Водень	H ₂	H-H	Газ	-259.2	-252.8	

Таблиця 7.2 Характеристики токсичності

Сполук а	Клас шкідливості	Характер дії на організм людини	Гранично допустима концентрація				індивідуального засоби захисту
			У повітрі, мг/м ³		У воді, мг/л		
			Робочої зони	Насел. пункту		ГДК	
Максимально-разова	Середньо-добова						
1	2	3	4	5	6	7	8
	2	Безколірний газ з різким запахом, який може викликати задуху. Діє на	0,5				Марка протиг азів «М»,

Продовження таблиці 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Формальдегід		центральну нервову систему, подразнює слизові оболонки дихальних шляхів і очей. Здатен викликати кашель, бронхіт, деколи із кров'яну рвоту, запалені легені. Дія на шкіру проявляється у почервонінні і появі висипу по всьому тілу.					шлангові протигази
Метанол	3	Отруйна рідина з різко-виразною кумулятив-ною дією. Смертельна доза – 30 мл., важке отруєння – 5-10 мл.	5,0	1	0,5	30	Марка протигазів «М», шлангові протигази
Діоксид вуглецю	4	Властива наркотична і задушлива дія. При великих концентраціях можливий головний біль, прискорене серцебиття, шум у вухах, запаморочення, збільшення кров'яного тиску, непритомність.	300 00				Ізолюючі, шлангові протигази ПШ1 або ПШ2
Метан	4	При великих концентраціях проводить наркотичну дію. При високій концентрації може викликати задушення через нестачу кисню	300	-	-	-	Фільтруючий протигаз, Шлангові протигази ПШ-1, ПШ-2
Водень	-	Не володіє токсичною дією, але при високих концентраціях викликає задуху внаслідок витіснення кисню					Фільтруючий протигаз марки «М». Шлангові протигази ПШ-1, ПШ-2
Оксид вуглецю	4	Надає отруйливу дію. Перешкоджає з'єднанню кисню з гемоглобіном крові	20	3	10	-	Фільтруючий протигаз марки «М». Шлангові протигази ПШ-1, ПШ-2

Продовження таблиці 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Кисень	-	Вдихання повітря з великим змістом кисню може викликати порушення діяльності легень, серця і центральної нервової системи. Пониження концентрації кисню в повітрі до 16% приврдить др пррушення нррмальної діяльності організму людини. При зменшенні кисню до 10% і нижче настапають судоми з можливим смертельним результатом.					Протигази шлангові ПШ1, ПШ-2
Оцтова кислота	3	Це рідина, пари якої можуть викликати подразнення слизистих оболонок верхніх дихальних шляхів. Довготривала дія парів може викликати захворювання порожнини носа та кон'юктивіт. При потраплянні на шкіру здатна викликати утворення струп'їв, характерних для хімічних опіків, утворюються язви.	5				Протигази фільтруючі марки «В» або «БКФ»
Кисень	-	Вдихання повітря з великим змістом кисню може викликати порушення діяльності легень, серця і центральної нервової системи. Пониження концентрації кисню в повітрі до 16% приврдить др пррушення нррмальної діяльності організму людини. При зменшенні кисню до 10% і нижче настапають судоми з можливим смертельним результатом.					

Продовження таблиці 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Оцтова кислота	3	Це рідина, пари якої можуть викликати подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів. Довготривала дія парів може викликати захворювання порожнини носа та кон'юктивіт. При потраплянні на шкіру здатна викликати утворення струп'їв, характерних для хімічних опіків, утворюються язви.	5				

Кінець таблиці 7.2

Таблиця 7.3 Показники вибухо і пожежонебезпечності

Сполука	Температура самозаймання °С	Межі розповсюдження полум'я концентраційні			
		г/м ³		% об.	
		нижній	верхній	нижній	верхній
Метанол	410	46,5	512	6,98	35,5
Формальдегід	430	-	-	7	73
Метан	537	95	500	5,28	14,1
Оцтова кислота	454	-	-	3,3	22
Водень	510	3,4	66,4	4	7,5
Оксид вуглецю	651	-	-	12,5	80

7.1.2 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори на виробництві

Основні шкідливі фактори на виробництві формаліну:

- силове обладнання напругою 6000 В, 500 В, 380 В;
- загазованість повітря окисом вуглецю (СО), випарами метилового спирту (СН₃ОН), формальдегіду (СН₂О);
- каталізаторний пил (який потрапляє в людський організм через дихальні шляхи і шкірний покрив);

- шум (ГДР 80 ДБА);
- вібрації (ГДР 92 ДБА);
- ураження електричним струмом при недотриманні інструкцій з обслуговування електроустаткування;
- підвищений вміст кисню (понад 23% об.) або зменшений вміст кисню (менше 20% про.) в робочих зонах виробничих приміщень [14].

