

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Виробництво концентрованої азотної кислоти.
Розробити та модернізувати кожухотрубний охолоджувач
нітрозних газів

Виконала:
студентка групи ХМ.мдн-21п

Говоруха Юлія Юріївна

підпис

Залікова книжка
№ 22320082

Кваліфікаційна робота магістра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	6
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
2.1 Опис технологічної схеми виробництва концентрованої азотної кислоти	25
2.2 Опис кожухотрубного теплообмінника	27
2.3 Технологічні розрахунки	29
2.4 Конструктивні розрахунки	34
2.5 Гідравлічні розрахунки	36
2.6 Вибір допоміжного обладнання	38
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	44
3.1 Вибір основних конструкційних матеріалів	44
3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність	45
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	51
4.1 Обґрунтування компонування обладнання установки	51
4.2 Монтаж та ремонт основного технологічного обладнання	53
5 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ	60
6 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОНЦЕНТРОВАНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Азотна кислота є важливим стартовим продуктом для виготовлення різноманітних азотовмісних речовин, і її сфера застосування налічує безліч галузей. Ця хімічна сполука знаходить широке використання в промислових і наукових процесах. Давайте розглянемо це питання докладніше.

Однією з основних областей використання азотної кислоти є виробництво азотних і комплексних мінеральних добрив, а також різних нітратів. Значна частина азотної кислоти, аж до 75-80%, споживається для створення різноманітних добрив, які використовуються в сільському господарстві для підживлення рослин та збільшення врожайності. Крім того, азотні добрива мають важливе значення в сучасній сільськогосподарській практиці.

Приблизно 10-15% азотної кислоти використовується для виробництва вибухових речовин і ракетного палива. Ця область використання важлива для військово-промислового комплексу і дослідницьких установ, які займаються створенням вибухових пристроїв і ракетних двигунів.

Залишок азотної кислоти, що не використовується для добрив і вибухових речовин, знаходить своє використання у виробництві барвників, органічному синтезі і в кольоровій металургії. Вона використовується для створення різних хімічних сполук, що мають важливе значення у промисловості і наукових дослідженнях [1].

Азотна кислота існує в двох основних формах: концентрована (з вмістом до 60-62% HNO_3) і димна азотна кислота (з вмістом 98-99% HNO_3). Також існують варіації цієї кислоти особливої чистоти, які використовуються в спеціалізованих процесах. Концентровану азотну кислоту широко застосовують у виробництві вибухових речовин та ракетного палива, оскільки вона має потужні властивості окислювача і є важливою складовою для цих процесів.

Завдяки такому різноманітному спектру застосування, азотна кислота відіграє важливу роль у багатьох сферах нашого життя. Вона допомагає підтримувати високу врожайність сільськогосподарських культур, є важливою складовою виробництва вибухових речовин для оборонної і космічної промисловості, і використовується в хімічних процесах для створення різних продуктів і матеріалів.

У виробництві вибухових речовин азотна кислота грає ключову роль у процесі нітрації органічних сполук, таких як толуол, уротропін, ксилол та інші. Цей процес формує основу для створення потужних вибухових матеріалів і піротехніки. Крім того, азотні добрива, отримані з азотної кислоти, є необхідними для підживлення рослин і забезпечення високої врожайності, що є критичним для сільського господарства та харчової промисловості.

Також важливою галуззю є використання азотної кислоти у виробництві барвників, які використовуються у текстильній і хімічній промисловості для фарбування різних матеріалів. Ці барвники надають різним виробам барвистість і вигляд, що додає їм естетичну привабливість.

Органічний синтез є іншою важливою галуззю, де застосовується азотна кислота. Вона використовується для створення різноманітних хімічних сполук і сприяє розвитку нових матеріалів і продуктів. Крім того, у кольоровій металургії азотна кислота може бути використана для обробки металів і сплавів, що допомагає поліпшити їхні фізичні властивості і якість [2].

Виробництво промислових хімікатів, зокрема адипінової кислоти, толуїлендіізоціанатів і нітробензолу, є сферою, яка переважно сконцентрована у Західній Європі і США. Однак останніми роками відбувається швидке розширення виробництва промислових хімікатів і в країнах Східної Азії. Особливо важливим в цьому контексті є зростання ринку концентрованої азотної кислоти в Індії, де він зростає із швидкістю 7% щорічно.

З огляду на постійний ріст виробництва азотної кислоти, питання вдосконалення технологій та розвитку нових методів для її виробництва стають надзвичайно важливими. У даній магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто проектування кожухотрубного теплообмінника, який використовується для охолодження нітрозних газів. Цей теплообмінник є важливою частиною процесу виробництва азотної кислоти і сприяє підвищенню ефективності цього процесу.

У цій магістерській роботі були дотримані методичні вказівки [3] і враховані всі нормативні вимоги, необхідні для проведення досліджень та розробки теплообмінника.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ [1, 2, 4–7]

На рисунку 1.1 наведено інформацію про технологічну схему агрегату АК-72, яка дозволить нам краще зрозуміти принцип його роботи. Основна мета цього агрегату полягає в обробці атмосферного повітря, що передбачає наступні кроки:

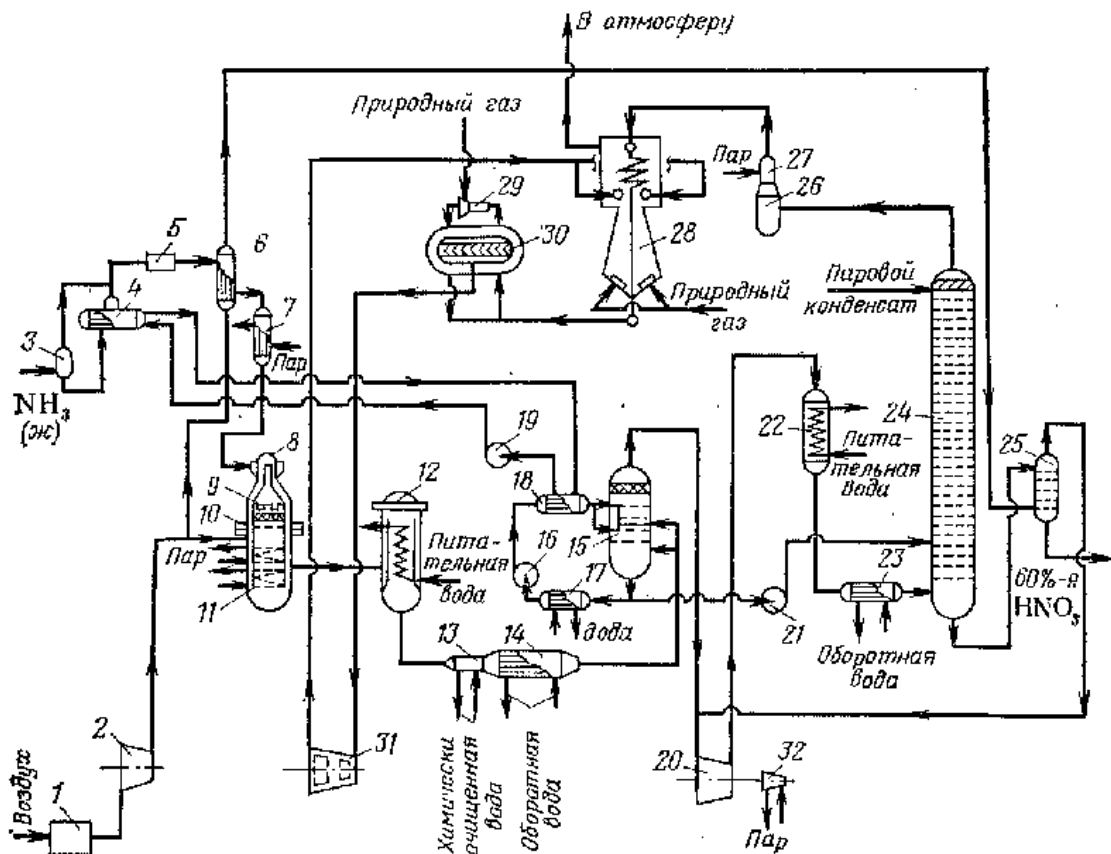


Рисунок 1.1 – Технологічна схема агрегату АК-72

- Перший етап починається з очищення атмосферного повітря від механічних домішок, яке відбувається на фільтрах грубого і тонкого очищення в апараті 1. Після цього очищеного повітря готове для подальшої обробки.

- Готове повітря, яке пройшло через фільтри, потрапляє в осьовий повітряний компресор 2. Цей компресор відповідає за стискання повітря до необхідного рівня для подальшої обробки.

- Після стиснення повітря розділяється на два окремі потоки. Основний потік направляється в апарати, де відбувається окислення аміаку 10. Цей

процес важливий для подальшої обробки аміаку та отримання потрібних хімічних сполук.

- Другий потік стислого повітря проходить послідовно через підігрівач газоподібного аміаку 6, продувну колону 25 і змішується з нітрозними газами на лінії всмоктування нітрозного нагнітача 20. Цей процес не менш важливий і відповідає за отримання та обробку нітрозних газів.

Рідкий аміак переходить до ресивера 3, далі до випарника 4, де він випаровується завдяки теплу, отриманому від циркулюючої води.

Потім вологий газоподібний аміак піддається очищенню в фільтрі 5, де відбувається видалення механічних домішок, таких як каталізаторний пил, і пари масла. Після цього газ нагрівається в підігрівачі 6 за допомогою стисненого повітря (а в холодний період року – також за допомогою теплообмінника 7, за участю пари). Гарячий газоподібний аміак потім змішується з повітрям у змішувачі 8, який розташований у верхній частині контактного апарату 10. Аміачно-повітряна суміш проходить через додаткову фільтрацію в фільтрі 9, також вбудованому в контактний апарат.

Процес окислення (конверсії) аміаку відбувається на каталізаторних сітках, які містять платиново-родієвий сплав.

Гарячі нітрозні гази послідовно охолоджуються в котлі-утилізаторі 11, який розташований під каталізаторними сітками, в економайзері 12, підігрівачі хімічно очищеної води 13, холодильнику-конденсаторі 14 і промивачі 15. Під час цих процесів охолодження нітрозного газу і конденсації пари, а також відбувається промивка нітрозних газів від аміаку, який не прореагував на каталізаторних сітках, і нітрит-нітратів амонію, що утворюються з аміаку та оксидів азоту в тракці до промивача.

Промивач 15 зрошується азотною кислотою, циркуляцію якої забезпечує насос 16 через холодильник 17, який охолоджується оборотною водою, і холодильник 18, який охолоджується циркулюючою водою,

охолодженою випарниками рідкого аміаку 4. Із промивача 15 40–45% кислота насосом 21 подається на зрошення в абсорбційну колону 24.

Охолоджений нітрозний газ подається до нагнітача 20, після чого його стискають і послідовно охолоджують в підігрівачі живильної води 22 і холодильнику-конденсаторі 23. Потім він направляєється до абсорбційної колони 24. Азотна кислота з концентрацією 60% виробництва потрапляє до продувної колони 25, де під тиском з неї видаляють розчинені оксиди азоту, і після цього самопливом постачається до сховищ.

Вихлопні гази з абсорбційної колони перенаправляються в пастку 26 з вбудованим теплообмінником 27, де їх підігривають для випаровування дрібних бризок. Після цього вони проходять через підігривач 28. Протиточний підігрів стислих вихлопних газів відбувається послідовно розширеними вихлопними газами з газової турбіни та димовими газами, що утворюються під час згоряння природного газу в пальниках радіаційної частини підігривача 28. Нагріті вихлопні гази проходять через сорочку реактора каталітичного очищення 30 і змішуються з природним газом у змішувачі 29.

Отримана суміш подається до реактора каталітичного очищення 30, де на двоступеневому каталізаторі відбувається відновлення оксидів азоту до азоту, а також одночасний підігрів вихлопних газів до температури 750–770°C. Гарячі вихлопні гази направляються на рекупераційну газову турбіну 31. Енергія, що вивільняється при розширенні гарячих вихлопних газів, майже повністю відповідає енергії, яка витрачається на стиснення повітря та нітрозних газів. Якщо виникає невеликий дефіцит механічної енергії, його компенсує парова турбіна 32. Розширені вихлопні гази з турбіни надходять у підігривач 28, де вони охолоджуються і викидаються в атмосферу через вихлопну трубу.

Під час експлуатації агрегату АК-72 і газотурбокомпресорного агрегату ГТТ-12 виявлено ряд недоліків, пов'язаних з їхньою схемою та конструкцією.

До недоліків схеми можна віднести використання реактора каталітичного очищення в якості камери згоряння під час пуску агрегату для підвищення температури від 480 до 650–750°C. Це призводить до швидкого «старіння» каталізатора, що негативно впливає на його активність у окислювальному середовищі (повітрі), ускладнюючи процес пуску агрегату.

Ще одним недоліком є жорсткий взаємозв'язок між технологією і машиною. Для забезпечення стабільних обертів машини необхідно підтримувати стабільну температуру в реакторі, що залежить від концентрації кисню в вузьких межах. Проте, під час експлуатації можливі порушення, які призводять до зміни концентрації кисню. Завдяки великій місткості системи регулювання концентрації кисню має велику інерційність. Коливання числа обертів машини ускладнюють стабілізацію технологічного режиму.

Також недоліком схеми є той факт, що високотемпературна каталітична очистка вихлопних газів призводить до викиду в атмосферу значної кількості оксиду вуглецю.

Основні принципові недоліки машини ГТТ-12, яка складається з повітряного компресора, нагнітача нітрозного газу, газової та парової турбіни, включають:

- ускладнену можливість оперативного впливу на частоту обертання валу турбін низького тиску (ТНТ) при збуреннях в системі, таких як коливання температури газу перед турбіною та інші фактори.

- нестачу потужності на валу нітрозного нагнітача, що викликана зниженням ККД ТНТ, повинна компенсуватися постійною роботою парової турбіни для підтримки необхідної частоти обертання на рівні 5000 об/хв.

З метою вирішення проблем, що виникали під час експлуатації агрегату АК-72, було впроваджено покращену схему цього агрегату, яку назвали АК-72М. На рис. 1.2 наведено технологічну схему агрегату АК-72М.

