

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет технологій тваринництва та продовольства

Кафедра харчових технологій

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання та написання
курсової роботи з навчальної
дисципліни

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»

Полтава – 2024

Методичні рекомендації до виконання курсової роботи з обов'язкової навчальної дисципліни «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв» для здобувачів вищої освіти ОПП Біотехнології та біоінженерія спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія СВО бакалавр. Полтава: ПДАУ, 2024. 44 с.

Розробник:

Галина ДУБОВА, доцент кафедри харчових технологій Полтавського державного аграрного університету, к. т. н., доцент

Рецензент:

Олег ІВАНОВ, доцент кафедри будівництва та професійної освіти Полтавського державного аграрного університету, кандидат технічних наук.

Схвалено на засіданні кафедри біотехнології та хімії
Протокол від 2 вересня 2024 р, №1.

Схвалено радою із якості вищої освіти
спеціальності «162 Біотехнології та біоінженерія»
протокол від 3 вересня 2024 р №1.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	5
ТЕМАТИКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ	7
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕННЯ ТЕПЛООБМІННИКІВ.....	17
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	27
ПОРЯДОК ПОДАННЯ ТА ЗАХИСТУ РОБОТИ.....	32
ДОТРИМАННЯ ПРАВИЛ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ	32
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	33
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	35
ДОДАТКИ.....	37

ВСТУП

Освітня компонента «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» дає теорію основних технологічних процесів, основи методики розрахунку апаратів, їх раціональну класифікацію, а курсова робота виконується з метою закріплення знань, набуття навичок здійснювати обґрунтування та вибір відповідного технологічного обладнання і графічно зображувати технологічний процес, оформлювати технічну документацію, а також самостійно користуватись спеціальною літературою, довідниками. Курсова робота завершує вивчення курсу і підсумовує результати підготовки.

Виконання курсової роботи сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти наступних фахових компетентностей та забезпечує досягнення програмних результатів навчання:

інтегральна:

- Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю у біотехнології та біоінженерії, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів біотехнології та біоінженерії.

загальні:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

фахові:

- Здатність здійснювати аналіз нормативної документації, необхідної для забезпечення інженерної діяльності в галузі біотехнології.
- Здатність обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для реалізації та контролю виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.
- Здатність складати технологічні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.
- Здатність складати апаратурні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

програмні результати навчання:

- Базуючись на знаннях про закономірності механічних, гідромеханічних, тепло- та масообмінних процесів та основні конструкторські особливості, вміти обирати відповідне устаткування у процесі проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення для забезпечення їх максимальної ефективності.
- Вміти складати матеріальний баланс на один цикл виробничого процесу, специфікацію обладнання та карту постадійного контролю з наведенням контрольних точок виробництва.
- Вміти здійснювати обґрунтування та вибір відповідного технологічного обладнання і графічно зображувати технологічний процес відповідно до вимог нормативних документів з використанням знань, одержаних під час практичної підготовки.
- Організовувати інноваційні сільськогосподарські біотехнологічні виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курсова робота з дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» є самостійною інженерною роботою здобувачів вищої освіти та займає особливе місце в системі їх підготовки за освітньо-професійною програмою «Біотехнології та біоінженерія спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія. Виконання курсової роботи закріплює та узагальнює знання, які здобувачі отримали під час аудиторних занять. У процесі виконання курсової роботи здобувач виконує комплексну задачу з дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв».

Основними завданнями курсової роботи є:

- поглиблення, узагальнення і систематизація знань з обов'язкової навчальної дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв»;
- підвищення загального рівня фахової поінформованості здобувача вищої освіти;
- набуття досвіду самостійного виконання робіт на основі сформованих теоретичних знань;
- набуття вмінь опрацювання інформаційних джерел, користування нормативно-правовим та довідковим матеріалом, викладати власну точку зору на проблемні питання та робити обґрунтовані висновки щодо вибору обладнання виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення;
- формування у студентів здібності використовувати здобуті теоретичні знання в процесі аналізу та узагальнення статистичного матеріалу, оформлювати результати досліджень з використанням таблиць, графіків, схем, діаграм, рисунків;
- оволодіння навичками стилістично коректного літературного викладення результатів власних досліджень тощо.

Мета курсової роботи полягає у засвоєнні та поглибленні здобувачами вищої освіти теоретичних знань, оволодінні навичками самостійного дослідження, вмінні практично оцінювати ситуації, робити об'єктивні висновки і пропозиції з виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

У процесі виконання курсової роботи здобувач розвиває здібності до інженерної творчості, раціоналізації та винахідництва отримує навички роботи з довідковою літературою, вміння користуватись таблицями, графіками, технічною документацією.

На курсову роботу з дисципліни «Процеси і апарати біотехнологічних виробництв» відводиться 90 годин навчального навантаження, що відповідає 3 кредитам ЄКТС.

ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ

Завдання до курсових робіт наведені у табл. 1, 2, 3. Викладач при видачі завдання на курсову роботу повідомляє студентові тільки назву апарату. Інші початкові дані студент повинен узяти з таблиць згідно зі своїм особистим шифром (дві останні цифри номера залікової книжки).

Таблиця 1 – Варіанти завдань для розрахунку кожухотрубчастого теплообмінника

Назва апарату		Кожухотрубчастий теплообмінник для нагрівання продукту										
Варіант		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Остання цифра шифру	Тип теплообмінника	гор	гор	гор	верт	верт	гор	гор	верт	верт	гор	
	Продукт	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	Продуктивність апарату, кг/с	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,4	2,6	1,9	2,0	
	Теплоносій	суха насичена пара										
	Найменування											
	Тиск, МПа	0,2	0,19	0,24	0,22	0,2	0,19	0,18	0,21	0,22	0,24	
Передостання цифра шифру	Температура, °C	Початкова	6	20	13	16	20	18	13	16	9	18
		Кінцева	80	60	81	62	80	59	87	61	92	60
	Номер рисунка	1		2			3			4		

Таблиця 2 – Варіанти завдань для розрахунку двотрубного підігрівника

Назва апарату		Двотрубний підігрівник типу “труба у трубі”									
Варіант		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гарячий теплоносій		суха насичена водяна пара									
Остання цифра шифру	Тиск, МПа	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
Передостання цифра шифру	Продукт	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
	Продуктивність апарату, кг/с	1	0,8	0,6	1	0,7	0,65	0,9	1,0	1,1	0,9
	Температура, °C	початкова	20	30	33	40	35	35	40	32	33
кінцева		60	70	67	60	65	65	60	68	67	66

Таблиця 3 – Варіанти завдань для розрахунку підігрівника

Назва апарату		Підігрівник									
Варіант		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Остання цифра шифру	Тип апарату	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
	Теплоносій	Суха насичена водяна пара									
	Тиск, МПа	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24	0,26	0,14	0,16
Передостання цифра шифру	Продукт	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
	Продуктивність, кг/с	10	2	3	8	2,5	3,5	11	4	3,5	15
	Температура, °C	початкова	30	35	33	40	40	35	35	40	40
кінцева		70	65	67	60	60	65	65	60	60	65

*Продукт: 1- вода, 2 – культуральна рідина, 3 – поживне середовище

Тему здобувачі вищої освіти обирають самостійно за погодженням із призначеним керівником роботи, спираючись на рекомендовану тематику. Здобувач вищої освіти може подавати власні пропозиції щодо тематики у завданні до курсової роботи на розгляд кафедри.

За обраною темою курсової роботи складається відповідне технічне завдання за підписом здобувача та керівника, тематика якого затверджується протоколом засідання кафедри (додаток А). Після затвердження теми курсової роботи здобувач повинен розпочати її виконання.

Загалом виконана курсова робота має складатися з двох частин: розрахунково-пояснювальної записки та графічного креслення.

Розрахунково-пояснювальна записка (РПЗ) повинна містити всі необхідні розрахунки, які мають бути розроблені та супроводжені розрахунковими схемами й необхідними ілюстраціями (за потреби), а також обґрунтування та пояснення щодо прийнятих конструктивних рішень щодо використаних стандартних виробів.

Графічна документація у курсовій роботі має складатися із креслення загального виду машини (установки, агрегату), а також специфікації деталей, що входять до її складу.

СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Приблизний обсяг і склад РПЗ наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Основні розділи РПЗ курсової роботи та їх обсяг

Розділи	Кількість сторінок
Вступ.....	2-3
1.Опис теплообмінного апарату і матеріального балансу	3-4
2.Місце та призначення об'єкта розробки.....	1-2
3.Розрахунки	
3.1.Тепловий баланс	1-2
3.2.Розрахунок основних робочих елементів.....	1-2
3.3.Конструктивні розрахунки.....	10-12
3.4.Гідравлічний розрахунок.....	5-6
3.5.Розрахунок теплової ізоляції.....	1
4.Технічні показники	1
5.Умови безпечної експлуатації та контрольні точки процесу	2
Висновки.....	1
Список використаної літератури.....	1-2
Всього сторінок	29-37

Робота над розрахунково-пояснювальною запискою містить у собі опис конструкції та принцип дії розробленого автором об'єкта, обґрунтування технічних та техніко-економічних рішень тощо, а також розрахунки параметрів та величин.

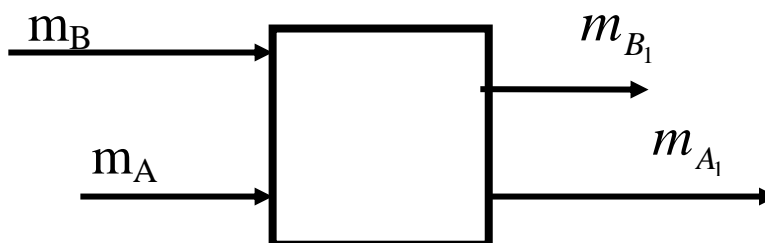
Зміст вступу. У вступі необхідно:

- коротко описати суть і призначення даного процесу, навести порівняльну характеристику апаратів;
- обґрунтувати необхідність та актуальність виконання розробки, а також прийняті рішення;
- спрогнозувати майбутні результати, до яких приведе реалізація об'єкта проектування;
- оцінити сучасний стан інженерних розробок по даній темі та суміжним питанням,
- висвітити актуальність теми та новизну запропонованих рішень.

Опис теплообмінного апарату і матеріального балансу. В цьому розділі необхідно проаналізувати об'єкт розробки з посиланнями на позначення позицій в кресленні. Опис має стосуватися, головним чином, будови, принципу дії, конструктивних відмінностей об'єкта проектування, технологічних процесів, що в ньому відбуваються, і його техніко-економічних показників.

Апарати, призначені для нагрівання й охолодження, називають теплообмінниками. За технологічним призначенням та конструктивним оформленням такі апарати досить різноманітні. Як теплоносій найширше застосовують насичену водяну пару, при конденсації якої виділяється значна кількість теплоти (2260...2020 кДж на 1 кг пари при абсолютних тисках 0,1... 1,0 МПа).

Матеріальний баланс в науці про процеси та апарати розуміють як закон збереження маси. Цей закон читається так: «Кількість матеріалів, що надходять в апарат, повинна дорівнювати кількості кінцевих продуктів, отриманих в результаті проведення процесу». Нехтуючи втратами продукту, що лишаються на стінках апарату під час проходження останнього через нього, схема матеріального балансу має такий вигляд:



де: m_B - маса продукту, що надійшла в апарат, з температурою $t, ^\circ C$;

m_A - маса водяної пари на вході в апарат, з температурою $t, ^\circ C$;

m_{A_1} - маса водяної пари на виході з апарату, з температурою $t_1, ^\circ C$;

m_{B_1} - маса продукту на виході з апарату, з температурою $t_1, ^\circ C$.

При чому $m_A = m_{A_1}$; $m_B = m_{B_1}$.

Розрізняють два способи нагрівання насиченою водяною парою: відкритою і закритою. При нагріванні відкритою («гострою») парою її вводять безпосередньо в рідину, яку нагрівають. Пара конденсується і віддає теплоту рідині, яка нагрівається. Конденсат змішується з рідиною, внаслідок чого їхні температури вирівнюються. У разі введення пари через барботер (трубу з рядом невеликих отворів) одночасно з нагріванням відбувається перемішування рідини.

Витрату «гострої» пари визначають із теплового балансу:

$$mct_1 + Di'' = mct_2 + Dc_{\text{в}}t_2 + Q_{\text{втр}}, \quad (1)$$

звідки

$$D = \frac{mc(t_2 - t_1) + Q_{\text{втр}}}{i'' - c_{\text{в}}t_2},$$

де m – масова витрата рідини, яку нагрівають, кг/с; c , $c_{\text{в}}$, – питомі теплоємності відповідно рідини і конденсату (води), кДж/(кг×К); t_1 , t_2 – температури рідини відповідно до і після нагрівання, °С; D – витрата нагрівної пари, кг/с; i'' – ентальпія нагрівної пари, кДж/кг; i' – ентальпія конденсату, кДж/кг; $Q_{\text{втр}}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище, кВт.

Нагрівання відкритою парою використовують досить рідко, тому що при цьому рідина, яку нагрівають, розбавляється конденсатом – водою. Звичайно цей спосіб використовують для нагрівання води і водних розчинів. Значно частіше на практиці нагрівання насиченою парою здійснюють через стінку. Нагрівна пара повністю конденсується і виводиться із теплообмінника у вигляді конденсату.

Місце та призначення об'єкта проектування в технологічній схемі. До процесів належать нагрівання або охолодження продуктів в усталених потоках з використанням стандартної теплообмінної апаратури, наприклад, охолодження стерильного поживного середовища в теплообмінниках типу “труба у трубі” або інших типів, нагрівання нативних розчинів у вакуум-випарниках, в процесі ферментації тощо. В цьому розділі необхідно навести принципову технологічну схему об'єкта із вказівкою основних технологічних стадій та операцій і їх напрямків. Як відомо, виробництво будь-якого продукту – це послідовне ведення технологічних процесів. Вони виконуються у відповідних апаратах і машинах. Графічне зображення послідовності цих процесів називається технологічною схемою. Розрізняють принципові технологічні та апаратурно-технологічні схеми.