Основними небезпеками для персоналу в цеху є:

- небезпека потрапляння під авто і залізничний транспорт на території цеху, так і на території підприємства;
- отруєння небезпечними хімічними речовинами, які потрапляють в організм людини через шлунково-кишковий тракт, легені і шкіру, (формальдегід, метанол);
- можливість утворення вибухових концентрацій пар метанолу, формальдегіду;
- тармічні опіки при контакті тіла з гарячими трубопроводами води, гарячої пари;
- хімічні опіки очей та тіла можуть бути при потраплянні формаліну, метанолу на відкриті ділянки тіла;
- отримання травм при попаданні у колодязі, траншеї, приямки;
- механічні травмування: порізи, переломи кісток, забої можуть трапитись при недотриманні правил охорони праці, обслуговуванні станків, механізмів, та інших рухомих приладів;
- можливість утворення статичної електрики при транспортуванні продукції та сировини по апаратам та трубопроводам;

7.1.3 Категорійність і класифікація виробництва та його приміщень

Таблиця 7.4 Класифікація і категорійність проектного або досліджуваного виробництва і його приміщень

№ п/п	Назва відділення, установки	Категорія вибухопожарної безпеки по НАПБ Б.07.005-86	Класифікація приміщень і зовнішніх установок по ПУЭ (ДНАОП 0.00-1.32-01)	Категорії й групи вибухо-небезпечної суміші за ДСТ 12.1.011-78*	Група виробничого процесу (СНиП 2.09.04-87)
1.	Спиртовипар відділення	А	В-Ia (2)	ПА-Т2	3б
2.	Вакуум-насосне відділення	Д	В-Ia (2)	ПВ-Т2	1а
3.	Склад метанолу, насосна	А	В-Ia (2)	ПА-Т2	3б
4.	Склад формаліну	Б	В-Ia (2)	ПВ-Т2	1а
5.	Газгольдер	А	В-Ia (2)	ПС-Т2	3б
6.	Виробництво формаліну (відкрита площадка)	А	В-Ia (2)	ПС-Т2	3б
7.	Контактне відділення	А	В-Ia (2)	ПА-Т2	3б
8.	Відділення нагнітачів	А	В-Ia (2)	ПС-Т2	3б

Клас за санітарною характеристикою – II.

Ширина санітарної зони – 500м.

7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

7.2.1 Заходи запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Оскільки установка окислювального дегідрування формаліну знаходиться на відкритому майданчику, то розрахунок вентиляції проводимо для приміщення ЦПК. У приміщенні передбачена припливна вентиляція. Об'єм приміщення 830 м³, кратність повітрообміну приймаємо 7 ч⁻¹. Кількість повітря, яку необхідно подати в приміщення ЦПК, визначаємо за формулою:

$$W = K \cdot V \quad \frac{m^3}{ч} \quad (7.1)$$

де K – кратність повітрообміну, $ч^{-1}$, $K=7ч^{-1}$

V – об'єм приміщення ЦПК, m^3 , $V=830 m^3$

$$W = 7 \cdot 830 = 5810 \quad \frac{m^3}{ч}$$

Для установки приймаємо тип вентилятора В-Ц4-70

Таблиця 7.5 Характеристики вентилятора

Продуктивність, $m^3/ч$	Номер венти- лятора	Напір,мм вод.ст.	Частота об., об/хв	Електродвигун	
				Тип	Потужність кВт
7500	6,3	50	1000	4А100S6	2,20

У приміщенні передбачено систему, повітряного опалювання, яка є суміщеною з проточною вентиляцією. Для опалювання використовують калорифери. Витрату теплоти на вентиляцію в зимовий час можна обчислити за формулою:

$$Q_B = W \cdot C_v \cdot (t_{en} - t_n) \cdot 1000/3600, \quad Вт \quad (7.2)$$

де W – об'єм приточного повітря, $m^3/ч$;