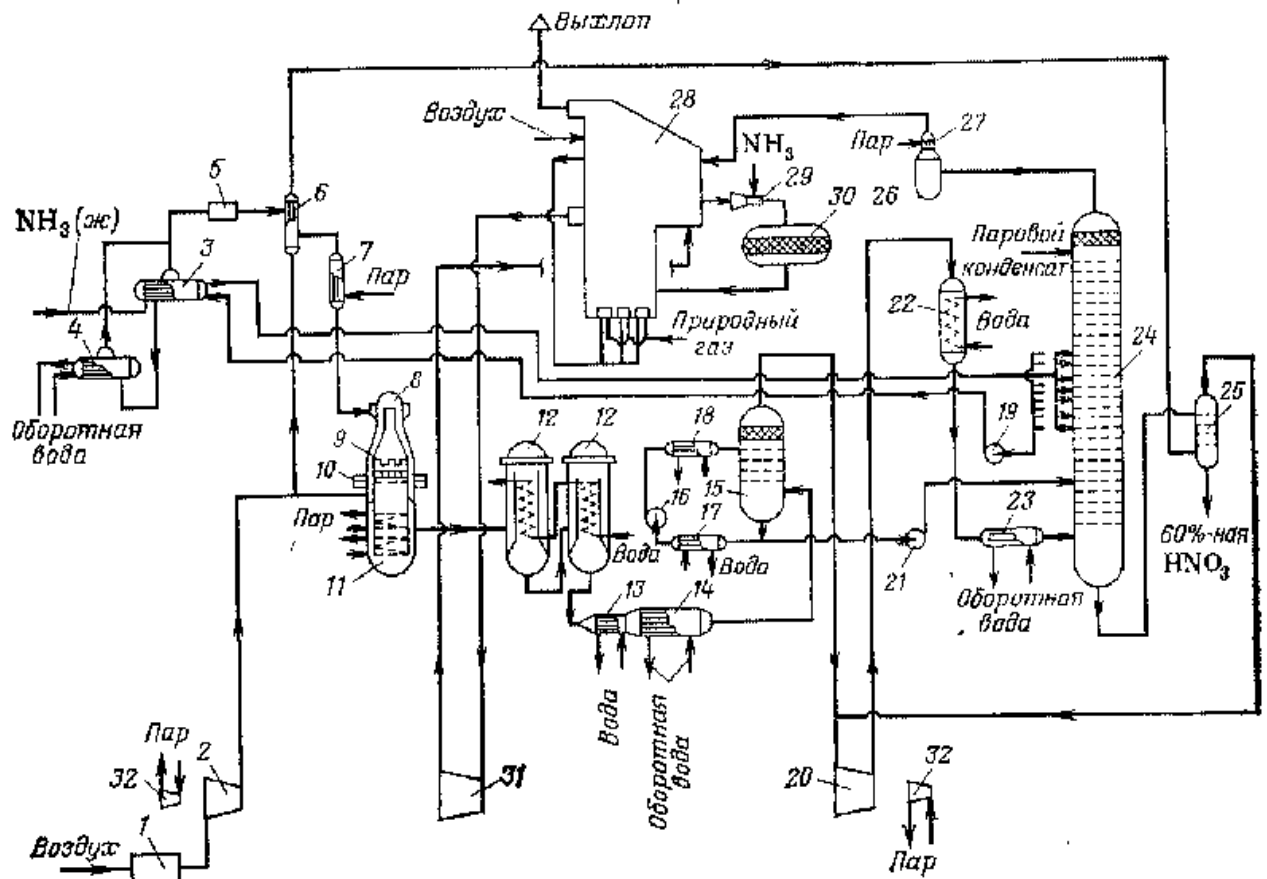


Рисунок 1.2 – Технологічна схема агрегату АК-72М

Оскільки АК-72М має загальну основу з АК-72, варто звернутися до їх суттєвих відмінностей. Вихлопний газ, після проходження підігрівача 27, потрапляє до блоку підігріву вихлопних газів 28. В регенеративній секції цього блоку газу нагріваються до 300°C, і тут, в неочищеному стані, вони подаються в змішувач 29. Тут же відбувається подача газоподібного аміаку, отриманого випаровуванням рідкого аміаку.

З змішувача газу направляються в реактор каталітичної очистки 30. У процесі каталітичного очищення не відбувається підвищення температури газу.

Очищений вихлопний газ з реактора повертається до блоку підігріву 28, де його нагрівають до 760°C, після чого він подається в газову турбину 31. Додатковий економайзер 12 котла-утилізатора розташований між першим економайзером 12 і підігрівачем хімічно очищеної води 13.

Вода, після проходження підігрівача 22, потрапляє в додатковий економайзер 12 при температурі 160°C, де вона нагрівається до 230°C, після чого вона входить в перший економайзер по ходу газу. Встановлення додаткового економайзера не тільки збільшує корисне використання тепла, але також поліпшує умови роботи підігрівача 13.

Розрахункова температура нітрозного газу становить приблизно 110°C, що призводить до зниження теплового навантаження на холодильник 14 і, відповідно, до менших витрат охолоджуючої води.

Для вирішення завдань модернізації агрегата АК-72, було внесено ряд змін та удосконалень, спрямованих на підвищення ефективності й надійності обладнання. Однією з ключових змін є збільшення площі поверхні теплообміну в підігрівачі 22, що призвело до зниження температури нітрозного газу, який виходить з підігрівача.

Важливим покращенням є перегляд схеми випаровування рідкого аміаку. Тепер випаровування відбувається у двох послідовно розташованих випарниках, а саме 3 і 4. Перший випарник, а саме випарник 3, відповідає за випаровування близько 80% всього аміаку.

Крім того, було встановлено другу парову турбіну, яка працює на валу повітряного компресора агрегата ГТТ-12. Змінено схему використання пари, яка генерується в котлі-утилізаторі. Тепер є можливість направляти всю вироблену в агрегаті пару в заводські мережі під тиском 1,67 МПа. У нормальних умовах роботи, коли немає потреби в усій виробленій парі, достатньо направляти 30-40 тонн пари на парові турбіни, а іншу частину (40-45 тонн) можна відводити з агрегату. В разі відсутності споживачів, всю вироблену пару можна спрямовувати на парові турбіни ГТТ-12М. Це дозволить знизити температуру вихлопних газів перед турбіною і забезпечити економію природного газу.

В рамках модернізації були також вдосконалені окремі установки та апарати, що сприятиме покращенню функціональних характеристик агрегата.

Агрегат ГТТ-12М. Однією з ключових інновацій є прийнята схема, в якій встановлені парові турбіни із протитиском на обох валах машини.

Завдяки цій схемі були досягнуті наступні переваги:

- стабілізація частоти обертання осьового компресора на певному рівні, незалежно від відхилень, які можуть виникнути в процесі роботи (такі як падіння температури на вході в турбіну або збільшення газодинамічного опору в системі тощо). Ця стабілізація відбувається оперативно та автоматично.

- компенсація можливого падіння ККД (коефіцієнта корисної дії) осьового компресора і ТНТ (турбіни низького тиску) протягом експлуатації через зношеність та забруднення. Це досягається завдяки відбору потужності від парової турбіни, що дозволяє підтримувати продуктивність агрегату стабільною з плином часу.

Також в схемі ГТТ-12М передбачено використання очищених вихлопних газів, які виходять після реактора каталітичного очищення з температурою 300°C, для охолодження газової турбіни. Це дозволяє заощадити до 10 тонн стиснутого повітря і використовувати його для технологічних потреб.

В результаті цих модернізацій, ГТТ-12М забезпечує частоту обертання осьового компресора на рівні 5200 обертів на хвилину, що значно підвищує загальну продуктивність агрегату.

Блок підігріву вихлопних газів БПГ-172. Його завданням є підігрів вихлопних газів від низьких 50°C до високих 760–780°C, і це досягається за рахунок використання двох джерел тепла: спочатку за допомогою охолодження розширених вихлопних газів, а потім шляхом згоряння природного газу у топці радіаційної частини підігрівача.

Сам БПГ-172 складається з трьох важливих компонентів: конвективного регенератора, радіаційного підігрівача та підігрівача повітря. Використання підігрівача повітря є ключовим, оскільки він глибше

використовує тепло, що виділяється димовими газами, та сприяє зниженню витрат палива. Підігрівач повітря реалізований у вигляді двосекційного теплообмінника, де димові гази протікають через труби, а повітря циркулює у міжтрубному просторі. Цей процес призводить до зниження температури вихлопних газів, що виходять з БПГ-172, з 210°C (як у випадку з АК-72) до менших 170°C (для АК-72М).

Покрім цього, під час модернізації, деякі інші компоненти також піддаються вдосконаленню та модифікації. Реактор каталітичного очищення, котел-утилізатор КН-85/40 та промивач нітрозного газу стають об'єктами покращень.

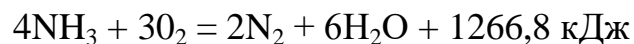
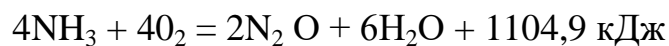
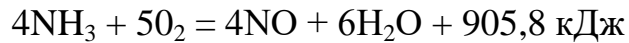
З огляду на різні методи отримання азотної кислоти, можна зробити певні висновки. Дуговий метод виробництва, хоч і має відносно просте апаратне оформлення, проте потребує великих енергетичних затрат, що становлять 70000 кВт/год. на 1 тону азоту (еквівалентно 64 тонам умовного палива). У світлі сучасних тенденцій у сфері енергозбереження цей метод стає неекономічним та не вигідним.

У наш час доступне виготовлення аміаку за досить низькою ціною, що робить контактний метод вигіднішим. У цьому випадку рідкий аміак використовується як вихідна сировина, і процес стає менш енергоємним завдяки застосуванню системи рекуперації тепла на різних етапах. Крім того, в модернізованому агрегаті АК-72М використовуються парові турбіни для оптимізації роботи компресора та нагнітача. Ці турбіни частково використовують пару, яка генерується безпосередньо в агрегаті (приблизно 40-45 тонн на годину).

Отже, зважаючи на достатню доступність сировини та раціональне використання енергії, контактний метод у модернізованому агрегаті АК-72М є найбільш оптимальним вибором для виробництва слабкої 60%-ої азотної кислоти.

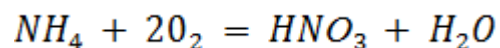
Теоретичні основи виробництва концентрованої азотної кислоти

Окислення аміаку. Каталітичне окислення аміаку киснем повітря є складним процесом, який може відбуватися за різних умов та включати в себе наступні реакції, залежно від середовища та параметрів реакції:



Крім того, важливо враховувати можливість утворення N_2 під час розкладання оксиду азоту NO і внаслідок його взаємодії з NH_3 . Оскільки для окислення NH_3 використовується повітря, вміст аміаку в аміачно-повітряній суміші, яка утворюється, обмежується кількістю кисню в повітрі.

Оптимальний вміст аміаку в аміачно-повітряній суміші визначається на основі загальної реакції:



Виходячи з цього рівняння вмісту NH_3 складає:

$$\frac{21}{2} : \left(100 + \frac{21}{2}\right) 100 = 9,5 \%$$

Виробничий вміст аміаку в аміачно-повітряній суміші підтримується на практиці в діапазоні від 9,5 до 11,5 % об. при співвідношенні $[\text{O}_2] : [\text{NH}_3] = 1,7 : 2$. Із збільшенням вмісту NH_3 більше 13 % суміш становиться вибухонебезпечною. При температурі 380–400°C вибухає суміш, що містить 12,5–13 % NH_3 .

Каталізатори. Оскільки процес окислення аміаку може рухатися в різних напрямках, для досягнення необхідного продукту (NO) потрібно

використовувати каталізатори зі селективною (вибірковою) дією. Один з таких ефективних каталізаторів – це платиноїдний каталізатор, створений зі сплаву платини, паладію і родію. Платиноїдний каталізатор виготовляється у формі сіток, які складаються зі стручків дроту, товщиною 0,09 мм, із 1024 таких стручки на 1 см². Найбільш поширеними є такі каталізатори окислення аміаку: платина + 4 мас. % Pd + 3,5 мас. % Rh – при атмосферному тиску і платина + 7,5 мас. % Rh – для роботи при підвищеному тиску.

Нові сітки мають вигляд переплетення з гладких блискучих і еластичних ниток, але в процесі експлуатації сітки стають матовими, губчастими з сильно розвиненою внутрішньою поверхнею. Це призводить до їх поступового зношування. Сітки, втративши більше 12% від своєї початкової маси, підлягають переплавці та відновленню.

Швидкість окислення аміаку. Процес окислення аміаку до NO є гетерогенним і складається з наступних послідовних стадій:

1. Прибуття реагуючих молекул з газової фази до зовнішньої поверхні каталізатора.
2. Дифузія цих речовин через структуру каталізатора до його внутрішньої поверхні.
3. Взаємодія адсорбованих молекул з поверхнею каталізатора.
4. Дифузія речовин, які прореагували, через структуру каталізатора до його зовнішньої поверхні.
5. Вивільнення продуктів реакцій з поверхні каталізатора в газовий потік.

Швидкість реакції окислення аміаку, передусім, залежить від швидкості дифузії кисню (O₂) і аміаку (NH₃) до поверхні каталізатора. Дифузія аміаку до поверхні платиноїдного каталізатора повільніша, ніж дифузія кисню, і саме ця швидкість є визначальною для окислення аміаку до NO.

Відомо, що механізм окислення аміаку до NO на платиноїдних каталізаторах включає в себе послідовні проміжні реакції.

Під час окислення аміаку до оксиду азоту аміачно-повітряна суміш повинна пройти через каталізаторний шар. Для досягнення певного ступеня окислення аміаку необхідно забезпечити точний час контакту газів з каталізатором. Для розрахунку часу контакту користуються рівнянням:

$$\tau = \frac{V_g}{V_z} \quad (1.1)$$

де τ – час перебування в зоні каталізу, °С ;

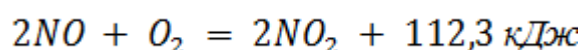
V_g – вільний об'єм каталізатора, м³;

V_z – об'ємна швидкість газу в умовах конверсії, м³/с.

Практика показує, що оптимальний час, який аміачно-повітряна суміш проводить в зоні каталізу, складає від 10⁻⁴ до 10⁻⁵ секунд. Збільшення цього часу, або ж зниження швидкості газового потоку, призводить до утворення елементарного азоту. Натомість, підвищення швидкості газу понад оптимальний рівень скорочує час, протягом якого аміак проходить через зону каталізу, що призводить до викиду аміаку в потік нітрозного газу.

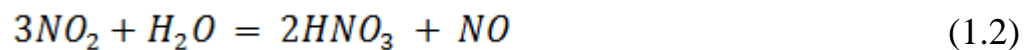
Аміак, який пройшов у потік нітрозного газу, взаємодіє з оксидом азоту, утворюючи елементарний азот. Також він може реагувати з діоксидом азоту, утворюючи нітрити та нітрати амонію. При підвищених температурах аміак може також піддаватися розкладанню на елементарний азот і N₂O. Всі ці реакції призводять до втрати аміаку.

Окислення оксиду азоту. Реакція перетворення оксиду азоту (NO) в діоксид азоту (NO₂) є складним процесом, який відбувається в рівноважних умовах та характеризується оборотністю. Під час цієї реакції виділяється значна кількість тепла:



За принципом Ле-Шательє, зі збільшенням температури рівновага реакції зсувається вліво, що має наслідком зменшення утворення діоксиду азоту (NO_2). З цією метою для прискорення цієї реакції можна використовувати різні стратегії, такі як збільшені тиски, знижені температури та підвищені концентрації оксиду азоту (NO) і кисню (O_2). На швидкість цієї реакції впливають кілька факторів, включаючи концентрацію NO і O_2 у газовій суміші, тиск та температура газу.

Абсорбція оксидів азоту. Нитрозні гази, які надходять на абсорбцію, містять в своєму складі NO_2 , N_2O_4 , N_2O_3 і NO . Усі ці оксиди, крім NO , можуть взаємодіяти з водою, утворюючи азотну кислоту (HNO_3). Процес утворення HNO_3 може бути описаний за допомогою наступних хімічних реакцій:



З рівняння (1.2) можна зрозуміти, що для виробництва 2 моль азотної кислоти (HNO_3) витрачається 3 молі NO_2 , і одна третина азоту, який вводиться у процес, виділяється у газовій фазі у формі оксиду азоту (NO). Потім цей оксид азоту знову окислюється киснем до NO_2 і, при повторному поглинанні утвореного оксиду, знову виділяється у формі NO . Ця послідовність подій може бути математично описана як геометрична прогресія, сума членів якої обчислюється за наступною формулою:

$$1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} + \dots = 1,5.$$

Звідси випливає, що абсолютно перетворити оксиди азоту в азотну кислоту під час водної абсорбції неможливо. В газах, які виходять із абсорбційної колони, завжди будуть міститися оксиди азоту, і їхня кількість залежить від умов абсорбції.