На принциповій технологічній схемі в прямокутниках записують назви основних технологічних стадій і операцій, а їх напрям і послідовність зображають векторами (стрілками) із зазначенням вхідних, отриманих і побічних продуктів й відходів та їх основних параметрів. Принципову технологічну схему необхідно в пояснювальній записці помістити перед розрахунком матеріальних і теплових потоків.

Рекомендації до виконання розрахунків. Розрахунки викладають ретельно і лаконічно з достатньо аргументованими посиланнями на джерела інформації (літературу, нормативи, державні стандарти тощо).

Усі розрахунки необхідно оформити за визначеним планом. Вони повинні мати заголовок із назвою елемента розрахунку, розрахункову схему, хід розрахунку. В процесі розрахунку пояснюють і обґрунтовують вибрані параметри. Розрахунки супроводжують ескізами та схемами з наведенням розрахункових розмірів.

Умовні літерні позначення математичних і фізичних величин, параметрів тощо, а також умовні графічні позначення мають відповідати встановленим стандартам. Кожне значення в розрахунках наводиться тільки з тим ступенем точності, який є достовірним при вимірюванні існуючими технічними засобами.

Під час розрахунків студент повинен користуватися виключно системою

одиниць СІ. Параметри процесу, стандартні конструктивні елементи апарату (крім зумовлених завданням) студент вибирає за нормативними даними виробництва з посиланням на державний стандарт, технічні умови, нормалі тощо. На джерело робиться посилання при виборі методики розрахунку і розрахункових формул. Усі необхідні для розрахунку формули наводять у загальному вигляді з відповідним посиланням на джерела літератури, із якої вони взяті.

У разі відсутності розрахункових формул студент повинен самостійно вирішити, як обчислювати або вибирати необхідні значення для розробки об'єкта проектування.

Формули розміщують посередині рядка. При використанні загально відомих формул на літературні джерела можна не посилатися. Літерні позначення (символи), що входять до формул, слід розшифровувати безпосередньо після формули з вибором числового значення, коротким його обґрунтуванням, посиланням на літературне джерело і наведення одиниць. Кожен параметр проставляють з нового рядка в послідовності, яка наведена у формулі. Перший рядок розшифровки має починатися зі слова “де”. Символи, що повторно зустрічаються у формулах, не розшифровуються.

Формули нумерують арабськими цифрами з правого боку аркуша на рівні формули в круглих дужках, наприклад:

$$F = \frac{Q}{\Delta t K}, \quad (2)$$

де: F - площа поверхні, m^2 ;

Q - теплове навантаження, $Вт$;

Δt - різниця температур, $^{\circ}C$;

K - коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(m^2 \cdot K)$.

Далі у формули в тому самому порядку, в якому наведені літерні позначення, підставляють числові значення параметрів, а після обчислення отримують остаточний результат з записом одиниць (проміжні обчислення не наводять).

У разі посилання в тексті на раніше наведені формули, порядковий номер останніх проставляють у круглих дужках, наприклад: „... в формулі (1)”.

Обчислення починається зі складання теплового балансу, для проведення якого необхідно спочатку знайти за довідниками фізико-технічні властивості речовин, що переробляються.

Основні фізико-технічні параметри робочих середовищ (густину, в'язкість, теплоємність, тепловміст та ін.) знаходять за довідковою літературою. Однак інколи в літературі наводяться фізико-технічні параметри лише чистих речовин. У цьому випадку для суміші речовин деякі параметри орієнтовно можна знайти на основі закону адитивності. Наприклад, відповідно питома теплоємність і коефіцієнт теплопровідності:

$$c = c_1 a_1 + c_2 a_2 + \dots + c_n a_n; \quad (3)$$

$$\lambda = \lambda_1 a_1 + \lambda_2 a_2 + \dots + \lambda_n a_n, \quad (4)$$

де: c_1, c_2, \dots, c_n – питома теплоємність компонентів, $Дж/(кг \cdot K)$;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ – теплопровідність компонентів, $Вт/(м \cdot K)$;

a_1, a_2, \dots, a_n – масові частки компонентів.

Густина суміші рідин (що не мають властивості стискання при змішуванні):

$$\rho = \rho_1 b_1 + \rho_2 b_2 + \dots + \rho_n b_n, \quad (5)$$

де: $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – густина компонентів, кг/м^3 ;

b_1, b_2, \dots, b_n – об'ємні частки компонентів.

В'язкість суміші рідин:

$$\lg \mu = m_1 \lg \mu_1 + m_2 \lg \mu_2 + \dots + m_n \lg \mu_n, \quad (6)$$

де: $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ – в'язкість компонентів суміші, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

m_1, m_2, \dots, m_n – молярні частки компонентів.

В'язкість розбавлених суспензій:

$$\mu = \mu_p (1 + 2,5 \varphi), \quad (7)$$

де: μ_p – в'язкість чистої рідини, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

φ – об'ємна частка твердої фази у суспензії.

При виконанні теплових розрахунків коефіцієнти тепловіддачі і теплопередачі знаходять з критеріальних і емпіричних рівнянь, які наводять у повному обсязі.

Порядок розрахунку теплообмінника (на прикладі кожухотрубчастого теплообмінника)

Тепловий розрахунок.

1. Теплове навантаження теплообмінника

Теплове навантаження Q теплообмінника визначають з рівняння теплового балансу, яке має вигляд:

у разі передачі теплоти від рідини до рідини:

$$M_1 c_1 t_{1n} + M_2 c_2 t_{2n} = M_1 c_1 t_{1k} + M_2 c_2 t_{2k} + Q_{\text{в}}, \quad (8)$$

звідки: $Q = M_1 c_1 (t_{1n} - t_{1k}) = M_2 c_2 (t_{2k} - t_{2n}) + Q_{\text{в}}$,

де:

M_1 і M_2 – витрата гарячого і холодного теплоносіїв, кг/с ;

c_1, c_2 – середня масова теплоємність теплоносіїв, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

t_{1n}, t_{1k} – температура, відповідно, початкова і кінцева гарячого теплоносія, $^{\circ}\text{C}$;

t_{2n}, t_{2k} – температура, відповідно, початкова і кінцева холодного теплоносія, $^{\circ}\text{C}$;

$Q_{\text{в}}$ – теплота, що втрачається, Дж/с (Вт);

у разі передачі теплоти від пари до рідини:

$$D \cdot h + M_2 c_2 t_{2n} = D \cdot c_{\text{кон}} t_{\text{кон}} + M_2 c_2 t_{2k} + Q_{\text{в}}, \quad (9)$$

звідки: $Q = D(h - c_{\text{кон}} t_{\text{кон}}) = M_2 c_2 (t_{2k} - t_{2n}) + Q_{\text{в}}$, (10)

де:

D – витрата грійучої пари, кг/с ; h – ентальпія пари, Дж/кг ;

$c_{\text{кон}}, t_{\text{кон}}$ – відповідно, теплоємність і температура конденсату.

Теплові баланси дозволяють, у разі необхідності, визначити кінцеві температури теплоносіїв або їх витрати.

2. Конструктивна схема теплообмінника і вибір матеріалу

Конструктивна схема теплообмінника залежить від того, яке середовище має бути спрямоване до трубного, а яке до міжтрубного простору. Зазвичай, в

міжтрубний простір спрямовують середовище, об'ємна кількість якого більша, в трубний, – яке забруднює поверхню теплообміну, тому що трубний простір легше чистити.

Матеріал вибирають залежно від характеру робочих середовищ [3,9].

Напрямок руху середовищ – прямо або протитечія (передача від рідини до рідини).

3. Середня різниця температур

У теплових розрахунках запроваджується поняття – середня різниця температур. Воно виникло через те, що при теплопередачі від одного теплоносія до другого різниця температур теплоносіїв не зберігає постійного значення вздовж поверхні нагріву.

Середню різницю температур при прямо течії або протитечії, а також при постійній температурі одного із теплоносіїв визначають коли:

$$\Delta t_{\bar{o}} / \Delta t_m < 2, \text{ то: } \Delta t_{\text{сер}} = 0,5(\Delta t_{\bar{o}} + \Delta t_m), \quad (11)$$

$$\text{якщо } \Delta t_{\bar{o}} / \Delta t_m > 2, \text{ то: } \Delta t_{\text{сер}} = (\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_m) / [\ln(\Delta t_{\bar{o}} / \Delta t_m)], \quad (12)$$

де: $\Delta t_{\bar{o}}$ і Δt_m – найбільша і найменша різниця температур між гарячим і холодним теплоносіями (на вході і на виході теплообмінника).

Отримані значення $\Delta t_{\text{сер}}$ округлюють до цілого. Протитечія дає змогу зменшити поверхню теплопередачі за рахунок більших $\Delta t_{\text{сер}}$, а прямо течія - економити гаряче середовище за рахунок його більшого охолодження.

4. Об'ємні витрати теплоносіїв.

Об'ємні витрати теплоносіїв визначаються за формулою:

$$V = M / \rho, \quad (13)$$

де: ρ - густина теплоносія, $\text{кг}/\text{м}^3$.

5. Швидкість руху теплоносіїв, діаметри і кількість труб

Швидкість руху теплоносіїв вибирають такою, щоб забезпечити в трубах розвинутий турбулентний режим руху робочих середовищ, який характеризується значенням критерію Re .

Вибирають діаметри труб d і розраховують кількість труб z за допомогою рівняння: $V = \pi d^2 / 4 \cdot w \cdot z$. (14)

Кількість труб округлюють до цілого числа, після чого уточнюють швидкість руху w середовища в трубах.

6. Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі

Спочатку обчислюють коефіцієнт тепловіддачі α_2 між середовищем у трубі і внутрішньою стінкою труби за допомогою критеріальних рівнянь, наведених в підручниках або в іншій літературі [5, 6]. При цьому передбачається, що залежність коефіцієнту α_2 від температури відсутня. Орієнтовні значення коефіцієнтів тепловіддачі наведені в табл.11.

Якщо рівняння для обчислень α_2 потребує знань температури t' шару рідини, що знаходиться біля стінки труби, то спочатку задаються значенням температури внутрішньої поверхні стінки труби t_{cm} , а потім знаходять температуру t' : $t' = 0,5(t_{cm} + t_{\text{сер}})$,

де: $t_{\text{сер}}$ - середня температура рідини у трубі. За температурою t' визначають величину критерію Прандтля Pr_{cm} для цього шару рідини.

Після знаходження α_2 обчислюють α_1 (до зовнішньої поверхні труби) [5,7] і

коефіцієнт тепловіддачі K за рівнянням:

$$K = 1 / (1 / \alpha_1 + \delta / \lambda + 1 / \alpha_2), \quad (15)$$

де: δ - товщина стінки труби, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби при t_{cm} .

Після визначення K перевіряють прийняте значення t_{cm} , порівнюючи його з розрахунковим. Коли вибране і розраховане значення t_{cm} відрізняються більш, ніж на 1-2 °С, обчислення α_2 повторюють.

Для обчислення t_{cm} використовують рівняння:

якщо рідина в трубі нагрівається: $t_{cm} = t_{cep} + q_0 / \alpha_2, \quad (16)$

де: q_0 – густина теплового потоку: $q_0 = K \cdot \Delta t_{cep}; \quad (17)$

якщо рідина в трубі охолоджується: $t_{cm} = t_{cep} - q_0 / \alpha_2 \quad (18)$

Якщо $\Delta t_{cep} < 50$ °С, температуру стінки можна не враховувати, а відношення (Pr / Pr_{cm}), що входять до складу рівнянь для обчислення α_2 , можна вважати таким, що дорівнює одиниці.

Порядок обчислення α_1 відрізняється для випадків, коли в міжтрубному просторі рухається рідина чи - водяна пара.

Випадок тепловіддачі від рідини:

а) за допомогою табл. 12 вибирають приблизне значення K ;

б) обчислюють площу поверхні теплопередачі:

$$F = Q / (K \cdot \Delta t_{cep}); \quad (19)$$

в) обчислюють загальну довжину L пучка труб з рівняння

$$F = \pi \cdot d_{cep} \cdot L \cdot z, \quad (20)$$

де: d_{cep} - середній діаметр труб, м; z - кількість труб, шт.

г) вибирають довжину одного ходу l і визначають кількість ходів n :

$$n = L / l, \quad (21)$$

n - округлюють до цілого числа, після чого уточнюють l . Кількість ходів слід вибирати парним, щоб вхід і вихід теплоносія розміщувався з одного боку теплообмінника;

д) вибирають крок між трубами і спосіб їх розміщення в трубній дошці, орієнтовано визначають внутрішній діаметр кожуха (за сортаментом труб);

е) обчислюють швидкість теплоносія в міжтрубному просторі та, згідно з критеріальними рівняннями, коефіцієнт тепловіддачі α_1 [5]. Вплив температури шару рідини біля поверхні труб враховують так, як і в разі наведеного вище обчислення α_2 (з перевіркою t_{cm});

є) обчислюють α_2 [5,7];

ж) за рівнянням (15) обчислюють K , порівнюючи його значення з раніше вибраним (пункт а)). Якщо різниця перевищує 10%, розрахунок повторюють, з пункту б), вибираючи нове значення K .

Випадок тепловіддачі від водяної пари:

а) орієнтовно визначають температуру зовнішньої поверхні труби t_{cm} , а потім температуру плівки конденсату за рівнянням:

$$t_{nl} = 0,5(t_k + t_{cm}), \quad (22)$$

де: t_k - температура конденсації пари.