C_v – об'ємна теплоємність повітря, дорівнює $1,257$ кДж/ m^3 град;

t_{en} – температура нагрітого ($t=22^\circ C$) повітря, що подається у приміщення, $^\circ C$;

t_n – температура зовнішнього повітря $^\circ C$. Прийmemo, що в осінньо-зимовий період середня температура повітря зовні дорівнює мінус $7^\circ C$.

$$Q_B = 7500 \cdot 1,257 \cdot (22 - (-7)) \cdot 1000/3600 = 75943,75 Вт$$

Площа поверхні приладів опалювання обраховується за формулою:

$$H = \frac{Q}{506} \quad \text{Экм} \quad (7.3)$$

де Экм – еквівалентний метр квадратний – площа поверхні нагріву приладу, що віддає 506 Вт теплоти при різниці середньої температури теплоносія і температури повітря в приміщенні рівної $64,5^{\circ}\text{C}$. $1\text{Экм}=0,82\text{ м}^2$

$$H = 75943,75/506 = 150,086 \text{ экм} \text{ чи } 123,07 \text{ м}^2$$

Тип калорифера КП312-СК-01. Площа поверхні калорифера – $125,27\text{ м}^2$

7.2.2 Аварійна вентиляція

Для аварійної вентиляції потрібно використовувати:

1. системи загальнообмінної вентиляції і системи місцевих відсмоктувань, що забезпечує витрату повітря необхідного для аварійної вентиляції;

2. системи аварійної вентиляції, у випадку коли використання основних резервних систем неможливе і недоцільне.

Отвори для приймання повітря з нижньої зони слід розташовувати на рівні $0,3\text{ м}$ від підлоги до низу отвору.

Аварійна вентиляція в приміщеннях категорії А, Б слід використовувати з механічною спонукою.

7.2.3 Заходи боротьби із пилом

Основним джерелом пилу у виробництві формальдегіду є каталізатор.

Для боротьби з пилом на виробництві потрібно використовувати:

- герметизацію обладнання;
- заміна порошків пігулками.

Також можливі індивідуальні засоби захисту від пилу каталізатора - це респіратори типу «Пелюстка» (або інші, які дозволені до застосування на підприємствах хімічної промисловості), рукавички, спецодяг, захисні окуляри.

7.2.4 Освітлення в приміщеннях

Передбачене робоче і аварійне освітлення приміщень. Природне освітлення, проходить через світлові отвори в стінах будівель (бічне світло) і розраховується виходячи зі співвідношення площі світлових отворів до площі підлоги (світловий коефіцієнт).

Площа віконних отворів:

$$S_{ок} = \left(\frac{1}{5}, \frac{1}{6}\right) \cdot S_n, м^2 \quad (7.4)$$

де S_n – площа підлоги, $м^2$

$(1/5, 1/6)$ – світловий коефіцієнт.

$$S_{он} = \frac{1}{5} \cdot 160 = 32 \quad м^2$$

Площа одного вікна $1,5 \times 2,5$ м, тоді кількість віконних отворів – 8.

Кількість світильників, необхідна для освітлення приміщення визначається методом світлового потоку за формулою [14]:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot K}{F \cdot U \cdot Z} \quad (7.5)$$

де E – мінімально допустима освітленість робочих поверхонь, лк;

S – освітлювальна площа, $м^2$;

F – світловий потік одної лампи, залежний від її потужності, лм;

K – коефіцієнт запасу, прийmemo для люмінесцентних ламп, у приміщеннях з малим виділенням забруднень $K=1,5$;

Z – поправочний коефіцієнт, який залежить від конструкції, типу світильника люмінесцентний $Z=1,0$;

U – коефіцієнт використання освітлювальної установки, який залежить від конструкції світила, коефіцієнта відбиття стелі та стін, прийmemo для люмінесцентних ламп, $U=1,0$.

Нормами мінімальної освітленості на робочих поверхнях у виробничих приміщеннях є:

Характеристика роботи – точна

Розмір об'єкту відмінності – 0,6 мм

Розряд роботи – III

Підрозряд – б

Контраст об'єкту відмінності з фоном робочої поверхні – малий

Фон робочої поверхні – світлий

Мінімальною нормою освітленості при люмінесцентних лампах є загальне освітлення – 300 лк.

