

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 05050315
"Обладнання хімічних виробництв
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Абсорбційно-десорбційна установка.
Розробити апарат повітряного охолодження конденсату

Виконав:
студент групи ХМдн-51чк
Гаврилко Юрій Григорович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

Спеціальність 05050315

"Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"

Курс 5 Група ХМдн-51чк Семестр 10

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Гаврилко Юрій Григорович

1 Тема проекту: Абсорбційно-десорбційна установка. Розробити апарат повітряного охолодження конденсату

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження конденсату водяних парів продуктивністю 13500 кг/год. Початкова температура води 45°C, кінцева температура води 30°C. Температура атмосферного повітря 23°C.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

- | | |
|---|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u> | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апаратау</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальне креслення секції теплообмінної</u> | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 63 с., 6 рис., 6 табл., 1 додаток, 22 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальне креслення теплообмінної секції – усього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Абсорбційно-десорбційна установка. Розробити апарат повітряного охолодження конденсату».

У роботі представлено опис технологічної схеми абсорбційно-десорбційної установки осушення природного газу. Розглянуто теоретичні основи процесу теплообміну, особливості конструкції та класифікацію апаратів повітряного охолодження, обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів, наведено їх фізико-механічні та технологічні властивості. Також виконано технологічний, конструктивний розрахунки, вибрано і розраховане допоміжне обладнання. Проведеними розрахунками на міцність підтверджена механічна надійність і конструктивна досконалість запроєктованого апарату, що є неодмінною умовою тривалої та безперебійної роботи обладнання. У розділі «Охорона праці» розглянуті нормування та розрахунок природного і штучного освітлення.

Ключові слова: УСТАНОВКА, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, КОНДЕНСАТ, ВОДА, АПАРАТ ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ, МАЛОПОТОЧНИЙ, ВЕНТИЛЯТОР, ОСВІТЛЕННЯ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	16
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	19
2.1 Технологічні та конструктивні розрахунки	19
2.2 Гідравлічні розрахунки	26
2.3 Вибір допоміжного обладнання	28
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	30
3.1 Перевірка на міцність шпильок	30
3.2 Визначення товщини трубної решітки	33
3.3 Перевірка умови міцності кріплення труб у трубній решітці	36
3.4 Визначення розмірів стінок кришки	37
3.5 Розрахунок і вибір опори	40
4 Монтаж та ремонт апарата	43
4.1 Монтаж апарата	43
4.2 Ремонт апарата	45
5 Охорона праці	48
Список літератури	61
Додаток – Специфікації до графічної частини	

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Гаєрилко</i>				<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Острога</i>				4	63	
<i>Реценз.</i>					<i>СумДУ, ХМдн-51чк</i>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Склабінський</i>						

Апарат повітряного охолодження
Пояснювальна записка

Вступ

Процес гліколевого осушення відомий уже багато років, але, як і раніше, разом із механічною сепарацією крапельної рідини з газового потоку, залишається основним технологічним інструментом підготовки природного та попутного нафтового газів до транспортування і подальшої переробки. Осушення газу є по суті першою технологічною операцією на його шляху від газової свердловини до кінцевого споживача [1].

На даний момент апарати повітряного охолодження (АПО) міцно завоювали собі нішу серед ефективних промислових теплообмінників. Поряд з газотранспортною галуззю даний тип охолоджувачів широко використовується в хімічній, харчовій, та нафтогазопереробній промисловостях – усюди, де є необхідність у використанні екологічно чистих теплообмінних апаратів в умовах нестачі або високої вартості отримання хімічно чистої води. Використання АПО дозволяє прибрати з експлуатаційних витрат на теплообмінне обладнання витрати на хімічну підготовку і прокачування води, боротьбу з замерзанням в зимовий період експлуатації і витрати на очистку стічних вод [2]. При цьому АПО усуває екологічні проблеми, пов'язані зі скиданням нагрітих стічних вод, стічних вод забруднених витоками нафтопродуктів, реагентами, які використовуються у водопідготовчих установках та в процесі промивки теплообмінного обладнання [3].

У масштабах країни на виробництво АПО витрачається велика кількість легованих і кольорових металів. У рамках цього перспективним напрямком є створення ефективних, але більш компактних апаратів повітряного охолодження, що забезпечить значну економію палива, матеріалів і трудових затрат. Вагому роль у вирішенні цих проблем може зіграти впровадження ефективних методів інтенсифікації теплообміну на стадіях розробки та проектування. При моделюванні режимів роботи АПО необхідно адекватно визначати параметри охолоджуваних продуктів, оскільки температурний режим суттєво впливає на оптимальні режими роботи усієї установки [2].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім того, при достатньо низьких температурах навколишнього середовища допускається експлуатація АПО у режимі вільної конвекції, тобто коли можливе відключення повітряних вентиляторів, за умови забезпечення необхідної температури на виході [3].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок, зміст розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно вимогам [4].

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема абсорбційно-десорбційної установки осушення природного газу із застосуванням гліколей представлена на рис. 1.1.

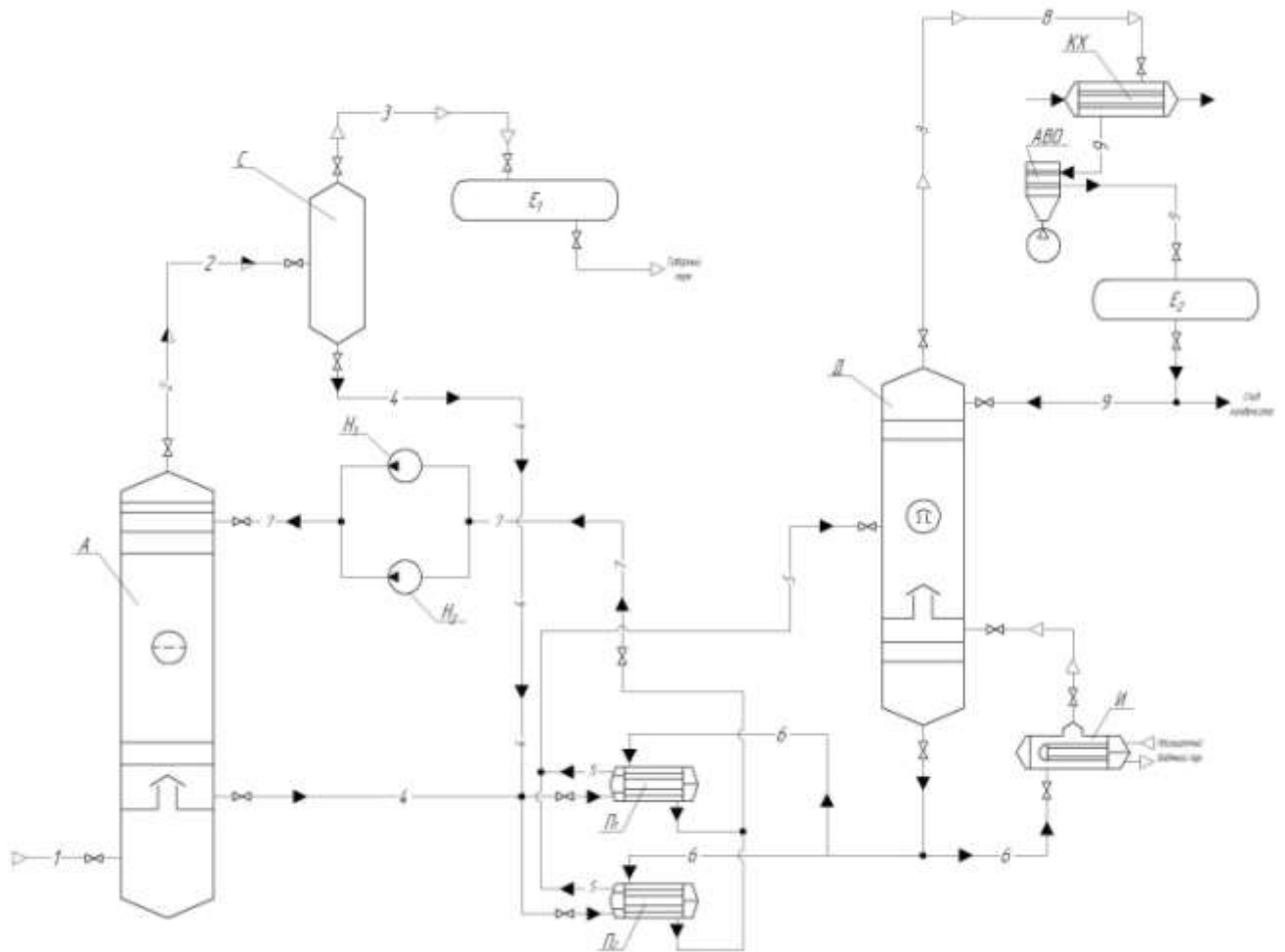


Рисунок 1.1 – Технологічна схема абсорбційно-десорбційного осушення природного газу

Система осушення газу і регенерації гліколю призначена для осушення природного газу перед його спрямуванням у газопровід високого тиску з метою запобігання процесу гідратуутворення. Працює установка наступним чином.

Після компресорної установки газліфтного видобування нафти (УКГН) при температурі 35–45°C сирий природний газ надходить у кубову (нижню) частину абсорбера *A*, який являє собою багатофункціональний апарат колонного типу. Паралельно із цим, на верхню масообмінну тарілку абсорбера, подається висококонцентрований діетиленгліколь – ДЕГ (відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу), концентрацією не менше 98 %. ДЕГ стікає назустріч газовому потоку, створюючи на кожній контактній тарілці відповідний робочий рівень. При русі газу через шар рідини на тарілках водяна пара, що міститься у природному газі, поглинається ДЕГом, насичуючи його. Осушений до точки роси мінус 5°C природний газ, потрапляє у сепаратор *C*, де відбувається відділення залишкових крапель ДЕГу. Після чого осушений природний газ потрапляє у проміжну ємність *E₁*, звідки спрямовується у газопровід високого тиску.

Насичений конденсатом (водою) ДЕГ збирається на глухий тарілці абсорбера і відводиться у газовідокремлювач (на схемі рис. 1.1 не показаний), де при тиску 0,4 МПа відбувається розгазування ДЕГу, тобто виділення поглиненого в абсорбері газу. Відокремлений від ДЕГу газ знову потрапляє у нижню частину абсорбера *A*, а ДЕГ проходить два паралельно встановлених рекуперативних підігрівача *П₁* і *П₂*, де нагрівається до температури 105°C, після чого спрямовується в блок регенерації.

У блоці регенерації насичений ДЕГ подається в середню частину (на тарілку живлення) десорбера *D*, де при температурі 150–160°C і пониженому тиску відбувається випаровування основної кількості вологи із ДЕГу. Нагрівання гліколю у випарнику *И* відбувається за допомогою продуктів згоряння паливного газу.