Знаючи t_{nl} , знаходять теплофізичні параметри плівки конденсату. Якщо Δt_{cep} не перевищує 30-40 °С, параметри плівки визначають за t_k ;

- б) з критеріального рівняння визначають α_1 ;
 в) обчислюють α_2 ;
 г) за рівнянням (15) розраховують K ;
 д) обчислюють t_{cm} за рівнянням: $t_{cm} = t_k - K \cdot \Delta t_{cep} / \alpha_1$; (23)
 е) порівнюють розрахункове t_{cm} і раніше вибране. Якщо різниця перевищує 2-3°C, змінюють вибране t_{cm} і розрахунок повторюють, починаючи з пункту а).

7. За рівнянням (19) остаточно обчислюють F .

Розрахунок основних робочих елементів. Розрахунок основних робочих елементів апарату може включати поверхню теплопередачі та фільтрування, число ступенів контакту, робочий об'єм тощо.

Конструктивні розрахунки.

Конструктивний розрахунок передбачає обчислення діаметра і довжини теплообмінних труб (пластин), відстані між ними, товщини трубних дошок, розмірів перегородок і кроку між ними, основних розмірів робочої частини апарату (об'єм, довжина, ширина, висота) і інших його робочих елементів тощо.

За рівняннями (20) і (21) визначають кількість ходів за уточненим значенням F .

Обчислюють приблизний діаметр кожуха, уточнюючи його після розміщення перегородок між ходами.

Розраховують діаметри патрубків для теплоносіїв, дотримуючись рекомендованих швидкостей руху теплоносіїв у патрубках.

Розраховують крок встановлення поперечних перегородок і їх геометричні параметри.

При конструюванні незалежно від типу апарату і матеріалу необхідно дотримуватися таких внутрішніх D_{BH} і зовнішніх $D_{ЗОВ}$ базових розмірів обичайок циліндричних апаратів :

- $D_{BH}, мм:$ 200, 250, 300, 350, 400, (450), 500, 600, (650), 700, [750], 800, [850], 900, [950], 1000, 1100, 1200, (1300), 1400, (1500), 1600, (1700), 1800, (1900), 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6400, 7000, 8000, 9000, 10000, 11000;
 $D_{ЗОВ}, мм:$ 159, 219, 273, 325, 377, 426, 480, 530, 630, 720, 820, 920, 1020, 1120, 1220, 1420.

Діаметри сталевих обичайок, які подані в круглих дужках, використовують для нагрівальних та охолоджувальних рубашок апаратів. В квадратних дужках наведені діаметри обичайок із кольорових металів.

Ряд діаметрів D_{BH} розповсюджується на металеві обичайки, що виготовлені з листів. При цьому для кольорових металів і сплавів рекомендується використовувати внутрішні діаметри до 3800 мм. Під час розрахунку внутрішніх діаметрів патрубків, штуцерів складають таблицю за формою в табл. 5.

Таблиця 5 – Патрубки і штуцери теплообмінного апарату

Призначення штуцера	Густина продукту, $кг/м^3$	Витрати продукту			Швидкість руху продукту, $м/с$	Діаметр, $мм$	
		$кг/год$	$кг/с$	$м^3/с$		розрахований	вибраний

Товщину стінки апарата в курсовій роботі, як правило, не розраховують, а орієнтовно знаходять за табл. 6 залежно від робочого тиску в апараті та його внутрішнього діаметра D_{BH} .

Товщина стінки апарата із чавуну і міді орієнтовно може бути вибрана в 1,2-1,5 рази більшою порівняно зі сталлю; для чавуну товщина стінки має бути не менше як 8 мм.

Діаметр штуцерів (патрубків) обчислюється за формулою нерозривності потоку, а потім вибирається найближчий умовний. Стандартні умовні проходи (діаметри) труб, мм: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 70, 80, 100, 120, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000.

Під час розрахунків діаметрів штуцерів і трубопроводів вибирають такі швидкості, м/с: для води – 1...1,5; для водних розчинів з концентрацією сухих речовин до 20% - 0,5...1,0; те саме при концентрації сухих речовин $\geq 20\%$ - 0,1...0,5; для конденсату водяної пари – 0,5; для водяної пари при тиску вище від атмосферного – 20...25; те саме, при тиску нижче від атмосферного – 30...40; для спиртово-водяної пари в ректифікаційних установках – 10...15.

Таблиця 6 – Товщина стінок обичайок δ сталей апаратів, мм:

а) що працюють під наливом і атмосферним тиском

$D_{BH}, \text{мм}$	400	400...1000	1000...2000	2000...4000
$\delta, \text{мм}$	2	3	4	5

б) що працюють під внутрішнім або зовнішнім надлишковим тиском

Внутрішній робочий тиск $P, \text{МПа}$	Внутрішній діаметр $D_{BH}, \text{мм}$														
	400	500	600	700	800...900	1000	1200	1400...1600	1800	2000	2200...2400	2600	2800	3000	3200
0,1	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	8	8	8	8
0,25	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	8	8	8	8
0,4	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	8	8	8	8
1,0	4	4	5	5	5	6	8	8	10	10	12	12	14	14	16
1,6	5	6	6	8	8	8	10	12	14	16	16	20	20	22	22

Гідравлічний розрахунок.

Основним завданням гідравлічного розрахунку є визначення потужності, що необхідна для переміщення робочого середовища скрізь апарат.

Потужність P на валу насоса або вентилятора розраховують за формулою:

$$P = G \cdot \Delta p / (\rho \eta), \text{Вт}, \quad (24)$$

де: G – масова витрата робочого середовища, кг/с ;

Δp – гідравлічний опір апарату, Па ;

ρ – густина робочого середовища, кг/м^3 ;

η – ККД насоса або вентилятора.

Гідравлічний опір апарату визначають за відомими формулами гідромеханіки [2,3].

Розрахунок теплової ізоляції.

У разі наявності теплової ізоляції обчислюють її товщину, мм:

$$\delta = \lambda(t_a - t_{iz.}) / [\alpha(t_{iz.} - t_n)], \quad (25)$$

де: λ – теплопровідність ізоляційного матеріалу, $Bm/(m \cdot K)$;

$t_a, t_{iz.}, t_n$ – температура відповідно в апараті, поверхні ізоляції і повітря, що оточує апарат, $^{\circ}C$;

α – сумарний коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря, $Bm/(m^2 \cdot K)$, визначається за формулою:

$$\alpha = 9,76 + 0,07(t_{iz.} - t_n).$$

Для апаратів, що працюють у закритих приміщеннях (при температурі теплоносія від 0 до 150 $^{\circ}C$), $t_{iz.}$ береться в інтервалі 35...45 $^{\circ}C$.

Технічні показники.

Техніко-економічні показники можуть включати вихід продукту з одиниці об'єму чи робочої площі поверхні; витрату пари, води тощо на одиницю продукту, що обробляється в апараті. Показники розробленого апарату порівнюють аналогічним показникам існуючих схожих апаратів і роблять висновки про ефективність представленого проекту. Приклад оформлення наведений в Додатку Б.

Умови безпечної експлуатації та контрольні точки процесу.

У даному розділі дається схема-перелік контрольно-вимірювальних і запобіжних пристроїв, які необхідні для ведення технологічного процесу (із вказівкою меж контрольних параметрів), що створюють умови для безпечної експлуатації апарату, наводиться порядок безпечної експлуатації апарату (приклад наведений в Додатку В). Для рішення питань екології надається кількість шкідливих викидів і відходів, шляхи їх знешкодження, очищення чи утилізації. Слід мати на увазі, що загальні вимоги безпеки щодо експлуатації промислового обладнання встановлює НПАОП 0.00-7.14-17 Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками. В ньому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління та засобів захисту, що входять до конструкції виробничого обладнання будь-якого виду та призначення, між тим окремі особливості виробничого обладнання враховуються (для кожного виду) окремими стандартами.

Складання висновків.

У закінченні РПЗ відзначають основні результати роботи, в т.ч. головні особливості запроектованого виробу. Особливу увагу слід звернути на оригінальні конструктивні рішення, які запропоновані автором, ступінь їх новизни, особливо коли проводилося патентне дослідження. Слід також відзначити, за рахунок яких конструкторських, технологічних та інших рішень досягається техніко- або соціально-економічний ефект. Можна також відзначити корисність окремих розділів проекту (оригінальних розрахунків, конструктивних рішень, проведення НДР, глибину літературного огляду, проведеного патентного пошуку та ін.).

Рекомендовано відзначити, наприклад, оригінальну методику експерименту, оригінальний прилад, застосований або розроблений автором тощо.

Додатки.

Додатками можуть бути конструкторські документи (креслення, схеми і т.д.), таблиці допоміжних цифрових даних, протоколи та акти випробувань та ін.

Додатки оформляють як продовження пояснювальної записки після списку літератури на наступних аркушах, розташовуючи їх згідно появи посилань на них у тексті.

Кожний додаток треба починати з нового аркуша (сторінки) з вказівкою в лівому верхньому куті слова “Додаток” і великої букви алфавіту, що визначає порядок його розташування, наприклад, “Додаток А”. Додаток повинен мати змістовий заголовок.

Рисунки, таблиці та формули, що розміщуються в додатку, нумеруються арабськими цифрами в межах кожного додатка, наприклад, Рис.Д1.А (перший рисунок додатка А).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕННЯ ТЕПЛООБМІННИКІВ

У хімічних і біотехнологічних виробництвах поширені теплообмінники кожухотрубчасті, типу “труба в трубі”, змійовикові, спіральні і пластинчасті.

Кожухотрубчасті теплообмінники. Використовуються як підігрівачі або охолоджувачі, конденсатори і випаровувачі.

Теплообмінники виготовляють із вуглецевої або нержавіючої сталі, а також із міді, латуні і чавуну.

Застосовують труби діаметром 20×2; 25×2; 38×2,5 мм; для в'язких рідин, як правило, застосовують труби діаметром 48×4,0; 57×4,0; 76×4,0; 85×4,0; 108×4,0; 133×4,0 мм.

Довжина труб (відстань між внутрішніми поверхнями трубних решіток) повинна мати 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 і 6,0 м. Труби в трубних решітках закріплюються розвальцюванням, зварюванням або паянням.

Труби на трубній дошці розміщують за вершинами рівносторінних трикутників або квадратів. Розташування труб за вершинами трикутників дає змогу розміщувати найбільшу кількість труб на одиниці площі трубної решітки. Розміщення труб за вершинами квадратів полегшує очищення міжтрубного простору. Таке розміщення використовується також у тому разі, коли велика кількість ходів (зручніше розміщувати перегородки в кришках між ходами).

Відстань між осями труб t (крок) вибирають за співвідношенням:

$$t = 1,3 d_3 \quad \text{при} \quad d_3 = 20 \dots 30 \text{ мм};$$
$$t = 1,25 d_3 \quad \text{при} \quad d_3 > 30 \text{ мм}$$

де: d_3 - зовнішній діаметр труби.

Отримане значення t округлюють до цілого числа в мм із стандартного ряду розмірів. Якщо теплообмінник одноходовий по трубному простору, то внутрішній діаметр кожуха при розміщенні труб за вершинами рівносторонніх трикутників, мм:

$$D_g = t \cdot (b+1) - d_3, \quad (2.1)$$

де: t - крок, мм; b - кількість труб за діагоналлю шестикутника, шт.

$$b = [(4nz-1)/3]^{0.5}, \quad (2.2)$$

де: nz - сумарна кількість труб у трубній дошці, шт.

За отриманим значенням D_6 , вибирають діаметр із стандартного ряду базових діаметрів і уточнюють розміщення труб на трубній дошці.

Під час проектування багатходових (за трубним простором) теплообмінників необхідно на міліметровому папері у масштабі накреслити всю трубну дошку і нанести на неї всі труби й перегородки (останні - для обох дошок). Під час остаточного креслення можна показати не всі труби, а тільки труби за периметром кожного ходу, зазначаючи водночас осі всіх труб.

На кресленні слід указати загальну кількість труб, їх діаметр і довжину.

На рис. 1-3 показано варіанти конструкцій горизонтальних теплообмінників.