Ступінь перетворення NO_2 в азотну кислоту зростає, коли оксиди азоту поглинаються розбавленими водними розчинами азотної кислоти за знижених температур. Абсорбція практично повністю припиняється, коли утворюється 65%-а кислота. Однак перешкодою для отримання кислоти з концентрацією понад 65% мас. HNO_3 є присутність у газовій фазі незначної кількості NO , і швидкість окислення цього газу дуже низька.

Теплопередача – це складний процес переміщення тепла від гарячого теплоносія до холодного через стінку. Теплообмінники – це пристрої, які дозволяють обмінювати тепло між двома теплоносіями. Основним завданням при розрахунку теплообмінника є визначення теплового навантаження, тобто кількості тепла, яке передається під час процесу, і масової витрати іншого теплоносія. Крім того, важливо визначити площу теплообміну, через яку передається необхідна кількість тепла. Площа теплообміну визначається за допомогою рівняння теплопередачі.

Рушійною силою теплопередачі є різниця в температурі між гарячим і холодним теплоносіями. Теплопередача може включати в себе теплопровідність, конвекцію та променевий теплообмін. Тепло передається від гарячого теплоносія до стінки або від стінки до холодного теплоносія через конвекційний теплообмін, і швидкість цього перенесення тепла на різних етапах залежить від коефіцієнтів тепловіддачі. Швидкість тепловіддачі, в свою чергу, залежить від режиму руху теплоносія, характеру його потоку на поверхню теплообміну, фізико-хімічних властивостей теплоносія і його агрегатного стану.

У сфері хімічної технології найбільше розповсюдились кожухотрубчасті теплообмінники. Вони використовуються для обміну теплом між теплоносіями, такими як рідкість - рідкість, пара - рідкість, газ - рідкість, газ - газ. Кожухотрубчасті теплообмінники складаються з багатьох труб, які з'єднані у пучок і розташовані в циліндричному корпусі.

У цьому розділі ми розглянемо розрахунок кожухотрубчастих теплообмінників з нерухомими трубними решітками (рис. 1.3), які використовуються для нагрівання і охолодження газоподібних і рідких середовищ у хімічних, газових, нафтохімічних та суміжних галузях промисловості.

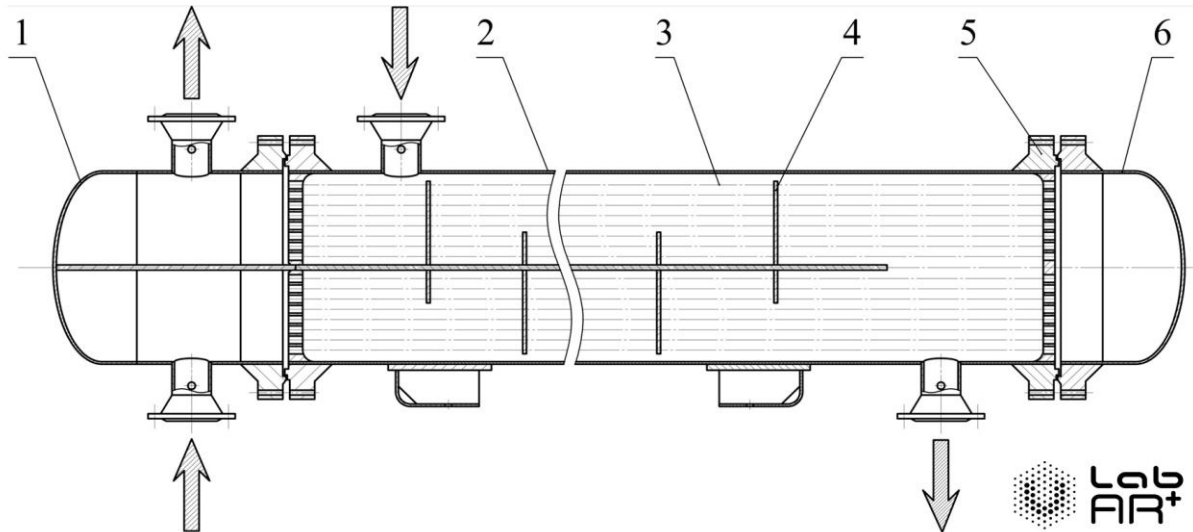


Рисунок 1.3 – Кожухотрубчастий теплообмінник із нерухомими трубними решітками: 1 – розподільна камера; 2 – кожух; 3 – теплообмінна труба; 4 – поперечна перегородка; 5 – трубна решітка; 6 – кришка кожуха; 7 – опора

Теплообмінні пристрої такого типу включають в себе сукупність теплообмінних труб 3, причому кінці цих труб закріплені в спеціальних трубних решітках 5 за допомогою розвальцювання, зварювання, паяння, а іноді на сальниках (рис. 1.4).

Пучок теплообмінних труб розташований всередині циліндричного кожуха (2). Важливо відзначити, що один із теплоносіїв рухається вздовж внутрішньої частини труб, тоді як інший теплоносій протікає через простір, що оточує труби, тобто між кожухом та трубами. Внутрішній простір труб і простір між трубами в апараті відокремлені перегородками (4), що створюють декілька камер для руху теплоносіїв. Така конструкція дозволяє підвищити швидкість теплоносіїв як в трубах, так і в міжтрубному просторі.

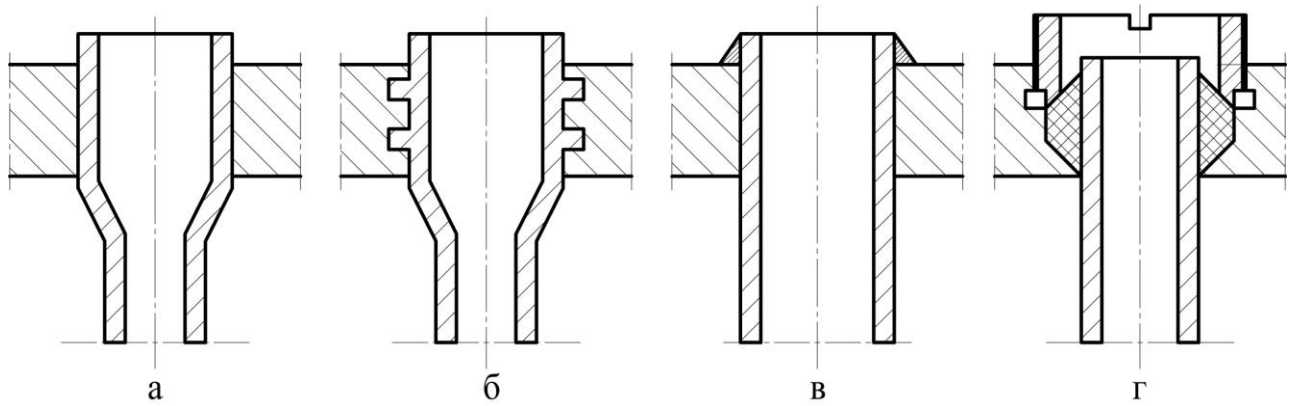


Рисунок 1.4 – Способи закріплення труб у трубних решітках:

а – розвальцюванням; б – розвальцюванням з ущільнювальними канавками;
в – зварюванням; г – сальниковим ущільненням

З одного кінця теплообмінний апарат закритий розподільною камерою (1), а з іншого – кришкою (6). Також апарат обладнаний спеціальними штуцерами для введення і виведення теплоносіїв і установлений на опорах (7).

Для подальшого розуміння процесу теплообміну важливо зазначити, що рівняння теплового балансу для випадків, коли теплообмін супроводжується зміною агрегатного стану теплоносіїв, буде докладно описано в наступних розділах цього підручника.

Середня рушійна сила теплообміну визначається відповідно до різниці початкових та кінцевих температур теплоносіїв, а також від взаємного руху цих потоків. У випадках, коли теплоносії рухаються паралельно один одному, середня рушійна сила процесу визначається як середньологарифмічна між найбільшою і найменшою різницями температур на початку і в кінці апарата (рис. 1.5):

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_{м})}. \quad (1.3)$$

Якщо дані різниці температур будуть відрізнятися не більше ніж у 2 рази, середню різницю температур можемо обчислити як середньоарифметичну між ними:

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\bar{o}} + \Delta t_{м}}{2} \quad (1.4)$$

Проведений кількісний аналіз двох основних схем теплообміну, а саме прототечійної та протитечійної, надає нам можливість зробити важливі висновки. Цей аналіз виконаний за умови, коли вихідні параметри обох схем однакові.

Варто відзначити, що протитечійна схема дозволяє досягти більш високої температури для холодного теплоносія порівняно з прототечійною схемою. Це стає можливим завдяки особливостям взаємодії теплоносіїв у двох схемах. З рисунку 1.5 видно, що в прототечійній схемі кінцева температура холодного теплоносія обмежена кінцевою температурою гарячого теплоносія.

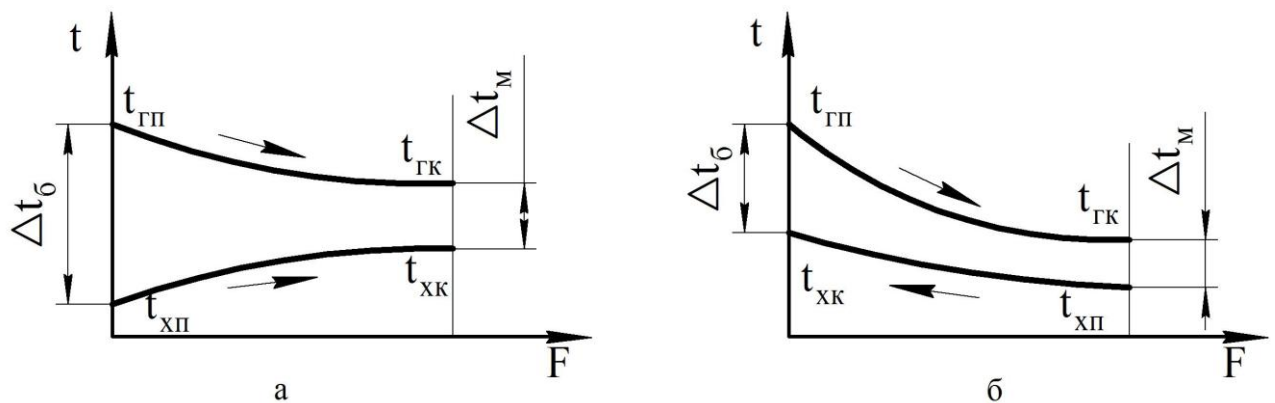


Рисунок 1.5 – Зміна температури теплоносіїв уздовж поверхні теплообміну:
а – під час прототечії; б – під час протитечії

Безумовно, протитечійна схема теплообміну має свої переваги. Перш за все, середня різниця температур у цій схемі вища порівняно з

прямотечійною, і це призводить до зменшення потреби в теплообмінній поверхні та збільшення компактності теплообмінника. Проте, варто відзначити, що прямотечійна схема може забезпечити більш м'який режим нагрівання, що має важливе значення для продуктів, які вразливі до впливу високих температур. На практиці, частіше використовується протитечійна схема руху теплоносіїв через теплообмінник.

Однією з ключових задач конструктивного розрахунку теплообмінного апарату є визначення його основних розмірів. Структурний розрахунок виконується в залежності від типу апарата. Детальний розрахунок проводиться в тому випадку, коли не можна вибрати стандартний теплообмінник серійного виробництва.

Конструктивний розрахунок кожухотрубчастого теплообмінника передбачає розрахунок трубного простору, вибір розміщення труб у трубних решітках, визначення діаметра корпусу апарата, розрахунок міжтрубного простору, а також визначення діаметра штуцерів.

У випадку стандартного теплообмінника конструктивний розрахунок обмежується визначенням діаметра і підбором штуцерів. Розрахунок діаметра штуцерів може бути здійснений за допомогою рівняння:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot w \cdot \rho}} \quad (1.5)$$

де G – масова витрата теплоносія, кг/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

w – швидкість руху теплоносія в штуцері, м/с.

Зазвичай швидкість рідин у трубах і каналах беруть у межах 0,5–3,0 м/с, швидкість парів та газів – 20–30 м/с.

Після проведення теплового розрахунку теплообмінника і вибору оптимальних параметрів, таких як діаметр кожуха, кількість труб, та інші, ці

характеристики стають основою для подальших розрахунків та проектування теплообмінного обладнання.

Однак у випадках, коли стандартний теплообмінник не може бути підібраним для конкретної ситуації, проводять конструктивний розрахунок з наступними кроками:

Вибір схеми розміщення труб у трубних решітках та планування ділянок під перегородки в трубних решітках і кришках багатоходових апаратів стають першим кроком. Труби в трубних решітках можуть бути розміщені на вершинах правильних шестикутників, квадратів або концентричних колах, залежно від конструкції теплообмінника і умов його роботи.

Розміщення труб на вершинах правильного шестикутника, так званий «шаховий трубний пучок», є найбільш поширеним підходом. Він поєднує в собі компактність теплообмінника і простоту його виготовлення.

Розміщення труб на вершинах квадратів полегшує очищення міжтрубного простору, але може бути менш компактним.

Розміщення труб на концентричних колах є найбільш компактним варіантом, але вимагає більше зусиль при виготовленні. Зазвичай цей спосіб застосовують в кисневій апаратурі та інших спеціалізованих випадках.

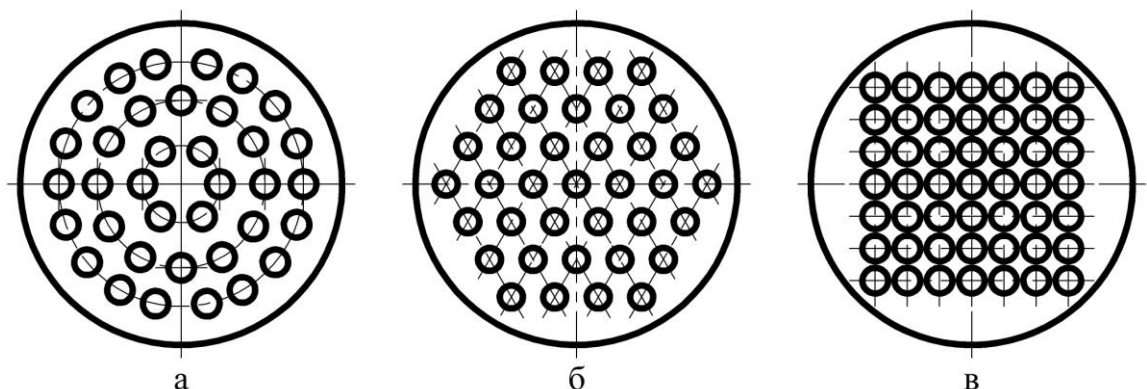


Рисунок 1.6 – Схеми розміщення труб у трубних решітках:

а – на концентричних колах; б – на вершинах правильних шестикутників;

в – на вершинах квадратів

У багатоходових теплообмінних апаратах передбачається поділ труб на різні ходи та встановлення відповідних перегородок у камерах. Ця конструкція дозволяє досягти більшого рівня теплообміну та оптимізувати розміщення труб. Оскільки у таких апаратах частина трубної решітки відводиться під перегородки, загальна кількість труб, які можна розмістити в межах даного діаметра трубної решітки, може зменшитися. Проте ця компромісна ситуація виправдовується збільшенням ефективності теплообміну завдяки розподілу теплоносія на декілька ходів та підвищенню турбулентності.