Регенований ДЕГ, проходячи по міжтрубному простору підігрівачів *П₁* і *П₂*, охолоджується до температури 40–45°C за рахунок зустрічного потоку насиченого ДЕГу, подається за допомогою насосів *Н₁* і *Н₂* в абсорбер *A* для осушення природного газу.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Відокремлена водяна пара виходить через верхній штуцер десорбера *Д* і потрапляє в конденсатор-холодильник *КХ*, де конденсується і охолоджується. Утворений конденсат додатково охолоджується до температури 30°C у повітряному холодильнику *АВО*. Частина охолодженого конденсату, у вигляді зрошення, потрапляє у верхню частину десорбера *Д*. А інша частина – може бути використана для технологічних потреб.

1.2 Теоретичні основи процесу

Основні типи апаратів повітряного охолодження

У залежності від призначення теплообмінників апарати повітряного охолодження ділять на конденсатори (КПО) і холодильники (ХПО). Застосовувані на даний час АПО принципово відрізняються один від одного розташуванням трубних секцій, типом і кількістю повітроподавальних пристроїв. Існує кілька типів конструктивного оформлення АПО (способу розташування теплопередаючої поверхні), що розрізняються компонованням теплообмінних секцій.

Промисловість виготовляє стандартизовані апарати повітряного охолодження загального призначення трьох типів [5, 6]:

- АПМ – малопоточні, що складаються з однієї горизонтальної або вертикальної секції;
- АПГ – горизонтальні, з трьох секцій;
- АПЗ – зигзагоподібні, що складаються з шести секцій.

Окрім того, виготовляють спеціальні апарати типу СПОК (системи повітряного охолодження компресорів) для охолодження газів в поршневіх компресорах, а також для охолодження води (антифризу), яка подається до циліндрів компресора.

Типи конструкцій, вимоги до виготовлення та промислової безпеки встановлені ГОСТ Р 51364-99 (відповідає ІСО 675880) «Апарати повітряного охолодження. Загальні технічні умови». Стандарт розповсюджується на

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

апарати повітряного охолодження, призначені для охолодження газів і рідин і конденсації парових і парорідинних середовищ в технологічних процесах хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної, газової, нафтової та інших галузях промисловості при тиску середовища не більше 16 МПа або під вакуумом із залишковим тиском не нижче 665 Па і температурі не вище 400°C.

Апарати загального призначення встановлюють в районах із сейсмічністю до 7 балів (СНіП 11-7-81) і швидкісним напором вітру по IV географічних регіонів (СНіП 2.01.07-85). В окремих випадках, на вимогу замовника, можуть виготовлятися апарати для районів із сейсмічністю до 9 балів і напором повітря по V регіону [2].

Апарати повітряного охолодження, що випускаються промисловістю, класифікують за такими ознаками [6]:

- а) за величиною і розташуванням теплообмінної поверхні:
- малопоточні (поверхня по обрешеченню 100–300 м²) – позначаються як АПМ-Г (горизонтальні) і АПМ-В (вертикальні);
 - горизонтальні (поверхня 875–2500 м²) – АПГ, 1АПГ, 2АПГ, а також спеціального призначення – АПГ-В (для в'язких рідин), АПГ-ВВ, 1АПГ-ВВ (для високов'язких продуктів), АПГ-Т (триярусний), АПГ-125, АПГ-160, АПГ-160Р, АПГП-160, АПГ-320, АПГ-75С, АПГ-100С (для охолодження природного газу на компресорних станціях магістральних газопроводів) та ін.;
 - зигзагоподібні (поверхня 1250 –5300 м²) – АПЗ, 1АПЗ, 2АПЗ і модифікації АПЗ-Д, 1АПЗ-Д, 2АПЗ-Д (з двома двигунами і довжиною труб 8 м);
 - блочні – БМР (блочно-модульний з рециркуляцією нагрітого повітря), АПГБС-83, АПГБС-100 (для охолодження природного газу), СПОК-1, СПОК- 4А (для охолодження газу в системах охолодження компресорів);
- б) за кількістю рядів труб в секції: чотири-, шести- і восьмирядні (за винятком АПГ-ВВ, де секції з п'ятьма рядами труб, і блочних);
- в) за кількістю ходів у трубному просторі: одно-, двох-, трьох- (окрім типу АПЗ), чотирьох-, шести- і восьмиходові теплообмінники;

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

г) по довжині труб: з трубами довжиною 1,5 і 3 м (тип АПМ), 4 і 8 м (тип АПГ), 6 м (тип АПЗ) і 8 м (тип АПЗ-Д);

г) за величиною коефіцієнта оребрення труб: з коефіцієнтом оребрення $\phi = 9, 14,6$ і 20 (АПМ, АПГ, АПЗ), $7,6$ (АПГ-В), $15,5$ (АПГ-ВВ), 22 (за спеціальним замовленням);

д) з матеріального виконання:

– з біметалічними трубами Б1, Б2, Б3, Б4, Б5 (внутрішні труби з вуглецевої, легованої, корозійностійкої сталі або латуні; зовнішні – з алюмінієвого сплаву АД1);

– з монометалічними трубами М1А, М1У – труби цілком з алюмінієвого сплаву марок АМг2 або АД1;

е) за величиною тиску охолоджуваного продукту: для застосування при тисках до $0,6, 1,6, 2,5, 4,0$ і $6,4$ МПа (а також апарати спеціального призначення для охолодження природного газу до 16 МПа);

ж) по кліматичному виконанню: для тропічного клімату (виконання Т), для помірного клімату (виконання П1), для холодного клімату (виконання УХЛ1).

Малопоточні апарати повітряного охолодження [3]

Апарати типу АВМ призначені для охолодження та конденсації газоподібних і рідких середовищ із температурою до $+475^{\circ}\text{C}$ і тиском до $6,4$ МПа при температурі повітря не нижче -40°C . Вони широко використовуються у технологічних процесах нафтопереробної, нафтохімічної, газової та суміжних із ними галузях промисловості.

На рис. 1.2 показаний апарат повітряного охолодження типу АВМ-Г (з горизонтальними секціями) із довжиною труб 3 м.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

Необхідним елементом будь-якого типу АПО є **вентилятор**, який, обертаючись в порожнині колектора, нагнітає повітря через міжтрубний простір секцій. Значні витрати повітря в апаратах повітряного охолодження при порівняно невеликих статичних напорах (100–400 Па) забезпечуються осьовими вентиляторами з числом лопатей 4–8 і діаметром 0,8–6,0 м. Лопаті вентилятора закриті циліндричним колектором, який служить для кращої організації руху повітряного потоку. Колектор з'єднується з теплообмінними секціями за допомогою дифузора, форма якого сприяє вирівнюванню потоку повітря по перетину теплообмінної секції. Дифузор і колектор вентилятора кріпляться до рами, на якій встановлені теплообмінні секції. Вентилятор із приводом змонтований на окремій рамі.

Опорні конструкції, на яких монтується елементи апарату, виконуються металевими або залізобетонними і містять поздовжні і поперечні опорні балки, що виконуються, як правило, зі стандартних двутаврів, стійки (зазвичай відрізки стандартних труб на опорних пластинах), косинки і ребра жорсткості. Стійки змонтовані на фундаменті і закріплені на ньому анкерними болтами.

Особливості розрахунку [5–8]

Розрахунок та вибір стандартизованого АПО здійснюється за величиною площі поверхні теплопередачі.

Поверхня теплопередачі розраховується за формулою [5]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{СЕР}}, \quad (1.1)$$

де Q – тепловий потік в апараті, Вт;

K – загальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

$\Delta t_{СЕР}$ – середня різниця температур між теплоносіями, °С.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої стінки або при великому радіусі її кривизни ($d_B / d_H > 0,5$) складе:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.2)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, Вт/(м²·К);

δ_{CT} – товщина стінки теплопередаючої поверхні, м;

λ_{CT} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м·К).

Орієнтовні значення коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі наведені у відповідних таблицях [8].

Середня різниця температур теплоносіїв дорівнює [8]:

$$\Delta t_{CEP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (1.3)$$

де Δt_B і Δt_M – відповідно більша і менша різниці температур теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

Середня температура теплоносія, за якою визначаються його теплофізичні властивості, знаходиться двома способами. Для теплоносіїв, температури яких змінюються від початкової t_1 до кінцевої t_2 і $t_2 / t_1 < 2$, приймають середньоарифметичну температуру $t_{CEP} = (t_1 + t_2) / 2$ [7].

Для теплоносія, у якого $t_2 / t_1 > 2$ середню температуру розраховують за формулою [7]:

$$t_{CEP} = \theta_{CEP} \pm \Delta t_{CEP}. \quad (1.4)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні критерії подібності, які застосовуються у розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв, наведені нижче [8].

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (1.5)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

l – визначальний геометричний розмір, м;

λ – теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К).

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}, \quad (1.6)$$

де w – швидкість теплоносія, м/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

μ – динамічна в'язкість теплоносія, Па·с.

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}; \quad (1.7)$$

де c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К).

Під час вимушеної конвекції теплоносії рухаються уздовж поверхні теплообміну з певною швидкістю під дією зовнішньої сили, наприклад, сили тяжіння або сили тиску, що розвивається насосом, компресором або вентилятором.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерії Re , Pr є визначеними, а критерій Nu – невизначеним (тобто залежить від інших критеріїв подібності) [7].

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах і каналах рекомендуються такі критеріальні рівняння [8]:

– для ламінарного режиму

$$Nu = 0,74 \cdot (Re \cdot Pr)^{0,2} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,1}, \quad (1.8)$$

де Gr – критерій Грасгофа, який характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції.

– для перехідного режиму

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}; \quad (1.9)$$

– для турбулентного режиму

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3}. \quad (1.10)$$

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Проектований апарат повітряного охолодження типу АВМ (рис. 1.4) складається з теплообмінної секції та системи подачі повітря, які встановлені на корпусі. Теплообмінна секція складається із шести рядів оребрених труб, а система подачі повітря включає осьовий вентилятор з електродвигуном і дифузором. На корпусі апарату також розташовані штуцери для входу і виходу конденсату (води).