Значення світлового потоку люмінесцентних ламп залежить від потужності лампи, напруги в мережі і розмірів трубки:

Напруга – 220 В

Потужність лампи – 40 Вт

Довжина трубки – 1198 мм

Діаметр трубки – 38-39,5 мм

Світловий потік лампи БС – 1720 лм

$$n = \frac{300 \cdot 160 \cdot 1,5}{1720 \cdot 1 \cdot 1} = 41,86 \approx 42$$

Групуємо світильники по 3 лампи.

Потужність електроосвітлювальної установки з урахуванням місцевого освітлення визначається по формулі:

$$N = \frac{n \cdot W + (0,1, 0,2) \cdot n \cdot W}{1000}, \quad \text{кВт} \quad (7.6)$$

де n – розрахункова кількість ламп для даного приміщення;

W – потужність однієї лампи, Вт

$(0,1, 0,2) \cdot n \cdot W$ – додаткова потужність для ламп місцевого освітлення, Вт

$$N = \frac{42 \cdot 40 + 0,16 \cdot 42 \cdot 40}{1000} = 1,95 \quad \text{кВт}$$

Стельові світильники з люмінесцентними лампами прикріплені по стінах в лінію по балці під стелею.

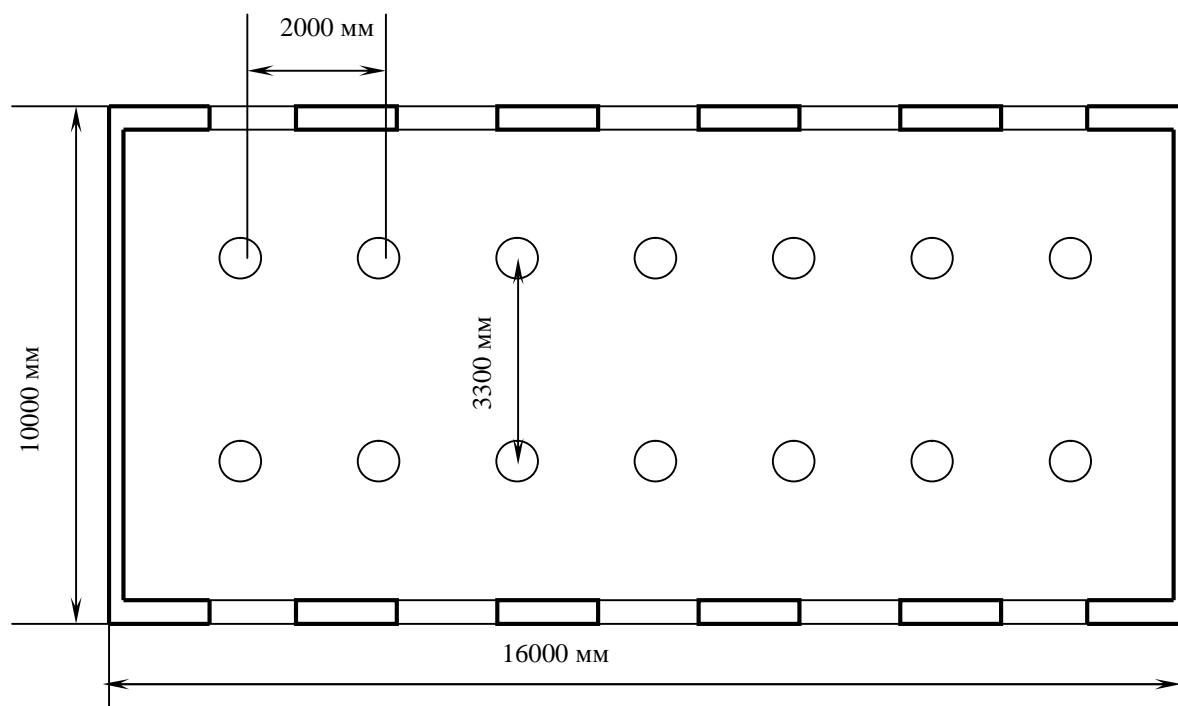


Рис. 7.1 - Схема для загального освітлення приміщення

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Фізико-географічна та кліматична характеристика майданчика

Територія Калушського ТОВ «КАРПАТНАФТОХІМ» за характером рельєфу складається з рівнинної частини і гори Височанка. Площа м. Калуша складає 64,53 км².