Найпоширенішими типами перегородок у багатоходових апаратах є:

- Хордові перегородки: вони перерізають труби у напрямку ходу теплоносія. Цей тип перегородок зазвичай використовується для забезпечення радіального руху теплоносія і поліпшення теплообміну.

- Радіальні перегородки: вони розташовані в радіальному напрямку, перерізаючи труби від центру до зовнішнього об'єднання теплообмінника. Ця конструкція сприяє рівномірному розподілу теплоносія по трубах та забезпечує ефективний теплообмін.

- Дугові перегородки: ці перегородки мають дугоподібну форму та можуть бути використані для створення оптимального течії теплоносія навколо труб. Їхнє використання дозволяє підвищити турбулентність теплоносія та покращити теплообмін.

- Комбіновані перегородки: цей тип перегородок може включати в себе різні елементи, такі як хордові, радіальні та дугові, для досягнення оптимального теплообміну в конкретних умовах роботи теплообмінника.

Обрання типу перегородок залежить від конкретних вимог теплообмінного процесу та умов, в яких працює теплообмінник.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис технологічної схеми виробництва концентрованої азотної кислоти контактним способом

На рис. 2.1 зображена технологічна схема роботи агрегату для отримання 60 %-ої азотної кислоти.

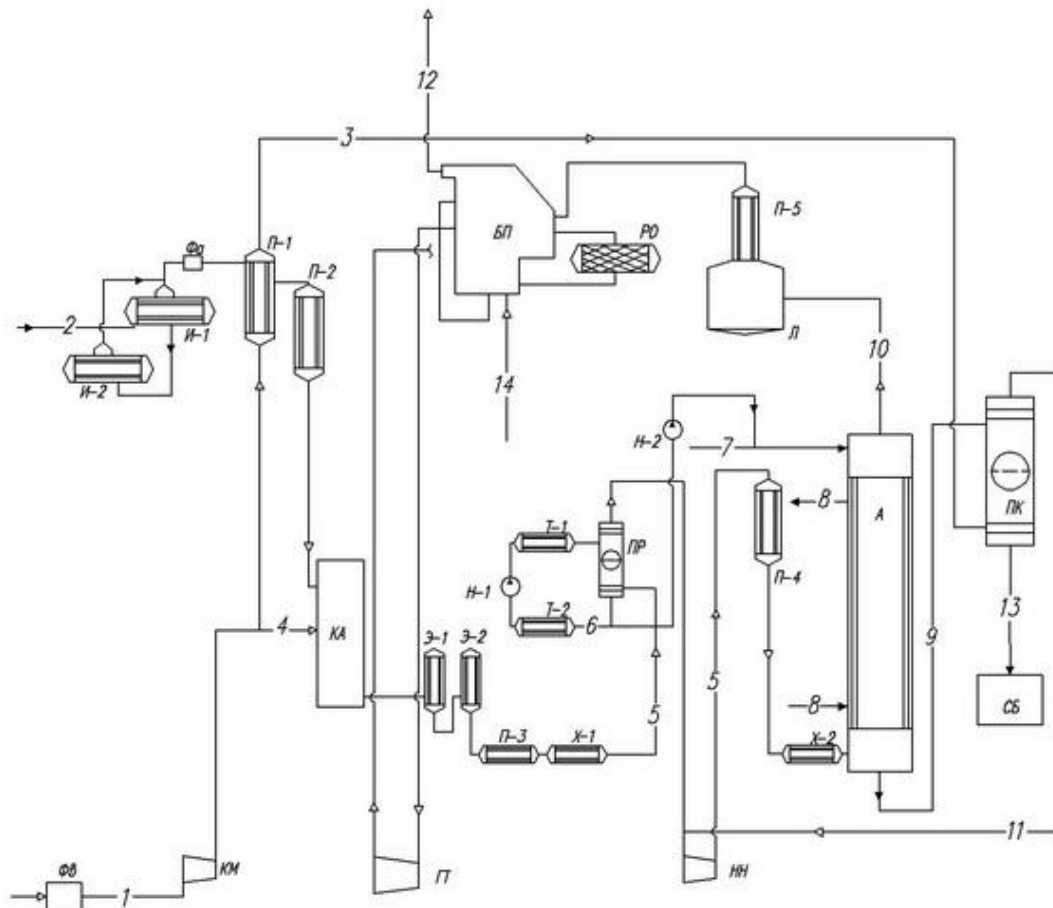


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва концентрованої азотної кислоти контактним способом

Принцип роботи даної установки можна описати наступним чином. Атмосферне повітря перед введенням у процес піддається послідовному очищенню на фільтрах грубого і тонкого очищення в апараті Фв, це повітря стискається за допомогою осьового повітряного компресора КМ. Після стиснення повітря розділяється на два потоки. Основний потік направляється в контактний апарат для окислення аміаку (КА), в той час як другий потік

проходить послідовно через підігрівач газоподібного аміаку П-1, продувну колону ПК і змішується з нітрозними газами на лінії всмоктування нітрозного нагнітача НН.

Потім рідкий аміак подається в випарник І-1, де він випаровується завдяки теплу, яке надходить від циркулюючої води. Газоподібний аміак, що містить вологу, проходить через фільтр Фа для очищення від механічних домішок і парів масла. Після цього він нагрівається у підігрівачі П-1 за допомогою стисненого повітря (а в холодну пору року - також у підігрівачі П-2 парю). Гарячий газоподібний аміак змішується з повітрям у змішувачі, розташованому у верхній частині контактного апарату КА. Аміачно-повітряна суміш подається на додатковий етап тонкої очистки в фільтр, який також вбудований в контактний апарат.

Сам процес окислення аміаку (конверсія) відбувається на каталізаторних сітках, які виготовлені з платино-родієво-паладієвого сплаву.

Далі, гарячі нітрозні гази охолоджуються послідовно в котлі-утилізаторі, який знаходиться під каталізаторною сіткою, в економайзерах Е-1, Е-2, підігрівачі хімічно очищеної води П-3, холодильнику-конденсаторі Х-1, а також у промивачі ПР. Під час цього процесу охолодження і конденсації парів утворюється азотна кислота, яка вже далі використовується у процесі промивки нітрозних газів від залишкового аміаку і нітрит-нітратів амонію.

Промивач зрошується азотною кислотою, циркуляція якої здійснюється насосом через теплообмінники Т-1 і Т-2. Після зрошення промивача кислотою, нітрозні гази стають більш чистими від аміаку, який не зміг прореагувати на каталізаторних сітках, а також від нітрит-нітратів амонію, що утворилися в тракці до промивача.

Цей процес промивки забезпечується насосом Н-2, який перекачує азотну кислоту із промивача до абсорбційної колони А.

Охолоджений нітрозний газ, після проходження кількох етапів обробки і конверсії, потрапляє в нагнітач НН, де його стискають. Після цього газ

поступово охолоджується, пройшовши через різні обладнання, такі як підігрівач живильної води П-4 і холодильник-конденсатор Х-2, нарешті, надходить в абсорбційну колону А. У цій колоні, завдяки реакції з азотною кислотою, відбувається утворення продукційної азотної кислоти, яка має концентрацію 60%.

Вихлопні гази з абсорбційної колони направляються в пастку Л, оснащenu підігрівачем П-5. В цій пастці гази підігріваються для випаровування захоплених малих краплин. Далі гази проходять у блок підігріву вихлопних газів БП, де їх температура збільшується. Після цього гази пройшовши регенеративну секцію блоку, де вони нагріваються до 300°C, потрапляють в змішувач. В цей же момент додається газоподібний аміак, який отримують випаровуючи рідкий аміак.

Із змішувача гази направляються в реактор каталітичного очищення РВ. Процес каталітичного очищення відбувається при постійній температурі газу. Очищений вихлопний газ повертається в блок підігріву, де його нагрівають до 760°C, після чого газ входить у газову турбіну.

Енергія, яка вивільняється під час розширення гарячих вихлопних газів, майже повністю використовується для стиснення повітря і нітрозних газів, що подаються на початкових етапах процесу. Після розширення вихлопний газ охолоджується і викидається в атмосферу через вихлопну трубу. Ця система забезпечує ефективний та безперервний процес перетворення аміаку в азотну кислоту.

2.2 Опис кожухотрубного теплообмінника

У проектуваному апараті тепло від гарячого теплоносія до холодного передається через стінку (у нашому випадку через тонку металеву стінку трубки). Даний охолоджувач нітрозних газів представляє собою кожухотрубний теплообмінник (рис. 2.2).

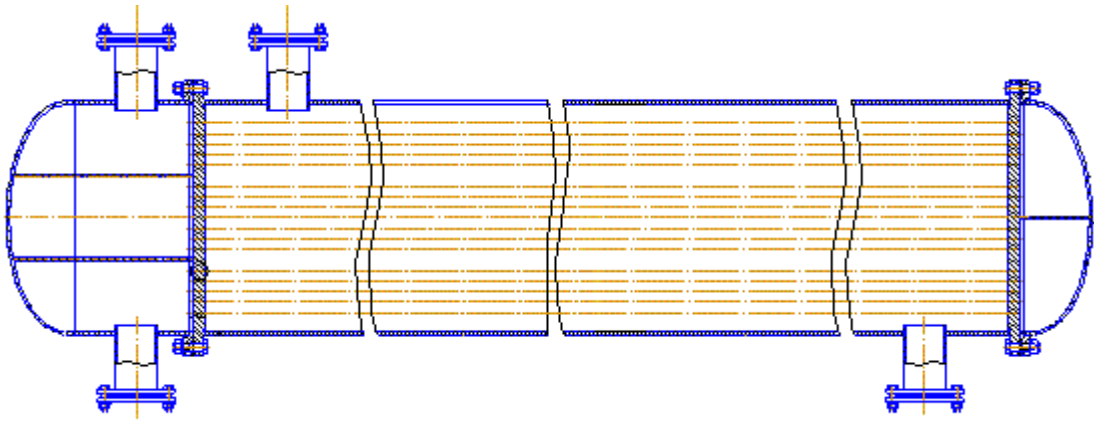


Рисунок 2.2 – Схема чотирьохходового кожухотрубного теплообмінника

Конструктивно теплообмінний апарат складається з ряду основних компонентів, кожен з яких виконує важливу функцію в процесі обміну тепла і забезпечує оптимальну роботу системи. Зглянемо ці складові детальніше:

1. Трубочатка. Центральним елементом апарата є трубочатка, яка представляє собою пучок труб, що закріпленій у двох трубних решітках. Вона становить основну поверхню для обміну тепла між різними середовищами.

2. Кришка. Кришка апарата служить для забезпечення герметичності і захисту внутрішніх компонентів від зовнішнього впливу. Вона також відіграє роль в регулюванні тиску і температури всередині апарата.

3. Розподільна камера. Ця камера відповідає за подачу та відведення нітрозних газів у теплообмінний апарат. Для кращої ефективності вона має роздільні перегородки, які запобігають змішуванню охолодженого та підігрітого продуктів.

Принцип роботи цього апарата полягає в такому: нітрозні гази, які перебувають під атмосферним тиском, надходять у трубний простір апарата, де відбувається їх охолодження з початкової температури 95°C до 85°C . Після цього охолоджені гази виводяться з апарата через нижній штуцер розподільної камери і спрямовуються в нижню частину абсорбційної колони.

Паралельно з цим, через нижній штуцер у міжтрубний простір теплообмінника подається вода технічна, і відбувається її нагрів. Під час цього процесу вода відбирає тепло у нітрозних газів. Важливо відзначити, що відведена технічна вода може бути використана для інших технічних потреб, що робить цей процес більш раціональним з точки зору використання ресурсів.

2.3 Технологічні розрахунки

У питанні технологічного розрахунку теплообмінних апаратів застосовується методика, яка детально описана у джерелах [4, 5]. Ця методика дозволяє провести аналіз і визначити кількість тепла, що передається через теплообмінний апарат.

Результатом завершення технологічного розрахунку являється визначення коефіцієнта теплопередачі. Це важливий показник, який вказує, наскільки ефективно відбувається передача тепла між середовищами всередині апарата. Після визначення цього коефіцієнта можна визначити необхідну поверхню для оптимальної теплопередачі.

Цей процес розрахунку є ключовим у проектуванні та оптимізації теплообмінних систем, оскільки він дозволяє забезпечити ефективну роботу апарата і досягти потрібної теплової продуктивності при заданих умовах роботи.

Кількість тепла, що сприймається нітрозними газами:

$$Q = \frac{G}{3600} \cdot (q_{T_{1k}}^p - q_{T_{1n}}^p), \quad (2.1)$$

де $q_{T_{1n}}^p$; $q_{T_{1k}}^p$ – ентальпії нітрозних газів при їх початковій і кінцевій температурах відповідно, кДж/кг.

$$Q = \frac{5000}{3600} \cdot (285 - 255) = 41,7 \text{ кВт}.$$

Кінцеву температуру гарячого теплоносія (вода технічна) відповідно до рекомендацій [4] приймаємо вище кінцевої температури холодного теплоносія на 5–10°C. Прийmemo кінцеву температуру води 80°C.

У такому випадку, середню різницю температур теплоносіїв обчислюємо за рівнянням:

$$\Delta t_{\text{СЕР}} = \frac{\Delta t_{\text{Б}} - \Delta t_{\text{М}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{Б}}}{\Delta t_{\text{М}}}}, \quad (2.2)$$

де $\Delta t_{\text{Б}} = 85 - 50 = 35^\circ\text{C}$ – більша різниця температур (див. рис. 2.3);

$\Delta t_{\text{М}} = 95 - 80 = 15^\circ\text{C}$ – менша різниця температур (див. рис. 2.3).

$$\Delta t_{\text{СЕР}} = \frac{35 - 15}{\ln \frac{35}{15}} = 23,6^\circ\text{C}.$$

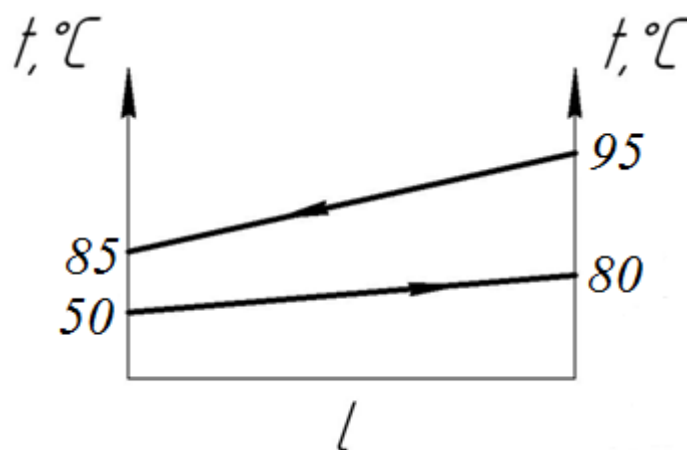


Рисунок 2.3 – Температурна схема процесу охолодження нітрозних газів

Із рівняння теплового балансу, нехтуючи втратами тепла в навколишнє середовище, обчислюємо витрату регенованого ДЕГ:

$$G_r = \frac{Q}{c_r \cdot (t_{2X} - t_{1X})}, \quad (2.3)$$

де c_r – теплоємність гарячого теплоносія (вода технічна) при його усередненій температурі, кДж/(кг·К).

$$G_r = \frac{41,7}{4,2 \cdot (80 - 50)} = 0,33 \text{ кг/с.}$$

Обчислюємо орієнтовне значення поверхні теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{сеп} \cdot K}, \quad (2.4)$$

де K – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі, Вт/(м²·К).