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

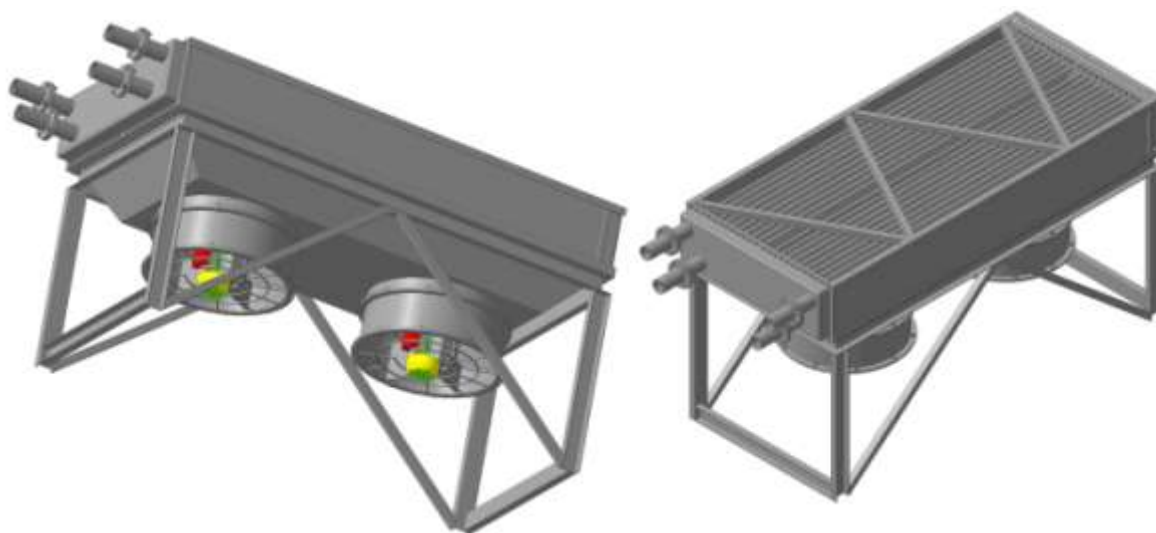


Рисунок 1.4 – Віртуальна модель малопоточного апарату повітряного охолодження малопоточного типу

У конструкції апарату повітряного охолодження малопоточного типу застосовані стандартні і типові деталі та вузли (труби, фланці, опори, штуцери тощо). Таким чином, проєктований апарат технологічний у виготовленні і для його виробництва на машинобудівних підприємствах не потрібне спеціальне обладнання.

Принцип роботи апарата. У трубний простір теплообмінної секції подається конденсат (попередньо сконденсовані пари води) з температурою 45°C . Атмосферне повітря (із середньою температурою 23°C у літній період) за допомогою системи подачі повітря, через дифузор і колектор, нагнітається у міжтрубний простір теплообмінної секції. При цьому, внаслідок різниці температур потоків у трубному та міжтрубному просторах апарату, відбувається охолодження води до необхідної температури (30°C). При перевищенні початкової температури повітря в жарку пору року, передбачено зрошення зовнішньої поверхні труб.

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічна апаратура, є механічна надійність, довговічність, конструктивна досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [9–11].

Для виготовлення хімічних апаратів повинні використовуватися конструкційні матеріали, швидкість корозії яких не перевищує 0,1–0,5 мм/рік. Під швидкістю корозії металів розуміють проникнення корозії в глибину металу, яка розраховується з даних втрати маси після видалення продуктів корозії [9].

Із урахуванням корозійної активності води, величини робочого тиску і робочої температури для апарату повітряного охолодження приймається виконання БЗ – біметалічна труба, яка складається із внутрішньої (сталеві) і зовнішньої (алюмінієвої) з накатним гвинтовим ребром.

Матеріали елементів для даного виконання:

- внутрішні труби – сталь 09Г2С ГОСТ 9941-81;
- зовнішні труби – сплав АД-1 ГОСТ 18475-82;
- трубні решітки – сталь 10Х18Н10Т ГОСТ 9941-81;
- кришки – сталь 09Г2С ГОСТ 977-88,
- прокладки – пароніт ГОСТ 481-80;
- шпильки – сталь 35Х ГОСТ 1050-88.
- дифузори – сталь 10 ГОСТ 19903-74;
- опори – сталь 10 ГОСТ 19903-74;
- балки – сталь 10 ГОСТ 19903-74.

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні та конструктивні розрахунки

Розрахунок проводимо у відповідності до методики, що викладена у [7].

Кількість тепла, яке необхідно відвести від води:

$$Q_1 = G_B \cdot c_B \cdot (t_{HB} - t_{KB}), \quad (2.1)$$

де G_B – масова витрата води, кг/с;

c_B – питома масова теплоємність води при її середній температурі, Дж/(кг·К);

t_{KB} , t_{HB} – кінцева і початкова температури.

Питома масова теплоємність води дорівнює $c_B = 4180$ Дж/(кг·К) [12], тоді:

$$Q_1 = \frac{13500}{3600} \cdot 4180 \cdot (45 - 30) = 235125 \text{ Дж/с.}$$

За рівнянням теплового балансу холодильника знайдемо масову витрату повітря:

$$G_X = \frac{Q}{c_X (t_{KX} - t_{HX})}, \quad (2.2)$$

де G_X – масова витрата повітря, кг/с;

c_X – питома масова теплоємність повітря при його середній температурі, Дж/(кг·К);

t_{KX} , t_{HX} – кінцева і початкова температури.

Питома масова теплоємність повітря дорівнює $c_X = 1007$ Дж/(кг·К) [12], тоді:

$$G_X = \frac{235125}{1007 \cdot (28 - 23)} = 46,7 \text{ кг/с.}$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

Густина повітря при його початковій температурі:

$$\rho_x = \frac{\rho_0 \cdot T_0}{T_{HX}}, \quad (2.3)$$

де ρ_0 – густина повітря за нормальних умов, кг/м^3 .

$$\rho_x = \frac{1,293 \cdot 273}{293} = 1,205 \text{ кг/м}^3.$$

Секундна розрахункова витрата повітря:

$$V_x = \frac{G_x}{\rho_x}; \quad (2.4)$$

$$V_x = \frac{46,7}{1,205} = 38,8 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При виборі вентилятора необхідно мати на увазі, що він повинен не тільки забезпечувати подачу необхідної кількості повітря при коливанні його температури, але і створювати необхідний напір. Для проєктованого апарату вибираємо осьовий вентилятор ВО 06-300 № 8.

Також для холодильника повітряного охолодження вибираємо біметалеві труби (рис. 1.5). Сучасна промисловість випускає оребрені труби для повітряних холодильників довжиною від 1,5 до 12 метрів. Для подальшого розрахунку приймаємо труби діаметром $d = 25 \text{ мм}$ товщиною стінки труби $s = 2 \text{ мм}$; товщина алюмінієвого шару труби $\delta_a = 1,5 \text{ мм}$; довжина труби $L_{\text{тр}} = 3 \text{ м}$.

Матеріал внутрішньої труби – сталь 09Г2С. Матеріал оребрення – алюмінієвий сплав АД-1. Кількість спіральних витків, що припадають на 1 метр труби, $X = 333$. Коефіцієнт збільшення поверхні $\phi = 22$.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таким чином, приймаємо, що для реалізації процесу охолодження води достатньо буде використовувати 1 апарат повітряного охолодження малопоточного типу, із поверхнею теплообміну 630 м^2 , коефіцієнтом оребрення труб 22, розрахованих на умовний тиск 0,6 МПа. При цьому електродвигун – у вибухонебезпечному виконанні, шестирядний, із довжиною труб 3 м.

Лінійну швидкість руху гарячого теплоносія у трубах визначимо за [8]:

$$w_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{в}} \cdot 4}{3600 \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot n}, \quad (2.7)$$

де d_1 – внутрішній діаметр теплообмінної труби, м;

n – кількість труб в одному ході.

$$w_{\text{тр}} = \frac{13500 \cdot 4}{3600 \cdot 1000 \cdot 3,14 \cdot 0,021^2 \cdot 60} = 0,18 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для гарячого теплоносія:

$$Re_1 = \frac{w_{\text{тр}} \cdot d_1 \cdot \rho_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}}, \quad (2.8)$$

де $w_{\text{тр}}$ – швидкість руху гарячого теплоносія по трубах, м/с;

d_1 – внутрішній діаметр теплообмінних труб, мм;

$\rho_{\text{ср}}$ – густина гарячого теплоносія при середній температурі, кг/м^3 .

$$Re_1 = \frac{0,18 \cdot 0,021 \cdot 1000}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 4725$$

У даному випадку слід враховувати залежність тепловіддачі від природної конвекції рідини, а також напрямку теплового потоку. Для горизонтальних труб найбільш точно можна розрахувати за:

$$\alpha_1 = 0,74 \frac{\lambda_1}{d_1} (Re_1 \cdot Pr_1)^{0,2} \cdot (Gr_1 \cdot Pr_1)^{0,1}, \quad (2.9)$$

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

де $\lambda_1 = 0,625 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності з боку води [12];
 Pr_1 , Gr_1 – відповідно критерії Прандтля і Грасгофа при середній температурі гарячого теплоносія.

Знайдемо критерії Прандтля і Грасгофа [13]:

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1}; \quad (2.10)$$

$$Pr_1 = \frac{4180 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}{0,625} = 5,35;$$

$$Gr = \frac{g \cdot d_1^3 \cdot \rho_{cp}^2}{\mu_1} \cdot \beta \cdot \Delta t, \quad (2.11)$$

де g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;
 $\beta = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ – коефіцієнт об'ємного розширення води при його середній температурі [12];

Δt – різниця температур гарячого теплоносія і стінки; приймаємо 5°C .

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,021^3 \cdot 1000^2}{(0,8 \cdot 10^{-3})^2} \cdot 3,8 \cdot 10^{-4} \cdot 5 = 269712$$

$$\alpha_1 = 0,74 \cdot \frac{0,625}{0,021} \cdot (4725 \cdot 5,35)^{0,2} \cdot (269712 \cdot 5,35)^{0,1} = 690 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{пр}$ з боку повітря у випадку застосування оребрених труб враховує конвективний теплообмін між оребреною поверхнею і потоком повітря. Його величину необхідно знати, щоб визначити коефіцієнт теплопередачі. Зважаючи на достатньо малий крок спіралі визначаємо приведенний коефіцієнт тепловіддачі за рівнянням [8]:

$$\alpha_{пр} = \left[1 + \frac{Fr}{Fr_{п}} (E \cdot \varepsilon_{\Delta} - 1) \right] \cdot \frac{\psi \cdot \alpha_k}{1 + \beta_3 \psi \alpha_k}, \quad (2.12)$$

де F_p – поверхня ребер, що приходить на 1 метр довжини труби, m^2/m ;

F_n – повна зовнішня поверхня 1 м оребреної труби, m^2/m ;

E – коефіцієнт ефективності ребра, що враховує зниження температури по мірі віддалення від основи;

ε_Δ – коефіцієнт, що враховує трапецієподібну форму перетину ребра;

ψ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по поверхні ребра; за експериментальними даними $\psi = 0,85$ [2];

β_3 – тепловий опір забруднення зовнішньої поверхні труби.

α_k – коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря при поперечному обтіканні повітря пучка оребрених труб; при спіральному оребренні труб, розташованих у шаховому порядку, коефіцієнт тепловіддачі приймається $\alpha_k = 50$ Вт/($m^2 \cdot K$) [13].

Поверхня ребер, що приходить на 1 метр довжини труби:

$$F_p = \pi \cdot X \cdot \left(\frac{d_4^2 - d_3^2}{2} + d_4 \delta_{cp} \right), \quad (2.13)$$

де $X = 333$ – кількість спіральних витків ребер, що припадають на 1 метр довжини труби.