Внаслідок прийнятих свого часу неправильних рішень щодо розробки родовища, розташування й експлуатації хвостосховищ, відвалів, акумуляційних місткостей та способу ліквідації шахтних порожнин, що утворилися в результаті господарської діяльності хімічних підприємств у Калушському районі, було порушено екологічну рівновагу в товщі гірських порід Калуш-Голинського родовища калійних солей. Це спричинило численні провали земної поверхні над площею шахтних полів у Калуші, руйнування будинків і комунікацій, засолення водоносних горизонтів у місті, селах Кропивник і Сівка-Калуська [25].

До поверхневих водоймищ відносять річки: Сівка і Млинівці, куди скидаються шкідливі відходи підприємства та комунальне господарство міста.

Підземні води також забруднені шляхом фільтрації з відстійників і очисних споруд, змиву пестицидів і мінеральних добрив.

Рослинність міста також пошкоджена через низький рівень ґрунтових вод та високий вміст діоксиду сірки.

Середньорічна швидкість вітру 3-4 м/с. Зафіксована максимальна швидкість вітру – 28 м/с.

Середньорічна кількість опадів 600-800 мм (максимальна кількість – 850 мм). Відносна вологість повітря складає 74-76 % [25].

8.2 Характеристика викидів в атмосферу, стоків і твердих відходів

Під час виробництва формаліну утворюються газоподібні відходи, стічні води, рідкі та тверді відходи. Перелік і кількість відходів наведені у додатку Б.

8.3 Заходи по забезпеченню надійності охорони водних ресурсів і атмосферного повітря, заходи контролю

- Складські ємності для зберігання формаліну й метанолу герметичні. Вони оснащені засобами автоматичного контролю рівня й примусової сигналізації по максимальному рівні, що виключають перелив.

- Сховища формаліну й метанолу розміщені в піддонах з відбортовкою, які облицьовані кислототривкою плиткою.

- У випадку протоки метанолу через розгерметизацію сховища, останній відкачується заглибним насосом у збірник з наступною відкачкою на базисний склад ректифікації метанолу.

- У випадку протоки формаліну через розгерметизацію сховища, останній відкачується в порожнє сховище.

- Для зменшення забруднень повітряного середовища парами метанолу й формальдегіду при «подиху» сховищ і при затоці ЖДЦ і автоцистерн, що витісняються з них пари перед викидом проходять очищення в промивній колоні.

- Відкриті площадки з технологічним устаткуванням розміщені в піддонах з відбортовкою, які облицьовані кислототривкою плиткою.

- Для зменшення забруднень повітряного середовища шкідливими речовинами газу, що відходять, виробництва формаліну направляються на спалювання в котельню цеху.

- Стічні води, що утворюються у виробництві формаліну, збираються в збірник промгрозних стічних вод, звідки насосом після усереднення відкачуються в цех на нейтралізацію.

- Рівні в збірниках і дренажних ємностях формаліну, метанолу й промгрозних стоків контролюються рівнемірами зі світловою й звуковою сигналізацією по верхній межі.

Можливі проливи хімподуктів, стічні води з лабораторії технічного контролю надходять по лотках реакторного відділення корпусу 715 і по підземному трубопроводу в колодязь № 422.

Дошові води, аварійні проливи КФК, карбамідоформальдегідної смоли з піддона складу готової продукції надходять впрямок, звідки по системі цехової органічної каналізації самопливом поступають в колодезь № 422.

Дошові, промивні води та аварійні проливи з піддонів установки КФК самопливом перетікають в колодезь № 422.

З колодезя № 422 стічні води по переливній трубі поступають в систему загальної органічної каналізації (контрольний колодезь № 418).