Для рідинних теплообмінників трубчастої конструкції значення K приймається у діапазоні 25–250 Вт/(м²·К) [4].

$$F = \frac{41,7 \cdot 10^3}{23,6 \cdot 25} = 70,7 \text{ м}^2.$$

Попередньо обираємо стандартизований кожухотрубний теплообмінник із врахуванням додаткового запасу, який має такі характеристики:

- діаметр кожуха $D = 800$ мм;
- теплообмінні труби $\varnothing 25 \times 2,5$ мм, довжиною $l = 3,0$ м;
- число ходів по трубах $z = 4$;
- загальна кількість труб 404 шт.;
- поверхня теплообміну $F = 74$ м²;
- площа перерізу одного ходу по трубах $s_{тр} = 0,011$ м².

Однак, перед тим як розраховувати коефіцієнт тепловіддачі від води технічної до зовнішньої поверхні трубного пучка, ми повинні визначити режим руху теплоносія. Режим руху теплоносія є ключовим фактором для ефективного теплообміну та визначення його характеристик.

Знаходимо числове значення критерію Рейнольдса:

$$\text{Re}_X = \frac{w_X \cdot d_3}{\nu_X}, \quad (2.5)$$

де w_X – швидкість теплоносія у міжтрубному просторі, м/с;

d_3 – зовнішній діаметр труби, м;

ν_X – кінематична в'язкість теплоносія при усередненій температурі, м²/с.

Фактична швидкість руху води у міжтрубному просторі складатиме:

$$w_\Gamma = \frac{G_\Gamma}{\rho_\Gamma \cdot S_{\text{мтр}}}, \quad (2.6)$$

де $\rho_X = 980 \text{ кг/м}^3$ – густина води при усередненій температурі.

$$w_X = \frac{0,33}{980 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4}} = 0,65 \text{ м/с};$$

$$\text{Re}_X = \frac{0,65 \cdot 0,025}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 32500.$$

Оцінюючи значення критерію Рейнольдса, ми можемо встановити, що рух теплоносія у міжтрубному просторі є турбулентним. Це важливе спостереження, оскільки тип режиму руху безпосередньо впливає на коефіцієнт тепловіддачі α_X . Для обчислення α_X ми можемо використовувати розрахункову формулу, запропоновану М.А. Міхеєвим [5]:

$$\alpha_X = 0,037 \cdot \frac{\lambda_X}{d_3} \cdot \text{Re}_X^{0,8} \cdot \text{Pr}_X^{0,43} \cdot \left(\frac{\text{Pr}_X}{\text{Pr}_{X,CT}} \right)^{0,25}, \quad (2.7)$$

де Pr_X – критерій Прандтля.

$$\text{Pr}_X = \frac{\nu_X \cdot c_X \cdot \rho_X}{\lambda_X}, \quad (2.8)$$

де $\lambda_x = 0,6$ Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності води при усередненій температурі.

$$\text{Pr}_r = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 980}{0,6} = 3,43.$$

Прийmemo, що значення $\left(\frac{\text{Pr}_x}{\text{Pr}_{x,ct}} \right)^{0,25} = 0,1$.

Тоді:

$$\alpha_x = 0,037 \cdot \frac{0,6}{0,025} \cdot 32500^{0,8} \cdot 3,43^{0,43} \cdot 0,2 = 614 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від внутрішньої поверхні трубного пучка до нітрозних газів, спочатку ми визначимо критерій Рейнольдса, використовуючи рівняння (2.5). Важливо зазначити, що в цьому випадку величиною, що визначає режим руху, є внутрішній діаметр труби, який позначається як d_B і дорівнює 0,02 м.

Фактична швидкість руху нітрозних газів усередині труб складатиме:

$$w_r = \frac{G}{\rho_r \cdot s_{mp}}, \quad (2.9)$$

де $\rho_r = 2,3$ кг/м³ – густина нітрозних газів при усередненій температурі.

$$w_r = \frac{5000}{3600 \cdot 2,3 \cdot 0,011} = 55 \text{ м}/\text{с}.$$

$$\text{Re}_r = \frac{55 \cdot 0,02}{20 \cdot 10^{-6}} = 55000.$$

Враховуючи розраховане значення критерію Рейнольдса, стає очевидним, що режим руху теплоносія всередині труб також є турбулентним. Отже, для визначення середнього по довжині коефіцієнта тепловіддачі α_r також будемо використовувати залежність (2.7).

Критерій Прандтля для нітрозних газів складає $Pr_r = 0,7$.

Знову прийнявши значення $\left(\frac{Pr_r}{Pr_{r,ст}}\right)^{0,25} = 0,1$, отримаємо:

$$\alpha_r = 0,037 \cdot \frac{0,03}{0,02} \cdot 55000^{0,8} \cdot 0,7^{0,43} \cdot 0,1 = 29,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Обчислюємо реальний коефіцієнт теплопередачі враховуючи, що коефіцієнт теплопровідності сталеві трубки становить $17,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{614} + \frac{0,0025}{17,5} + \frac{1}{29,5}} = 28 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2.4 Конструктивні розрахунки

Необхідна (фактична) поверхня теплообміну складає:

$$F_\phi = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{сеп}}; \quad (2.10)$$

$$F_\phi = \frac{41,7 \cdot 10^3}{29,5 \cdot 23,6} = 60 \text{ м}^2.$$

Після завершення розрахунків, ми вибрали кожухотрубний теплообмінник з такими параметрами:

– діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$;

- теплообмінні труби $\varnothing 25 \times 2,5$ мм, довжиною $l = 3,0$ м;
- число ходів по трубах $z = 4$;
- загальна кількість труб 404 шт.;
- поверхня теплообміну $F = 74$ м²;
- площа перерізу одного ходу по трубах $s_{\text{тр}} = 0,011$ м².

У такому випадку коефіцієнт запасу поверхні теплообміну складатиме:

$$\chi = \left(1 - \frac{F_{\phi}}{F}\right) \cdot 100\% ; \quad (2.11)$$

$$\chi = \left(1 - \frac{60}{74}\right) \cdot 100\% = 19\%$$

Отриманий запас поверхні знаходиться в межах допустимих значень, а саме 10–20 %.

Діаметр штуцерів d , м, теплообмінного апарату для підведення-відведення теплоносіїв:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho w}} , \quad (2.12)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини (пари) відповідно, м³/с і кг/с;
 ρ – густина потоку середовища, кг/м³;
 w – швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [4]:

- для рідин 0,1–0,5 м/с при самопливі та 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах;
- для пари і газів 5–15 м/с.

Діаметр штуцерів для входу і виходу нітрозних газів:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 5000 / 3600}{3,14 \cdot 2,3 \cdot 10}} = 0,077 \text{ м.}$$

Діаметр штуцерів для входу і виходу води технічної:

$$d_{ex} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,1}{3,14 \cdot 980 \cdot 2}} = 0,072 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для виходу води технічної:

$$d_{вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,33}{3,14 \cdot 980 \cdot 0,2}} = 0,046 \text{ м.}$$

Прийmemo в проектуваному апараті штуцера з наступними параметрами:

- для входу нітрозних газів $D_y=80$ мм ($p_y=0,2$ МПа);
- для виходу нітрозних газів $D_y=80$ мм ($p_y=0,2$ МПа);
- для входу води технічної $D_y=50$ мм ($p_y=0,2$ МПа);
- для виходу води технічної $D_y=50$ мм ($p_y=0,2$ МПа).

2.5 Гідравлічні розрахунки

Обчислення гідравлічного опору теплообмінника будемо виконувати за методикою [6].

Повний напір ΔP , необхідний для руху потоків через теплообмінник, розраховуємо за наступною формулою:

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_{II} + \Sigma \Delta P_{Г}, \quad (2.13)$$

де $\Sigma\Delta P_{TP}$ – сума гідравлічних втрат на тертя, Па;

$\Sigma\Delta P_M$ – сума втрат напору в місцевих опорах, Па;

$\Sigma\Delta P_{II}$ – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma\Delta P_{\Gamma}$ – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Гідравлічні втрати на тертя в трубах:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2}, \quad (2.14)$$

де λ_{TP} – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.15)$$

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труб (для сталевих нових труб $\Delta=0,06-0,1$ мм; для сталевих труб, що експлуатувалися, та мають незначну корозію $\Delta=0,1-0,2$ мм).

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1}{0,020} + \frac{68}{55000} \right)^{0,25} = 0,164;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,164 \cdot \frac{3}{0,020} \cdot \frac{55^2 \cdot 2,3}{2} = 85,6 \text{ кПа}.$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2}, \quad (2.16)$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору, його визначають як суму опорів кожного елемента теплообмінника:

$$\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4, \quad (2.17)$$

де $\xi_1 = 1,5$ – вхідна і вихідна камери;

$\xi_2 = 0,5$ – вхід у труби;

$\xi_3 = 1$ – вихід із труб;

$\xi_4 = 1,4$ – поворот на 180° між ходами.

$$\xi = 2 \cdot 1,5 + 0,5 + 1 + 1,4 = 5,9;$$

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{55^2 \cdot 2,3}{2} = 20,5 \text{ кПа.}$$

Так як для крапельних рідин втрати тиску ΔP_y мізерно малі, то вони в розрахунок не будуть прийматися ($\Delta P_y = 0$).

Так як теплообмінник не сполучається із навколишнім середовищем, перепад тиску для подолання гідростатичного стовпа рідини дорівнює нулю ($\Delta P_T = 0$).

Повний напір, необхідний для руху насиченого ДЕГ через апарат становить:

$$\Delta P = 85,6 + 20,5 = 106,1 \text{ кПа.}$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір збірника продукційної кислоти (поз. СБ на рис. 2.1). Ємність для зберігання продукційної кислоти обчислюємо, виходячи з 3–5 годинного резерву робочого часу враховуючи коефіцієнт заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Прийmemo $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (2.18)$$

де G – загальна витрата суміші, кг/год.;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 3$ год.;

ρ – густина вихідної суміші, $\rho = 1200$ кг/м³.

$$V_{EP} = \frac{60000 \cdot 3}{0,82 \cdot 1200} = 183 \text{ м}^3.$$

Для збергання продукційної кислоти обираємо 2 ємності. Задаємося стандартизованим діаметром ємності $D = 4,0$ м, тоді її висота становитиме:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.19)$$

$$H = \frac{183}{2 \cdot 0,785 \cdot 4,0^2} = 7,3 \text{ м}.$$

Розрахунок і вибір насоса для подачі абсорбента в колону (поз. Н-2 на рис. 2.1). Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів приймаємо однакову швидкість плинину рідини, що становить $w = 2$ м/с.

Діаметр трубопроводу знаходимо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.20)$$

де V – об'ємна витрата вихідної суміші, м³/с.

$$d = \sqrt{\frac{0,013}{0,785 \cdot 2}} = 0,090 \text{ м}.$$

Знаходимо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.21)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,090 \cdot 1200}{0,95 \cdot 10^{-3}} = 227368,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу прийmemo $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м. Тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,090} = 0,0022.$$

Далі отримуємо:

$$\frac{1}{e} = 455; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 254800; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 4550;$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.22)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,0022^{0,25} = 0,024.$$

Далі знаходимо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід у трубу (приймемо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;
- 2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для нагнітальної лінії:

- 1) вентилі прямоточні, 2 шт. $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$;
- 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;
- 3) вихід із труби $\xi_3 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3;$$

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 1 = 5,6.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії визначаємо за формулою:

$$h_{п.вс.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.23)$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{п.вс.} = \left(0,024 \cdot \frac{8}{0,090} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,99 \text{ м.}$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії визначимо за формулою (2.76):

$$h_{п.наг.} = \left(0,024 \cdot \frac{12}{0,090} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,79 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{п} = h_{п.вс.} + h_{п.наг.}; \quad (2.24)$$

$$h_{п} = 0,99 + 1,79 = 2,78 \text{ м.}$$

Визначаємо напір насоса за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_r + h_{II}, \quad (2.25)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;

H_r – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,3 \cdot 10^6}{1200 \cdot 9,81} + 12,3 + 2,78 = 40 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса знаходимо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.26)$$

де Q – подача (витрата), $Q = 0,013 \text{ м}^3/\text{с}$;

H – напір насоса.

$$N_{II} = 1200 \cdot 9,81 \cdot 0,013 \cdot 40 = 6121 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвивати електродвигун насоса на вихідному валу при сталому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.27)$$

де $\eta_n, \eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса. Прийmemo $\eta_n = 0,6$ і $\eta_{пер} = 1$.

Отримуємо:

$$N = \frac{6121}{1 \cdot 0,6} = 10202 \text{ Вт.}$$

Обираємо відцентровий насос марки ЦНС 65-80 з наступними характеристиками:

- об'ємна подача насоса $65 \text{ м}^3/\text{год.}$;
- напір насоса 80 м;
- потужність, споживана насосом 17,5 кВт;
- частота обертання 3000 об/хв.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір основних конструкційних матеріалів

При виборі матеріалу для будь-якого хімічного обладнання, включаючи хімічні апарати, необхідно враховувати ряд ключових факторів, які визначають робочі умови. Серед таких факторів важливими є температура, тиск і концентрація оброблюваного середовища. Основною метою при цьому є забезпечення ефективної технології виготовлення елемента обладнання за доступною ціною і використання матеріалів, які є на ринку.

У багатьох випадках, особливо в хімічній промисловості, однією з основних вимог до матеріалів для хімічних апаратів є їхні корозійні властивості. Корозійна стійкість визначає тривалість служби та надійність хімічного обладнання [11, 12].

У конкретних застосунках хімічної промисловості, матеріал сталі 12X18H10T широко використовується для виготовлення різноманітних ємностей, які працюють під високим тиском. Також він знаходить застосування в пристроях для вироблення рідкого кисню.

Корозійностійка сталь, така як 12X18H10T, використовується для виробництва зварної апаратури і конструкцій, які зазнають впливу окисних середовищ, органічних розчинників, а також слабких неорганічних кислот. Цей матеріал застосовується для виготовлення труб, які використовуються для транспортування агресивних розчинів, таких як фосфорна, азотна, оцтова кислоти, а також їхні солі [13].

Обладнання, яке використовується в азотнокислотному виробництві, піддається різноманітним видам корозійного впливу, і тому вибір матеріалів для його виготовлення вимагає особливої уваги та обережності.

У сфері азотнокислотного виробництва, нержавіючі сталі широко і успішно застосовуються завдяки їхній високій корозійній стійкості. Особливо це стосується частин обладнання, які безпосередньо контактують з

нітрозними газами, такі як теплообмінні труби, розподільна камера, кришка та відповідні штуцери. Для цих елементів зазвичай вибирається сталь 12X18H10T, завдяки її універсальним властивостям, які поєднують жаростійкість і корозійну стійкість.

У випадках, коли частини теплообмінника не мають прямого контакту з агресивними речовинами, можна використовувати інші матеріали, такі як сталь 35 або сталь стандарту 3сп. Для ущільнення та обтюрації використовується пароніт. Такий підхід допомагає забезпечити ефективну технологію виготовлення обладнання, забезпечуючи його стійкість до корозії в умовах азотнокислотного виробництва.