Маємо:

$$F_p = 3,14 \cdot 333 \cdot \left(\frac{0,056^2 - 0,028^2}{2} + 0,056 \cdot 0,00085 \right) = 1,279 \text{ м}^2/\text{м}.$$

Зовнішня поверхня ділянок гладкої труби між ребрами, що припадає на 1 метр довжини труби:

$$F_{тр} = \pi \cdot d_3 (1 - X \cdot \delta_2), \quad (2.14)$$

де δ_2 – ширина ребер біля основи, м.

$$F_{тр} = 3,14 \cdot 0,028 \cdot (1 - 333 \cdot 0,0011) = 0,056 \text{ м}^2.$$

Повна зовнішня поверхня 1 метра оребреної труби:

$$F_{\Pi} = F_p + F_{\text{тр}}; \quad (2.15)$$

$$F_{\Pi} = 1,279 + 0,056 = 1,335 \text{ м}^2.$$

Для визначення величин E і ε_{Δ} попередньо розраховуємо:

$$\frac{d_4}{d_3} = \frac{0,056}{0,028} = 2; \quad (2.16)$$

$$\sqrt{\frac{\delta_1}{\delta_2}} = \sqrt{\frac{0,6}{1,1}} = 0,738; \quad (2.17)$$

$$\sqrt{\frac{\alpha_k \psi}{\lambda_a (\delta_1 + \delta_2) (1 + \beta_3 \psi \alpha_k)}} (d_4 - d_3); \quad (2.18)$$

$$\sqrt{\frac{79,41 \cdot 0,85}{201,2(0,0006 + 0,0011)(1 + 0,0006 \cdot 0,85 \cdot 79,41)}} (0,056 - 0,028) = 0,385.$$

Тоді $E = 1,05$ і $\varepsilon_{\Delta} = 1,015$.

Визначаємо приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{пр}} = \left[1 + \frac{1,279}{1,335} (1,05 \cdot 1,015 - 1) \right] \frac{0,85 \cdot 50}{1 + 0,0006 \cdot 0,85 \cdot 50} = 44 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за рівнянням [8]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{\text{ЗВ}} + \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{\text{СТ}} + \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_a + \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{\text{ЗН}} + \frac{1}{\alpha_{\text{пр}}}}, \quad (2.19)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{690} + 0,000172 + 0,000133 + 0,000074 + 0,0006 + \frac{1}{44}} = 39,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розраховуємо уточнену поверхню теплообміну:

$$F_p = \frac{Q_1}{k \cdot \Delta t_{cp}}; \quad (2.20)$$

$$F_p = \frac{235125}{39,8 \cdot 10,5} = 563 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні:

$$\beta = \frac{F_T - F_p}{F_p} \cdot 100\%; \quad (2.21)$$

$$\beta = \frac{630 - 563}{563} \cdot 100\% = 10,6\%.$$

2.2 Гідравлічні розрахунки

Гідравлічний опір апарату:

$$\Delta p_{\Gamma} = \lambda \frac{L}{d_{\text{вн}}} \frac{w^2 \rho}{2} + \sum \xi_{\Gamma} \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (2.22)$$

де λ – коефіцієнт тертя;

L – довжина труби, м;

$d_{\text{тр}}$ – внутрішній діаметр труби, м;

w – швидкість руху потоку, м/с;

ρ – густина теплоносія у трубах, кг/м³;

ξ_{Γ} – коефіцієнт місцевого опору: $\xi_{\Gamma} = 0,5$ – вхід у камери; $\xi_{\Gamma} = 2,5$ – поворот між ходами; $\xi_{\Gamma} = 1$ – вихід із камери; $\xi_{\Gamma} = 0,5$ – вхід у труби; $\xi_{\Gamma} = 1$ – вихід із труб.

Коефіцієнт λ розраховуємо за:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}; \quad (2.23)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$\lambda = \frac{0,3164}{4725^{0,25}} = 0,038.$$

Із урахуванням значень коефіцієнтів отримуємо:

$$\Delta p_{\Gamma} = 0,038 \cdot \frac{3}{0,021} \frac{0,18^2 \cdot 1000}{2} + (0,5 + 2,5 + 1 + 0,5 + 1) \frac{0,18^2 \cdot 1000}{2} = 177 \text{ Па.}$$

Аеродинамічний опір пучка труб:

$$\Delta P = 9,7 \frac{\rho_{\text{в}}}{\text{г}} \cdot (\omega_0)^2 \cdot n_{\text{в}} \cdot \left(\frac{S_{\text{п}}}{d_3} \right)^{-0,72} \cdot \text{Re}^{-0,24} \quad (2.24)$$

де $\rho_{\text{в}} = 1,25 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря при його початковій температурі [12];
 $\omega_0 = 6,272 \text{ м/с}$ – швидкість повітря у найбільш стислому (вузькому) перетині
 обребреного трубного пучка;

$n = 6$ – число горизонтальних рядів труб у пучку (по вертикалі);

$d_3 = 0,028 \text{ м}$ – зовнішній діаметр труби;

$S_{\text{п}} = 0,003 \text{ мм}$ – крок обребрення.

Критерій Рейнольдса, віднесений до зовнішнього діаметру труби:

$$\text{Re} = \frac{w_0 \cdot d_3}{\nu_2} = \frac{6,272 \cdot 0,028}{15,5 \cdot 10^{-6}} = 11330. \quad (2.25)$$

Підставляючи зазначені величини у рівняння (2.24), отримуємо:

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{1,25}{9,81} \cdot 6,272^2 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0,003}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 11330^{-0,24} = 103 \text{ Па.}$$

2.3 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір вентилятора [14].

Для нагнітання потоку повітря у АВМ використовують осьові вентилятори низького тиску.

Витрату електроенергії, яку споживає вентилятор, визначаємо:

$$N_E = 0,00981 \cdot \frac{V_{\text{п}} \cdot \Delta P}{9,81 \cdot \eta}, \quad (2.26)$$

де $\eta = 0,62$ – к.к.д. вентилятора.

$$N_E = 0,00981 \cdot \frac{38,8 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 0,62} = 6,45 \text{ кВт.}$$

При підборі електродвигуна розрахункову потужність слід збільшити на 10 % для забезпечення запуску двигуна.

$$N_{\text{Е.д.}} = 1,1 \cdot N_E = 1,1 \cdot 6,45 = 7,1 \text{ кВт.} \quad (2.27)$$

За [14] вибираємо осьовий вентилятор низького тиску ВО 6-300 № 8.

Розрахунок і вибір насосів N_1 і N_2 для подачі ДЕГу в абсорбер А [13].

Розрахунок і вибір насосів проводимо за необхідними напором і витратою $V = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$. На технологічній схемі (див. рис. 1.1) подача регенованого ДЕГу у верхню частину абсорбера забезпечується двома, паралельно встановленими, насосами. У такому випадку продуктивність одного насосу становить: $V = 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

Напір розраховують за формулою:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + H_r + h_n, \quad (2.28)$$

де $p_1 = 0,1$ МПа – тиск в апараті, із якого перекачується рідина;

$p_2 = 10$ МПа – тиск в абсорбері;

$\rho = 1110$ кг/м³ – густина ДЕГу;

$H_r = 10$ м – геометрична висота підйому рідини;

h_{π} – сумарні втрати напору у всмоктувальній і нагнітальній лініях.

Прийmemo сумарні втрати напору у всмоктувальній і нагнітальній лініях рівними $h_{\pi} = 4$ м.

Тоді:

$$H = \frac{(10 - 0,1) \cdot 10^6}{1110 \cdot 9,81} + 10 + 4 = 923 \text{ м.}$$

Такий напір при заданій продуктивності може забезпечити насос марки ПТ-1-2,5/160.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Перевірка на міцність шпильок

Встановлюємо основні розміри вузлів заданого апарату: кількість рядів труб $z = 6$; число ходів по трубах $n_x = 2$; довжина труб $L = 3$ м; крок розміщення труб $t_1 = 58$ мм, $t_2 = 50,2$ мм; зовнішній діаметр труб $d_n = 28$ мм; зовнішній діаметр основної труби $d = 25$ мм; внутрішній діаметр біметалевих труб $d_{бн} = 21$ мм; товщина стінки основної труби $\delta_m = 2$ мм; діаметр отворів у решітці $d_0 = 25,4$ мм; ширина прокладки $b_{пр} = 10$ мм; діаметр болтів (шпильок) $d_B = 16$ мм (М16); кількість болтів $n_B = 46$;

Для даного апарату прийємо камеру роз'ємної конструкції. Основні розміри камери зображено на рис. 3.1.

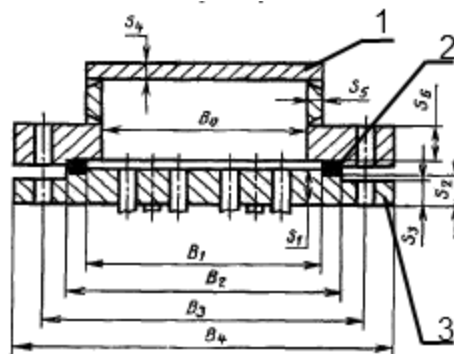


Рисунок 3.1 – Камера роз'ємна

1 – кришка; 2 – прокладка; 3 – трубна решітка

Визначаємо основні розрахункові розміри трубної решітки і прокладки.

Розрахункова ширина прокладки:

$$b_{прR} = \min \{ b_{пр}; 3,87 \sqrt{b_{пр}} \} \quad (3.1)$$

$$b_{прR} = \min \{ 10; 3,87 \sqrt{10} = 12,24 \} = 10 \text{ мм.}$$

Приймаємо прокладочний коефіцієнт $m_{\text{пр}} = 2,5$ для прокладки із пароніту.

Розрахунковий розмір трубної решітки в поздовжньому напрямку:

$$L_p = L_{\text{пр}} - b_{\text{прR}} ; \quad (3.2)$$

$$L_p = 1282 - 10 = 1272 \text{ мм.}$$

Розрахунковий розмір трубної решітки в поперечному напрямку:

$$B_p = B_{\text{пр}} - b_{\text{прR}} ; \quad (3.3)$$

$$B_p = 252 - 10 = 242 \text{ мм.}$$

Розрахункова товщина перфорованої частини трубної решітки:

$$B_T = \min \{z \cdot t_2, B_p\} ; \quad (3.4)$$

$$B_T = \min \{4 \cdot 50,2 = 200,8; 242\} = 200,8 \text{ мм.}$$

Характерний розмір отворів решітки (для решіток з трубами, закріпленими в частині товщини решітки):

$$d_E = d_o - 2s_T ; \quad (3.5)$$

$$d_E = 25,4 - 2 \cdot 2 = 21,4 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт ослаблення решітки отворами:

$$\varphi_p = 1 - d_E/t_1 ; \quad (3.6)$$

$$\varphi_p = 1 - 21,4 / 58 = 0,631.$$

Приймаємо для подальших розрахунків прибавку на корозію $C = 1 \text{ мм}$.