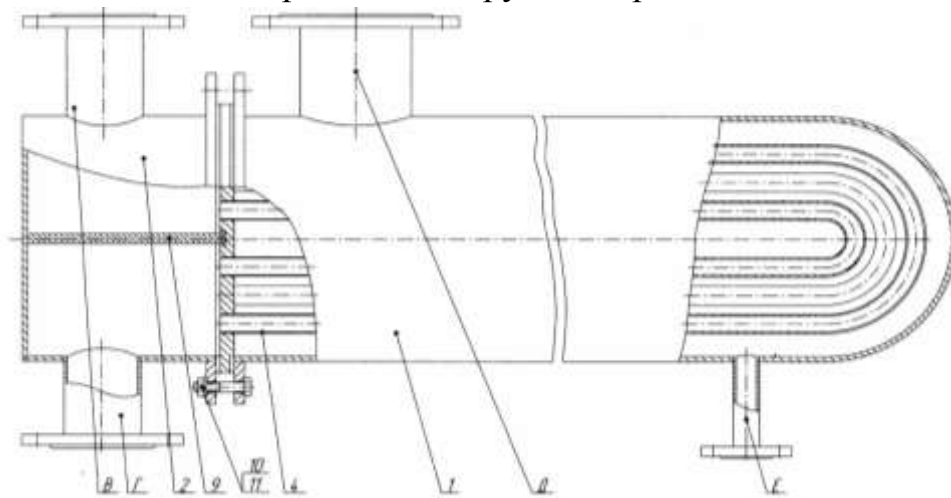


Рисунок 1 – Теплообмінник з U- подібними трубами: 1 - кожух; 2 – продуктова камера; 4 – трубка; 9 – перегородка; 10,11-болтове з'єднання

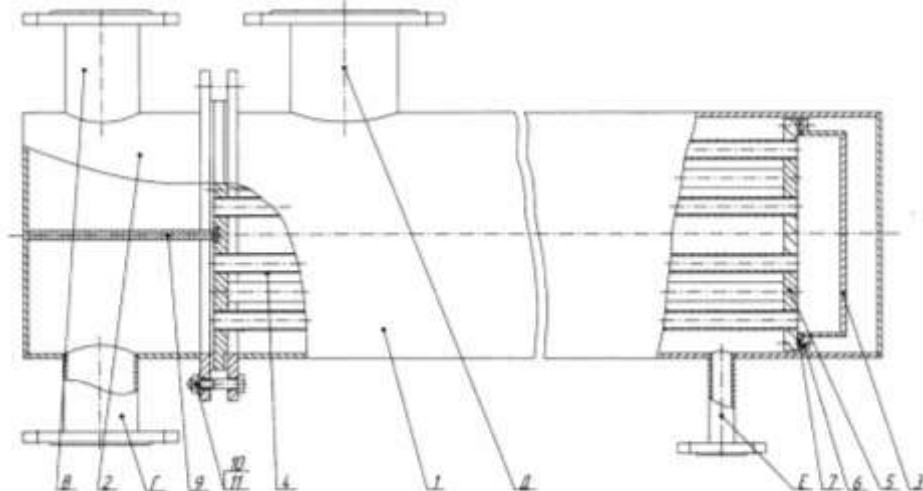


Рисунок 2 – Теплообмінник з плаваючою головою і роз'ємним опорним кільцем: 1 – кожух; 2 - продуктова камера; 3 - плаваюча головка; 4 – трубка; 5- трубна дошка; 7 – прокладка; 9 – перегородка; 10,11-болтове з'єднання

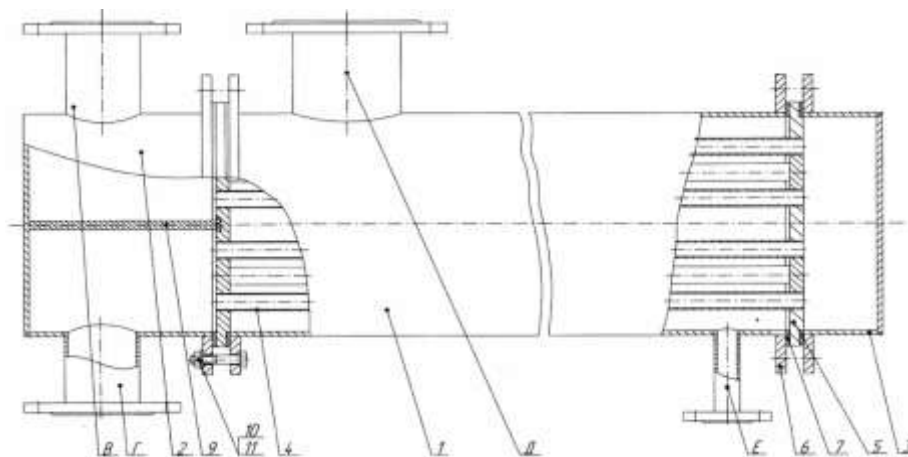


Рисунок 3 – Теплообмінник з фіксованими трубними дошками:

1 – кожух; 2,3 - продуктова камера; 4 – трубка; 5-трубна дошка; 6- фланець; 7 – прокладка; 9 – перегородка; 10,11-болтове з'єднання

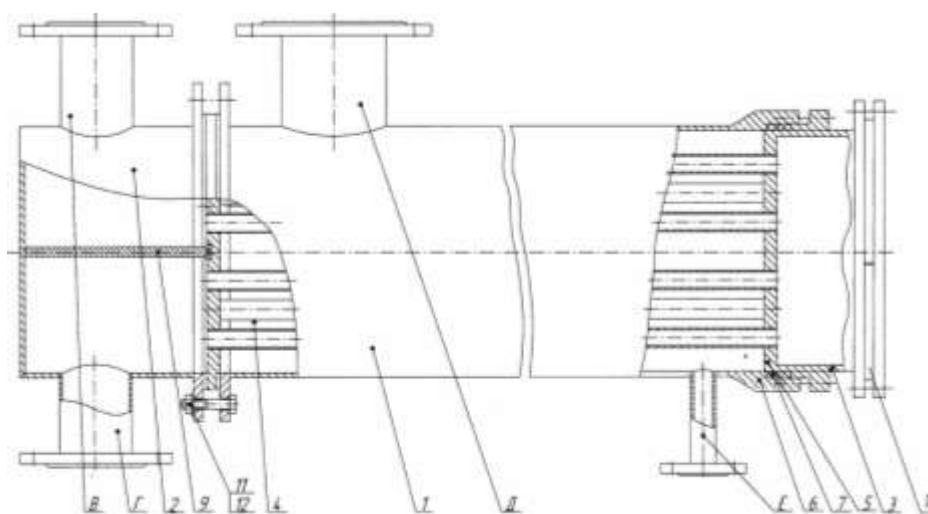


Рисунок 4 – Теплообмінник з плаваючою головкою і зовнішнім ущільненням:

1 – кожух; 2 - продуктова камера; 3- плаваюча головка; 4 – трубка; 5- прокладка; 6- «юбка» плаваючої головки; 7 – трубна дошка; 9 – перегородка; 10 –розрізне опорне кільце; 11,12-болтове з'єднання

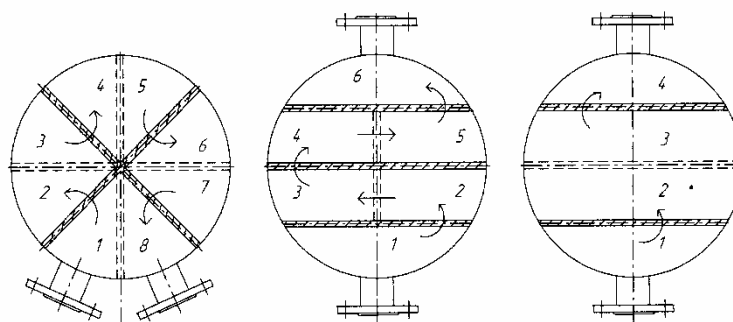


Рисунок 5 – Варіанти розміщення перегородок у кришці багатходових теплообмінників

На рис. 5 – варіанти розміщення перегородок у кришці (розподільній камері) багатходових теплообмінників: а) – чотириходового; б) – шестиходового; в)- восьмиходового.

На рис. 6 наведено приклади розміщення труб за вершинами квадратів.

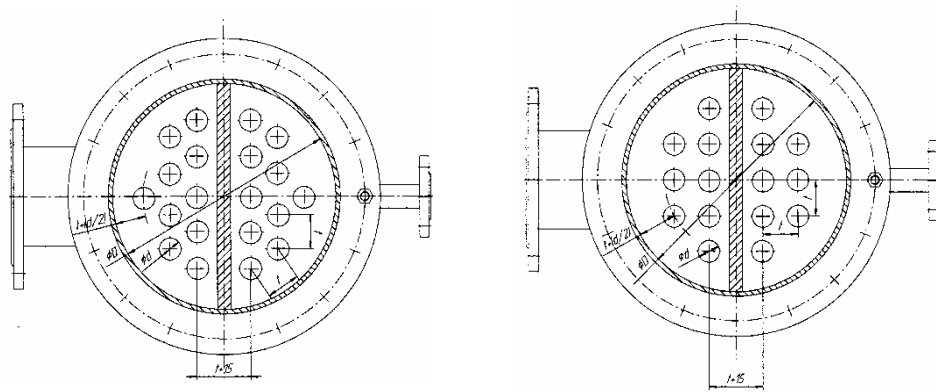


Рисунок 6 – Розміщення труб за вершинами квадратів та трикутників

У місцях розміщення перегородок відстань між трубами збільшують на 15 мм. У такому разі відстань між рядами труб при розміщенні їх за вершинами трикутників: $\delta = 0,866 t - d_3 + 15$ мм, а при розміщенні за вершинами квадратів: $\delta = t - d_3 + 15$ мм, де: d_3 - зовнішній діаметр труб.

Мінімальна товщина трубної дошки:

$$\text{сталевій: } \delta_{\min} = d_3/8 + 5, (\text{мм}), \quad (26)$$

$$\text{мідної: } \delta_{\min} = d_3/8 + 10, (\text{мм}). \quad (27)$$

Звичайно, для збільшення коефіцієнту тепловіддачі в міжтрубному просторі встановлюють перегородки вздовж або поперек труб.

В останньому випадку збільшується швидкість руху теплоносія, а напрям руху стає під кутом до осі труби. Перегородки вздовж труб дають змогу організувати прямо - або протитечію в теплообміннику. Найбільш поширені сегментні поперечні перегородки - диски з відрізними сегментами і з отворами для переходу труб.

Зазор Δ між сегментом і кожухом теплообмінника дорівнює:

$$\Delta = 1,6 + 0,004 D_e, \quad (28)$$

де: D_e - внутрішній діаметр кожуха, мм.

Відстань між перегородками: $l_n \approx 2D/3$.

Повздовжні перегородки застосовуються мало. Під час обчислення коефіцієнту тепловіддачі для міжтрубного простору визначальним геометричним розміром є зовнішній діаметр труб.

Швидкість потоку обчислюють для найменшої площі перерізу міжтрубного простору f (орієнтовно $f = 0,11D^2$, м^2). Під час попередніх розрахунків цю швидкість за наявності перегородок беруть такою, що дорівнює 0,5 швидкості руху рідини в трубах. Після уточнення конструкції теплообмінника швидкість уточнюється.

Швидкість робочого рідкого середовища в трубах вибирають в межах $w = 0.3 \dots 2$ м/с, для газів $w = 8 \dots 25$ м/с. Нижча межа швидкості визначається необхідністю мати стійкий турбулентний рух, тобто $Re > 10000$, верхня - необхідністю уникнути гідравлічних ударів і надмірного гідравлічного опору.

Кришки (розподільчі камери) кожухотрубчастих теплообмінників бувають циліндричними, сферичними, еліптичними і т. ін. Патрубки можуть бути врізані в циліндричну обичайку або в днище кришки (останнє застосовують частіше в одноходових теплообмінниках). Висоту кришки орієнтовно беруть такою, що

дорівнює $(0,3..0,4) D_k$, де: D_k - діаметр кожуха. Якщо патрубки врізані в циліндричну обичайку, то висоту кришки визначають зовнішнім діаметром патрубків. Вона на 150...250 мм більша за зовнішній діаметр патрубків.

Кожухотрубчасті конденсатори. Вони бувають вертикальними (наприклад, конденсатори ректифікаційних установок) і горизонтальними (наприклад, дефлегматори ректифікаційних установок, пастеризатори), одно - і багатоходовими за трубним простором. У міжтрубному просторі, як і в підігрівачах, можуть бути поперечні сегментні перегородки, але їх вплив на підвищення інтенсивності теплообміну незначний.

У горизонтальних конденсаторах у нижній частині перегородок мають бути вирізи (вікна) для вільного перетікання конденсату вбік патрубків для його відведення. Переріз вікна має бути не менш, як два - три перерізи патрубків для відведення конденсату.

За конструкцією кожухотрубчасті конденсатори практично не відрізняються від кожухотрубчастих теплообмінників, у яких підігрівання відбувається за рахунок конденсуючої пари. Їх характерна особливість - відносно великі діаметри парових патрубків і наявність патрубків для відведення газів, що не конденсуються, з міжтрубного простору. Якщо густина газів більша, ніж густина пари, - патрубок для газів розміщується в нижній частині міжтрубного простору, якщо навпаки - то у верхній частині. Діаметри таких патрубків становлять не менш, ніж 20 мм.

Кожухотрубчасті випаровувачі. Такі випаровувачі завжди одноходові і встановлюються, як правило, вертикально, іноді - горизонтально, або - під кутом. В іншому вони не відрізняються від конденсаторів.

У випаровувачах (кип'ятильниках) у трубному просторі перебуває, як правило, кипляча рідина, а в міжтрубному - теплоносій у рідкому або (частіше) у паровому стані. Типові випаровувачі мають теплообмінні труби 20×2 і 25×2 мм, але для рідин з підвищеною в'язкістю або тих, що вміщують частинки твердої фази, використовуються труби з внутрішнім діаметром 28, 32 і 40 мм і більше (випаровувачі бражних колон).

Довжина труб випаровувачів : 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 м.

Теплообмінники типу "труба в трубі" застосовують для невеликих теплових навантажень (площа поверхні теплообміну не перевищує 30...40 м²). Їх використовують для підігрівання, охолодження і випаровування. Встановлюють їх тільки горизонтально. Використовують труби із вуглецевої або нержавіючої сталі, латуні або міді.

Коли середовище, що протікає в кільцевому каналі, неагресивне, - використовується зовнішня труба з вуглецевої сталі. Теплообмінники можуть бути нерозбірними (малогабаритні), напіврозбірними і розбірними. Діаметри, що рекомендують для внутрішніх d і зовнішніх D діаметрів труб, наведені в табл. 7.

Таблиця 7 – Рекомендовані діаметри

d	25×3	38×3,5	48×4	57×4	76×4	89×4	108×4	133×4	159×4,5
D	57×4	57×4	76×4	89×5	108×4	133×4	159×4,5	219×6	219×6
		76×4	89×4	108×4	133×4	159×4,5	219×6		
		89×5	108×5						

Рекомендовані довжини труб: 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 9,0 і 12,0 м.

Окремі секції теплообмінника можуть працювати послідовно. Коли для підігрівання використовується пара, то секції на парі доцільно включити паралельно. Відстань між окремими секціями визначають, в основному, розмірами з'єднувальних елементів - так званих - калачів. Коли калачі сталеві, то радіус їх гнуття дорівнює $2d_3$, коли мідні - $1,5 d_3$. Чавунні калачі зменшують відстані між паралельними трубами до $2d_3$.