3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність [16]

Розрахунок товщини стінки апарату.

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруження для сталі 12X18H10T при робочій температурі:

$$\sigma^* = 172,5 \text{ МПа}$$

Тиск, який створює вода технічна у міжтрубному просторі:

$$p_p = 0,2 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустиме напруження:

– на краю сполучених елементів

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1,0 \cdot 172,5 = 172,5 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

– при гідравлічних випробуваннях

$$[\sigma]_e = \frac{\sigma_{T20}}{1,1} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа} \quad (3.2)$$

Допустиме напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t = 20^\circ\text{C}$:

$$[\sigma]_{20} = 170 \text{ МПа}$$

Пробний тиск при випробуваннях і при допустимому напруженні:

$$p_{\varepsilon} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot p_p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ p_p + 0,3 \end{array} \right\}, \text{ МПа} \quad (3.3)$$

$$P_B = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,25 \cdot 0,2 \cdot 170}{172,5} = 0,25 \\ 0,2 + 0,3 = 0,5 \end{array} \right\} = 0,5 \text{ МПа.}$$

Прийmemo прибавку до розрахункових товщин за весь термін служби апарату (10 років) $s = 2,0$ мм.

Розрахункова товщина стінки кожуха (рис. 3.1) при гідравлічних випробуваннях і при допустимому напруженні:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma] - p_p) \\ p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi[\sigma]_{\varepsilon} - p_{\varepsilon}) \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

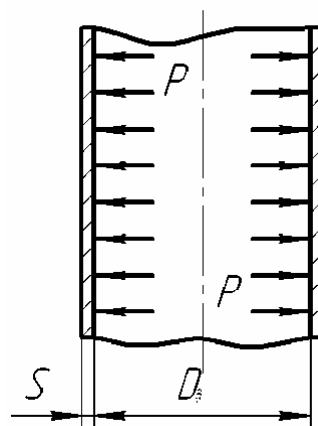


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки (кожуха)

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,2 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,2} = 0,52 \\ \frac{0,5 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5} = 0,87 \end{array} \right\} = 0,87 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки кожуха:

$$s \geq s_p + c \quad (3.5)$$

$$S = 0,87 + 2 = 2,87 \text{ мм.}$$

Прийmemo стандартизоване значення товщини стінки кожуха $S = 4,0$ мм.

Розрахункова товщина еліптичного днища (рис. 3.2):

$$S_p^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_p} \\ \frac{P_B \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_B - 0,5 \cdot P_B} \end{array} \right\}; \quad (3.6)$$

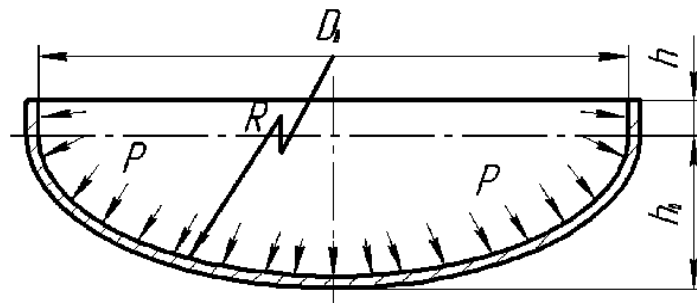


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

$$S_p^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,2 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,5 \cdot 0,2} = 0,52 \\ \frac{0,5 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5 \cdot 0,5} = 0,87 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,87 \text{ мм.}$$

Прийmemo також $S_E = 4,0$ мм.

Розрахунок опори апарата.

Визначаємо масу обичайки кожуха:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{II})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (3.7)$$

де ρ – щільність сталі; $\rho = 7890 \text{ кг/м}^3$.

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 3 \cdot 7890 = 239 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно:

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho; \quad (3.8)$$

$$m_{Едн} = m_{Екр} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 25 \text{ кг.}$$

Маса труб:

$$m_{mp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho; \quad (3.9)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,02^2) \cdot 3 \cdot 404 \cdot 7890 = 1689 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_\phi = \frac{\pi \cdot D_\phi^2}{4} \cdot h_\phi \cdot \rho, \quad (3.10)$$

де D_ϕ – зовнішній діаметр фланця, м;

h_ϕ – висота фланця, м.

$$m_\phi = \frac{3,14 \cdot 0,945^2}{4} \cdot 0,09 \cdot 7890 = 498 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{mtp} = f_{mtp} \cdot H; \quad (3.11)$$

$$V_{mtp} = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення $\varphi = 0,8$ маса води в апараті становитиме:

$$m_{\Gamma} = V_{mtp} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot \varphi; \quad (3.12)$$

$$m_{\Gamma} = 0,9 \cdot 980 \cdot 0,8 = 706 \text{ кг}.$$

Вага апарата у робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{Едн}} + m_{\text{Екр}} + m_{\text{тр}} + m_{\text{ф}} + m_x), \quad (3.13)$$

$$G = 9,81 \cdot (239 + 25 + 25 + 1689 + 498 + 706) = 31215 \text{ Н}.$$

Прийmemo кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору складатиме:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (3.14)$$

$$Q = \frac{31215}{2} = 15607,5 \text{ Н}.$$

Остаточно прийmemo стандартизовану сідлову опору 160-432-2, яка має допустиме навантаження 160 кН і радіус $R=432$ мм (схему сідлової опори див. рис. 3.3).

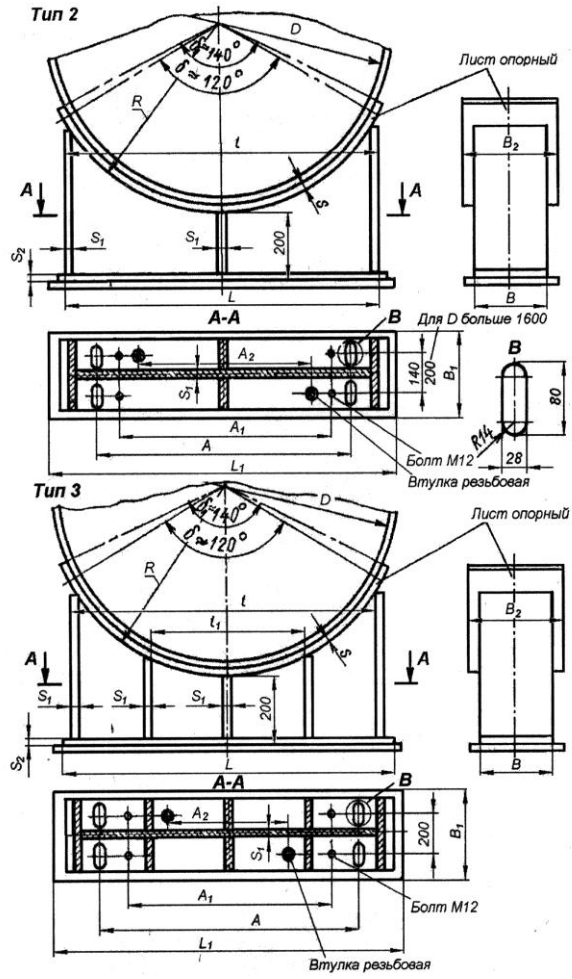


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема сідлової опори

4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування компонування обладнання установки [17]

Проектування хімічних виробництв - це складний, багатогранний і творчий процес, який включає в себе пошук оптимальних інженерно-технічних рішень у ситуаціях, коли інформація може бути неповною або обмеженою. Цей процес включає в себе декілька організаційних та інженерно-технічних етапів, які взаємопов'язані і вимагають від інженерів і проєктувальників ретельного планування та аналізу.

Один із найбільш важливих та відповідальних аспектів у проєктуванні хімічних підприємств - це компонування обладнання. Цей етап проєктування вимагає від інженерів узгодження багатьох факторів та вибору оптимальних технічних рішень для досягнення поставлених цілей. Від правильної компоновки обладнання залежить ефективність та безперебійність роботи підприємства, а також його вартість і надійність.

На рисунку 4.1 наведено ілюстрацію, яка відображає важливість компонування обладнання в процесі проєктування хімічних виробництв.

Підвищення якості проєктних робіт та скорочення термінів проєктування є можливими завдяки широкому використанню сучасної обчислювальної техніки у процесі пошуку оптимальних проєктних рішень. Це, в свою чергу, передбачає розробку моделей, що є невід'ємною частиною ефективного проєктування.

При розміщенні обладнання важливо враховувати різні технологічні вимоги, такі як зручність обслуговування обладнання, можливість його демонтажу під час ремонту та оптимізація трубопроводів між апаратами. При цьому необхідно дотримуватися будівельних норм, вимог щодо природного освітлення, правил техніки безпеки, охорони праці, а також санітарних та протипожежних норм.

Існують різні варіанти розташування обладнання, зокрема закритий (в приміщенні), відкритий та змішаний варіанти, і вибір залежить від конкретних потреб та умов проєкту.

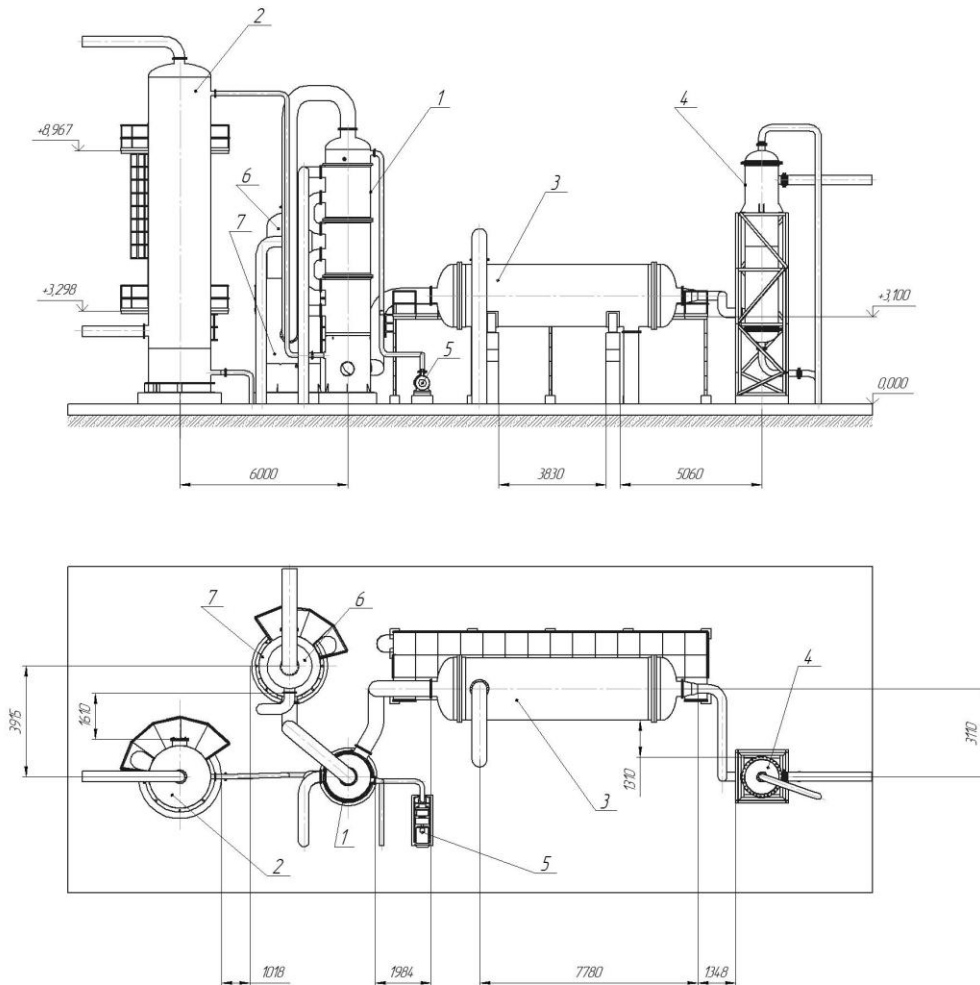


Рисунок 4.1 – Схема взаємного розміщення апаратів установки виробництва 60 %-вої азотної кислоти: 1 – абсорбер; 2 – продувна колона; 3 – кожухотрубний холодильник; 4, 6 – підігрівач; 5 – насос; 7 – ловушка

Технологічне та функціональне проектування хімічних виробництв має кілька ключових завдань, таких як розробка оптимальної технологічної схеми, визначення оптимальних параметрів апаратів, вибір найкращих технологічних режимів для досягнення виробничих цілей та відповідності стандартам і технологічним умовам проекту.

При компонуванні обладнання і створенні технологічних схем важливо враховувати різні прийоми та фактори, які впливають на їх ефективність і працездатність. Серед таких факторів, перш за все, важливі умови, що визначають можливість безперебійної роботи схеми. Ці умови можуть включати наступне:

- Вимоги до перепаду висот: перепади висот між окремими одиницями обладнання часто визначаються потребами у транспортуванні матеріальних потоків. Наприклад, для переміщення рідини чи сипучих матеріалів може знадобитися певний перепад висот для забезпечення їх потоку через систему трубопроводів.

- Ухили трубопроводів та самопливи: у деяких випадках необхідність враховувати кутові ухили трубопроводів та створювати спеціальні самопливи для переміщення рідких і сипучих матеріалів. Це може бути важливою частиною технологічної схеми.

Умови працездатності технологічної схеми формуються на основі ряду факторів, включаючи технологічний регламент конкретного виробництва, вимоги технологічного проектування, а також консультації експертів інститутів і підприємств, які спеціалізуються на розробці технологій для таких виробництв. Врахування цих умов є важливим етапом при створенні ефективних і надійних технологічних схем.

4.2 Монтаж та ремонт основного технологічного обладнання [18, 19]

Технологія монтажу кожухотрубчастих теплообмінників має свої варіації, які залежать від різних факторів, таких як місце розташування і метод установки. Такі теплообмінники можуть бути встановлені на відкритому майданчику (на рівній площі), на спеціальних постаментах (висотних металоконструкціях) або в межах будівлі, а також горизонтально чи вертикально.

У випадку горизонтальних теплообмінників, як у нашому випадку, розміщених на відкритому майданчику на рівній площі, фундаменти зазвичай складаються з двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори. Такий підхід забезпечує стійкість і надійність установки. У випадках, коли теплообмінники монтується на висотних металоконструкціях або всередині будівель, спеціальні фундаменти не використовуються, а замість цього апарати кріпляться до металевих конструкцій або балок перекриття.

При монтажі горизонтальних теплообмінників вони кріпляються до нерухомих і рухомих опор. Гайки на болтах не повністю затягуються, залишаючи зазор приблизно 1–2 мм, щоб теплообмінник міг вільно переміщуватись в горизонтальній площині. При встановленні коткових опор перевіряють рівномірність прилягання ковзанок до опорних поверхонь і їх перпендикулярність до осі апарату. Горизонтальність теплообмінника перевіряють за допомогою рівня.

У окремих випадках, під час монтажу, може бути проведено контрольне розбирання (ревізію) кожухотрубчастих теплообмінників. Під час цього процесу перевіряється наявність прокладок, комплектність знімних деталей, і правильність їх взаємного розташування для забезпечення безперебійної роботи обладнання.

Для виявлення можливих дефектів в розвальцьовуванні і обварці трубок теплообмінного пучка, проводять спресування (при цьому розподільну камеру та кришку можуть зняти) за допомогою подачі води в міжтрубний простір. Під час цього процесу також проводиться огляд корпусу теплообмінника. У разі виявлення дефектів у розвальцьовуванні або обварці трубок, вони підлягають негайному усуненню.