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

Умова міцності шпильок:

$$F_B / (S_{BПБ}) = 46022 / (157 \cdot 46) = 6,372 < [\sigma]_B^t = 228;$$

$$F_o / (S_{BПБ}) = 207404 / (157 \cdot 46) = 28 < [\sigma]_B^{20} = 230.$$

Умова міцності виконується.

3.2 Визначення товщини трубної решітки

Попередньо розраховуємо необхідні коефіцієнти і параметри:

- безрозмірна характеристика навантаження решітки болтовим згинальним моментом:

$$\Lambda_p = \frac{4F_B B_1}{F_p (L_p + B_p) B_T^2}, \quad (3.10)$$

$$\Lambda_p = \frac{4 \cdot 46022 \cdot 250}{0,12(1272 + 242) \cdot 200,8^2} = 6,282;$$

- відносна ширина безтрубного краю:

$$\lambda_p = (B_p - B_T) / B_T, \quad (3.11)$$

$$\lambda_p = (242 - 200,8) / 242 = 0,170;$$

- безрозмірна характеристика навантаження решітки тиском, діючим на безтрубну зону:

$$\Psi_p = \lambda_p (\lambda_p + 2) \quad (3.12)$$

$$\Psi_p = 0,170 \cdot (0,170 + 2) = 0,369;$$

- допоміжні коефіцієнти:

$$\nu_1 = \frac{\pi(d - \delta_T)(\delta_T - C)}{t_1 t_2}, \quad (3.13)$$

$$\nu_1 = \frac{3,14(25 - 2)(2 - 1)}{58 \cdot 50,2} = 0,024;$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{\pi(d - 2\delta_T)^2}{4 t_1 t_2}, \quad (3.14)$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{3,14(25 - 2 \cdot 2)^2}{4 \cdot 58 \cdot 50,2} = 0,881$$

- допустиме навантаження на одиницю площі трубного пучка з умови міцності труб, з урахуванням того, що для матеріалу труб при робочій температурі допустиме напруження $[\sigma]_T = 152$ МПа, модуль поздовжньої пружності $E_T = 2,06 \cdot 10^5$ МПа:

$$[q]_T = \nu_1 \left(1 - \frac{d - \delta_T}{2(\delta_T - C)} \frac{P_p}{[\sigma]_T} \right) \cdot [\sigma]_m, \quad (3.15)$$

$$[q]_T = 0,024 \left(1 - \frac{25 - 2 \cdot 0,12}{2(2 - 1)} \frac{152}{152} \right) \cdot 152 = 3,614 \text{ МПа.}$$

- коефіцієнт зменшення допустимої напруги труб при поздовжньому вигині:

$$\phi_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \left\{ 1,8 \frac{[\sigma]_T}{E_T} \left(\frac{L_k}{d - \delta_T} \right)^2 \right\}^2}}, \quad (3.16)$$

$$\phi_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \left\{ 1,8 \frac{152}{2,06 \cdot 10^5} \left(\frac{1500}{25 - 2} \right)^2 \right\}^2}} = 0,174.$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

- коефіцієнт несучої здатності трубного пучка Ω при $P_p \eta_1 > \varphi_T [q]_T$ ($P_p \eta_1 = 0,12 \cdot 0,881 = 0,105$ МПа; $\varphi_T [q]_T = 0,174 \cdot 3,614 = 0,628$ МПа):

$$\Omega = \frac{P_p}{[q]_T + P_p \eta_1}, \quad (3.17)$$

$$\Omega = \frac{0,12}{3,614 + 0,12 \cdot 0,881} = 0,032.$$

Оскільки $\Omega < 1$, товщину труб збільшувати не слід.

- розрахункове зусилля в зоні ущільнення:

$$F_1 = [F_o / (L_p + B_p)] (P_p / P_{исп}), \quad (3.18)$$

$$F_1 = [207404 / (1272 + 242)] (0,12 / 0,3) = 54,79 \text{ МН/мм};$$

- плечі згинальних моментів, що діють на фланцеве з'єднання решітки з кришкою:

$$l_1 = 0,5(B_B - B_p), \quad (3.19)$$

$$l_1 = 0,5(300 - 242) = 29 \text{ мм},$$

$$l_2 = 0,5(B_B - B_{пр}), \quad (3.20)$$

$$l_2 = 0,5(300 - 252) = 24 \text{ мм}.$$

Приймаємо для основного матеріалу трубної решітки допустиме напруження $[\sigma]_p = 152$ МПа. Тоді товщина трубної решітки в межах зони перфорації

$$s_1 = 0,71 B_T \sqrt{P_p / (\varphi_p [\sigma]_p)} \sqrt{(\lambda_p + \psi_p + \Omega) + 1,5 P_p / (\varphi_p [\sigma]_p)} + c, \quad (3.21)$$

$$s_1 = 0,71 \cdot 200,8 \sqrt{0,12 / (0,631 \cdot 152)} \sqrt{(6,282 + 0,369 + 0,032) + 1,5 \cdot 0,12 / (0,631 \cdot 152)} + 1 = 14,04 \text{ мм}.$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Приймаємо $s_1 = 15$ мм.

Товщина трубної решітки в місці ущільнення

$$s_2 \geq 0,71 \sqrt{F_1 / [\sigma]_p} \cdot \sqrt{4l_1 + 1,5F_1 / [\sigma]_p} + C, \quad (3.22)$$

$$s_2 \geq 0,71 \sqrt{54,79 / 152} \cdot \sqrt{4 \cdot 29 + 1,5 \cdot 54,79 / 152} + 1 = 5,83 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину основного шару $s_2 = 6$ мм .

Товщина трубної решітки поза зоною ущільнення

$$s_3 \geq 0,71 \sqrt{F_1 / [\sigma]_p} \cdot \sqrt{4l_2 + 1,5F_1 / [\sigma]_p} + C, \quad (3.23)$$

$$s_3 \geq 0,71 \sqrt{54,79 / 152} \cdot \sqrt{4 \cdot 24 + 1,5 \cdot 54,79 / 152} + 1 = 5,188 \text{ мм}$$

Приймаємо $s_3 = 6$ мм.

3.3 Перевірка умови міцності кріплення труб у трубній решітці

Визначимо параметр трубного підстави:

$$\omega = 1,6 \frac{B_m}{s_1} \sqrt[4]{\frac{U_1 s_1}{L}}, \quad (3.24)$$

$$\omega = 1,6 \frac{200,8}{15} \sqrt[4]{\frac{0,024 \cdot 15}{1500}} = 2,665.$$

За [15] знаходимо значення коефіцієнтів Z_F, Z_M : $Z_F = 2,2$; $Z_M = 1,5$.

Із огляду на те, що трубки кріпляться в решітці способом розвальцьовування з канавками на глибину $l_0 = 15$ мм, визначаємо допустиме навантаження на одиницю площі трубного пучка з умови міцності кріплення труб в решітці:

$$[q]_{\text{ТР}} = \nu_{\mu\text{РВ}} \frac{2l_0}{d - \delta_{\text{T}}} [\sigma]_{\text{T}}, \quad (3.25)$$

де $\mu_{\text{РВ}} = 0,5$ - для розвальцьовування з канавками,

$$[q]_{\text{ТР}} = 0,024 \cdot 0,5 \frac{2 \cdot 15}{25 - 2} 152 = 2,379 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності кріплення труб:

$$P_{\text{Р}}[Z_{\text{F}} - \eta_1 + Z_{\text{М}} (\Lambda_{\text{Р}} + \psi_{\text{Р}})] = 0,12 \cdot [2,2 - 0,881 + 1,5 \cdot (6,282 + 0,369)] = 1,567,$$

$$1,567 < [q]_{\text{ТР}} = 2,379.$$

Умови виконуються.

3.4 Визначення розмірів стінок кришки

Попередньо обчислюємо необхідні коефіцієнти:

- безрозмірна характеристика навантаження кришки болтовим згинальним моментом:

$$\Lambda_{\text{К}} = \frac{4F_{\text{Б}}l_1}{P_{\text{Р}}(L_{\text{Р}} + B_{\text{Р}})B_0^2}, \quad (3.26)$$

$$\Lambda_{\text{К}} = \frac{4 \cdot 46022 \cdot 29}{0,12(1272 + 242)200^2} = 0,735;$$

- безрозмірна характеристика навантаження кришки тиском, зо діє на її фланцеву частину:

$$\psi_{\text{К}} = \left[\left(\frac{B_{\text{Р}}}{B_0} \right)^2 - 1 \right] \frac{L_0}{L_0 + B_0} - 4 \left(\frac{H_{\text{К}}}{B_0} \right)^2, \quad (3.27)$$

де $H_{до}$ – висота кришки, приймаємо $H_k = 100$ мм.

$$\psi_k = \left[\left(\frac{242}{200} \right)^2 - 1 \right] \frac{1220}{1220 + 200} - 4 \left(\frac{100}{200} \right)^2 = -0,601;$$

- поправочний коефіцієнт для вільно опертої плити:

$$f_1 = \frac{1}{1 + (B_0 / L_0) + (B_0 / L_0)^2}, \quad (3.28)$$

$$f_1 = \frac{1}{1 + (200 / 1220) + (200 / 1220)^2} = 0,840;$$

- поправочний коефіцієнт для затисненої плити:

$$f_2 = 0,5 f_1, \quad (3.29)$$

$$f_2 = 0,5 \cdot 0,840 = 0,420;$$

- коефіцієнт опору фланцевої частини кришки

$$\chi_k = \frac{0,8}{L_0} \left\{ 1,5 [(B_B - B_0) - s_6] \left(\frac{s_6}{s_4} \right)^2 + [3(H_k - s_6) + 2s_5] \left(\frac{s_5}{s_4} \right)^2 \right\}, \quad (3.30)$$

де попередньо приймаємо, що $S_4 = 10$ мм, $S_5 = 10$ мм, $S_6 = 16$ мм;

$$\chi_k = \frac{0,8}{1220} \left\{ 1,5 [(300 - 200) - 16] \left(\frac{16}{10} \right)^2 + [3(100 - 16) + 2 \cdot 10] \cdot \left(\frac{10}{10} \right)^2 \right\} = 0,389;$$

- поправочний коефіцієнт:

$$f'_2 = \max \left\{ \frac{\Lambda_k + \psi_k + f_1}{1 + \chi_k}, f_2 \right\}, \quad (3.31)$$

$$f_2' = \max \left\{ \frac{0,849 - 0,67 + 0,845}{1 + 0,314} = 0,779, \right. \\ \left. 0,423 \right\},$$

Приймаємо $f_2' = 0,779$;

- коефіцієнт опору фланцевої частини кришки

$$\chi_c = \frac{0,8}{L_0} 1,5 \cdot [(B_B - B_0) - s_6] \cdot \left(\frac{s_6}{s_5} \right)^2, \quad (3.32)$$

$$\chi_c = \frac{0,8}{1220} 1,5 \cdot [(300 - 200) - 16] \cdot \left(\frac{16}{10} \right)^2 = 0,141;$$

- коефіцієнт міцності зварного шва $\phi_{св} = 0,95$.