Якщо гарячий теплоносій рухається в кільцевому каналі, коефіцієнт тепловіддачі обчислюють як для круглої труби, використовуючи за визначальний розмір еквівалентний діаметр кільцевого каналу:

$d_e = D_e - d_3$, де: D_e - внутрішній діаметр зовнішньої труби; d_3 - зовнішній діаметр внутрішньої труби. Швидкість руху теплоносіїв у трубах вибирають, як при розрахунках кожухотрубчастих теплообмінників.

Кількість секцій слід вибрати парною для того, щоб підведення і відведення середовищ відбувалося із одного боку.

Рух середовищ краще здійснювати протитечією. Розміщення секцій може бути вертикальним або горизонтальним. Для зменшення висоти теплообмінника іноді використовують зигзагоподібне розміщення секцій.

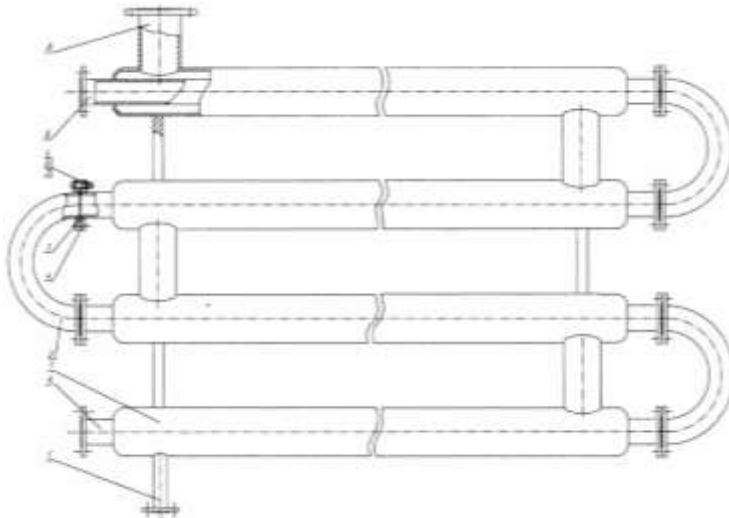


Рисунок 7 – Теплообмінник типу “труба в трубі”

1-секція; 2-коліно; 3 - фланець; 4 прокладка; 5,6,7 –болтове з’єднання

Діаметр труб теплообмінника в проектному розрахунку визначають із рівняння витрати теплоносіїв:

$$M = f \cdot w \cdot \rho, \quad (29)$$

де: M - масова витрата теплоносія, $кг/с$; f - площа перерізу потоку теплоносія, $м^2$; w - середня швидкість теплоносія, $м/с$; ρ - густина теплоносія, $кг/м^3$.

Зовнішній діаметр внутрішньої труби:

$$d_3 = 1,13 \sqrt{M / (\rho \cdot w)}, \quad (30)$$

внутрішній діаметр зовнішньої труби:

$$D_e = \sqrt{[1,27M / (\rho \cdot w)] - d_3^2}, \quad (31)$$

Площа поверхні теплообміну F апарату: $F = \pi d_3 l$ (32)

Довжина труби l дорівнює: $L = F / (\pi d_3)$, (33)

а з урахуванням рівняння: $(2.7): l = 0,282F (1/f)^{0,5}$. (34)

Спиральні теплообмінники. Спиральні теплообмінні апарати, згідно ГОСТ 12067, мають площу поверхні теплообміну від 10 до 100 м². Вони експлуатуються при тиску до 1 МПа і температурах від -20 до +200 °С. Їх використовують для теплообміну між рідинами, коли не змінюється їх агрегатний стан. Матеріали для виготовлення ті самі, що і для кожухотрубчастих або змішувальних теплообмінників.

Зазор між спіралями b змінюється в межах 6...20 мм (рис. 8). Типові теплообмінники виготовляють із зазором 7, 10 і 12 мм, товщина листа $\delta = 2...3$ мм. Спіралі приварюються до однієї кришки. Іншу кришку встановлюють з плоскою прокладкою чи із спіральними прокладочними манжетами U - подібного перерізу (рис. 8). Внутрішні кінці спіралей приварюються до керну. Висота спіралі 0,25...1,5 м.

Під час конструювання теплообмінника відстані між спіралями слід робити однаковими для обох середовищ. Ширину керна b_k беруть 250...350 мм. Задаються товщиною листа спіралі δ і шириною каналу b . Радіус першого піввитка спіралі:

$$r_1 = (b_k + b - \delta)/2. \quad (35)$$

Внутрішній радіус другого піввитка: $r_2 = r_1 + t$, (36)

де: $t = \delta + b$.

Внутрішній радіус третього піввитка: $r_3 = r_2 + t = r_1 + 2t$,

n -го: $r_n = r_1 + (n - 1)t$.

Висоту спіралі визначають виходячи з масової витрати однієї з робочих рідин M_1 , швидкості її руху w_1 , її густини ρ_1 і ширини каналів:

$$h = M_1 / (b \cdot w_1 \cdot \rho_1). \quad (37)$$

Довжину стрічки кожної спіралі (за середньою лінією листа):

$$l = F / (2h), \quad (38)$$

де: F - площа поверхні теплопередачі, м²; h - висота спіралі, м.

Кількість повних витків n кожної спіралі визначають за формулою:

$$l = 2\pi [nr_1 + nt/2 \cdot (2n - 1)], \quad (39)$$

де: r_1 - радіус першого піввитка (рис.8).

Побудову спіралей починають із знаходження центрів на керні, які перебувають на відстані кроку t один від одного. Потім радіусами r_1 і $(r_1 + \delta)$ з одного центру креслять півколо першого піввитка, а із другого центру радіусами r_2 і $(r_2 + \delta)$ - півколо другого піввитка і т. ін.

Для другої спіралі побудова аналогічна, але починають її з другого центру.

Патрубки для підведення і відведення середовищ виконують на зовнішніх кінцях спіральних каналів на циліндричній поверхні теплообмінника (рис.8) у вигляді конусів, півциліндрів або прямокутної коробки, а також на торцевій поверхні теплообмінника по обидва боки від керна у вигляді звичайних патрубків.

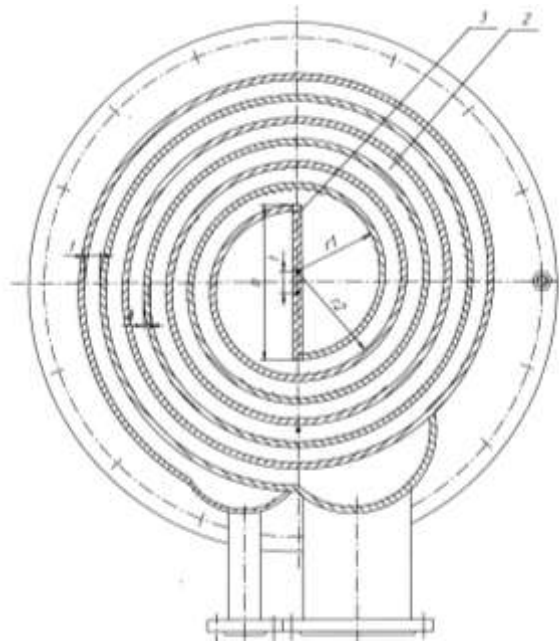


Рисунок 8 – Спіральний теплообмінник:

2 – спіраль; 3 – розділова перегородка (кern);

Пластинчасті теплообмінники. Пластинчасті теплообмінники бувають розбірні, напіврозбірні і нерозбірні [3,6,8]. Використовують за умови: тиск до 1,6 МПа, температура від -30 до +180 °С. Нерозбірні апарати цього типу допускається експлуатувати за тиском до 4 МПа і температурі від -150 до +400 °С. У хімічній, фармацевтичній промисловості використовують, в основному, розбірні теплообмінники для нагрівання або охолодження рідких середовищ, які не змінюють свого агрегатного стану (пастеризаційно - охолоджувальні агрегати для пивного суслу, молока і т. ін.). Останнім часом дістали поширення пластинчасті випаровувачі.

Основним елементом цих теплообмінників є пластина, яку виготовляють із вуглецевої або нержавіючої сталі, або з латуні завтовшки 1...2 мм. Їх встановлюють і закріплюють на станині, створюючи “пакет” з системою паралельних каналів, у яких даний теплоносій рухається тільки в одному напрямі. Кількість пластин в одному пакеті і кількість таких пакетів для гарячого і холодного теплоносіїв може бути різною в одному і тому самому теплообміннику. Схеми компоновання пластинчастих теплообмінників умовно позначають відношенням, в якому чисельник - це сума чисел, кожне з яких визначає кількість каналів у пакеті, а кількість цих чисел - це кількість пакетів (і все це стосовно гарячого теплоносія). У знаменнику - те саме, але стосовно холодного теплоносія. Так, наприклад, відношення (2+2+2)/(3+4) означає, що гарячий теплоносій рухається послідовно за трьома пакетами, в кожному з яких по 2 канали, а холодний теплоносій рухається одночасно по двох пакетах, в першому із них - 3 канали, у другому – 4. Деякі характеристики пластин наведено в табл. 8.

Швидкість руху рідини в каналах - 0,3...0,8 м/с. Під час руху рідини в каналах пластинчастого теплообмінника з гофрованими пластинами коефіцієнт теплопередачі обчислюють за допомогою критеріального рівняння:

$$Nu = a Re^m Pr^n (Pr/Pr_{cm})^{0,25}. \quad (40)$$

Значення коефіцієнтів a , m , n беруть згідно з табл. 9.

Таблиця 8 – Основні розміри пластин теплообмінників

Параметри	Площа поверхні теплообміну, м ²				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Габаритні розміри:					
довжина, мм	650	1370	1370	1375	1392
ширина, мм	650	300	500	600	640
товщина, мм	1,2	1,0	1,0	1,0	2,0
Еквівалентний діаметр каналу, м	0,0076	0,0080	0,0080	0,0074	0,0115
Площа поперечного перерізу, м ²	0,0016	0,0011	0,0018	0,00262	0,00368
Зведена довжина каналу, м	0,45	1,12	1,15	0,893	1,91

Таблиця 9 – Коефіцієнти та показники ступеня рівняння

Характеристика пластины		Режим руху рідини					
Площа, м ²	Тип	Турбулентний			Ламінарний		
		а	м	п	а	м	п
0,2	2К	0,086	0,73	0,43	0,5	0,33	0,33
		При $Re \geq 100; Pr = 0,7 \dots 20$			При $Re < 100; Pr > 20$		
0,3	-	0,1	0,73	0,43	0,6	0,33	0,33
		При $Re \geq 100; Pr = 0,7 \dots 50$			При $Re < 100; Pr > 50$		
0,5	0,5Е	0,135	0,73	0,43	0,63	0,33	0,33
		При $Re \geq 50; Pr = 0,7 \dots 80$			При $Re < 50; Pr > 80$		
0,5	0,5Г	0,165	0,65	0,43	0,46	0,33	0,33
		При $Re \geq 200; Pr = 0,7 \dots 50$			При $Re < 200; Pr > 50$		

Таблиця 10 – Значення гідравлічного еквівалентного діаметру, d_e .

Форма перерізу каналу	$d_e, м$	Примітка
Коло	d	d - діаметр кола
Кільце	$d_3 - d_e$	d_3 - зовнішній діаметр; d_e - внутрішній діаметр
Квадрат	a	a - сторона квадрату
Прямокутник	$2ab/(a+b)$	a - висота; b - ширина прямокутника
Міжтрубний простір (рух паралельно осі труб)	$\frac{D^2 - zd^2}{D + zd}$	D - внутрішній діаметр кожуху; d - зовнішній діаметр труб; z - кількість труб.

Загальна кількість пластин теплообмінника визначається з рівняння витрати рідин скрізь канал у пластині:

$$z = M / (f \cdot w), \quad (41)$$

де: M - витрата, м³/с; f - переріз каналу, по якому рухається продукт, м²; w - швидкість продукту в каналі, м/с.

Площа поверхні теплопередачі однієї пластины $F_1, м^2$, в апаратах без проміжних пластин:

$$F_1 = F / z; \quad (42)$$

в апаратах з проміжними пластинами: $F_1 = 0,5F(z - 1), \quad (43)$

де: F - загальна площа поверхні теплообміну, яка визначена за тепловим розрахунком, m^2 .

Підсумкова довжина каналів в одній пластині:

$$l = F_1 / (\pi d_e \cdot n), \quad (44)$$

де: n - кількість каналів на одній стороні пластини; d_e - еквівалентний діаметр каналу (див. табл.2.4): $d_e = 4f/\Pi$, (45)

де: Π - змочений периметр каналу.

З урахуванням (2.29) довжина каналів:

$$l = F_1 \Pi / (4 \pi f \cdot n) \approx 0,08 F_1 \Pi / (f \cdot n) \quad (46)$$

За отриманими величинами визначають конструктивні розміри пластин і усього апарату (табл.8).