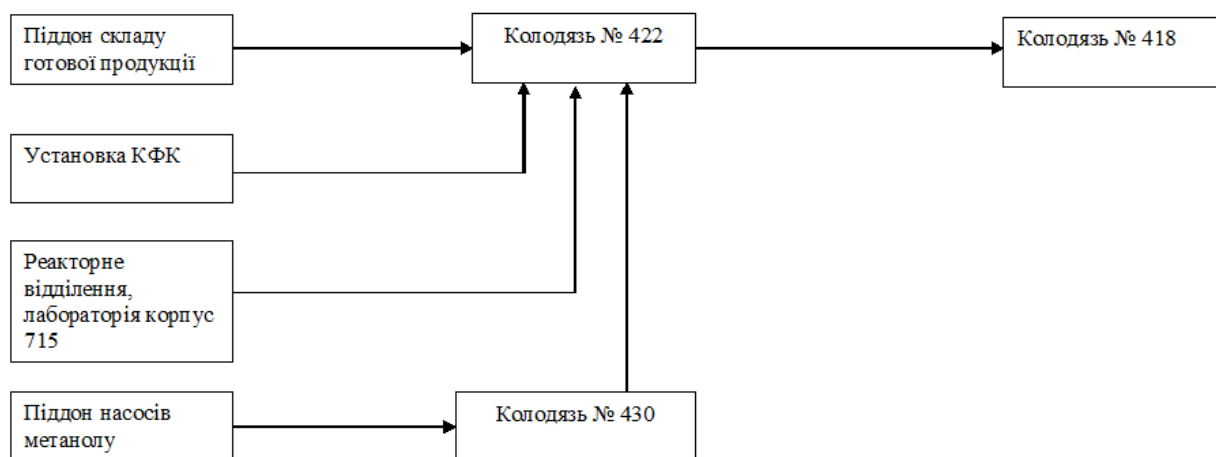


Рис. 8.1 - Принципова схема формування стоків

Склад компонентів стічних вод з виробничої площадки, контролюється лаборантами лабораторії ТОВ „Карпатнафтохім”, в колодезі № 418 лаборантами лабораторії ТОВ „Карпатнафтохім” і спеціалістами санітарної лабораторії ТОВ „Карпатнафтохім”– згідно графіків.

Склад повітря робочої зони та атмосферного повітря контролюється лабораторією ТК ТОВ „Карпатнафтохім” згідно затвердженого графіка.

ВИСНОВКИ

Отже, в даному дипломному проекті було досліджено автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва формаліну на базі ТОВ «КАРПАТНАФТОХІМ».

В процесі дослідження було виявлено, що на одному із етапів виробництва газ, що виходить з восьмої тарілки, практично вільний від органічних речовин, насичений паром і має достатньо високу температуру (від 45 до 55 °С). Частина газу використовується для окислення метанолу, частина викидається з установки.

Так як кількість пари в газі для окислення надто велика, його необхідно перед відправкою в секцію окислення метанолу охолодити, що дає можливість сконденсувати його і відділити частину пари з газу.

Це було досягнуто шляхом збільшення площі пластинчастого теплообмінника на 20%, відповідно охолодивши формальдегід ще на 3 °С. А чим більший перепад температури між входом і виходом теплообмінника, тим більше пари сконденсується з газу, який набуде більшої концентрації. Це дозволило збільшити вихід готової продукції, та зменшити викиди в атмосферу.

Щоб спростити розрахунок теплообмінного апарату, був розроблений програмний застосунок, який по заданим параметрам розрахує площу теплообмінника.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» перераховані вимоги і заходи щодо охорони праці і пожежної безпеки, охорони навколишнього середовища. Виконані розрахунки електробезпеки і освітлення приміщення. У економічному розділі виконаний розрахунок виробничої потужності виробництва, зміни собівартості продукції, техніко-економічних показників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Усачев Н.Я., Круковский И.М., Канаев С.А. Неокислительное дегидрирование метанола в формальдегид – М.: издательство «Российская академия наук (Москва)», 2004. – 420 с.
2. Митронов О. П., Глікін М. А., Кочергін О. М., Мудрий О. П., Ставраті В. І., Зубко Л. П., Кулешов М. П., Громихаліна С. О. Спосіб одержання формальдегіду, 2003. – 147 с.
3. Небесний Р. В., Івасів В. В., Жизневський В. М., Шибанов С. В. Спосіб отримання каталізатора газозфазної конденсації насичених карбонових кислот з формальдегідом, 2010. – 198 с.
4. Химическая энциклопедия / Под. ред. Зефирова Н. С. – Москва : Большая российская энциклопедия, 1998. – 115 с.
5. Короткий довідник фізико-хімічних величин / Під ред. Мищенко К. П., Равдель А. А. – СП.: видавництво «Хімія», 1967. – 184 с.
6. ANSYS справочник пользователя / К.А. Басов. - М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
7. ANSYS в руках инженера / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Едиториал УМСС, 2003. – 272 с.
8. Е.М. Морозов, А.Ю.Музейнек, А.С.Шадский. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 456 с.
9. Луканин В. Н., Теплотехника, – М.: «Высшая школа», 2002. – 245 с.
10. Антуфьев, В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева / В.М. Антуфьев – М. : Энергия, 1996. – 183 с.
11. Теплофизические свойства газов, растворителей и растворов солей. Справочник /Сост. Е.М. Шадрина и др. Иваново. 2004. – 58 с.
12. Регламентна документація виробництва формальдегіду підприємством ТОВ «Карпатнафтохім», – Калуш.
13. Методичні вказівки до виконання екологічної частини дипломних проектів (для студентів, які навчаються за спеціальностями 6.050202

"Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / Укл. Лясота О. М. – Тернопіль, 2015. – 32 с.

14. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в дипломних проектах (для студентів, які навчаються за спеціальностями 8.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / Укл. Стручок В. С. – Тернопіль, 2019. – 58 с.

15. Щоботов В.М. Цивільна оборона. Навчальний посібник. - К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.

16. Никитин В.И. Журнал «Теплоэнергетика» №8, 2005. – 24 с.

17. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів (для студентів, які навчаються за спеціальностями 8.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / Укл. Дмитрів О. Р. – Тернопіль, 2018. – 40 с.

18. Расчёты и проектирование транспортных средств непрерывного действия. – «Норд-Пресс», – Донецк, 2005. – 688 с.

19. Посібник з лекцій із дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» напряму підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл. Карташов В. В., Золотий Р.З. – Тернопіль, 2017. – 148 с.

20. Ю.Тарасевич. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс. М.: Едиториал-УРСС, 2001. – 210 с.

21. Основи охорони праці В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников – Вид. 2-е, стереотипне. – Львів: Афіша, 2000. – 348 с.

22. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Інтегрований курс безпеки життєдіяльності (теоретичні основи): Навч. посіб. – Кам'янець-Подільський: Буйницький О.А., 2009. – 200 с.

23. Безпека життєдіяльності, цивільна оборона та охорона праці // Інтегрована навчальна програма. – Київ: Освіта України, 2005. – 24 с.

24. Васильчук М.В., Медвідь М.В., Сачков Л.С. Збірник нормативних документів з безпеки життєдіяльності. – К.: Фенікс, 2000. – 896 с.

25. Андрейцев А.К. Основы экологии: Підручник. – К.: Вища шк., 2001. – 358 с.
26. Білявський Г.О., Падун ММ., Фурдуй Р.С. Основы загальної екології. – К.: Либідь, 1995. – 368 с.
27. Серебряков В.В. Основы экологии: Підручник. – К.: Знання-Прес, 2002. – 300 с.
28. Сухарев С М., Чудак С О., Сухарева О.Ю. Технологія та охорона навколишнього середовища: Навч. посіб. – Львів: Новий Світ – 2000, 2004. – 256 с.
29. Кучерявий ВЛ. Екологія. – Львів: Світ, 2000. – 500 с.
30. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: [навч. посіб.] / Пупена О.М. [та ін.] – К. : Вид-во «Ліра-К», 2011. – 552 с.
31. Siemens. S7-300 – CPU 31xC and CPU 31x: Technical specifications. Manual – Siemens AG, 2011. – 420 p.
32. SIMATIC. Работа со STEP 7 V5.3. Первые шаги. – Siemens AG 2004, 114 p.
33. WinCC Flexible. Service & Support. – Siemens AG 2008, 28 p.
34. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И.Ф. Бородин. – М.: Колос, 2006. – 352 с.
35. Брюханов, В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. – М.: Высшая школа, 2005. – 367 с.
36. Герасимов, А.А. Автоматизация работы в КОМПАС-График / А.А. Герасимов. – СПб.: ВHV, 2010. – 608 с.
37. Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов / Л.И. Селевцов, А.Л. Селевцов. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. - 352 с.
38. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко. – М.: Абрис, 2012. – 565 с.

39. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / А.Г. Схиртладзе, С.В. Бочкарев, А.Н. Лыков. – Ст. Оскол: ТНТ, 2013. – 524 с.