Товщина дна кришки:

$$s_4 \geq 0,71 \cdot B_0 \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_k}} \cdot \sqrt{\max \left\{ \frac{\Lambda_k + \Psi_k + f_1}{1 + \chi_k}; f_2 \right\}} + 1,5 \frac{P}{[\sigma]_k} + C, \quad (3.33)$$

$$s_4 \geq 0,71 \cdot 200 \sqrt{\frac{0,12}{152}} \cdot \sqrt{\max \left\{ \frac{6,282 - 0,601 + 0,84}{1 + 0,389} = 4,694; 0,42 \right\}} + 1,5 \frac{0,12}{152} + 1 = 9,6 \text{ мм}$$

Товщина стінки кришки в місці приєднання до фланця

$$s_5 \geq 0,71 \sqrt{F_1 / [\sigma]_p} \cdot \sqrt{4l_1 / (\phi_{св} + \chi_c)} + C, \quad (3.34)$$

$$s_5 \geq 0,71 \sqrt{54,79 / 152} \cdot \sqrt{4 \cdot 29 / (0,95 + 0,141)} + 1 = 5,395 \text{ мм};$$

Товщина фланця кришки

$$s_6 \geq 0,71 \sqrt{F_1 / [\sigma]_k} \cdot \sqrt{4l_1 + 1,5F_1 / [\sigma]_k} + C, \quad (3.35)$$

$$s_6 \geq 0,71 \sqrt{54,79 / 152} \cdot \sqrt{4 \cdot 24 + 1,5 \cdot 54,79 / 152} + 1 = 5,188 \text{ мм};$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

Приймаємо, що $s_4 = 6$ мм, $s_5 = 6$ мм, $s_6 = 16$ мм.

Остаточно приймаємо за [10], що $s_1 = s_2 = s_3 = s_4 = s_5 = s_6 = 20$ мм.

3.5 Розрахунок і вибір опори

Підбір сортаменту опорних балок металоконструкції.

Маса трубної секції апарату виконання БЗ на тиск 0,6 МПа з трубами довжиною 3 м і числом рядів труб 6, згідно [10], становить $M_{сек} = 2380$ кг.

Маса рідини в трубному просторі апарату АВМ при $\varphi = 14,6$ з внутрішнім діаметром труб 21 мм становить $M_{ж} = 50$ кг.

Маса дифузора вентилятора $M_{уз} \approx 140$ кг [10].

Маса всього апарату становить $M_{ап} = 930$ кг [10].

Значення розподіленого навантаження від ваги, заповненої середовищем секцій, що припадає на дві поперечні опорні балки:

$$q_p = (M_{сек} + M_{ж}) g / (n_c L_3), \quad (3.36)$$

$$q_p = (2380 + 50) \cdot 9,81 / 4,15 = 5744 \text{ Н/м.}$$

Максимальний згинальний момент від цього навантаження:

$$M = q_p L_3 / 12 \quad (3.37)$$

$$M = 5744 \cdot 4,15^2 / 12 = 2713 \text{ Н}\cdot\text{м} = 2,713 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Допустиме напруження матеріалу опорних балок (Сталь 10) $[\sigma] = 130$ МПа.

Орієнтовний момент опору перерізу балки:

$$W_{сеч} = \frac{M}{[\sigma]}, \quad (3.38)$$

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$W_{\text{сеч}} = \frac{2713}{130} = 20,86 \text{ см}^3.$$

За [9] приймаємо швелер №8 П з моментом опору перерізу балки $W_{\text{сеч}} = 22,5 \text{ см}^3$; статичним моментом площі перетину балки $M_{\text{сеч}} = 13,3 \text{ см}^3$; шириною полиці профілю балки $b_{\text{сеч}} = 4 \text{ см}$; головним лінійним моментом інерції перерізу балки відносно горизонтальної осі $I_{\text{сеч}} = 89,8 \text{ см}^4$.

Тоді:

- нормальне напруження

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{сеч}}} = \frac{q_p L_3^2 / 12}{W_{\text{сеч}}}, \quad (3.39)$$

$$\sigma = \frac{2713}{22,5} = 120,5 \text{ МПа};$$

- дотичне напруження

$$\tau = \frac{q_p L_3 M_{\text{сеч}} / 2}{b_{\text{сеч}} I_{\text{сеч}}}, \quad (3.40)$$

$$\tau = \frac{1890 \cdot 4,15 \cdot 13,3 / 2}{4 \cdot 89,8} = 145 \text{ Н/см}^2 = 1,45 \text{ МПа};$$

- еквівалентне напруження

$$\sigma_{\text{зкв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \quad (3.41)$$

$$\sigma_{\text{зкв}} = \sqrt{120,5^2 + 4 \cdot 1,45^2} = 120,53 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 130 \text{ МПа}.$$

Умова міцності балки виконується.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір опори-стійки металоконструкції

Визначаємо:

- сумарна вага секцій і рідини в них:

$$(M_{\text{сек}} + M_{\text{ж}}) g = (740 + 50) \cdot 9,81 = 7750 \text{ Н}; \quad (3.42)$$

- вага дифузора:

$$M_{\text{уз}} g = 140 \cdot 9,81 = 1569 \text{ Н}; \quad (3.43)$$

Реакційний момент в вузлі кріплення балки:

$$q_p L_3^2 / 12 = 1890 \cdot 4,15^2 / 12 = 2713 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.44)$$

Момент, що викликається позацентровим додатком ваги колектору:

$$M_{\text{уз}} g \sqrt{L_1^2 + L_3^2} / 8 = 140 \cdot 9,81 \sqrt{8^2 + 4,15^2} / 8 = 1174 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.45)$$

Напруження стиснення:

$$\sigma = \frac{(M_{\text{сек}} + M_{\text{ж}} + M_{\text{уз}})g}{S_{\text{сеч}}} + \frac{M_{\text{уз}} g \sqrt{L_1^2 + L_3^2} / 8 + q_p L_3^2 / 12}{W_{\text{сеч}}}. \quad (3.46)$$

Для виготовлення стійок за [9] попередньо вибираємо куточок №5, товщиною стінки 5 мм, площа перерізу $S_{\text{сеч}} = 4,8 \text{ см}^2$, момент опору $W_{\text{сеч}} = 3,13 \text{ см}^3$.

Тоді:

$$\sigma = \frac{7750 + 1174}{4,8 \cdot 100} + \frac{1174 + 2713}{3,13 \cdot 10} = 125 \text{ МПа} < [\sigma] = 130 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [16, 17]

Монтаж апаратів повітряного охолодження проводиться у максимально зібраному вигляді – уже зі встановленими вузлами трубопроводів та металоконструкціями каркасів. Установці апарату в проектне положення передують його гідравлічне випробовування на міцність та герметичність. При цьому окремо випробовують міжтрубний і трубний простори.

Апарати встановлюють у проектне положення на фундамент або іншу підставу за допомогою монтажних кранів або інших вантажопідйомних механізмів.

Монтаж, пуск, експлуатація і ремонт АПО повинні проводитися із дотриманням правил безпеки, що встановлені для окремих видів робіт, загальних правил безпеки та пожежної безпеки, викладених у відповідних інструкціях, що діють на даному виробництві.

Апарат повітряного охолодження встановлюється на спеціальній технологічній етажерці. Монтаж АПО проводиться у такій послідовності:

1. Виставляють на технологічній етажерці контейнери; з'єднують та закріплюють їх між собою кріпильними болтами;

2. На контейнер встановлюють дифузори; з'єднують та закріплюють їх між собою кріпильними болтами;

3. Встановлюють та закріплюють теплообмінні секції на штирі дифузорів із відповідним маркуванням;

4. Перевіряють якість виготовлення шпильок, гайок та шайб: різьба повинна бути без забруднень, подряпин, зривів тощо; поверхня на нарізаній частині шпильок – гладкою; гайка, надіта на різьблення шпильки, не повинна мати слабину.

5. Затягують усі болтові з'єднання, використовуючи стандартні ключі, без подовжувачів;

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

6. Перед затягуванням гайок зробити ретельний огляд привалочних поверхонь фланців – дефекти на цих поверхнях не допускаються.

7. Перевіряють установку в теплообмінній секції відповідних фланців і прокладок на штуцерах входу і виходу робочого середовища.

8. Також слід перевіряти розмір і стан прокладок на відповідність їх розмірам привалочних поверхонь стикуючих фланців. Далі перевірити правильність установки прокладок, переконатися в наявності повного комплекту шпильок в отворах фланців і в тому, що прокладки увійшли в пази. Неповний комплект шпильок або перекося фланців не допускається. Також забороняється підтяжка шпильок під час роботи апарату.

Виявлені під час монтажу дефекти та методи їх усунення повинні бути зареєстровані в паспорті АПО.

Виконати під'єднання АПО до всіх необхідних комунікацій і арматури. Очистити від бруду і сторонніх предметів підводи і відводи трубопроводів перед приєднанням до апарату.

Провести заземлення апарату у відповідності вимогам ПУЕ.

Правильність установки апарату на фундамент вивіряють:

- теплообмінних секцій – гідростатичним або брусковим рівнем;
- осей опорних стійок – схилом;
- відхилення площин кронштейнів опорних стійок від розташування в одній горизонтальній площині – по натягнутій струні;
- відхилення від горизонтальності приводу вентилятора – брусковим рівнем.

При установці колеса вентилятора повинен бути витриманий рівномірний радіальний зазор в межах допустимих розмірів. При центруванні валів вимірювання слід проводити в чотирьох положеннях при спільному повороті напівмуфт на 90°. Центрування приводу вважається правильним, якщо різниця діаметрально протилежних розмірів перекося і паралельного зміщення осей не перевищують 0,06 мм (при діаметрі муфти 250 мм).

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

4.2 Ремонт апарата [16, 17]

Стан зовнішньої поверхні елементів апаратів повітряного охолодження, працюючих під тиском, перевіряється в таких місцях:

- у місці приварювання фланців;
- у місці перетину зварних швів;
- зовнішньої поверхні трубного простору.

Перевіряються наступні дефекти:

- на поверхні – тріщини, надриви, випучини;
- підвищена швидкість корозії стінок;
- на зварних швах – дефекти зварювання, тріщини, надриви тощо.

Апарат, який підлягає розборці для ремонту і очищення, повинен бути зупинений, звільнений від теплоносіїв, відключений і заглушений від іншої апаратури, пропарений і пройдений азотом. Повинні бути створені нормальні умови, а саме: тиск – атмосферний, температура – знижена до нормальної, вибухо- і пожежонебезпечні середовища – відсутні. У деяких випадках пропарку і промивку чередують кілька разів. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°C.

Найбільш поширеними дефектами у апаратів з трубною системою є:

1. Виривання трубок із трубних решіток. Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти вирішення:

- зачистка місця розриву і обварювання трубки заново;
- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заглушка трубки.