Монтаж горизонтального обладнання зазвичай здійснюється за допомогою одного або двох кранів, що може бути спарене. Вибір способу підняття та вантажопідйомності кранів залежить від різних факторів, таких як розмір та вага обладнання, висота та конфігурація фундаменту або постаменту, наявність будівельних конструкцій у непосредній близькості і так далі.

У випадках, коли маємо справу з особливо великими і важкими горизонтальними апаратами, а також при їх підйомі на значну висоту, часто використовують два крани для забезпечення стабільності та безпеки під час монтажу (див. рисунок 4.2).

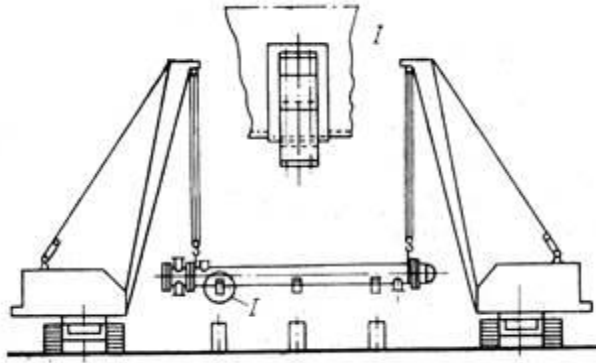


Рисунок 4.2 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника за допомогою двох кранів

Процес монтажу розпочинається з підняття апарату з вихідного горизонтального положення, не відриваючи його від землі. У випадках, коли неможливо встановити один з кранів із зовнішньої сторони фундаментів, монтаж апаратів здійснюється шляхом маневрування стрілою крана. У випадках, коли при піднятті апаратів, не можна розмістити крани зовні фундаментів і проїхати між ними, збільшують виліт крана або переміщують крани разом з піднятим апаратом в межах їх вантажопідйомності.

Теплообмінники з трубною системою відзначаються підвищеною надійністю, завдяки чому вони можуть функціонувати без збоїв протягом тривалого періоду. Тим не менш, важливо пам'ятати, що регулярне технічне обслуговування є обов'язковим для запобігання можливим поломкам. Постійний обіг теплоносія з часом може викликати накопичення відкладень на внутрішніх стінках трубок, перешкоджаючи нормальному теплообміну. Щоб уникнути передчасної відмови обладнання і зберегти його ефективність, необхідно періодично чистити трубки. Регулярне промивання може забезпечити тривалий період збереження робочих параметрів обладнання в нормі. Важливо зауважити, що у більшості випадків ремонт кожухотрубчастих теплообмінників є необхідним лише у разі вираженого зносу обладнання.

Найпоширенішими дефектами, які можуть виникнути в результаті поломки теплообмінників, варто відзначити:

1. *Виривання трубок з трубних дощок.* Ця проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу теплообмінника. Для вирішення цього завдання можуть застосовуватися такі методи:

- очищення місця розриву і подальше зварювання трубки;
- видалення пошкодженої трубки і її заміна новою;
- очищення та зварювання (заглушення) пошкодженої трубки.

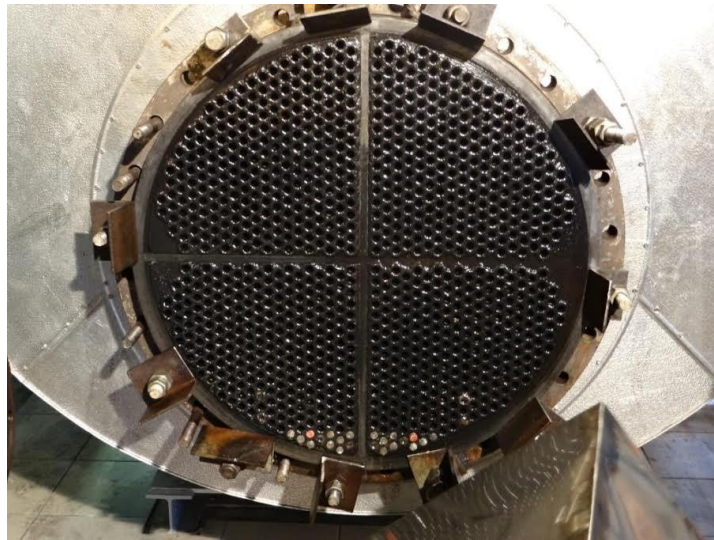


Рисунок 4.3 – Кожухотрубний теплообмінник з вирваними трубками

При встановленні заглушок на пошкоджені трубки слід враховувати, що це може призвести до підвищення опору даної ділянки теплообміну і незначного погіршення ефективності теплообміну. Зазвичай, при розрахунку теплообмінників передбачають такі запаси, які дозволяють заглушити до 10% трубок без суттєвого впливу на технологічний процес. Проте кожен конкретний випадок повинен бути ретельно вивчений окремо.

2. *Наскрізна корозія трубок.* Ця проблема зазвичай виникає через тривале використання теплообмінника та безпосередню дію корозійних факторів або через невірний вибір матеріалу для трубчатки. Існують наступні можливі варіанти вирішення цієї проблеми:

- видалення пошкодженої трубки та її заміна новою;
- очищення та подальше зварювання (заглушення) пошкодженої трубки.

В кожному конкретному випадку необхідно ретельно оцінювати ступінь пошкодження та вибирати належний метод відновлення теплообмінника.



Рисунок 4.4 – Кожухотрубний теплообмінник з корозією трубок

При встановленні заглушок на пошкоджені трубки важливо враховувати підвищений опір, який може виникнути на теплообміннику. З огляду на причини наскрізної корозії, існує велика ймовірність, що інші трубки можуть вийти з ладу у найближчий час. У багатьох випадках найефективнішим рішенням буде заміна трубного пучка або виготовлення нового. Це особливо актуально, якщо дефект знову з'являється відразу після ремонту.

3. *Наскрізна корозія корпусу або камери.* Ця проблема також може виникнути через тривалий термін служби теплообмінника і безпосередню

дію корозійних факторів або через невірний вибір матеріалу для корпусу або камери. Можливі варіанти вирішення цієї проблеми включають:

- підварювання або установка заплатки для локалізації пошкодження;
- виготовлення нової камери або корпусу.

4. *Засмічення трубок або міжтрубного простору.* Ця проблема може виникнути, якщо один з теплоносіїв не фільтрується належним чином або через утворення природного нагару, особливо при роботі з вихлопними газами. Можливі варіанти вирішення включають:

- механічне очищення трубок або міжтрубного простору;
- хімічне очищення.

Якщо засмічення виникає через відсутність належної фільтрації середовища, рекомендується встановлення необхідних фільтрів. У випадку, якщо нагар утворюється через технологічні моменти, слід визначити періодичність очищення теплообмінника шляхом вимірювання температури або тиску, і проводити очищення при необхідності. Такі роботи, зазвичай, виконує експлуатаційний персонал на місці експлуатації або у разі необхідності відповідні фахівці з виїздом на місце.

5. *Покриття вапном (накипом) або іншими відкладеннями міжтрубного простору або самих трубок.* Ця ситуація може виникнути, якщо один із теплоносіїв є рідиною (наприклад, вода) з хімічним складом, який не підходить для даного процесу і містить занадто багато мінералів. Для розв'язання цієї проблеми застосовуються спеціальні хімічні засоби для очищення.

У випадку, коли з'являється великий шар мінеральних відкладень (накипу) хімічне очищення може бути неефективним. У такому разі трубний пучок не підлягатиме ремонту. Тоді доцільним буде виготовлення нового трубного пучка.

Дефектні штуцера і трубні решітки, які досягли максимального ступеня зносу і прогину, повинні бути замінені.

Свищі і тріщини можуть бути усунуті шляхом заварювання або застосування накладок після видалення пошкоджених ділянок.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення кінців тріщин в корпусі. Потім ці кінці засвердлюють свердлами діаметром 3–4 мм перед заварюванням. Некрізні тріщини, що мають глибину не більше 0,4 товщини стінки розправляються під заварку односторонньою вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям крайок під кутом 50–60°С. При тріщині довжиною понад 100 мм зварювання проводять за оберненоступеневою схемою. Наскрізні і некрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізкою. Гніздові тріщини вирізають і закривають латками без гострих кутів, вварюючи їх на рівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати площі листа апарату.

Після локального ремонту поверхні ущільнювачів слід піддавати магнітній або ультразвуковій дефектоскопії для перевірки відсутності тріщин. Допустима глибина пошкоджень коливається в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження.

По закінченню ремонту конденсатора, він піддається гідравлічним або пневматичним випробуванням для перевірки надійності ліквідації дефектів.

5 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ [20, 21]

Автоматизація технологічних процесів на сьогоднішній день є одним з ключових факторів підвищення продуктивності та створення кращих умов праці в промисловості. Практично всі існуючі та новостворені промислові підприємства обладнані різноманітними системами автоматизації.

У специфічних умовах промислових об'єктів, процеси абсорбції газу часто стикаються з різними зовнішніми впливами, що робить автоматизацію цих процесів надзвичайно важливою. Основною метою автоматизації є досягнення заданої концентрації продуктів (якості) при мінімальних енергетичних і матеріальних витратах, а також з врахуванням обмежень на технологічні параметри процесу.

Автоматичне управління не обмежується лише підтриманням необхідних температур та тиску в апараті. Важливо також забезпечити рівномірний розподіл потоку газу і рідини. Ця задача вирішується завдяки використанню каскадної системи автоматичного управління (див. рис. 5.1). Вона забезпечує точну координацію і синхронізацію всіх етапів процесу абсорбції газу, що в свою чергу допомагає досягти найкращих результатів у виробництві і забезпечити ефективну роботу всього обладнання.

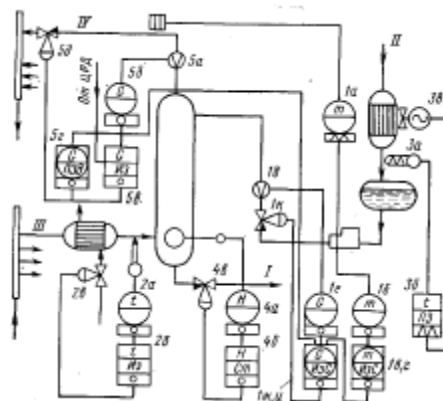


Рисунок 5.1 – Схема каскадного автоматичного
управління процесом абсорбції

Зміни витрати та концентрації газової суміші, а також параметрів масообміну, таких як температура контакту фаз та тиск, можуть призвести до змін у складі газу. Для забезпечення постійного рівня концентрації газу, можуть бути внесені зміни в витрату абсорбенту, його концентрацію, або і те, і інше одночасно.

Якщо абсорбер працює в режимі, де витрата газу змінюється, то система автоматичного управління будується на принципі регулювання співвідношення між витратою газу і витратою абсорбенту, з корекцією цього співвідношення при відхиленні від заданого значення.

Система функціонує наступним чином (див. рисунок 5.1): датчик *Ia* вимірює поточне значення концентрації рідини і перетворює його в пневматичний сигнал за допомогою електропневматичного перетворювача *Iб*. Цей сигнал подається на вхід ПІ-регулятора. Від ручного задатчика вторинного приладу *Iг* на вхід цього регулятора надходить пневматичний сигнал, який пропорційний заданому значенню концентрації. Коли поточне значення концентрації відхиляється від заданого, регулятор видає коригувальний пневматичний сигнал на вхід регулятора *Iж*. Останній, впливаючи на виконавчий механізм *Iк*, змінює витрату абсорбенту до тих пір, поки поточне значення концентрації не буде рівним заданому.

У випадку зміни витрати газу, співвідношення між витратою газу і витратою абсорбенту порушується. Регулятор *Iж*, отримавши сигнал від датчиків витрати газу *5a* і *5б*, внесе відповідні корекції в витрату абсорбенту. Включення сигналу від датчика витрати газу в систему регулювання допомагає підвищити динамічну точність процесу регулювання.

У системі управління використовуються переважно пневматичні прилади ГСП, де вторинний прилад, такий як ПВ10.1Е, має дві основні функції. По-перше, він призначений для реєстрації витрати абсорбенту, а по-друге, для забезпечення можливості дистанційного керування виконавчим механізмом *Iд* у випадку переходу на ручне дистанційне керування. В якості

виконавчого механізму застосовується регулятор витрати рідини типу РВР (див. рисунок 5.2).

Як було відзначено раніше, головним параметром, який регулюється в процесі абсорбції, є концентрація певного компонента в отриманому продукті або рівень домішок у ньому. Ці параметри вимірюються і контролюються за допомогою оптико-акустичного газоаналізатора.

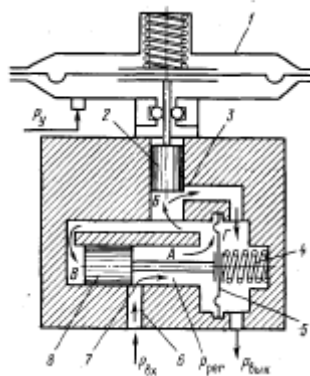


Рисунок 5.2 – Регулятор витрати рідини РВР-1

Розташування робочої лінії у процесі абсорбції залежить від вихідних концентрацій компонента в обох фазах – газовій і рідкій, а положення рівноважної лінії залежить від параметрів температури і тиску в апараті. Це означає, що концентрація цільового компонента у суміші обумовлюється початковими концентраціями в газовій і рідкій фазах, витратою поступаючої газової суміші, співвідношенням витрати абсорбенту до витрати газу, а також температурою і тиском у внутрішньому просторі апарата. У процесі абсорбції ми будемо контролювати та регулювати рівень, тиск, температуру і витрату абсорбента.

Для забезпечення цього контролю ми використовуватимемо електричний привід прямого дії, який складається з перетворювача та регулюючого органу. Наш головний контур регулювання буде спрямований на контроль тиску у внутрішньому просторі апарата за допомогою витрати.

Для вимірювання температури у внутрішньому просторі апарата ми використовуватимемо термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом від 4 до 20 мА, наприклад, модель Метран-276 (див. рисунок 5.3).

Вимірювання витрати буде здійснюватися за допомогою витратоміра Метран-360-R100F (див. рисунок 5.4). Параметри цього приладу охоплюють температурний діапазон від -40°C до 125°C , робочий надлишковий тиск в трубопроводі до 30 МПа, а основна відносна похибка вимірювань масової і об'ємної витрат рідин становить $\pm 0,5\%$.



Рисунок 5.3 – Термоперетворювач Метран – 276



Рисунок 5.4 – Регулятор потоку Метран – 360 – R100F

Переваги пристрою [22] наступні:

- Висока точність вимірювання параметрів протягом значного часу роботи.
- Здатність функціонувати незалежно від напрямку потоку робочого середовища.
- Відсутність потреби в прямолінійних ділянках трубопроводу перед і після витратоміра.
- Надійність роботи, навіть при наявності вібрацій в трубопроводі або зміні параметрів температури і тиску робочого середовища.
- Тривалий термін служби і легкість обслуговування завдяки відсутності рухомих або піддаються зношуванню деталей.

Окрім цього, для ефективного контролю та регулювання рівня рідини в апараті ми будемо використовувати дифмометр VM100.