Таблиця 11 – Орієнтовні значення коефіцієнтів тепловіддачі, $Wm/(m^2 \cdot K)$

Умови тепловіддачі	Рухоме середовище		Примітка
	Вода	Повітря	
Турбулентний рух: а) в трубах (каналах)	1200 ... 5800	35 ... 60	$d_{вн} = 30mm$; $w_{води} = 0,2 \dots 1,5 m/c$; $w_{повітря} = 8 \dots 25 m/c$
б) при поперечному обтіканні труб	3100...10000	70...100	
Вільний рух	250...900	3...9	
Кипіння води	200...2400		$\Delta t_{сер} = 5 \dots 15 K(^{\circ}C)$, $d_3 = 30 mm$, $p = 0,4 MPa$
Конденсація насиченої водяної пари на зовнішній поверхні гориз. труби	9300...15000		$\Delta t_{сер} = 35 \dots 50 K(^{\circ}C)$

Таблиця 12 – Орієнтовні значення коефіцієнтів теплопередачі, $Wm/(m^2 \cdot K)$

Умови теплообміну	Рух	
	Вимушений	Вільний
Від газу до газу	10...40	4...12
Від газу до рідини	10...60	6...20
Від пари, що конденсується, до газу	10...60	6...12
Від рідини до рідини (вода)	800...1700	140...340
Від води до в'язкої рідини	120...270	30...60
Від пари, що конденсується:		
а) до води	800...3500	300...1200
б) до в'язкої рідини	120...340	60...170
в) до кип'ячої рідини		300 ...2500

Специфікація

Специфікація – документ, що включає в себе перелік усіх складових частин, які входять до даного виробу, а також конструкторські документи, які належать до цього виробу. Специфікацію складають на окремих аркушах на

кожну складальну одиницю, комплекс і комплект відповідно до стандарту (Додаток Г).

У кінці кожного розділу специфікації рекомендується залишати два-три вільні рядки на випадок можливих змін у конструкції виробу. Заповнення специфікації ведеться зверху вниз. Запис складових частин у таблицю рекомендується здійснювати у наступному порядку: запозичені вироби (раніше розроблені), покупні вироби, знову розроблені вироби.

В рядках переліку не допускаються “двоповерхові” записи. Якщо записане не вміщується в одному рядку, його слід писати на двох рядках і більше. Над специфікацією розміщується технічна характеристика виробу. В технічній характеристиці виробу необхідно вказати: продуктивність, основний характерний параметр (площу поверхні теплопередачі, робочий об’єм, площу робочого елемента, переріз тощо), параметри робочих середовищ (температуру, тиск, концентрацію тощо).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Оформлення текстового документу має відповідати вимогам ДСТУ 3008:2015 «Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення» з урахуванням можливих відхилень від них, пов’язаних зі специфікою проектування в умовах навчального процесу. Текст роботи друкують, залишаючи поля таких розмірів: ліве, праве, верхнє та нижнє – 20 мм. Шрифт Times New Roman 14 пт або аналогічний простий шрифт. Міжрядковий інтервал 1,5 см, абзацний відступ 1,25 см. Вирівнювання основного тексту по ширині з автоматичною розстановкою переносів.

Пояснювальна записка повинна містити титульну сторінку, зміст із зазначенням розташування розділів в тексті, технічне завдання на курсову роботу, вступ, основний текст і список використаної літератури.

Титульна сторінка виконується стандартним шрифтом за зразком, наведеним (додаток Д). Вона є першою сторінкою пояснювальної записки.

У змісті подають назви всіх розділів, підрозділів та пунктів пояснювальної записки, вказуючи номери сторінок (сторінка 1 – титульна сторінка, не проставляється), на яких вони розміщені.

Технічне завдання на курсову роботу вміщує вихідні дані, завдання та обсяг виконуваної роботи. Його розташовують після змісту.

Вступ містить відомості про призначення та можливу галузь застосування теплового апарату, його конструктивні особливості, мету та завдання роботи.

Основний текст пояснювальної записки має розкривати конкретний зміст роботи та відображати одержані результати. У тексті наводять: всі обґрунтування та розрахунки, що підтверджують працездатність виробу; викладають метод визначення навантажень, наводять основні допущення, прийняті в розрахунках; аргументують вибір коефіцієнтів, допустимих напружень тощо.

Наближений перелік питань, які слід розкривати в пояснювальній записці

курсової роботи та рекомендована послідовність їх викладення наведені вище.

Висновки мають складатися з оцінки результатів курсової роботи з погляду їх відповідності вимогам технічного завдання. Вони можуть носити конотаційний характер («розраховано», «вибрано» і т.п.), інформація кожного пункту висновків може бути аналітично-оціночною.

Список використаної літератури має містити всі використані джерела. Всі дані, прийняті з підручників, навчальних посібників, довідників тощо повинні бути підтвердженими посиланнями на відповідне джерело.

Титульна сторінка пояснювальної записки

Структура-титульної сторінки:

- повна назва міністерства;
- повна назва вищого навчального закладу;
- назва факультету;
- назва кафедри, де виконується курсова робота;
- назва документа;
- тема курсової роботи (відповідно до технічного завдання);
- курс, група, прізвище та ім'я виконавця;
- прізвище та ім'я керівника роботи;
- дата підписання документа;
- місто та рік виконання курсової роботи.

Приклад оформлення титульної сторінки пояснювальної записки подано в додатку Д.

Оформлення пояснювальної записки

Зброшуровану розрахунково-пояснювальну записку із додатками (специфікаціями) та аркуші креслеників складають для зберігання у папці що повинна мати титульну сторінку курсової роботи. Аркуш кресленика слід складати до формату А4.

Пояснювальну записку оформляють відповідно до вимог державних стандартів (ЄСКД) до текстових документів з одної сторони стандартного аркуша паперу формату А4 (210×297) у відповідності із вимогами ДСТУ 3008:2015. Текст записки повинен бути друкований.

Відстань від рамки до тексту на початку рядка має бути не менше 5 мм, а у кінці – не менше 3мм. Відстань до рамки зверху та знизу має бути 10-15 мм.

Текст записки викладається від третьої особи множини або в безособовій формі. Термінологія та визначення, використані в записці, мають бути однозначними та відповідати встановленим стандартам, а за їх відсутності – загальноприйнятим для науково-технічної літератури.

Скорочення слів у тексті, на рисунках та в таблицях за винятком загальноприйнятих в науково-технічній літературі це допускається.

Нумерація таблиць та рисунків в записці має бути наскрізною, нумерація сторінок пояснюваної записки також наскрізна з урахуванням ілюстрацій і таблиць. На титульній сторінці номер не ставлять, але в загальну нумерацію він входить.

Ілюстрації.

При оформленні РПЗ виникає необхідність оформлення ілюстрованого матеріалу у вигляді таблиць, діаграм, схем, фотознімків, рисунків, креслень тощо. Рисунки виконують чітко олівцем, можливе також виконання чорною тушшю або чорними чорнилами.

Ілюстрації, які розташовані на окремих аркушах, включають у загальну нумерацію сторінок.

Таблицю, рисунок або креслення, розміри яких перевищують формат А4, враховують як одну сторінку і розміщують в РПЗ після закінчення.

Ілюстрації, крім таблиць, позначають словом “Рисунок 1 – назва” і нумерують послідовно арабськими цифрами в межах розділу. Номер складається із номеру розділу та порядкового номера ілюстрації. Наприклад, рис.2.1 (перший рисунок другого розділу). Ілюстрації мають тематичну назву, при необхідності ілюстрації забезпечують пояснювальними даними. Назву ілюстрації оформлюють відповідно ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. В самому тексті вказують відповідні посилання на необхідні ілюстрації. Ілюстрації розташовують так, щоб їх було зручно розглядати без повороту записки або з поворотом за годинниковою стрілкою. Ілюстрації розташовують після посилання на них і виконують без оформлення рамки та основного напису. Якщо рисунок запозичений, то обов’язково треба вказати в тексті або в написі до рисунку джерело інформації. Таблиці оформлюють також відповідно ДСТУ 3008:2015. Приклад оформлення таблиць наведений в Додатку Е.

Загальний вид креслення

Кресленик загального виду – це документ, що визначає відносне розташування складальних одиниць та деталей, габаритні розміри та приєднувальних поверхонь деталей. Призначення кресленика – дати повне уявлення про машину в цілому, її експлуатаційну характеристику, основні розміри, взаємозв’язки окремих складальних одиниць, з’єднувальних поверхонь деталей та їх розміри. Кресленик виконують на аркуші формату А3, встановленого стандартом із основним написом (Додаток Ж).

Креслення рекомендовано виконувати в за допомогою спеціальних програм, наприклад, AutoCAD. На кресленикові мають бути старанно опрацьовані всі з’єднання деталей і обов’язково наведені такі дані:

- габаритні розміри за трьома координатними напрямками (довжина, ширина, висота);
- приєднувальні розміри;
- основні розміри, що є характерними параметрами складальної одиниці;
- спряжені розміри посадок;
- технічна характеристика виробу;
- технічні вимоги;
- вказівки про додаткові операції, що мають виконуватись під час складання.

Загальний вид, зважаючи на значні габарити об’єкта, виконується в стандартному масштабі зменшення.

На кресленикові загального виду складальні одиниці та деталі зображують спрощено. На кресленикові не зображують дрібні конструктивні елементи деталей.

Кресленник загального виду повинен нести таку інформацію:

- зображення виробу;
- розміри габаритні, приєднувальні та посадкові;
- технічну характеристику;
- номери позицій складальних одиниць та деталей згідно зі специфікацією.
- таблицю призначення штуцерів, патрубків тощо;
- технічну характеристику;
- позиційні позначення складових частин виробу;
- перелік складових частин виробу (специфікацію).

На рис.9 показано приблизне розміщення елементів креслення загального вигляду.

Загальний вигляд доцільно викреслювати у найбільшому із можливих стандартних масштабів, у разі необхідності з розривом зображення апарату. Елементи креслення загального вигляду слід виконувати з рядом умовностей і спрощень за правилами, що встановлюються ЕСКД для робочих креслень.

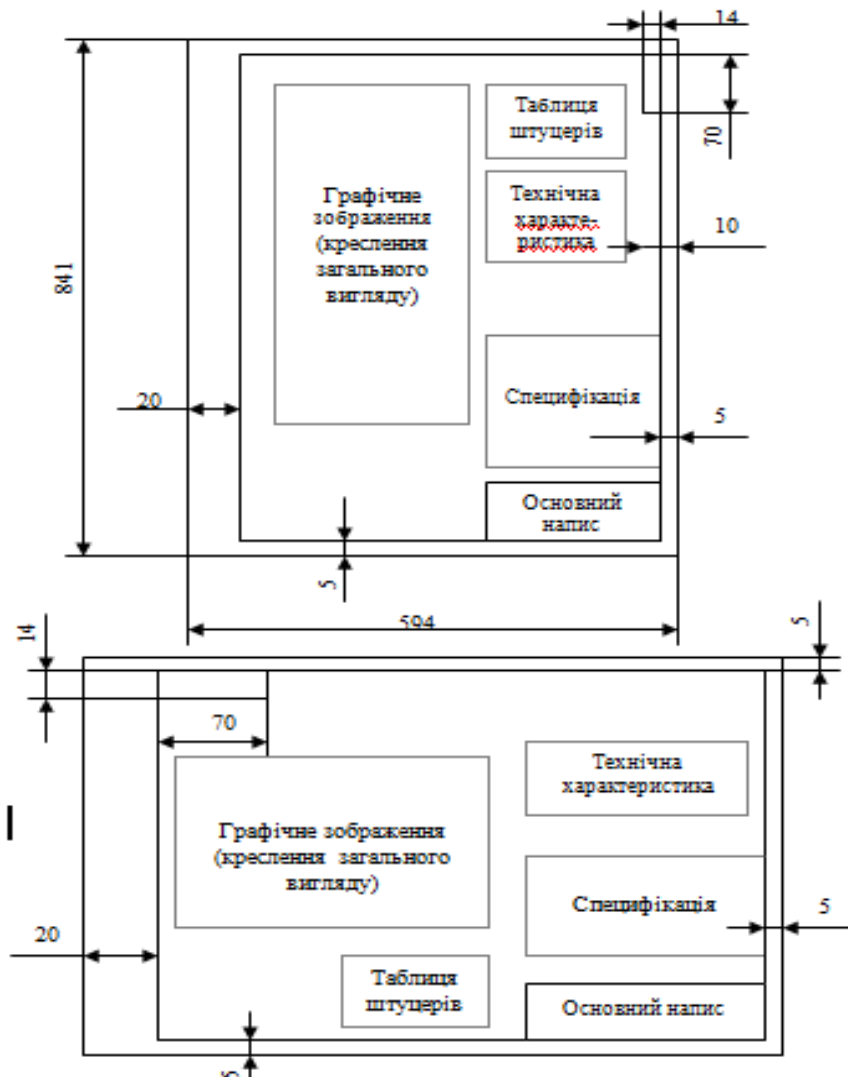


Рисунок 9 – Розміщення елементів креслення загального вигляду

На кресленні загального вигляду вказують такі розміри:
 приєднувальні;
 основні розрахункові (директивні);
 габаритні;
 основних складових частин;
 прив'язки штуцерів, люків, лазів, наб тощо.

Діаметр штуцерів, люків, наб тощо на кресленні не проставляють, а вказують у таблиці штуцерів, яку, як правило, розміщують у правому верхньому кутку аркуша, можливо внизу, ліворуч від основного напису (рис.9).

Діаметри штуцерів і патрубків беруть згідно з розрахунковими даними.

Штуцери для приєднання манометрів, відведення газів (повітряні), що не конденсуються, із парового простору теплообмінних апаратів беруть діаметром 20 мм; гільзи для термометрів, наби для встановлення термобалонів дистанційних термометрів – 32 мм.

У разі наявності теплової ізоляції довжина патрубка збільшується на 60 мм. Штуцери, що розміщуються біля фланців, виготовляються з патрубками довжиною 180 мм.

Довжина патрубка штуцера для апаратів без теплової ізоляції береться залежно від умовного діаметра патрубка, мм:

Умовний діаметр

патрубка, d_n	10...32	40...100	125...200	250
Довжина патрубка	70...80	85...90	100...110	120

При викреслюванні зовнішній діаметр фланця $D_{фл}$ і його товщину орієнтовно відшукують за табл.6.2 залежно від умовного проходу d_n патрубка, мм:

Таблиця 13 – Розміри фланців

Умовний прохід патрубка d_n	10...20	20...100	100...400	>400
Зовнішній діаметр фланця $D_{фл}$	$d_n + 60$	$d_n + 100$	$d_n + 120$	$d_n + 150$
Товщина фланця $\delta_{фл}$	10	14	22	30

Для внутрішнього огляду апарати забезпечуються люками і лазами. Стандартні діаметри люків – 120 і 150 мм. Лази виконуються овальної (300x400) або круглої (400, 450 і 500 мм) форми в апаратах діаметром більше ніж 800 мм.

Для нагляду за рівнем рідини, ходом процесу в апараті (наприклад, у випарниках) передбачається встановлення круглих або прямокутних оглядових вікон. Нормовані круглі оглядові вікна роблять діаметром 50, 80, 125, 150 мм, прямокутні – шириною 60 і висотою 140 та 340 мм. Скло оглядових вікон затискується між набою, яка приварюється безпосередньо до корпусу апарату, і фланцем.

Для освітлення внутрішнього простору на апараті з діаметрально протилежної сторони розміщують світлові вікна, звичайно такої самої конструкції та розмірів, як оглядові.

Оформлення списку використаних джерел

В кінці пояснювальної записки, до додатків, складають список використаної літератури. У список літератури входять усі використані джерела, які розміщують в порядку появи посилань у тексті РПЗ. Опис джерела має включати прізвище та ініціали автора (авторів), назву книги, місце видання, видавництво і рік видання, обсяг у сторінках. Відомості про проектну та іншу технічну документацію (промислові каталоги, прейскуранти та ін.) містять заголовки, вид документації, організацію, що випустила документ, місце і рік видання.

Джерела можна розміщувати одним із таких способів: у порядку появи посилань у тексті (найбільш зручний для користування), в алфавітному порядку прізвищ перших авторів або заголовків, у хронологічному порядку.

Відомості про джерела, включені до списку, необхідно давати відповідно до вимог державного стандарту з обов'язковим наведенням назв праць. Зокрема потрібну інформацію щодо згаданих вимог можна одержати із таких стандартів:

- ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення»;
- ДСТУ 3582:2013 «Інформація та документація. Скорочення слів в українській мові в бібліографічному описі. Загальні вимоги та правила»;
- ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання»;
- ДСТУ ГОСТ 7.80:2007 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Заголовок загальні вимоги та правила складання»;
- ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Ці вимоги визначають загальні правила бібліографічного опису документів і правила його складання та розповсюджується на текстові опубліковані й неопубліковані документи: книги, серійні видання, нормативні й технічні документи, депоновані наукові праці, звіти про науково-дослідні роботи, ін.

ПОРЯДОК ПОДАННЯ ТА ЗАХИСТУ РОБОТИ

Виконана і зареєстрована на кафедрі курсова робота (відповідно до розкладу захисту) подається комісії, що призначається кафедрою і складається з викладачів кафедри, в тому числі й керівника роботи. Підставою до захисту курсової роботи є розроблене креслення та оформлена розрахунково-пояснювальна записка, а також заповнений керівником лист оцінювання (додаток И).

Процедура захисту складається з доповіді автора роботи (до десяти хвилин), запитань з боку комісії по суті роботи і відповідей на них.

У доповіді потрібно викласти:

- загальну характеристику теплообмінного апарату;
- відомості про основні розрахунки;
- дані про принципові конструктивні рішення.

Оцінювання виконання курсової роботи здійснюється за 100-бальною системою із подальшим переведенням до національної системи оцінок та шкали ECTS. Загальна кількість умовних балів складається із суми балів, відповідно до листа оцінювання, та балів, що нараховуються комісією при захисті роботи (Додаток И).

Орієнтовний перелік запитань для захисту курсової роботи

Запитання під час захисту курсової роботи можуть стосуватися як розрахунково-пояснювальної записки, так і графічної частини. Щодо записки – це запитання про принципи і обґрунтування виконаних розрахунків, вибір матеріалів деталей та ін. Запитання можуть різнитися залежно від виду технічного завдання, теми роботи. Щодо графічної частини роботи, то існують групи запитань стосовно того чи іншого кресленника, які можна назвати типовими.

ДОТРИМАННЯ ПРАВИЛ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

При виконанні курсової роботи здобувач вищої освіти повинен неухильно керуватися принципами академічної доброчесності відповідно до Кодексу академічної доброчесності Полтавського державного аграрного університету та Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату в Полтавському державному аграрному університеті. У першу чергу, це стосується уникнення академічного плагіату – оприлюднення (частково або повністю) наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення авторства. Здобувач повинен використовувати перевірені та достовірні джерела інформації та коректно посилатися на них; не фальсифікувати інформацію та результати досліджень з їх наступним використанням у науковій роботі.

За порушення академічної доброчесності здобувачі вищої освіти можуть бути притягнені до академічної відповідальності згідно із законодавством. Цитування має використовуватися в усіх випадках, коли в роботі використовуються дані, взяті зі сторонніх джерел, а не отримані або створені безпосередньо автором.

Порушення вказаних нижче правил і їх недотримання має розцінюватися як плагіат:

- якщо цитується великий уривок тексту, то він може не братися в лапки, натомість виділяється або відбивається від решти тексту певним способом (набирається іншим кеглем, шрифтом, накресленням, відбивається від основного тексту більшими абзацними відступами тощо); допускається скорочення цитати, яке не веде до викривлення думки автора. Місце скорочення має бути відзначене в цитаті квадратними дужками із трикрапкою всередині;

- допускається перефразування цитати, зміна словоформ чи відмінків певних слів. У такому разі цитата в лапки не береться, але в квадратних дужках обов'язково ставиться посилання на джерело (його порядковий номер зі списку використаної літератури, який додається до роботи);

- у списку використаних літературних джерел завжди слід вказувати навіть ті джерела, які використовувалися під час підготовки роботи і вивчення теми, навіть якщо прямих посилань чи цитувань цих джерел у роботі немає. Повне копіювання не тільки цілих блоків тексту, а й окремих фраз із наявних публікацій без посилання на джерело не дозволяється.

Курсові роботи, в обов'язковому порядку підлягають перевірці із використанням антиплагіатних онлайн-систем на наявність текстових запозичень із відкритих джерел в інтернеті згідно Порядку перевірки академічних текстів на наявність текстових запозичень у Полтавському державному аграрному університеті.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Оцінка курсової роботи здійснюється за 100-бальною шкалою, яка складається з двох частин:

виконання курсової роботи – 59 балів; захист курсової роботи – 41 бал.

У оцінці виконання курсової роботи враховується наступне:

- якість оформлення записки, виконання креслень та їх відповідність до вимог ЄСКД;
- повнота обґрунтування прийнятих рішень;
- розуміння будови конструкції, окремих вузлів, їх призначення, принципу роботи;
- ерудиція стосовно опрацьованої з даної теми літератури, вміння оперативно користуватись довідковою літературою;
- вміння презентувати виконану роботу;
- точні та вичерпні відповіді під час захисту роботи.

Захист курсової роботи проводиться на кафедрі перед комісією, в склад якої входять професори, доценти та асистенти кафедри. Захист курсового проекту проводиться прилюдно. Крім членів комісії на захист запрошуються співробітники кафедри та студенти.

Студенти, які захищають проекти, повинні з'явитися не пізніше, ніж за 30 хвилин до початку захисту і здати секретарю комісії пояснювальні записки.

На захисті студенту дається час для доповіді до 6 хв., перевищення вказаного часу не допускається. У доповіді слід викласти найважливіші етапи та результати роботи, чітко сформулювати кінцеві висновки. Студенту рекомендується заздалегідь ретельно підготуватися до доповіді, скласти план або, за бажанням студента, повний текст доповіді. Але читання доповіді з написаного тексту не допускається. Аркуші креслень для демонстрації слід розміщувати в порядку викладення матеріалу.

Під час доповіді слід говорити достатньо гучно та розбірливо, супроводжуючи викладення показом (за допомогою указки) відповідних креслень на аркушах. При цьому стояти треба обличчям до аудиторії.

Після заслуховування відгуку керівника, студенту надається слово, в якому він повинен відповідати по суті на зауваження, які містить відгук. Потім члени комісії, а також всі бажаючі із числа присутніх в аудиторії, задають питання, на які студент повинен дати стислі, але повні та вичерпні відповіді. Питання можуть ставитися як до деталей викладеного курсового проекту, так і до теоретичних положень, що тісно пов'язані з темою виконаної роботи.

На підставі висновків комісії і керівника проекту про якість роботи та його захист студент отримує оцінку. В разі не згоди здобувача вищої освіти з оцінкою, комісія дає додаткові запитання і надає можливість збільшити кількість балів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ружинська Л.І. Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв: навчальний посібник для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»; уклад: Ружинська Л. І., Шафаренко М. В., Воробйова О. В. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 66 с.
2. Стасевич М. В.. Технологічне обладнання фармацевтичної та біотехнологічної промисловості: підручник для студентів вищих навчальних закладі, уклад.: Стасевич М.В., А.О. Милянч, Л.С. Стрельников, Т.В. Крутських та інш. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", Національний фармацевтичний університет, 2020. 409 с.
3. Сидоров Ю.І. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Технічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування / Навч. посібник / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новиков. Львів: «ІнтелектЗахід», 2008. 736 с.
4. Новіков В.П. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв. Вінниця: Нова книга. 2012. 408 с.
5. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології: підручник/ Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. Ч.1. 416 с.
6. Сметана О. Ю. Сільськогосподарська біотехнологія: курс лекцій з дисципліни для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 162 «Біотехнологія та біоінженерія» денної форми навчання. Миколаїв: МНАУ, 2017. 132 с.
7. Коваленко І. В., Малиновський В. В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: підручник. Київ: Інрес: Воля, 2006. 264 с.
8. Малезик І. Ф. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / І. Ф. Малезик, П. С. Циганков, П. М. Немирович та ін.; за ред. І. Ф. Малезика. Київ: НУХТ, 2003. 400 с.
9. Малезик І. Ф. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: навч. посібник / І. Ф. Малезик, О. С. Марценюк, Л. Н. Мельник та ін.; за ред. І. Ф. Малезика. Київ: НУХТ, 2012. 543 с.
10. Процеси та апарати природоохоронних технологій : підручник: у 2-х т. Т. 2 / Л. Д. Пляцук [та ін.] ; Сум. держ. ун-т. Суми : СумДУ, 2017. 521 с.

11. Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв : монографія / А. І. Соколенко, В. А. Піддубний, К. В. Васильківський та ін. ; за ред. А. І. Соколенка. Київ: Кондор, 2023. 324 с.
12. Інтенсифікація енерго-масообмінних процесів в культуральних середовищах бродильних і мікробіологічних виробництв : монографія / А. І. Соколенко, О. Ю. Шевченко, К. В. Васильківський та ін. Київ : Кондор, 2021. 210 с.
13. Основні вимоги до проектної та робочої документації: ДСТУ А.2.4-4:2009 [Чинний від 2010-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 66 с. (Національні стандарти України).
14. Креслення. Навчальний посібник. / Автори-упорядники: Глушко Ю.Ю., Гребенькова Г.В.М.: Ресурсний центр ГУРТ, 2016. 128 с.

Інформаційні ресурси мережі Інтернет

1. Науково-технічна бібліотека Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"). Сайт: <http://library.kpi.kharkov.ua/>
2. Електронний каталог НТБ КПІ ім. Ігоря Сікорського <https://discovery.kpi.ua/Search/Results?lookfor=%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D0%B8&type=AllFields&limit=20>
3. Положення про організацію самостійної роботи здобувачів вищої освіти Полтавського державного аграрного університету URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/5555/plozhennyaprosamostiynusayt.pdf>
4. Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату в Полтавському державному аграрному університеті. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/9854/plozhennyaprozapobigannyaplaguatunasayt.pdf>
5. Кодекс академічної доброчесності Полтавського державного аграрного університету URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/9854/kodeksdobrochesnostinasayt.pdf>
6. Положення про організацію освітнього процесу в Полтавському державному аграрному університеті URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/5555/plozhennyaproosvitniyprocenasayt.pdf>
7. Положення про систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти в Полтавському державному аграрному університеті URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/5555/plozhennyaprossystemuvzyanayasayt.pdf>
8. Стандарт вищої освіти бакалавра за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія» галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 04.10.2018 р. № 1070)
9. Освітньо-професійна програма зі спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія першого (бакалаврського) рівня вищої освіти <https://www.pdau.edu.ua/content/zmist-pidgotovky-zvo-za-osvitnim-stupenem-bakalavr-zi-specialnosti-162-biotehnologiyi-ta>

ДОДАТКИ

Додаток А

Форма завдання на курсову роботу

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра біотехнології та хімії

ЗАВДАННЯ на курсову роботу

здобувачеві вищої освіти ____ курсу ____ групи, освітньо-професійної програми Біотехнології та біоінженерія

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема

_____ Термін здачі роботи на кафедру не пізніше «__» _____ 202__р.

2. Перелік питань, що підлягають опрацюванню:

Дата видачі завдання «__» _____ 202__р.

Керівник курсової роботи

_____ (підпис)

_____ (власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання:

_____ (підпис зво)

_____ (власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

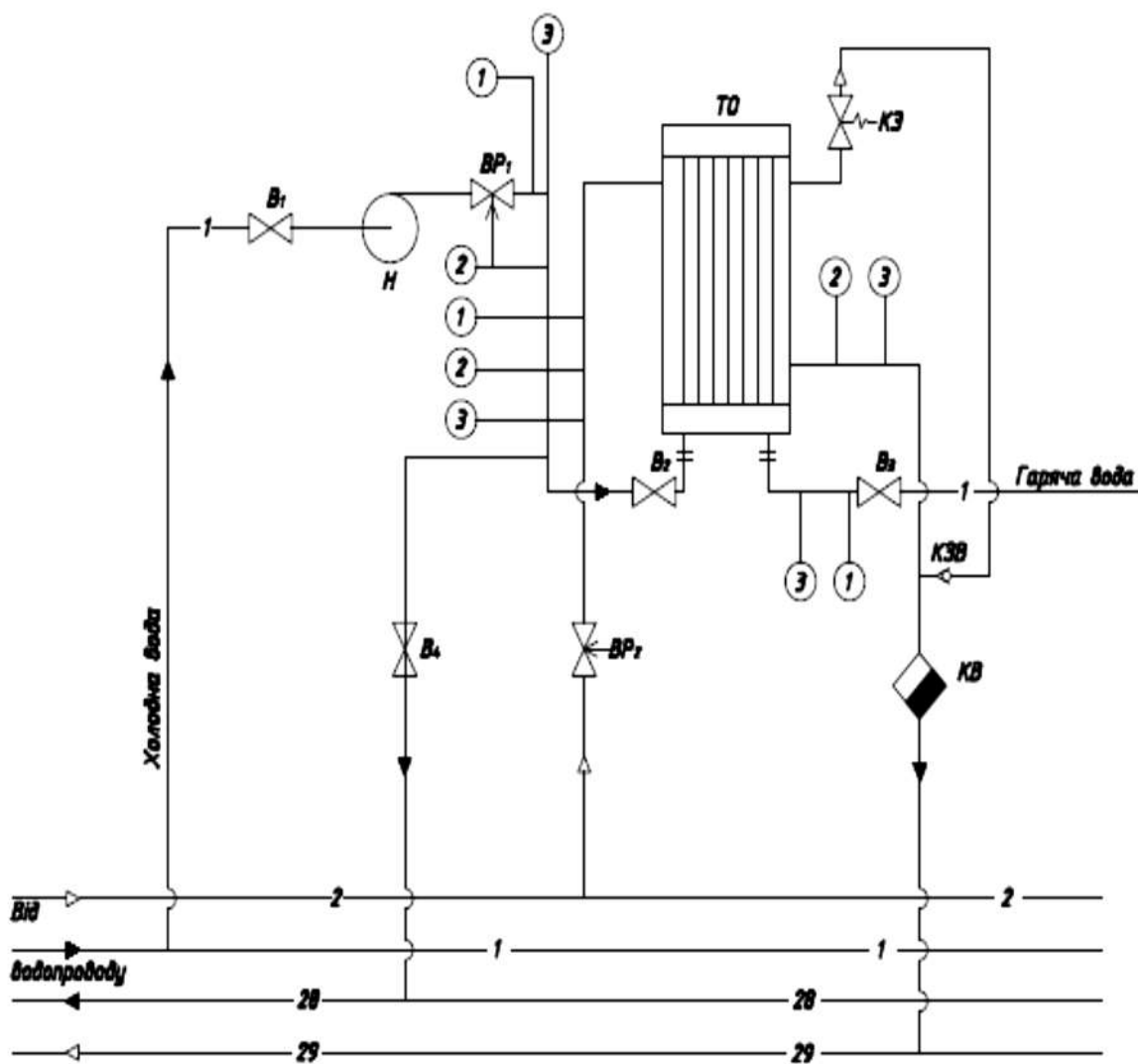
Приклад оформлення технічних показників розробленого апарату

Таблиця Б – Технічні показники теплообмінника

Показники	Значення
Продуктивність за продуктом (G), кг/с	1,0
Площа поверхні теплообміну (P), м ²	0,5616
Гарячий теплоносій Тиск	суха насичена пара 0,24
Холодний теплоносій	
- початкова температура (t_1), °C	40
- кінцева температура (t_2), °C	60
Діаметр зовнішньої труби, мм	76 x 4
Діаметр внутрішньої труби, мм	38 x 3,5
Довжина трубки в одному ході, мм	1500
Кількість ходів	4-ох
Загальний гідравлічний опір системи ($\Delta P_{заг}$), Па	6554,36
Потужність на валу насоса (N), Вт	7,97

В цілому за своїми технічними показниками спроектований апарат не відрізняється від аналогів, описаних в довідниковій літературі.

Приклад оформлення схеми контрольних точок процесу нагрівання



Приклад виконання специфікації до креслення

Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
		<u>Запозичені вироби</u>		
1	АБВГ.753125.002	Пробка	1	
2	АБВГ.754152.002	Прокладка	2	
		<u>Покупні вироби</u>		
8		Винт А.М6-6g x 12.48 ГОСТ 1491-80	10	
9		Гайка М8 x 6Н.5 ГОСТ 15521-70	4	
18		Кільце 1А 40 ГОСТ 13941-68	1	
19	АБВГ.303711.005	Шестерня	1	m = 2; z = 37 Сталь 40Х
		<u>Знову розроблені вироби</u>		
27	АБВГ.725616.005	Кришка корпусу	1	Сталь
28	АБВГ.731246.001	Решітка трубна	2	Латунь
29	АБВГ.754152.001	Прокладка	2	Пароніт
30	АБВГ.725616.001	Кожух	1	Сталь

*Форма
титального аркуша курсової роботи*

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра _____

КУРСОВА РОБОТА

«_____»
(назва)

на тему «_____»

Виконав

здобувач вищої освіти _____

освітній ступінь _____

_____ курсу _____ групи

освітньо-професійної програми _____

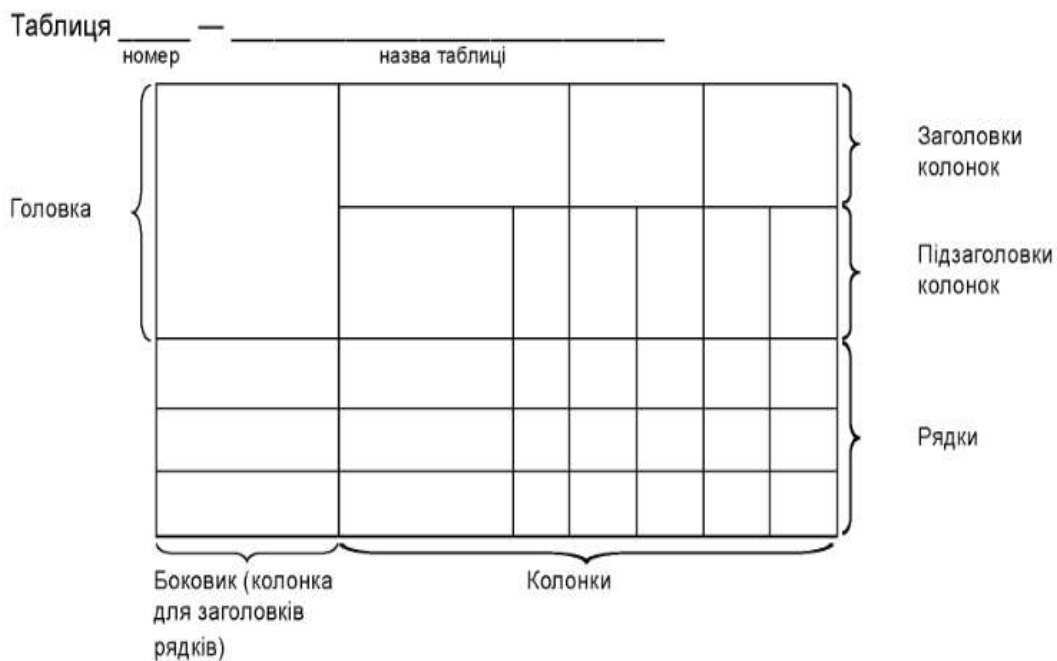
навчально-наукового інституту _____

денної форми навчання

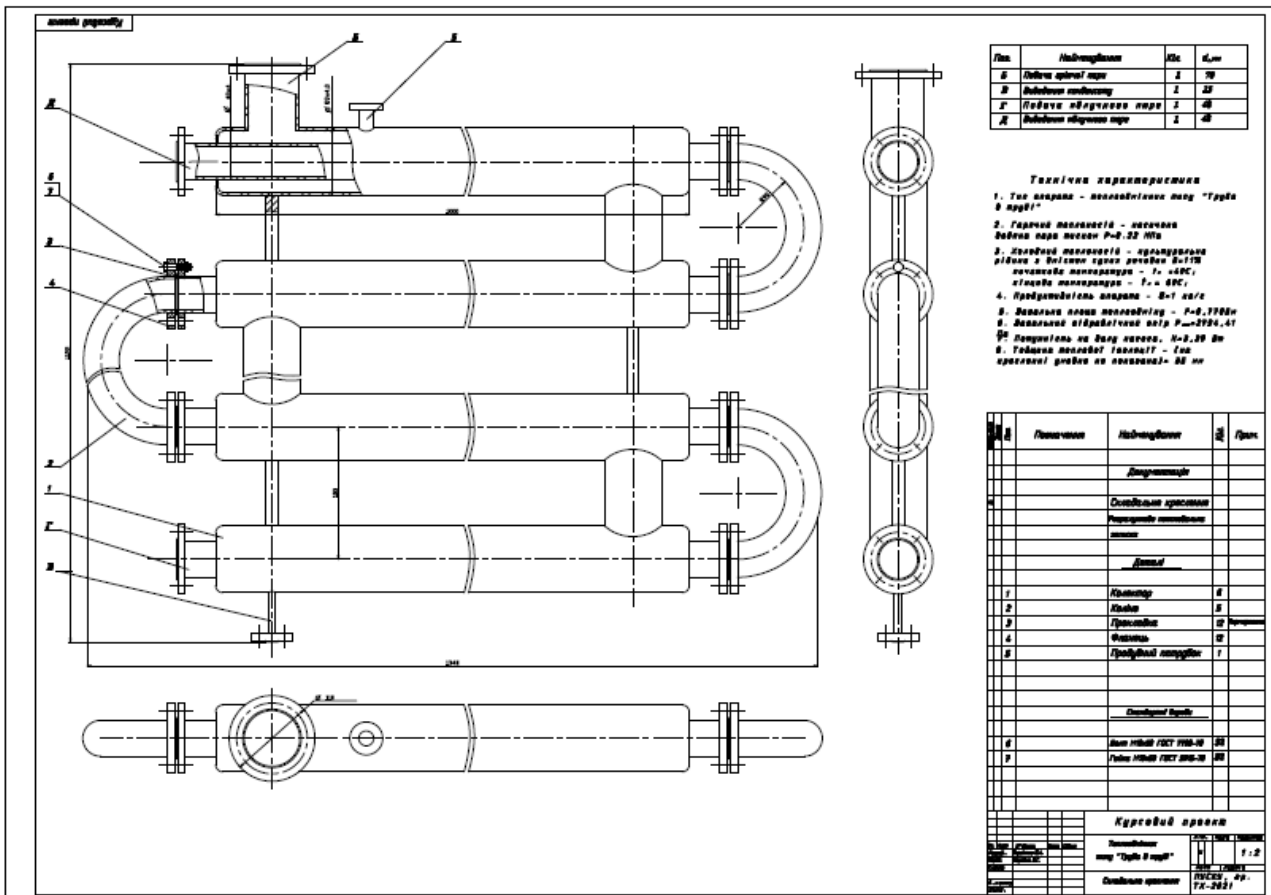
Науковий керівник _____

Полтава 202_____

Приклад оформлення таблиць



Приклад складального креслення загального виду



ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології
 Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія
 Освітньо-професійна програма Біотехнології та біоінженерія
 Форма навчання денна Курс - 3, група - 1

Л И С Т О Ц І Н Ю В А Н Н Я

курсової роботи з дисципліни «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв»

здобувача вищої освіти _____

на тему _____

Обсяг курсової роботи _____ Кількість використаних джерел _____

Загальна оцінка роботи (необхідне підкреслити, у разі потреби – доповнити): *актуальність теми розкрита* – фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі; *ступінь втілення мети та виконання завдань дослідження* – низький; середній; високий; *повнота розкриття теми роботи у змісті* – фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі _____

Загальна оцінка змісту та якості оформлення роботи (необхідне підкреслити, у разі потреби – доповнити): *виконані розрахунки*: недостатню, достатню; *аналітичний розділ*: фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі; *містить конкретні пропозиції*: фрагментарно; на середньому рівні; у повному обсязі; *додатки пов'язані з матеріалом роботи*: фрагментарно; на середньому рівні, у повному обсязі; *висновки за результатами мають обґрунтування*: недостатнє, відносно достатнє, достатнє.

Рівень оригінальності тексту (необхідне підкреслити): високий, достатній, умовний, низький

Результати оцінювання курсової роботи

Критерії оцінювання курсової роботи *	Макс. к-сть балів	Отримані бали
1. Оцінка змісту курсової роботи		
1. Відповідність змісту та оформлення курсової роботи вимогам навчально-методичних рекомендацій щодо його виконання.	10	
2. Обґрунтування основних інженерних, технологічних рішень, відповідність прийнятих рішень виданому завданню.	4	
3. Правильність виконаних розрахунків	15	
4. Прийняті інженерні рішення	10	
5. Креслення виконано вірно, відповідно до проведених розрахунків	15	
6. Використання сучасних комп'ютерних технологій	5	
Разом	59	
2. Захист проекту		
Доповідь здобувача вищої освіти	10	
Відповіді на питання	31	
Разом	41	
3. Загальна кількість балів за виконання курсової роботи	100	

Висновки (*підкреслити*)

- рекомендувати до захисту без доопрацювання;
- рекомендувати до захисту за умови доопрацювання _____
- не рекомендовано до захисту, необхідно суттєво доопрацювати _____

Роботу перевірів _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада П.І. викладача кафедри, що перевіряв курсову роботу)

«_____» _____ 202__р. _____