Якщо встановлюються заглушки на дефектні трубки, необхідно враховувати, що опір даної ділянки зростає, а також трохи погіршується теплообмін. Зазвичай, теплообмінники розраховують таким чином, щоб без сильного впливу на технологічний процес можна було заглушити до 10 % трубок.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

2. Наскрізна корозія трубок. Дана проблема виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підбраному матеріалі трубчатки. Варіанти вирішення:

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заглушка трубки.

Нерідко при виникненні наскрізної корозії найбільш ефективним шляхом є просто заміна трубного пучка (виготовлення нового трубного пучка). Це особливо актуально, якщо повторний дефект виник швидко після першої поломки.

3. Наскрізна корозія корпусу чи камери. Дана проблема, так само як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підбраному матеріалі. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заплатки;
- виготовлення нової камери чи корпусу.

4. Засмічення трубок чи міжтрубного простору. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один із теплоносіїв не фільтрується належним чином, або якщо відбувається поява природного нагару (наприклад, при роботі з вихлопними газами).

Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

Якщо засмічення відбувається через відсутність належної фільтрації середовищ, рекомендується установка необхідних фільтрів. Якщо ж відбувається поява нагару, швидше за все, це обумовлено технологічними моментами. У такому випадку треба визначати, коли відбувається чергове засмічення теплообмінника (вимірювання температури або протитиску) і чистити його.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

Подібні роботи слід проводити на місці експлуатації. У разі необхідності фахівці повинні виїхати на місце і провести цю роботу, але в більшості випадків ці операції виробляє експлуатаційний персонал.

5. Покриття вапном (накипом). Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв є рідина (як у нашому випадку – вода) з невідповідним для даного процесу хімічним складом (наприклад, надмірно мінералізована). Варіанти вирішення: очистка за допомогою спеціальних хімічних засобів.

Надійність ліквідації поверхневих дефектів контролюють магнітною або ультразвуковою дефектоскопією. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження.

Усі поверхні ущільнювачів слід контролювати магнітною або ультразвуковою дефектоскопією на відсутність тріщин. Після ремонту конденсатора його піддають гідравлічним або пневматичним випробуванням.

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

5 Охорона праці

Нормування та розрахунок природного і штучного освітлення.

Освітлення відіграє важливу роль у житті людини. Біля 90 % інформації сприймається через зоровий канал, тому правильно виконане раціональне освітлення має важливе значення для виконання всіх видів робіт. Світло є не тільки важливою умовою роботи зорового аналізатора, але й біологічним фактором розвитку організму людини в цілому. Для людини день і ніч, світло і темрява визначають біологічний ритм – бадьорість та сон. Отже, недостатня освітленість або її надмірна кількість знижують рівень збудженості центральної нервової системи і, природна активність усіх життєвих процесів. Раціональне освітлення є важливим фактором загальної культури виробництва.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути трьох видів:

1. Природне – це пряме або відбите світло сонця (небосхилу), що освітлює приміщення через світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях.

2. Штучне – здійснюється штучними джерелами світла (лампами розжарювання або газорозрядними) і призначене для освітлення приміщень у темні години доби, або таких приміщень, які не мають природного освітлення.

3. Сполучене (суміщене) – одночасне поєднання природного і штучного освітлення.

Природне освітлення виробничих приміщень може здійснюватися світлом неба або прямим сонячним світлом через світлові прорізи (вікна) в зовнішніх стінах або через ліхтарі (аераційні, zenітні), що встановлені на покрівлях виробничих будівель.

Залежно від призначення промислові будівлі можуть бути одноповерхові, багатоповерхові та різних розмірів і конструкцій. Залежно від цього і вимог технологічного процесу можуть бути застосовані такі види природного освітлення [18]:

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

1. Бокове одностороннє або двостороннє, коли світлові отвори (вікна) знаходяться в одній або в двох зовнішніх стінах.

2. Верхнє, коли світлові отвори (ліхтарі) знаходяться у верхньому перекритті будівлі.

3. Комбіноване, коли застосовується одночасно бокове і верхнє освітлення.

Протягом світлого часу доби зовнішня освітленість постійно змінюється, що пов'язано зі зміною положення Сонця на небозводі, наявністю хмарності і її типом тощо. Отже, нормувати природну освітленість приміщень в абсолютних одиницях освітленості – люксах – не раціонально. Тому за нормовану величину природної освітленості прийнято брати величину D , %:

$$D = \frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{з}}} \cdot 100, \quad (5.1)$$

де $E_{\text{в}}$ – освітленість, створювана в розрахунковій точці робочої площини (площини, на якій лежить об'єкт зорової роботи) усередині приміщення природним світлом, що пройшло через світлопрорізи, лк;

$E_{\text{з}}$ – зовнішня горизонтальна освітленість під цілком відритим небозводом, заміряна у той же момент часу, що й $E_{\text{в}}$, лк.

Ця величина називається коефіцієнтом природної освітленості (КПО) daylight factor. Вона оцінює не величину освітленості, а ту частку світла, що потрапляє до приміщення через світлопрорізи, від загальної кількості світла, випромінюваного небозводом [19].

Нормування КПО залежить від виду природного освітлення та ряду супутніх факторів.

При боковому освітленні нормується мінімальне значення коефіцієнта природної освітленості в точці, яка розташована на відстані 1 м від стіни – найбільш віддаленої від світлових отворів, але не більше ніж 12 м від них.

При двосторонньому освітленні нормується мінімальний КПО в точці посередині приміщення.

При верхньому і комбінованому освітленні нормується середнє значення КПО.

Під час нормування природної освітленості визначається найменший розмір об'єкта розрізнення, відповідний йому розряд зорової роботи та нормований коефіцієнт природної освітленості.

Розмір об'єкта розрізнення – найменший розмір, який має чітко розрізняти око під час виконання конкретної роботи (наприклад, товщина ліній шрифту під час читання тексту чи товщина ліній креслення під час його виконання, тощо).

Нормовані значення КПО залежать від розряду зорової роботи окремо для бокового освітлення і для верхнього або комбінованого. Розряд зорових робіт залежить від найменшого розміру об'єкта розрізнення (табл. 5.1). Усього 8 розрядів.

Таблиця 5.1 – Розряди зорової роботи

Розряд зорової роботи	Розмір об'єкта розрізнення	Характеристика роботи
I	< 0,15мм	найвищої точності
II	0,15...0,3мм	дуже високої точності
III	0,3...0,5мм	високої точності
IV	0,5...1мм	середньої точності
V	1...5мм	малої точності
VI	> 5мм	дуже малої точності
VII	> 0,5мм	робота з матеріалами, що світяться
VII		загальне спостереження за ходом технологічного процесу

Нормовані значення КПО залежать від поясу світлового клімату. Світловий клімат – сукупність умов природного освітлення в тій чи іншій місцевості за період понад 10 років.

Нормовані значення КПО для приміщень, розташованих в різних районах, визначаються за формулою:

$$e_n = em, \quad (5.2)$$

де e – значення КПО за табл. 5.2;

m – коефіцієнт світлового клімату за табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Значення коефіцієнта світлового клімату

Світлові прорізи	Орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту	Коефіцієнт світлового клімату, m	
		Крим, Одеська обл.	Решта території України
У зовнішніх стінах будинків	ПН	0,85	0,90
	ПНС, ПНЗ	0,85	0,90
	З, С	0,80	0,85
	ПДС, ПДЗ	0,80	0,85
	ПД	0,75	0,85

Примітка: ПН – північ; ПНС – північ-схід; ПНЗ – північ-захід; С – схід; З – захід; ПД – південь; ПДС – південь-схід; ПДЗ – південь-захід

Нерівномірність природного освітлення – відношення середнього значення КПО до його найменшого значення у межах даного приміщення.

Нерівномірність природного освітлення виробничих приміщень не повинна перевищувати 3:1. Нерівномірність природного освітлення не нормується для приміщень з бічним освітленням, у разі виконання робіт VII і VIII розрядів при верхньому або комбінованому освітленні та для допоміжних приміщень.

Таблиця 5.3 – Норми штучного та природного освітлення виробничих приміщень (витяг з ДБН В. 2.5–28–2006)

Характеристика зорових робіт	Найменший розмір об'єкта розпізнавання, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Штучне освітлення	Природне освітлення
				Освітленість, лк	КПО, %
				при загальному освітленні	при боковому освітленні
Середньої точності	0,5–1	IV	а	300	1,5
			б	200	
			в	200	
			г	200	
Малої точності	1–5	V	а	300	1,0
			б	200	
			в	200	
			г	200	
Груба	Більше 5	VI	–	200	1,0

Розрахунок природного освітлення полягає у визначенні площі світлових прорізів (вікон, ліхтарів) за формулами [20]:

$$S_B = (e_H \cdot K_{\text{буд}} \cdot K_3 \cdot \eta_B S_{\text{п}}) / (\tau_0 \cdot r_1 \cdot 100); \quad (5.3)$$

$$S_{\text{ліхт}} = (e_H \cdot K_3 \cdot \eta_{\text{л}} S_{\text{п}}) / (\tau_0 \cdot r_2 \cdot K_{\text{ф}} \cdot 100), \quad (5.4)$$

де $S_{\text{ліхт}}$ і S_B – площі ліхтарів, вікон, м²;

e_H – нормоване значення КПО, %;

$S_{\text{п}}$ – площа підлоги, м²;

$K_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон напроти стоячими будівлями, приймається в межах 1...1,5;

K_3 – коефіцієнт запасу, приймається 1,5...2;

r_1, r_2 – коефіцієнти, що враховують підвищення КПО за рахунок відбиття відповідно при боковому і верхньому освітленні;

η_B – світлова характеристика вікна;

η_L – світлова характеристика ліхтаря;

K_Φ – коефіцієнт, що враховує тип ліхтаря.

τ_0 – загальний коефіцієнт світло пропускання

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (5.5)$$

де $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – коефіцієнти, що приймаються за таблицею; $\tau_5 = 0,9$.

Штучне освітлення поділяється у залежності від призначення на робоче, аварійне, евакуаційне та охоронне. Розрізняють такі системи штучного освітлення: загальне, місцеве та комбіноване.

Система загального освітлення призначена для освітлення всього приміщення, вона може бути рівномірною та локалізованою. Загальне рівномірне освітлення встановлюють у цехах, де виконуються однотипні роботи невисокої точності по усій площі приміщення при великій щільності робочих місць. Загальне локалізоване освітлення встановлюють на поточних лініях, при виконанні робіт, різноманітних за характером, на певних робочих місцях, при наявності стаціонарного затемнюючого обладнання, та якщо треба створити спрямованість світлового потоку.

Місьцеве освітлення призначається для освітлення тільки робочих поверхонь, воно може бути стаціонарним (наприклад, для контролю за якістю продукції на поточних лініях) та переносним (для тимчасового збільшення освітленості окремих місць або зміни напрямку світлового потоку при огляді, контролі параметрів, ремонті). Світильники місцевого освітлення повинні бути зручними у користуванні, а, головне, безпечними при експлуатації.

Категорично забороняється застосовувати лише місцеве освітлення, оскільки воно створює значну нерівномірність освітленості, яка підвищує втомленість зору та призводить до розладу нервової системи. Таке освітлення на виробництві є допоміжним до загального.

Комбіноване освітлення складається з загального та місцевого. Його передбачають для робіт IVIII розрядів точності за зоровими параметрами, та коли необхідно створити концентроване освітлення без утворення різких тіней [18].

Основним нормативним документом, що визначає вимоги до проектування штучного освітлення є ДБН В. 2.5–28–2006, згідно з яким для штучного освітлення нормується абсолютне значення освітленості в залежності від розряду, підрозряду зорових робіт (їх чотири а, б, в, г), контрасту об'єкту розрізнення з фоном і характеристики фону. Найбільша нормована освітленість для Ia розряду – 5000 лк, найменша для VIIIв розряду – 20 лк. Під час виконання в приміщенні робіт I – IV розрядів необхідно застосовувати системи комбінованого освітлення. Освітленість системи комбінованого освітлення є сумою освітленостей від загального і місцевого освітлення [21].

На промислових підприємствах робоче освітлення більшості виробничих приміщень відповідає III...VIII розрядам зорових робіт. Приміщення в основному обладнуються системами комбінованого освітлення. На поточних лініях воно локалізоване.

Крім робочого освітлення, нормами передбачається встановлення аварійного, евакуаційного та охоронного освітлення.

Аварійне освітлення призначається для продовження робіт там, де у випадку відсутності робочого освітлення може порушуватися технологія, виникнути небезпека вибуху, пожежі, отруєння людей, наприклад, компресорні, котельні, пічні відділення тощо. Найменша освітленість робочих поверхонь при цьому повинна становити 5 % від робочого освітлення, але не менше 2 лк у приміщенні і 1 лк на території підприємства.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

Евакуаційне освітлення передбачають для безпечної евакуації людей із приміщень у місцях, небезпечних для проходу, сходових клітках, а також на шляху евакуації людей із приміщення або території. Це освітлення повинно забезпечувати освітленість 0,5 лк на підлозі або сідцях і 0,2 лк на землі. Для цього застосовуються світильники аварійного освітлення.

Охоронне освітлення передбачають уздовж території в нічний час, або чергове в приміщенні. Для цього виділяють частину світильників робочого або аварійного освітлення, які забезпечують освітленість на рівні землі або підлоги не менше 0,5 лк [18].

Згідно з ДБН В. 2.5–28–2006 для загального штучного освітлення приміщень слід використовувати, як правило, розрядні джерела світла, віддаючи перевагу за однакової потужності джерелам світла з найбільшою світловою віддачею і строком служби. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп.

У виборі штучних джерел освітлення до уваги приймаються показники, головними з яких є світловий потік, передача кольорів, розподіл яскравості. Кожен цих показників має чіткі цифрові значення, так, в ДБН В. 2.5–28–2006 нормується показник осліпленості Р, коефіцієнт пульсації Кп, %, індекс кольоропередачі Ra.

Найбільш широкого використання для забезпечення штучного освітлення набули розрядні лампи (люмінесцентні, ртутні, високого тиску дугові типу ДРЛ та ін.), які випромінюють світло в результаті електричного розряду в атмосфері інертних газів і парів металів, а також за рахунок явища люмінесценції.

Розрядні лампи відрізняються низкою переваг: випромінюють світло, близьке до природного; мають тривалий термін дії – 5...20 тисяч годин; велика світловіддача 30...80 лм/Вт; низька температура поверхні колби; низька потужність живлення (трубчаста люмінесцентна лампа потужністю 23 Вт або компактна люмінесцентна лампа потужністю 10 Вт здатна замінити лампу розжарювання потужністю 100 Вт).

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

Перспективним напрямком в плані енергозбереження є впровадження світлодіодних ламп. В Україні затверджена Державна цільова науково-технічна програма “Розробка і впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі” (постанова КМУ №632 від 9.07.2008). Світлодіодні енергозберігаючі лампи призначені для використання як на вулиці так і усередині приміщення, поєднують у собі традиційне виконання (цоколь E-27, E-14, MR-16, GU-10) насиченість та чистоту кольору і високу надійність.

На теперішній час, ефективність світлодіодів, придатних для функціонального освітлення досягла 90Лм/Вт, за ефективності люмінесцентних ламп 50-100 Лм/Вт (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Значення ефективності штучних джерел світла

Загальні характеристики	Типове значення ефективності світлового потоку, Лм/Вт ефективн
Лампи розжарювання	10–18
Галогенні лампи	15–20
Компактні люмінесцентні лампи (разом із баластом)	35–60
Лінійні люмінесцентні лампи (разом із баластом)	50–100
Метало-галогенні (разом із баластом)	50–90
Світлодіоди, >4000 К (разом із драйвером)	60–92*
*Розбіжність у показниках пов’язана із типом лампи і типом ПРА (стартерів, баластів), які в них використовуються, втрати енергії на яких варіюються в широких межах.	

З точки зору досягнення необхідного рівня освітлення за мінімального споживання електроенергії, найбільш ефективними на сьогоднішній день є

люмінесцентні лампи. Але більш надійними і безпечними, як для здоров'я людини, так і для навколишнього середовища є світлодіодні лампи [21].

Для розрахунку загального рівномірного штучного освітлення приміщень застосовується метод коефіцієнта використання світлового потоку, за допомогою якого визначають кількість світильників для даного приміщення.

Порядок проведення розрахунків [22].

1. Розраховують приблизну кількість світильників загального освітлення у приміщенні за формулою:

$$N = (A \cdot B) / L^2, \quad (5.6)$$

де A і B – довжина і ширина приміщення, м;

H_p – висота підвісу світильників над рівнем робочої поверхні, м:

$$H_p = H - h_p - h_c, \quad (5.7)$$

де $h_p = 0,8$ м, висота робочої поверхні над підлогою;

$h_c = 0,5$ м, відстань світлового центру світильника від стелі.

Або:

$$H_p = L / 1,5, \quad (5.8)$$

де L – відстань між рядами світильників; оптимальна відстань між світильником при багаторядному розташуванні, м, визначається:

$$L = 1,5 \cdot H_p. \quad (5.9)$$

2. Визначають світловий потік однієї лампи світильника Φ за формулою:

$$\Phi = (E_H \cdot S \cdot Z \cdot K_3) / (N \cdot n \cdot \eta), \quad (10)$$

де E_H – нормована освітленість, лк, визначається за табл. 5.6 для відповідного розряду зорової роботи;

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

Таблиця 5.6 – Коефіцієнти використання світлового потоку (η) світильників із газорозрядними лампами та лампами розжарювання [22]

Тип світильника	УПМ-15			ЛПО-01		
	$\rho_{\text{стелі}}, \%$	70	50	30	70	50
$\rho_{\text{стін}}, \%$	50	30	10	50	50	30
i	Коефіцієнти використання, $\eta, \%$					
0,5	22	20	17	25	23	20
0,6	32	26	23	31	29	24
0,7	39	34	30	36	34	28
0,8	44	38	34	39	37	32
0,9	47	41	37	42	41	35
1,0	49	43	39	46	44	38
1,1	50	45	41	48	46	41
1,25	52	47	43	51	49	44
1,5	55	50	46	55	53	49
1,75	58	53	48	58	57	52
2,0	60	55	51	61	59	55
2,25	62	57	53	63	62	57
2,5	64	59	55	65	64	59
3,0	66	62	58	68	66	62
3,5	68	64	61	70	68	64
4,0	70	66	62	71	69	66
5,0	73	69	64	75	72	70

S – площа приміщення, що освітлюється, м^2 ;

K_3 – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп, визначається за довідником (для кабінетів, робочих приміщень громадських будівель, торговельних залів тощо; $K_3 = 1,5$ при освітленні газорозрядними лампами, $K_3 = 1,3$ при освітленні лампами розжарювання);

N – кількість світильників (розрахована попередньо за формулою 5.6)

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення ($Z = 1,15$ для ламп розжарювання та ДРЛ; $Z = 1,1$ для люмінесцентних ламп);

n – кількість ламп в світильнику (для світильників з газорозрядними лампами, прийняти тип світильника ЛПО-01 із кількістю ламп $n = 2$); для світильників з лампами розжарювання прийняти тип світильника УПМ-15 відповідно із $n = 1$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, визначається за світлотехнічною табл. 5.1 у залежності від індексу приміщення, коефіцієнтів відбиття стелі, стін для світильників з люмінесцентними лампами. Значення η визначають у залежності від індексу приміщення i :

$$i = (A \cdot B) / (H_p \cdot (A + B)). \quad (5.11)$$

3. Визначивши світловий потік лампи Φ , за табл. 5.2 вибирають найближчу стандартну лампу, причому її світловий потік не повинен відрізнятись від розрахункового більше ніж на $(-10) - (+20) \%$.

Розраховують необхідну кількість світильників у приміщенні N_H за формулою:

$$N = E_H S \cdot K_3 \cdot Z / (\Phi \cdot n \cdot \eta). \quad (5.12)$$

4. Розраховують очікувану освітленість у приміщенні E_p за необхідної кількості світильників N_H і відомих всіх інших значеннях за формулою:

$$E_p = (\Phi \cdot N \cdot n \cdot \eta) / (S \cdot Z \cdot K_3). \quad (5.13)$$

Список літератури

1. Берлин М.А. Переработка нефтяных и природных газов / М.А. Берлин, В.Г. Гореченков, Н.П. Волков. – Москва : Химия, 1981. – 472 с.
2. Сидягин А.А. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения / А.А Сидягин, В.М. Косырев. – Н.Новгород : Наука, 2009 – 150 с.
3. Сікорський В.О. «Інтенсифікація конвективного теплообміну при поперечному омиванні трубного пучка апарату повітряного охолодження : магістерська робота : 8.144 / В.О. Сікорський. – Київ, 2018. – 69 с.
4. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
5. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения / Н.П. Крюков. М.: Химия, 1983. – 168 с.
6. Бахмат Г.В. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях / Г.В. Бахмат, Н.В. Еремин, О.А. Степанов. СПб. : Недра, 1994. – 512 с.
7. Кузнецов А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.
8. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р.Т. Эмирджанов, Р.А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
9. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
10. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

11. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

12. 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.

13. 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.

14. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

15. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

16. 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.

17. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.

18. Системи природного та штучного освітлення підприємств галузі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/297860/mod_resource/content/2/Лекція_8_1_Освітлення_нова.pdf.

19. Нормування природного, суміщеного та штучного освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://org2.knuba.edu.ua/pluginfile.php/67002/mod_resource/content/1/Лекція%202_.pdf

					ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

20. Природне освітлення, нормування, розрахунок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://сро.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/760.html>.

21. Штучне освітлення, нормування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://сро.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/770.html>.

22. Розрахунок штучного освітлення. Вибір джерела штучного освітлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://сро.stu.cn.ua/Oksana/praktikum/80.html>.

					<i>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63