Для вимірювання тиску в робочому середовищі, ми плануємо використовувати датчик Корунд-ДД-105, який забезпечує живлення від 24 В постійного струму. На виході з цього датчика ми отримуємо стандартизований струмовий сигнал в діапазоні від 4 до 20 мА, який подається до нашого регулятора, де він обробляється відповідно до ПІД закону.

До інших вимірювальних приладів також входить датчик різниці тиску Метран-100-ДД (див. рисунок 5.5) [22]. Цей прилад має наступні характеристики:

- Середовище вимірювання – рідина.
- Діапазон вимірювання тиску – від 4 до 250 кПа.
- Основна похибка вимірювання – до $\pm 0,1\%$.
- Діапазон переналаштування меж вимірювання – до 25:1.
- Виконання – звичайне і вибухозахищене.
- Міжповірочний інтервал – 3 роки.
- Гарантований термін експлуатації – 3 роки.



Рисунок 5.5 – Датчик різниці тиску Метран – 100 – ДД

Оптико-акустичний газоаналізатор КЕДР-М представляє собою автоматизований та неперервно працюючий пристрій, розроблений з метою точного визначення концентрації одного з компонентів у складній газовій суміші. Його робота базується на принципі селективного поглинання інфрачервоного випромінювання визначальним компонентом, який аналізується в газовій суміші. Цей процес є важливим інструментом для точного моніторингу та контролю за складом газів у різних ситуаціях та у різних галузях промисловості.

6 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОНЦЕНТРОВАНОЇ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ [2, 22]

Під час виробництва азотної кислоти задіяні різноманітні речовини, серед яких аміак, оксиди азоту, кисень та інші, які безпосередньо можуть існувати як самостійні компоненти або у складних сумішах. Ці реагенти можуть мати токсичні, горючі і вибухонебезпечні властивості, створюючи значні ризики як для самого виробництва, так і для працівників.

Напряму пов'язана з цим проблема – наявність газоподібного кисню в атмосфері, який може провокувати самозаймання органічних матеріалів, що робить навколишнє середовище ще більш небезпечним для проведення процесу.

Додатково, рідкий аміак та азотна кислота є палючими речовинами, і будь-який контакт з ними може мати серйозні наслідки. Очі людини є особливо вразливими до цих речовин, тому дотримання відповідних заходів безпеки має надзвичайно важливе значення.

У виробництві азотної кислоти також існують окремі зони та апарати, які можуть бути особливо вибухонебезпечними. Ці зони включають:

Відділення конверсії аміаку, де підвищена концентрація аміаку в суміші з повітрям може призвести до вибухів. Ці вибухи можуть мати руйнівний вплив на суміжне обладнання і апаратуру.

Котел-утилізатор, який, при певних умовах, таких як перегрівання чи відсутність води, може стати джерелом вибухонебезпеки.

Нітрозні вентилятори, де відкладення амонійних солей азотної кислоти на лопатках може призвести до небезпечних ситуацій, включаючи вибухи та пошкодження обладнання.

Контактне відділення є потенційно небезпечним місцем, оскільки наявність аміаку в повітрі у концентрації понад 15% об'єму створює вибухонебезпеку. Для запобігання такому ризику встановлено автоматичний вентилятор на лінії подачі аміаку з газгольдера до вентилятора. Цей

вентилятор автоматично припиняє подачу аміаку у випадку відключення електропостачання. Крім того, для мінімізації ризику витоків аміаку використовуються автоматичні газоаналізatori.

Приміщення, де розташовано контактний апарат, відноситься до категорії Д, а зона в радіусі 5 метрів навколо контактного апарату віднесена до категорії Б з точки зору безпеки приміщення та навколишнього середовища.

Абсорбційні відділення також стикаються з особливими ризиками. У цих відділеннях повітря постійно забруднюється оксидами азоту, які потрапляють туди з сусідніх газоходів, кислотопроводів, місць взяття проб тощо. Крім того, у абсорбційних відділеннях існує можливість аварій, які пов'язані з викидами газів.

Серед найнебезпечніших місць для аварій можна виділити скляні з'єднання кислотопроводів від веж до буферних баків, а також кислотопроводи, які перебувають під високим тиском. У випадку несправностей або пошкоджень таких систем може відбутися прорив великих об'ємів кислоти, що створює серйозні загрози для персоналу та обладнання. Тому важливо дотримуватися всіх необхідних заходів безпеки і ретельно контролювати обладнання для попередження потенційних аварій та викидів газів.

Виробництво азотної кислоти пов'язане із викидами шкідливих речовин, таких як аміак і нітрозні гази, які створюють небезпеку для навколишнього середовища та здоров'я працівників. Найбільш негативним аспектом виробництва азотної кислоти є забруднення повітря на території підприємства та внутрішніх приміщень оксидами азоту та іншими токсичними випарами, а також викиди кислоти.

Азотна кислота є надзвичайно корозійно-активною речовиною та може виділяти токсичні пари, що може призвести до небезпеки для здоров'я. Найбільш небезпечними сполуками є двоокис азоту, оскільки він має

властивість повільно розчинятися у волозі слизової оболонки дихальних шляхів, створюючи значний період від засмокування отруйних газів до початку розвитку симптомів хворобливих станів, переважно в органах дихання.

Після вдихання оксидів азоту, постраждалий може не відчувати жодного дискомфорту у дихальних шляхах. Проте через 20–30 хвилин виникає кашель, задишка та біль у грудях. Ці первинні симптоми часто зникають після виходу потерпілого на свіже повітря, але через певний час повертаються з новою силою зі збільшенням ускладнень дихання, синюшності та набряку легень, що є небезпечними для життя явищами.

Тетраоксид азоту, ангідрид азотної кислоти, пари та аерозоль азотної кислоти також можуть впливати негативно на органи дихання людини і спричиняти задушливі ефекти. Нижчі оксиди азоту, такі як закис азоту і ангідрид азотної кислоти, можуть мати вазодилатаційний ефект та навіть викликати наркотичну дію.

Систематичний вплив на організм підвищених, але ще не досягнутих гострих токсичних доз двоокису азоту та інших оксидів азоту може спричиняти розвиток серйозних хронічних захворювань дихальних шляхів. Серед них можна відзначити хронічний бронхіт, токсичний пневмосклероз, які часто ускладнюються астмою. Ці захворювання можуть виникати внаслідок систематичного впливу на організм низьких, але тривалих концентрацій токсичних речовин.

Аміак, який має меншу густину, ніж повітря при однаковій температурі, може в особливих умовах утворювати хмари повітряно-аміачних сумішей, які важчі за навколишнє повітря. Ці хмари, власне кажучи, майже «стеляться» по землі.

Межі вибуховості для газоподібного аміаку в повітрі мають наступні значення [23]: нижня межа вибуховості (НМВ) становить приблизно 15,5% обсягової концентрації аміаку у повітрі, а верхня межа вибуховості (ВМВ)

складає близько 27% обсягової концентрації. Щодо меж вибуховості у кисні, то НМВ становить приблизно 15% обсягової концентрації аміаку, а ВМВ – близько 79% обсягової концентрації.

Таблиця 5.1 – Гранично допустимі концентрації токсичних газів і парів в повітрі робочих приміщень [25]

Речовина	Концентрація, мг/м³
Аміак	20
Гас	300
Оксиди азоту	5
Оксид вуглецю	20
Ртуть металева	0,01

Для забезпечення безпечного режиму роботи в процесі виробництва неконцентрованої азотної кислоти вельми важливо дотримуватися суворого виконання технологічних норм і правил. Це включає в себе інструкції з охорони праці для робочих місць, вказівки щодо охорони праці та промислової безпеки для окремих відділень та видів робіт.

Обслуговуючий персонал повинен входити на робочі майданчики в спеціальному спецодязі та спецвзутті і обов'язково має при собі належно підтримувані засоби індивідуального захисту. Перед початком роботи всі засоби захисту, включаючи індивідуальні протигази, обов'язково перевіряються щоденно.

Особи, що відповідають за обслуговування механізмів, мають відмінно знати всі відповідні правила і вимоги, які накладає Держміськтехнагляд на обслуговуване обладнання. Ті, хто обслуговує котлонаглядне обладнання, повинні дотримуватися також правил, що стосуються котлонагляду.

На будь-якій стадії процесу слід запобігати порушенню нормального технологічного режиму. Роботу можна виконувати лише на належно

справному обладнанні, яке обладнане всіма необхідними пристроями безпеки, контрольно-вимірювальними та регулюючими пристроями, сигналізаційними системами та блокуваннями.

Перед відправленням обладнання та комунікацій на ремонт, де може накопичуватися аміак, обов'язково проводиться продування азотом до того моменту, коли у продувному азоті будуть відсутні горючі сполуки.

Після ремонту обладнання та комунікацій перед їх заповненням аміаком також проводиться продування азотом до того часу, коли вміст кисню в продувному азоті не перевищуватиме 3,0% обсягу.

Не дозволяється проводити ремонт комунікацій, арматури, обладнання, які знаходяться під тиском. Ремонт має здійснюватися лише після зниження тиску та відключення ремонтovanого об'єкта за допомогою заглушок. Приміщення, де проводиться ремонт, повинно бути попередньо продуте або промите.

Для уникнення гідравлічних ударів під час подачі пари в холодні паропроводи слід виконувати цю операцію повільно та забезпечити достатній підігрів трубопроводів з видаленням конденсату по всій довжині системи. Виходження сухої пари з дренажу свідчить про належний нагрів трубопроводу.

Заборонено включати електричне обладнання, якщо не забезпечено належне заземлення.

Ремонт обладнання з електроприводом заборонено без відключення електроживлення від електродвигунів.

Ремонт та налагодження котлонагрівачів, паропроводів та електрообладнання можуть виконувати тільки кваліфіковані спеціалісти відповідно до інструкцій та настанов служби КВП і електриків.

Виробничі і складські приміщення заборонено використовувати для відкритого полум'я. Вогневі роботи можуть проводитися лише за наявності спеціального дозволу, підписаного начальником цеху і схваленого

начальником управління або групою цехів по питаннях промислової безпеки, після узгодження з інженером з охорони праці. Куріння дозволяється лише на відведених для цього місцях.

Всі обертові частини обладнання, такі як напівмуфти, крильчатки обертових вентиляторів і вали електродвигунів, повинні бути надійно закріплені, забезпечені захисними оболонками і пофарбовані червоним кольором.

Фланцеві з'єднання кислотних ліній повинні бути захищені спеціальними захисними кожухами.

Затягування болтів для фланцевих з'єднань трубопроводів та проведення робіт на обладнанні, яке перебуває під тиском, забороняється з метою забезпечення безпеки.

Апарати, які функціонують під тиском, повинні відповідати вимогам, викладеним у технічних характеристиках та правилах будови та безпечної експлуатації посудин і комунікацій, що працюють під тиском.

Система вентиляції повинна бути в справному стані і функціонувати постійно.

Обслуговування вантажопідйомних механізмів та посудин, які постійно знаходяться під тиском, можуть проводити лише особи, які пройшли спеціальну підготовку і мають відповідні кваліфікаційні посвідчення.

Не допускається забруднювати або захаращувати приміщення, де розташовані аварійні шафи, пожежні сповіщувачі та пожежний інвентар. Ці об'єкти мають бути у належній чистоті та в справному стані.

Відкриті отвори в підлогах, майданчиках і перехідних мостках повинні бути огорожені огорожами висотою не менше 1 метра, з бортиком або захисною смугою висотою 15 см в нижній частині огорожі.

Всі контрольно-вимірювальні прилади та системи автоматики і блокування повинні знаходитися в належному робочому стані.

Для запобігання накопиченню нітрит-нітратних солей на внутрішніх поверхнях апаратів та трубопроводів, лопатках роторів, стінках компресорів і інших деталях і апаратах, необхідно уникати тривалого розпалювання контактних апаратів (більше 20 хвилин).

Для забезпечення безпечних умов праці при виконанні ремонтних робіт та інших операцій на робочих місцях, розташованих на висоті 1,3 метра і вище, необхідно вживати ряд заходів для захисту працівників.

У випадках, коли не можливо або недоцільно встановити огороження на місцях роботи на висоті 1,3 метра та вище, або коли робота проходить з приставних сходів на висоті більше 1,3 метра, необхідно використовувати запобіжні пояси. При цьому, в місцях, де проводяться роботи, повинні бути присутні допоміжні робочі, готові надавати допомогу особам, які працюють на висоті. Місце, де кріпиться карабін, визначається керівником робіт.

Запобіжні пояси піддаються обов'язковим випробуванням перед введенням їх в експлуатацію, а також щосеместровим перевіркам у процесі експлуатації. Кожен запобіжний пояс повинен мати бирку, на якій вказаний реєстраційний номер та дата наступної перевірки.

При роботі з азотною кислотою, такими як відбір проб, огляд комунікацій, запуск насосів для продукційної кислоти і інші, обов'язково використовуються індивідуальні засоби захисту для органів дихання та зору, такі як фільтруючий протигаз з коробкою марки «М», захисні окуляри з гумовою напівмаскою або захисний щиток з органічного скла, гумові кислотозахисні рукавички та спеціальний кислотозахисний одяг.

При виявленні будь-яких несправностей в роботі обладнання, дефектів опор, стін тощо, негайно необхідно проінформувати начальника відділення або механіка цеху. В разі потреби зупинити обладнання і підготувати його до ремонту.

Під час кожної зупинки агрегату для ремонту, розкриваються нижні люки окислювача і, якщо виявляється накопичення солей амонію на

розподільній решітці і стінках, проводиться пропарювання гострою парою. Роботи з парою та паровим конденсатом виконуються в спеціальному одязі, спеціальному взутті та рукавичках.

Зазначені заходи дозволяють створити безпечні умови праці при виробництві азотної кислоти, і вони мають бути суворо дотримані для забезпечення безпеки персоналу та уникнення можливих негативних наслідків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / Под ред. В. М. Олевского. – М. : Химия, 1985. – 400 с.
2. Атрощенко В. И. Технология азотной кислоты / В. И. Атрощенко, С. И. Каргин. – М. : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1962. – 523 с.
3. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання / В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
4. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.
5. Врагов А. П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник / А. П. Врагов. – Суми : Вид-во СумДУ, 2006. – 262 с.
6. Іванченко В. В. Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів / В. В. Іванченко, О. І. Барвін, Ю. М. Штонда. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 208 с.
7. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 754 с.
8. Справочник азотчика. 2-е изд. перераб. – М. : Химия, 1987. – 464 с.
9. Рамм В. М. Абсорбция газов. Изд 2-е, переработ. и доп. / В. М. Рамм. – М. : Химия, 1976. – 656 с.
10. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навчальний посібник /

- А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.
- 11.Лацинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
 - 12.Лацинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лацинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
 - 13.Сталь 12Х18Н10Т: характеристики, применение и цены на металлопрокат [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.kp.ru/guide/stal-12kh18n10t.html>
 - 14.Кинетика абсорбционных процессов / Под ред. В. И. Атрощенко. – Харьков : Вища школа, 1976. – 164 с.
 - 15.Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
 - 16.Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.
 - 17.Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укладачі: О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
 - 18.Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
 - 19.Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.

20. КСК автоматизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.kck.ua/dir.html>
21. Голубятников В. А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1985. – 352 с.
22. Пряников В. И. Техника безопасности в химической промышленности В. И. Пряников. – М. : Химия, 1990. – 346 с.
23. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
24. Фокин Л. М. Синтез аммиака / Л. М. Фокин. – М. : Гостехиздат, 1963. – 312 с.
25. ГОСТ 12.1.005-88 «ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны»