



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

КОНСТРУКТОРСЬКЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ: КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,
спеціалізацією «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування
інноваційного галузевого обладнання»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Конструкторське проектування обладнання: курсовий проект [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А.Р. Степанюк, О.Г. Зубрій – Електронні текстові дані (1 файл: 5,3 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 93 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол № 4 від 31.05.2022 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

КОНСТРУКТОРСЬКЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ: КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Укладачі: *Андрій Степанюк*, канд. тех. наук, доц.
Олег Зубрій, канд. тех. наук, доц.

Відповідальний редактор *Корнієнко Ярослав*, докт. тех. наук, професор

Рецензенти: *Сокольський Олександр*, докт. тех. наук, доц.

У вимогах до виконання курсового проекту наведено мету та завдання курсового проекту. Сформульовано завдання на курсового проекту, його склад, обсяг і структура. Наведено вказівки до виконання розділів курсового проекту та рекомендації до виконання пояснювальної записки: структура, вимоги до форматування, викладення її тексту, оформлення розрахунків та оформлення додатків. Сформульовано рекомендації до виконання графічної частини роботи. Викладено вказівки щодо порядку захисту роботи та список рекомендованої літератури. У додатках наведено приклади виконання титульних аркушів курсового проекту, приклади параметричних розрахунків, креслення апарата і специфікацій до креслення апарата.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	6
2 ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ	7
3 СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	8
4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	9
4.1 Вимоги до змісту курсового проекту	9
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ	15
5.1 Структура пояснювальної записки	15
5.2 Вимоги до форматування пояснювальних записок	15
5.3 Виклад тексту пояснювальної записки.....	16
5.4 Оформлення розрахунків	17
5.5 Оформлення додатків	25
6 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ	26
6.1 Правила заповнення штампу креслення.....	28
6.2 Правила оформлення специфікацій до складального креслення	30
7 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ РОБОТИ.....	41
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	42
ДОДАТОК А. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОГО ПРОЕКТУ .	45
ДОДАТОК Б. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	46
ДОДАТОК В. ЗРАЗОК ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ	47
ДОДАТОК Г. ЗРАЗОК ЗМІСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	48
ДОДАТОК Д . ЗРАЗОК ОПИСУ ВКЛАДЕНЬ.....	50

ДОДАТОК Е. ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-РАФІЧНУ РОБОТУ	51
ДОДАТОК Є. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ШТУЦЕРІВ	53
ДОДАТОК Ж. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ПАРОГЕНЕРАТОРА	56
ДОДАТОК З. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ	58
ДОДАТОК К. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНОКУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБИЧАЙКИ РОТОРА ЦЕНТРИФУГИ В ЗОНІ КРАЙОВОГО ЕФЕКТУ	68
ДОДАТОК К. ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ПРИ РОЗРАХУНКУ КРАЙОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	78
ДОДАТОК Л. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ	82
ДОДАТОК М. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИМОВИХ ГАЗІВ	83
ДОДАТОК Н. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ	84
ДОДАТОК О. ПРИКЛАД СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ	85
ДОДАТОК П. ПРИКЛАД СПЕЦИФІКАЦІЇ ДО СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ	86
ДОДАТОК Р. КЛАСИФІКАТОР ЄСКД	88

ВСТУП

Шлях до впровадження у виробництво наукових розробок лежить через створення конструкторської документації. Розробка такої документації це творчий процес, який потребує від конструктора не тільки глибоких знань дисциплін, що викладаються у ЗВО, але й уміння використовувати їх при проектуванні. Від якості конструкторської документації, як правило, залежить кінцевий результат наукової розробки, доля нових машин і апаратів.

Методичні вказівки складено у відповідності до ГОСТ 2.105-95.

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Метою курсового проекту є набуття практичних умінь при виконанні студентами технічної документації з дисципліни «Конструкторське проектування обладнання».

Завданнями курсового проекту є:

Завданнями курсового проекту є:

- описати технологічну схему;
- обґрунтувати вибір типу апарату для забезпечення процесу;
- провести порівняння апарату (машини) з аналогами;
- обґрунтувати вибір матеріалів для виготовлення апарату (машини);
- скласти матеріальний та тепловий баланси апарату (машини);
- визначити основні геометричні розміри апарату (машини);
- визначити розміри штуцерів;
- розрахувати елементи конструкції на міцність;
- розрахувати елементи конструкції та стійкість;
- перевірити міцність деталей конструкції в крайовій зоні;
- виконати укріплення отворів;
- оцінити ступінь стандартизації та уніфікації;
- розробити креслення апарату (машини) та його елементів;
- розробити необхідні специфікації;
- презентувати виконану курсову роботу.

2 ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Завдання видається кожному студенту особисто протягом перших двох тижнів навчання. Перелік тем курсового проекту наведено в робочій навчальній програмі.

Текст завдання (Додатку Е) підписується студентом, що буде виконувати розрахунково-графічну роботу та керівником курсового проекту.

Зразок завдання розміщено у Додатку В.

З СКЛАД, ОБСЯГ І СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект складається з пояснювальної записки і графічної частини.

Пояснювальна записка складається з розділів, наведених у зразку змісту (Додаток Г). Орієнтовний обсяг пояснювальної записки 15...20 аркушів формату А4.

Обсяг графічної частини остаточно визначається керівником курсового проекту і складається з складального креслення апарата (машини) та специфікації до складального креслення апарата (машини), креслення складальних елементів апарата та виконати необхідні специфікації, але не менше трьох аркушів формату А1.

4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗДІЛІВ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

4.1 Вимоги до змісту курсового проекту

При виконанні розділів, необхідно звернути увагу на:

Розділ «**Вступ**».

У вступі коротко надається інформація про актуальність продукції, яка виробляється на обладнанні, що буде проектуватися. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки. В кінці вступу вказується, коли було видано завдання на проектування.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «**1.1 Опис технологічного процесу**»

У розділі наводиться опис технологічного процесу та схема цього процесу.

Приблизний обсяг розділу – 2...3 аркуші.

Розділ «**1.2 Вибір типу апарата і його місце в технологічній схемі**»

У розділі наводиться призначення апарата та вибирається його тип, що забезпечує виконання технологічного процесу.

Приблизний обсяг розділу – 1...2 аркуші.

Розділ «2 Технічна характеристика»

Подаються основні технічні вимоги до апарату (машини), що буде проектуватися.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата»

Наводиться опис основних елементів складових частин апарата, надається схема апарата.

Приблизний обсяг розділу – 1...2 аркуші.

Розділ «3.2 Вибір матеріалів»

Наводиться обґрунтування та вибір матеріалів для основних деталей апарата з урахуванням агресивності середовищ та виконання умов міцності. Вказуються джерела, звідки взято інформацію про матеріали.

Приблизний обсяг розділу – 1...2 аркуші.

Розділ «3.3 Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами»

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти і сучасності конструкції необхідно провести патентний пошук Регламент патентного пошуку, довідка про патентний пошук, джерела патентної інформації та науково-технічна інформація, відібрана для подальшого аналізу наводяться в додатках у вигляді відповідних форм. Короткі описи обраних патентів наводяться в тексті розділу.

Надаються 3...4 описи аналогів, найбільш близьких до виробу, що проектується, з патентів за останні роки з вказівками переваг та недоліків винаходів. Вказуються номери патентів чи свідоцтв.

В кінці розділу відзначається в чому полягає модернізація апаратів.

Фотокопії використаних патентів розміщують у додатку .

Приблизний обсяг розділу – 3...4 аркушів.

Опис використаних аналогів здійснюється за прикладом 3.1.

Приклад 3.1.

Авторами авторського свідоцтва №1736536 [9] запропоновано роторний тонкоплівковий випарник, що зображений на рисунку 3.1.

Мета винаходу: інтенсифікація процесу тепло масообміну і виключення рідинних потоків перед лопатками ротора.

Поставлена мета досягається тим що шарнірно закріплені на роторі лопаті з рядом отворів в хвостовій частині виконані дуговими розміщені з зазором до внутрішньої частини корпусу з утворенням конфузorno-дифузornoго перерізу зазору.

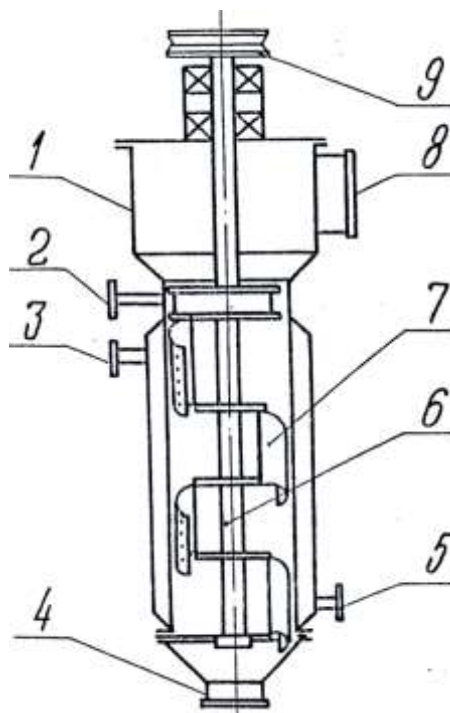


Рисунок 3.1 – Роторний тонкоплівковий випарник

Робота апарата полягає в наступному. Вихідний продукт подається через штуцер 2 при обертанні ротора 6. Під дією відцентрових сил шарнірні дугоподібні лопаті 7 генерують рідинну плівку без утворення носових хвиль. Маючи різні швидкості потоку в конфузорі і дифузорі, рідина піддається різноманітним імпульсним впливам тиску в них, що призводить до інтенсифікації процесу теплообміну. У випадку попадання рідини на внутрішню поверхню дугових елементів виключення внутрішніх потоків системи досягається за допомогою системи отворів в дифузорній частині каналу.

Далі аналогічно наводяться конструкції ще 2...3 винаходів чи патентів. Після цього робляться висновки про сучасність розроблюваного апарата, а також про його патентну чистоту та патенту здатність.

Висновки: Аналізуючи патенти, можна зробити висновок, що модернізація фільтрів проводиться шляхом зміни конструкції елементів кріплення для спрощення монтажу та демонтажу фільтра. Пропонується використати таку схему кріплення фільтра в апараті, що проектується.

Висновки:

Наявність за останні 15 років досить значної кількості патентів на роторно-плівкові апарати свідчить про сучасність обраної конструкції .а наявність патентів за останні 5 років вказує на те, що на сьогодні розробка і вдосконалення конструкції роторно-плівкових апаратів є достатньо актуальною.

Основні розробки спрямовані на підвищення ефективності роботи апаратів шляхом підвищення інтенсивності теплообміну, зниження енерговитрат, а на також спрощення конструкції та зменшення габаритних

розмірів. Основними засобами досягнення поставлених задач є вдосконалення конструкцій лопатей, які підвищують ефективність перемішування, застосування більш ефективних розподільчих пристроїв, застосування для обігріву електричного струму.

В розроблюваному апараті не використано запатентованих рішень, тому він є патентно чистим. Проте, зважаючи на його енергоємність та значні габаритні розміри, розглянуті рішення доцільно застосовувати для подальших розробок.

Розділ « 4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції апарата (машини)

Підрозділ 4.1 Параметричний розрахунок апарату (машини) »

Виконується проектний або перевірочний розрахунок апарату (машини). Визначаються основні геометричні розміри апарату (машини).

Приблизний обсяг розділу – 8...10 аркушів.

Підрозділ «4.2 Визначення розмірів штуцерів»

По рекомендованих швидкостях теплоносіїв та заданих витратах теплоносіїв проводиться визначення розмірів штуцерів.

Приблизний обсяг розділу – 2...3 аркуші.

Підрозділ «4.3 Розрахунок гідравлічного опору»

Визначається гідравлічний опір апарата (машини).

Приблизний обсяг розділу – 2...3 аркуші.

Підрозділ «4.4 Розрахунок на міцність, стійкість, жорсткість та герметичність»

Виконуються розрахунки, що підтверджують міцність, стійкість жорсткість та герметичність окремих деталей і вузлів апарата (машини).

Приблизний обсяг розділу – 30...40 аркушів.

Розділ « 5 Рекомендації що до монтажу та експлуатації апарата

Наводиться інформація про правила встановлення апарата (машини) на робоче місце, умови нормальної роботи та особливості проведення ремонтних робіт.

Приблизний обсяг розділу – 8...10 аркушів.

Підрозділ «Висновки»

У висновку переховуються всі роботи, що були виконані у відповідності до змісту роботи, в тому числі і креслення для досягнення мети, поставленої в завданні. Вказуються всі авторські модифікації та модернізації.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

5.1 Структура пояснювальної записки

Пояснювальна записка виконується згідно вказівок:

- Вимог ГОСТ 2.105-95.
- Оформление графической документации. методические указания к выполнению курсовых та дипломных проектов / сост. В.Н. Марчевский. – К.: КПІ, 1998р. – 250 с.

Пояснювальна записка для курсового проекту розпочинається титульним листом з надписом „Пояснювальна записка” (додаток Б), наступним аркушем є „Завдання на проектування” (додаток В). Далі „Зміст” (додаток Г).

До додатків вносять таблиці ідентифікаторів, алгоритмічні схеми (блок-схеми), програми, після записки вкладаються специфікації.

5.2 Вимоги до форматування пояснювальних записок

Текст пояснювальної записки розділяють на розділи і підрозділи, відповідно до змісту.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа (частини), позначені арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрім першої великої літери) напівжирним форматом літер (Приклад 5.1). Використання курсивного форматування, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовком розділу або підрозділу і текстом повинна бути у 3 інтервали. Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Кожен розділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки). Відстань між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

Приклад 5.1 Оформлення заголовку

2 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції теплообмінника

2.1 Розрахунок продуктивності теплообмінника

Мета розрахунку

5.3 Виклад тексту пояснювальної записки

Повне найменування виробу на титульному листі, в основному написі і при першому згадуванні в тексті документа повинне бути однаковим з найменуванням його в основному конструкторському документі

(специфікації). Найменування, що наводяться в тексті пояснювальної записки і на ілюстраціях, повинні бути однаковими.

5.4 Оформлення розрахунків

Необхідні розрахунки апаратів визначаються керівником. **Всі величини подаються в системі СІ.**

В кожному підрозділі розрахунок проводиться за такою схемою (Приклад 5.2):

1. Мета розрахунку з вказівкою, що потрібно визначити.
2. Розрахункова схема або ескіз виробу (у довільному масштабі).
3. Вхідні данні.
4. Умови розрахунку.
5. Розрахунок.
6. Висновки, відповідно до мети.

При наведенні алгоритмів та комп'ютерних програм матеріал викладається у такій послідовності (Приклад 5.3):

1. Опис алгоритму розрахунку.
2. Алгоритмічна-схема та її опис.
3. Данні для розрахунку.
4. Програма.
5. Результати розрахунку на ПК.
6. Висновки за результатами розрахунку на ПК.

Алгоритмічна-схема, її опис та програма виноситься у додаток.

Приклад 5.2

4.2 Розрахунок барабану

Мета розрахунку: перевірка барабану на міцність, стійкість та жорсткість

4.2.1 Розрахунок на міцність барабану сушарки

Мета розрахунку: перевірка міцності барабану

Схема апарату наведена на рисунку 4.1.

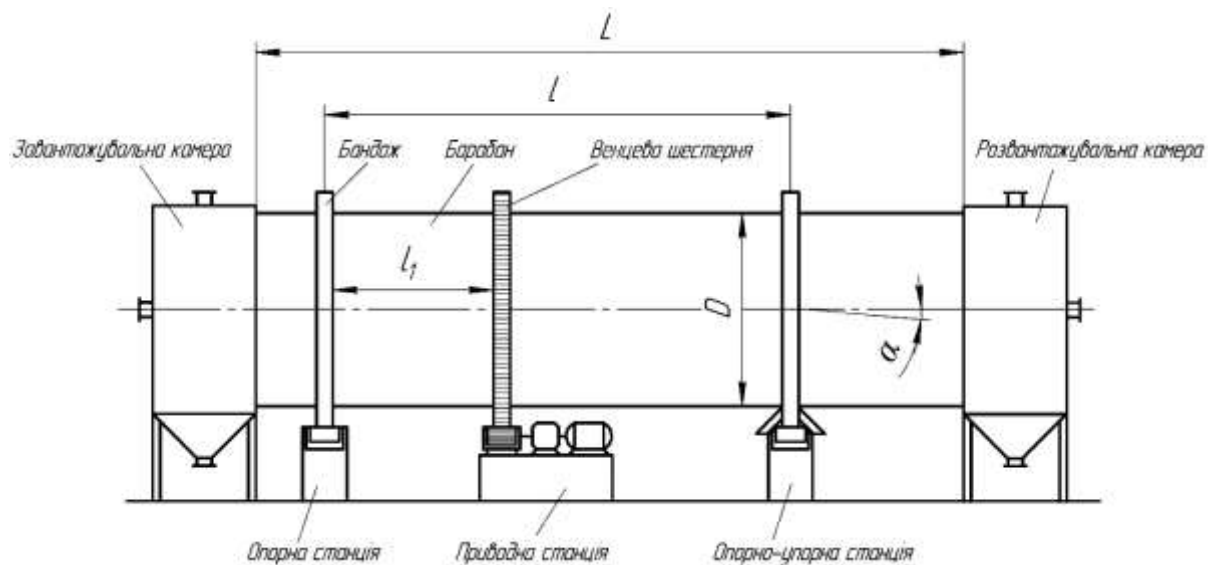


Рисунок 4.1 – Схема барабанного апарату

Початкові дані до розрахунку

Внутрішній діаметр апарату D , м	2;
Довжина барабана L , мм	12;
Відстань між бандажами l , м	7;
Відстань від опорно-упорної станції до венцевої шестерні l_1 , м	0,945;
Товщина стінки s , мм	12;
Маса барабана m_a , кг	8296
Маса насадки m_n , кг	8440
Коефіцієнт завантаження барабана β	0,18
Насипна густина матеріалу ρ_i , кг/м ³	820;

Потужність приводу N , кВт	10;
Частота обертання n , об/хв	3,15;
Вага вінцевої шестерні F , Н	10500;
Кількість башмаків n_A , шт	12;
Кут між опорними роликами φ , град	68.

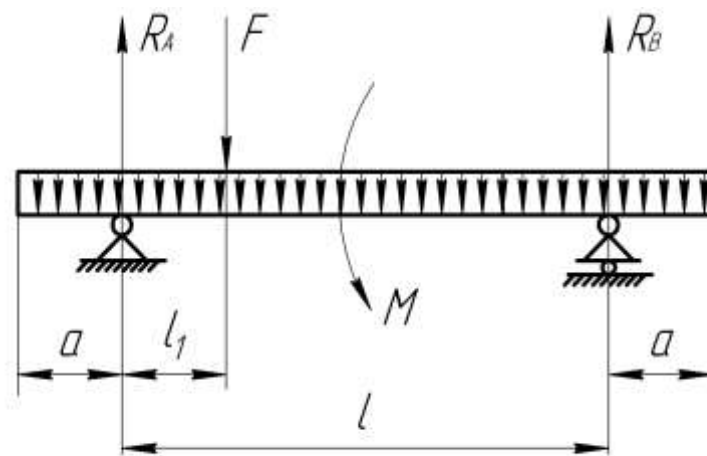


Рисунок 4.2 – Схема барабану (балки) та навантажень

Розрахунок викладено за авторами [12].

4.5.3 Визначення активних навантажень. q, R_A, R_B, M

Алгоритм розрахунку:

Вводимо вихідні данні та величини, що потрібні для розрахунку

Маса матеріалу:

$$m_m = \rho_n \cdot \beta \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L = 820 \cdot 0.18 \cdot \frac{3.14}{4} \cdot 2^2 \cdot 12 = 5428,9 \text{ кг},$$

де L – довжина барабана, $L = l + 2 \cdot a$

Маса насадки за нормативними даними [12]

$$m_n = 8296 \text{ кг}$$

Загальна маса апарату разом з матеріалом:

$$M = m_a + m_n + m_m = 8296 + 8440 + 5428.9 = 22164.9, \text{ кг.}$$

Вага апарату разом з матеріалом:

$$G = M \cdot g, = 22164.9 \cdot 9.81 = 217438, \text{ Н,}$$

де $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння.

Рівнорозподілене навантаження:

$$q = \frac{G}{L} = \frac{22164.9}{12} = 1811.9 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Крутний момент:

$$M_{\text{кр}} = \frac{N}{\omega} = \frac{10000}{0.33} = 30321 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де ω - кутова швидкість, $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ рад/с.

Приклад 5.3

Метою розрахунку - є визначення навантажень на барабан сушарки, а саме: реакцій опор R_A, R_B та згинального моменту M

... далі наводяться початкові данні, посилання на розрахункову схему, розрахункова схема та посилання на авторів алгоритму розрахунку. ...

... – Подається алгоритм розрахунку... :

Визначення реакції опор R_A та R_B :

$$R_{Aq} = R_{Bq} = \frac{qL}{2}, \text{ Н} \quad (4.1)$$

$$R_{Bf} = \frac{Fl_1}{l} \quad (4.2)$$

$$R_{Af} = \frac{F \cdot (l - l_1)}{l} \quad (4.3)$$

$$R_A = R_{Aq} + R_{Af} \quad (4.4)$$

$$M_q = -\frac{qx^2}{2}, \text{ при} \quad (4.5)$$

$$0 \leq x \leq \frac{L-l}{2}$$

Визначення згинальних моментів в перерізах корпусу барабану:

Момент від поперечної сили F , яка діє на барабан в місці розташування вінцевої шестерні:

$$M_{f1} = R_{Af} \cdot \left(x - \frac{L-l}{2} \right), \quad (4.8)$$

$$\text{при} \quad \frac{L-l}{2} \leq x \leq \frac{L-l}{2} + l_1$$

$$M_f = R_{Af} \cdot \left(x \frac{L-l}{2} \right) - F \cdot \left(x - \frac{L-l}{2} - l_1 \right), \quad (4.9)$$

$$\text{при} \quad \frac{L-l}{2} + l_1 \leq x \leq \frac{L-l}{2} + l,$$

на консолях момент від сили F дорівнює нулю

За формулами (4.1) – (4.9) створена програма розрахунку моментів в перерізах барабану (доданок В пояснювальної записки).

$$M_q = -\frac{qx^2}{2} + R_{Aq} \left(x - \frac{L-l}{2} + l \right), \quad (4.6)$$

$$\text{при} \quad \frac{L-l}{2} \leq x \leq \frac{L-l}{2} + l$$

$$M_q = -\frac{qx^2}{2} + R_{Aq} \left(x \frac{L-l}{2} + l \right) + R_{Aq} \left(x - l - \frac{L-l}{2} \right), \quad (4.7)$$

$$\text{при} \quad \frac{L-l}{2} + l \leq x \leq L$$

Друкуємо результати та будуємо епюри моментів в поперечних перерізах. Результати розрахунку представлені в таблиці 4.2, епюри моментів – на рисунках 4.3 4.5.

Таблиця 4.2 Результати розрахунку

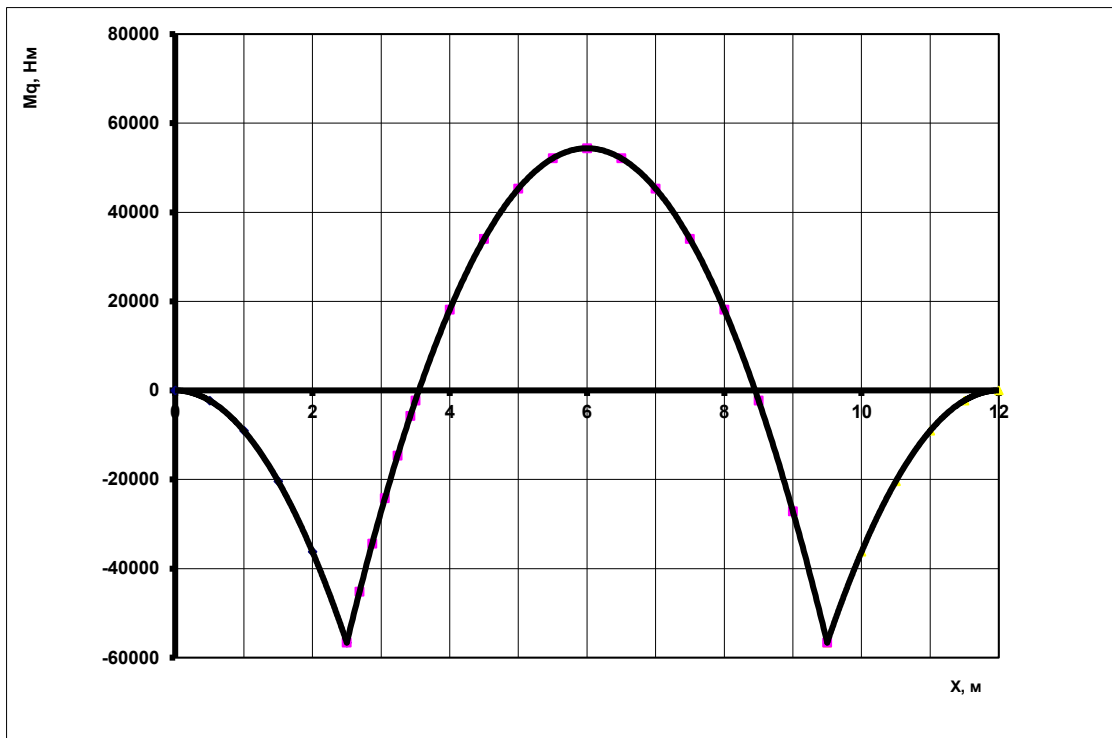


Рисунок 4.3 Епюра моменту M_q в перерізах барабана від дії розподіленого навантаження q

X	M_q	M_f	$M_q + M_f$
0	0	0	0
0,5	-2264,97	0	-2264,97
1	-9059,90	0	-9059,90
.....			
12	0	0	0

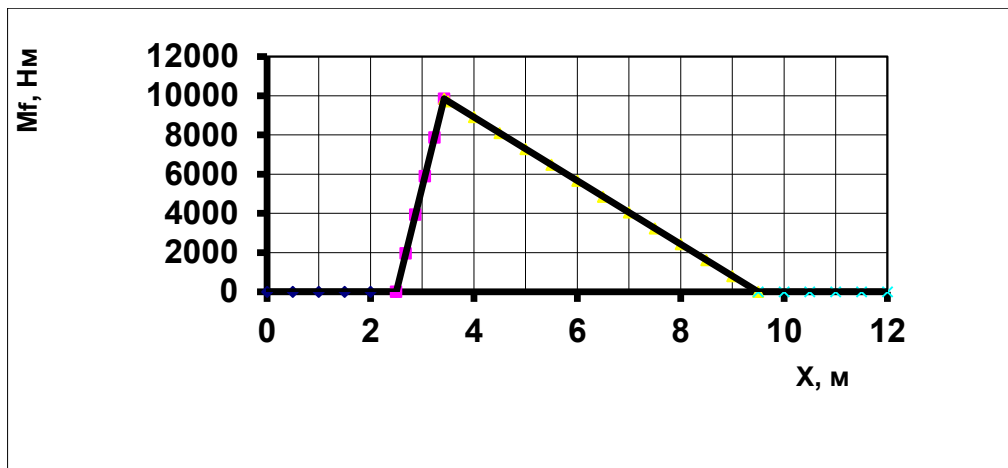


Рисунок 4.4 Епюра моменту M_f в перерізах барабана від дії зосередженого зусилля F

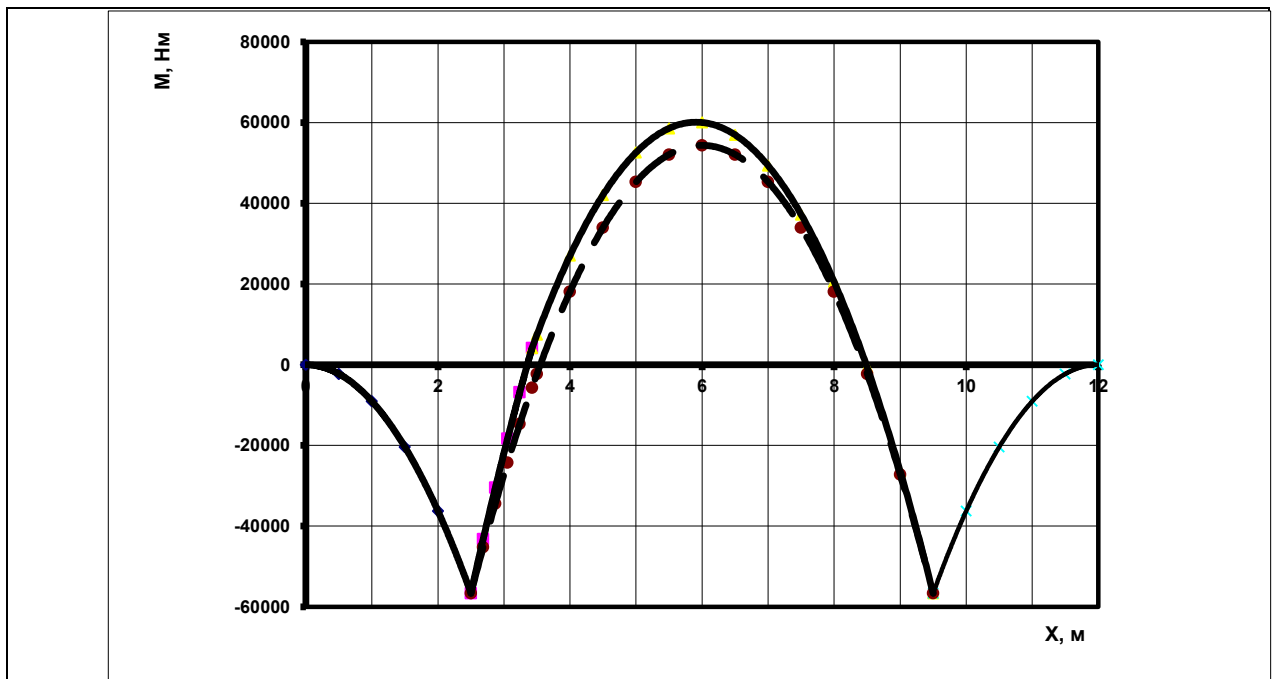


Рисунок 4.5 Епюра сумарного моменту M в перерізах барабана від дії зосередженого зусилля F .

Як видно з таблиці та епюр максимальний момент діє в прольоті між опорами. Для точного визначення координати x та значення максимального моменту M отримуємо рівняння:

$$M = -9059,9x^2 + 107098x - 256403, \quad (4.10)$$

З якого методами визначення екстремуму функції знаходимо величину x

$$x = 5,905 \text{ м}$$

Після підстановки x в рівняння (4.10) отримуємо

$$M_{\max} = 60103,27 \text{ Нм}$$

Визначаємо момент опору:

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S = \frac{3,14}{4} \cdot 2^2 \cdot 0,012 = 0,03368 \text{ м}^3$$

Знаходимо нормальне напруження:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{60103}{0,03368} - 1979165 \text{ Па} = 1,98 \text{ МПа}$$

Знаходимо момент інерції:

$$I = \frac{\pi \cdot ((D - S)^4 - D^4)}{64} = \frac{\pi \cdot ((2 - 0,012)^4 - (2)^4)}{64} \text{ м}^4$$

Визначаємо момент опору:

$$W_p = \frac{I}{\frac{D}{2}} = \dots = 0,06736 \text{ м}^3$$

Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} = \frac{30315}{0,06736} = 450044,5, \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,45 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{1,98^2 + 40,45^2} = 1,979165 \text{ МПа}$$

Перевіряємо виконання умови міцності:

$$1,979165 < 10$$

$$\sigma_{\text{екв}} \leq [\sigma], \text{ МПа.}$$

Висновки:

Виконана перевірка корпусу барабанного апарату на міцність. Умова міцності виконується
--

5.5 Оформлення додатків

При наявності в пояснювальній записці додатків їх виконують на аркушах формату А4. Додаток нумерують українськими літерами на першому аркуші додатку, за винятком літер Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ї. Кожний додаток розпочинається з нової сторінки посередині тексту словом додаток з вказівкою номера додатку. В наступній строчці розташовується заголовок додатку.

Текст кожного додатку при необхідності розділяють на розділи, підрозділи, які нумеруються окремо по кожному додатку. Додаток може мати свій зміст та перелік посилань. Ілюстрації і таблиці в додатках нумерують у межах кожного додатка.

Для всієї роботи повинна бути наскрізна нумерація аркушів.

6 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ

Матеріал викладено за авторами [12].

Під час виконання курсового проекту необхідно виконати три креслення формату А1 – складальні креслення апарата (машини) та специфікації до них.

Графічна частина виконується згідно вказівок:

- вимоги ЄКСД.
- Оформление графической документации. методические указания к выполнению курсовых та дипломных проектов / сост. В.Н. Марчевский. – К.: КП, 1998р. – 250 с.

Під час виконання курсового проекту необхідно виконати щонайменше два креслення формату А1 (або їх еквівалент у форматах А2, А3 чи А4): складальне креслення апарата (машини), складальні креслення основних складальних одиниць чи креслення деталей.

Графічна частина виконується згідно до вимог ГОСТ 2.317-69. „ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей”.

Загальні правила виконання креслень наведені в [12, ст. 85 – 91].

Правила виконання складальних креслень наведені в [12, ст. 132 – 136].

Правила складання специфікацій наведені в [12, ст. 77 – 81].

Правила нанесення розмірів на кресленні наведені [12, ст. 92 – 96].

Типи та правила нанесення на кресленні зварних з’єднань наведені в [12, ст. 112 – 129].

Правила оформлення таблиць та технічних вимог на кресленні наведені в [12, ст. 131 – 132] або ГОСТ 2.316-2008.

Приклад оформлення складального креслення апарата наведено в додатку Ю.

Приклад оформлення першого та наступного листів специфікації до складального креслення наведено в додатку Я.

Особливу увагу необхідно звернути на наступне:

на складальному кресленні апарата необхідно розмістити технічні вимоги до апарата (машини), технічну характеристику апарата (машини) та таблицю штуцерів;

на складальному кресленні апарата необхідно вказати габаритні, приєднувальні, установочні розміри та виконавчі.

На кресленнях студент повинен виділити розміри виконавчі (ті розміри, які утворюється під час складальних операцій, та величини яких може бути проконтролюватись – виліт штуцерів при приварюванні їх до корпусу на даному етапі, розташування опор при приварюванні їх до обичайки на даному етапі та інше) та довідкові розміри (до них відносяться всі інші розміри, в тому числі розміри, що перейшли з попередніх креслень).

Дублювати розміри на кресленні ЗАБОРОНЕНО.

Розміри вказуються в тому місці, де найбільш повно розкривається форма елемента.

При вказуванні розмірів необхідно використовувати МІНІМАЛЬНУ кількість баз для зменшення відхилення під час монтування.

Аналогічні розміри (наприклад горизонтальні вильоти штуцерів) рекомендується вказувати від однієї бази.

Розміри вказуються до тієї бази, відносно якої можливо провести вимірювання його значення на місці монтування, а не зручності розташування на кресленні.

За специфікацією апарат (машина чи складальна одиниця) ОBOB'ЯЗKBO має збиратись, тобто мають бути позначені всі конструктивні елементи, що входять на цьому етапі у виріб та при необхідності всі кріпильні елементи, за допомогою яких виріб має однозначно зібратись.

Під час виконання специфікацій в середовищі КОМПАС_3D застосовується автоматичне створення листа специфікації та її розділів, що має російськомовне позначення назв граф та найменувань. ДОПУСКАЄТЬСЯ не змінювати в налаштуваннях ці назви, використовуючи автоматичні шаблони.

6.1 Правила заповнення штампу креслення

Підрозділ викладено згідно авторів [12].

У прикладі 6.1 наведено вимоги до заповнення основного напису кресленика.

Для складальних одиниць на полі «Назва виробу» (Приклад 6.2) пишеться у першій строчці назва виробу, наприклад «Трубчатка», у другій «Складальний кресленик», при цьому на полі «Позначення виробів і їх конструкторських документів» після позначення виробу пишуться літери СБ.

Для деталей на полі «Назва виробу» (Приклад 6.3) пишеться у першій строчці **ЛИШЕ** назва деталі, наприклад «Коліно», при цьому на полі «Позначення виробів і їх конструкторських документів» після позначення виробу пишуться лише позначення. Для деталей **ОБОВ'ЯЗКОВО** вказується матеріал, з якого треба виготовляти виріб.

Приклад 6.1

Позначення виробів і їх конструкторських документів

Лист и дата					Назва виробу			Лист	Масса	Масштаб
	Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата						
Изм. №	Разраб.					Назва організації-розробника				
	Проект.									
	Т.контр.									
	Н.контр.									
	Чтб.									

Прізвища, БЕЗ
ІНІЦІАЛІВ

Для деталей вказується матеріал, з якого
виконується виріб

Приклад 6.2.

Лист і дата					ЛН91.065111.001 СБ		
	Им./Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Трубочатка Складальний кресленик	Лист	Масштаб
	Разроб.	Іванов				180	1:10
	Проб.	Петров			Лист	Листов	
	Т.контр.				КП ім. Ігоря Сікорського ІХФ каф. МАХНВ		
Інд. № лист	Н.контр.						
	Чтв.						
					Копиробал	Формат А4	

Приклад 6.3

Лист і дата					ЛН91.065111.121		
	Им./Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Коліно	Лист	Масштаб
	Разроб.	Іванов				180	1:10
	Проб.	Петров			Лист	Листов	
	Т.контр.				КП ім. Ігоря Сікорського ІХФ каф. МАХНВ		
Інд. № лист	Н.контр.				Уголок 36х36х3 ГОСТ 19771-93		
	Чтв.				315-12ГС ГОСТ 19281-89		
					Копиробал	Формат А4	

Позначення виробів і їх конструкторських документів

Підрозділ викладено згідно авторів [12]. Позначення виробів і їх конструкторських документів повинно відповідати вимогам ГОСТ 2.201-80 та Класифікатора ЄСКТ (Додаток Я).

Загальна структура позначення згідно ГОСТ 2.201-80:

XXXX.XXXXXX.XXX

Перша група символів – чорирьохзначний літерний код організації розробника. Для означення роботи в якості такого розробника виступає студентська група, яка виконує проект, і має код, встановлений деканатом, наприклад ЛН91. Тоді позначення виробу набуде вигляду:

ЛН91.XXXXXX.XXX

Друга група шестиступінчастий код класифікаційної характеристики виробу, береться з класифікатора, наприклад для теплообмінників з нерухомими трубними ґратками без компенсатора цей код набуває значення (Додаток Я):

ЛН91.065111.XXX

Третя група символів – порядковий реєстраційний номер від 001 до 999. Реєстраційний порядковий номер 000 – не присвоюється. Реєстрацію розпочинають з номера 001.

Тоді повне позначення основного документу – специфікації набуває вигляду:

ЛН91.065111.001

Позначення інших конструкторських документів:

- складальний кресленник: ЛН91.065111.001 СБ
- кресленник деталі: ЛН91.065111.151
- пояснювальна записка: ЛН91.065111.001 ПЗ
- опис документів проекту: ЛН91.065111.001 ОП

6.2 Правила оформлення специфікацій до складального креслення

Специфікація є **основним** конструкторським документом для складальних одиниць, комплексів та комплектів.

Форма і порядок заповнення регламентує: ГОСТ 2.108-68.

У прикладі 6.4 наведено приклад заповнення основного напису специфікації, відповідає нормам встановленим ГОСТ 2.104-68.

Приклад 6.4

Лист						ЛН91.065111.001			
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Трубчатка	Лист	Лист	Листов
	Разраб.	Иванов							1
	Проб.	Петров							
Инв. № подл.							КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, каф. МАХНВ		
	Н.контр.	Чтв.					Копіював		
							Формат А4		

6.1.1 Розділи специфікації

Наявність розділу мотивується складом виробу та організацією виробництва. Найменування розділу записується в графі «Найменування» та підкреслюється (приклад 6.5)

Розділи: «Документація», «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Стандартні вироби», «Інші вироби», «Матеріали» та «Комплекти».

Приклад 6.5

Наймен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
					Документація		

«Документація»

Вносять документи, які входять до основного комплекту документації виробу (складальне креслення, габаритне креслення, функціональну схему, технічні умови, програми і методику випробувань).

«Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі»

Вносять комплекси, складальні одиниці, деталі, які безпосередньо входять до виробу на цій стадії виготовлення.

Порядок внесення: **за абеткою** згідно з позначенням чи **за зростанням цифр**, що входять в позначення (приклад 6.6).

«Стандартні вироби»

Вносять елементи виробу, що виготовляються за державними стандартами, галузевими стандартами, стандартами підприємств.

Порядок внесення (приклад 6.7):

- 1) по категоріям стандартів (від більш вагоміших до менш вагоміших – ДСТУ (ГОСТ), ГСТ (ОСТ), СТП);
- 2) по групам за функціональним призначенням (підшипники, кріпильні елементи, електротехнічні вироби і таке інше);
- 3) в межах кожної групи – в алфавітному зростанні назв виробів;
- 4) в межах кожної назви – по зростанню позначення стандарту;
- 5) в межах кожного позначення стандарту – в почерговому зростанню основних параметрів чи розмірів.

Приклад 6.6

Склад №					Сборочные единицы	
	А/А	1	2	3	4	5
	А/А	1	ЛМЗ1.602512.001	Корпус	1	
	А/А	2	ЛНЗ1.602512.001	Корпус	1	
	А/А	3	ЛНЗ1.714.165.001	Кришка	1	
	А/А	4	ЛНЗ1.714.165.002	Кришка	1	

Приклад 6.7

Стор. №	Перед. номер	Стандартные изделия		
		1	2	3
		1	Прокладка 1-400-0,3 ГОСТ 28759.6-90	4
		2	Фланец 1-400-1-20 ГОСТ 28759.3-90	2
		3	Шпилька 2 М16х120 ГОСТ 22034-76	8
			Болт ОСТ-26-2037-96	
		4	М12х50	4
		5	М12х120	2
		6	Гайка М12 ОСТ 26-2038-96	2
		7	Гайка М12 ОСТ 26-2041-96	4

«Інші вироби»

Вносять вироби, які застосовуються не за основними конструкторськими документами (до них можуть відноситись прилади, обладнання, що купляється на інших підприємствах як то двигуни, редуктори та інше).

Порядок внесення:

- 1) за однорідністю груп;
- 2) в межах групи в алфавітній черговості назв;
- 3) в межах найменування за зростанням параметрів чи розмірів виробу.

«Матеріали»

Вносять всі матеріали, що входять в виріб (складові частини виробу, на які дозволено **НЕ** виконувати креслення).

До специфікації **НЕ ВНОСЯТЬСЯ** матеріали, маса яких не може бути визначена конструктором!!! Прикладом може бути маса дроту (наплавленого металу) при зварюванні, маса якого має визначатись технологом по

зварюванню, в цьому випадку її можна зазначити в технічних вимогах на полі складального креслення.

Порядок внесення:

- 1) по видам (чорні, феромагнітні, кольорові, благородні та рідкісні, дроти шнури, пластмаси та пресматеріали, паперові та текстильні, мінеральні, керамічні, скляні, лаки, фарби);
- 2) в межах виду в алфавітній черговості назв;
- 3) в межах найменування за зростанням параметрів чи розмірів виробу.

«Комплекти»

Вносять відомість експлуатаційних документів, відомість документів для ремонту і застосування згідно з конструкторськими документами, комплекти, що входять в виріб та упаковку для виробу.

Послідовність внесення:

- 1) відомість експлуатаційних документів, відомість документів для ремонту;
- 2) комплект змінних частин;
- 3) комплект запасних частин;
- 4) комплект інструменту;
- 5) комплект укладальних засобів;
- 6) інші комплекти (згідно з наданим найменуванням).

6.2.2 Правила заповнення граф специфікації

Графа «Формат»

Вказується формат документів (згідно до ГОСТ 3.301), що мають записане позначення в графі «Позначення».

Якщо документація виконана на декількох форматах, то вказують «(*)», а в графі «Примітки» перелічують всі формати (приклад 6.8).

Для деталей, які не мають креслення вказують «БК» (можливо лише коли проста форма, а конфігурація деталі повністю розкривається в графі «Найменування» чи «Примітках»)

Для розділів «Стандартні вироби», «Інші вироби», «Матеріали» **НЕ ЗАПОВНЮЄТЬСЯ.**

Приклад 6.8

Перв. наймен.	Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
					Документация		
	A1			ЛНЗ1.065135.001 СБ	Складальне креслення		
	A1			ЛНЗ1.065135.001 А2	Схема функціональна		*) А0, А1

Графа «Зона»

Вказується позначення зони, в якій знаходить номер позиції записаної складової частини (ЛИШЕ ПРИ розбиванні поля креслення на зони згідно ГОСТ 2.104-68 – приклад 6.9). У прикладі 6.10 представлено правила заповнення графи.

Приклад 6.9

	2D	2C	2B	2A
	1D	1C	1B	1A

Приклад 6.10

Склад №			Стандартные изделия	
	2D	1	Пакля 1-400-0,3 ГОСТ 28759.6-90	4
	1C	2	Фланец 1-400-1-20 ГОСТ 28759.3-90	2

Графа «Поз.»

Вказується порядковий номер складової частини виробу, що безпосередньо входять у виріб.

Для розділів «Документація», «Комплекти» **НЕ ЗАПОВНЮЮТЬ**.

Номери позиції мають іти **ПО ЗРОСТАННЮ**.

Допускається «резервувати» декілька позицій після розділу (приклад 6.11).

Приклад 6.11

Дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата			
				Детали		
			8	ЛНЗ1.065121.204	Прокладка $\phi 200$	2
			9	ЛНЗ1.065121.205	Прокладка $\phi 600$	1
					Стандартные изделия	
			12		Заглушка фланцевого Ду 200-16 СТГ-51-В-83	2
			13		Фланец ГОСТ 12821-80	
			14		Ду 20-16	1

Графа «Позначення»

Для розділу «Документація» – позначення документів, що внесено до специфікації.

Для розділів «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Комплекти» – позначення основного конструкторського документа на ці вироби.

Для розділів «Стандартні вироби», «Інші вироби», «Матеріали» – **НЕ ЗАПОВНЮЄТЬСЯ**.

При виконанні документації на стандартний виріб, **може** вказуватись позначення цієї документації (приклад 6.12). Це можливо, коли на самому виробництві виготовляють даний стандартний виріб, для чого потрібна робоча документація.

Приклад 6.12

Станд. №					Стандартные изделия		
		6	NY49.751316.001			Гайка М12 ОСТ 26-2038-96	2
		7				Гайка М12 ОСТ 26-2041-96	4

Графа «Найменування»

Для розділу «Документація» – назву документів, які входять в основний комплект документації виробу (*Складальне креслення, Габаритне креслення, Схема електрична, Пояснювальна записка*).

Для розділів «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Комплекти» – найменування виробу, аналогічне до найменування з основного конструкторського документа на цей виріб.

Для деталей, на які не розробляються креслення, вказуються найменування, матеріал та розміри, необхідні для виготовлення.

Для розділу «Стандартні вироби» – найменування та умовне позначення згідно з стандартом на виріб.

Для розділу «Інші вироби» – найменування та умовне позначення виробів згідно з документами на їх поставку.

Для розділу «Матеріали» – позначення матеріалів, встановлене в стандартах або технічних умовах.

У прикладі 6.11 наведені правила заповнення графи.

Графа «Кіль.»

Для розділу «Документація» – **НЕ ЗАПОВНЮЄТЬСЯ.**

Для розділу «Матеріали» – загальна кількість матеріалів на один виріб, що специфікується. Допускається запис одиниць вносити в графу «Примітки» (приклад 6.13).

Для інших розділів – кількість складових частин на один виріб.

Графа «Примітки»

Вносяться додаткові відомості для планування та організації виробництва (приклад 6.13).

Приклад 6.13

Лист №	Детали				
	БК	1	ЛНЗ1.754.121.001	Труба 1200х25х2 Х18Н10Т ГОСТ 16523-89	10 1,47кг
Склад №	Прочие изделия				
		4		Объем 44АМЕ50А4 43 220 В50ГДМ1081 ТУ 16-510769-81	1
мат	Материалы				
		7		Уголок В-63 х 40 х 4 ГОСТ 8510-86 Ст2сп ГОСТ 535-88	12 м

7 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОРЯДКУ ЗАХИСТУ РОБОТИ

Зброшурована пояснювальна записка та креслення вкладаються до папки на титульну сторінку якої наклеюється аркуш з заголовком „**Курсовий проект**” (додаток А).

На внутрішній стороні папки розміщують „Опис вкладень” (додаток Д).

Курсовий проект захищається після перевірки на керівником курсового проекту всіх розділів та креслень, про що свідчать підписи керівника та студента у штампах пояснювальної записки і креслень та на титульних аркушах записки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології [Текст]: підруч. / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. - К.: НТУУ "КПІ", 2011. - Ч. 2. - 416 с.
2. Михалев М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченко А.И., Злобин В.В. Расчет и конструирование химических производств. Примеры и задачи: Учебное пособие под ред. Михалева М.Ф. – Л.: Машиностроение, 1984, 301с.
3. Соколов В.И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств: Учебник – М.: Машиностроение. 1983. 447с.
4. Кольман-Иванов Э.Э. и др. Конструирование и расчет машин химических производств: Учебник. М.: Машиностроение, 1985. 406 с.
5. Канторович З.Б. Машины химической промышленности: Учебное пособие.- М.: Машиностроение. 1965. 415 с.
6. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред: Справочное пособие. _ Л. Машиностроение, 1979._ 272 с.
7. Лукьяненко В.М., Таранец А.В. Промышленные центрифуги. М., «Химия», 1974 376 с.
8. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги . -. М.: Машиностроение, 1967. –524с.
9. Шкоропад Д.Е. Новиков О.П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. М.: Химия, 1987, 256 с.
10. А. с. 1736536 СССР, МПК5 В01D1/12. Роторный тонкопленочный испаритель/ Г. А. Анохин, А. Б. Тютюнников, Е. М. Воронов, Н. П. Горбач, Е. Г. Белокобыла, А. И Погорелова и. И. В. Миркич. – Заявл. 30.01.90. Опубл. 30.05.92. Бюл № 20
11. Сопротивление материалов. Учебник для вузов. (Под общ.ред. акад.АН УССР Писаренко –4-е изд. Перераб. И доп. – Киев: Вища школа, 1979. 696с.

12. Машины химических производств: Атлас конструкций (Учебное пособие для студентов вузов). Под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова.- Л.: Машиностроение, 1981.- 118 с.

13. Н-410-56 Аппараты с вращающимся барабаном. Заводская нормаль «Главхиммаш», «Прогресс» (Нормалі Бердичевського заводу «Прогресс»)

14. А.С. Тимонин Основы конструирования и расчета химико-технологического и охранного оборудования. Справочник. Изд. 2-е переработанное и дополненное. В 3-х томах, 2002

15. А.А. Лашинский, А.Р Толчинский. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Л.: . -. М.: Машиностроение, 1970

16. Криворот А.С. Конструирование и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. -. М.: Машиностроение, 1976. – 376с.

17. ГОСТ 34233.1—2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования

18. ГОСТ 34233.2—2017 Сосуды и аппараты Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

19. ГОСТ 34233.8—2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками.

20. . ОСТ 26-01-1271-81. Роторы центрифуг. Нормы и методы расчета на прочность.

21. Сушильные аппараты и установки. Каталог: - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. – 72 с.

22. ОСТ 26-01-147-82 « Аппараты сушильные с вращающимися барабанами газовые. Общие технические условия ».

23. Доброногов В.Г., Зубрий О.Г., Воронин Л.Г. Алгоритм расчета гавиброустойчивость валов механических перемешивающих устройств..

Методические указания по применению вычислительной техники по курсу “РК МАХП” , Киев: КПИ, 1988. 51 с.

24. Доброногов В.Г., Зубрий О.Г., Воронин Л.Г. Алгоритм расчета жесткость валов механических перемешивающих устройств.. Методические указания по применению вычислительной техники по курсу “РК МАХП” , Киев: КПИ, 1989. 59 с.

25. Доброногов В.Г., Зубрий О.Г., Воронин Л.Г. Алгоритм расчета прочность валов механических перемешивающих устройств.. Методические указания по применению вычислительной техники по курсу “РК МАХП” , Киев: КПИ, 1990. 38 с.

26. Розрахунок центрифуг: Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисциплін «Розрахунок та конструювання машин та апаратів хімічних виробництв» та «Комп’ютерне проектування обладнання ЦПВ» для студентів спеціальностей «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів і «Обладнання лісового комплексу» / Укл.: О.Г. Зубрій, О.О. Семінський – К.: НУТУ «КПІ», 2010. – 62с

27. ДНАОП О: 001.07 – 94 Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, -К.: Держнаглядохорона праці, 1998 273с.

28. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікуленок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі і чавуни. Навч. посібник.,- К.: 1999.-148 с.

29. Андреев І.А. Конструювання і розрахунок типового устаткування хімічних виробництв. Основні положення. Елементи тонкостінних посудин, навантажених внутрішнім тиском. Навч. посібник. – К.: «Видавництво «Політехніка», 2011. – 272 с. 2011.

30. Янковский Н.А. Аммиак. Вопросы технологии / Н.А. Янковский, И.М. Демиденко, В.А. Степанов, Б.И. Мельников и др.]; под общей редакцией Н.А. Янковского. – Донецк: ГИК Новая печать, ООО Лебедь, 2001. – 497 с

31. Теплові процеси та апарати хімічних і нафтопереробних виробництв: Розділ перший. Теплопередача: Навч. посібник / Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок, Г. Л. Рябцев, М. В. Сезонов. – К.: НМЦВО, 2000. – 172

ДОДАТОК А. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни:

Курсовий проект з конструкторського проектування обладнання

на тему: **РИБОЙЛЕР**

Студента V курсу, групи ЛН-91мн

_____ **Юрій МАГДИЧ**

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»,
освітня програма «Інжиніринг та комп'ютерно-
інтегровані технології проектування інноваційного
галузевого обладнання»

Керівник доцент, к.т.н., _____ **Олег ЗУБРІЙ**

Національна оцінка _____

Кількість балів: _____ оцінка: ECTS _____

Члени комісії:

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій розрахунково-графічній роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____ **Юрій МАГДИЧ**

Київ 2022

**ДОДАТОК Б. ЗРАЗОК ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ
ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до курсового проекту на тему:

РИБОЙЛЕР

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»,
освітня програма «Інжиніринг та комп’ютерно-інтегровані технології
проектування інноваційного галузевого обладнання»

з дисципліни:

Курсовий проект з конструкторського проектування обладнання

Виконав студент групи ЛН-91мн _____ **Юрій МАГДИЧ**

(підпис, дата)

Керівник проекту, к.т.н., доц. _____ **Олег ЗУБРІЙ**
(підпис, дата)

Київ 2022

ДОДАТОК В. ЗРАЗОК ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

ЗАВДАННЯ

до курсового проекту

студентові _____

1. Тема проекту: Рибойлер

2. Термін здачі студентом закінченого проекту: 30 _____ 202_р.

3. Вихідні дані до проекту: Розрахувати кожухотрубний теплообмінник для нагрівання / рибойлер для випаровування речовини «Р». Початкова температура речовини t_{p1} , кінцева - t_{p2} . Нагрівальний агент – димові гази. Втрата теплоти крізь зовнішню поверхню теплообмінника прийняти 10 % від корисно витраченої теплоти. Робочий тиск речовини p_p

4. Перелік питань, які мають бути розроблені: 1) Вступ, 2) Призначення та область застосування сушарки, 3) Технічна характеристика, 4) Опис і обґрунтування вибраної конструкції, 5) Патентний пошук, 6) Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції, 7) Висновк

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: рибойлер – А1 та специфікація до креслення.

Завдання прийняв до виконання студент ЛН-91мн_____ Юрій МАГДИЧ
(підпис, дата)

Керівник, доцент

_____ Олег ЗУБРІЙ
(підпис, дата)

ДОДАТОК Г. ЗРАЗОК ЗМІСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Зміст

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів	7
Вступ	8
Перелік позначень	
1 Призначення та область використання сушарки	9
1.1 Опис технологічного процесу	9
1.2 Вибір типу сушарки та її місце в технологічній схемі	12
2 Технічні вимоги до сушарки барабанної	13
3 Опис та обґрунтування обраної конструкції	14
3.1 Опис конструкції, основних збиральних одиниць та деталей	14
3.2 Вибір матеріалів для виготовлення основних вузлів і деталей	15
3.3 Порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами	17
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність сушарки барабанної	25
4.1 Параметричний розрахунок сушарки барабанної	25
4.2 Розрахунок на міцність барабану сушарки	41
4.3 Перевірка міцності та стійкості барабану	45
4.4 Розрахунок жорсткості барабану	50
4.5 Розрахунок бандажу	52
5. Ремонт та монтаж сушарки	
6. Ступінь уніфікації та стандартизації	

					ЛМ91мн.ХХХХХХ.001 ПЗ			
Из	Лист	№ док.м.	Полпи	Лат				
Разраб.	Синицький				Сушарка барабанна	Лит.	Лист	Листов
Перев.	Зубрій						5	80
Репенз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н.Контр.	Зубрій					, ІХФ, МАХНВ		
Затв.								

Висновок	82
Перелік посилань	83
Додаток А. Алгоритм та програма розрахунку барабану сушарки	84
Додаток Б. Таблиця ідентифікаторів програми розрахунку сушарки	88
В. Опис програми розрахунку барабану сушарки	89
Додаток Г. Програма розрахунку барабану сушарки	92

					ЛМ81 _{мн.} XXXXXX.001 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Піппис	Лат		

ДОДАТОК Д. ЗРАЗОК ОПИСУ ВКЛАДЕНЬ

[illegible]

ДОДАТОК Е. ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-РАФІЧНУ РОБОТУ

Розрахувати кожухотрубний теплообмінник для нагрівання/рибойлер для випаровування речовини «Р». Початкова температура речовини t_{p1} , кінцева - t_{p2} . Нагрівальний агент – димові гази. Втрата теплоти крізь зовнішню поверхню теплообмінника прийняти ____% від корисно витраченої теплоти. Робочий тиск речовини p_p

Речовина «Р»										Димові гази			
Варіант	Речовина «Р»	Варіант	Масова частка розчиненої речовини в	Варіант	Речовина «Р» $G \times 10^3, \text{кг/с}$	Варіант	$t_{p1}, ^\circ\text{C}$	Варіант	$t_{p2}, ^\circ\text{C}$	Варіант	$t_{p1}, ^\circ\text{C}$	Варіант	$t_{p1}, ^\circ\text{C}$
1	розчин етанолу у воді	1	0	1	0,50	1	20	1	$t_{\text{кип.}}$	1	200	1	500
2	розчин металону у воді	2	10	2	0,60	2	30	2	70	2	210	2	490
3	розчин бензолу в толуолі	3	20	3	0,70	3	40	3	65	3	220	3	480
4	розчин толуолу у бензолі	4	30	4	0,80	4	50	4	60	4	230	4	470
5	розчин мурашиної кислоти в оцтовій кислоті	5	40	5	0,90	5	55	5	55	5	240	5	460
6	вода	6	50	6	0,95	6	60	6	50	6	250	6	450
7	оцтова кислота	7	60	7	1,20	7	65	7	45	7	260	7	440
8	етанол	8	70	8	1,30	8	70	8	40	8	270	8	430
9	метанол	9	80	9	1,40	9	75	9	35	9	280	9	420
0	бензол	0	100	0	1,50	0	80	0	30	0	290	0	410

m – варіант за списком у журналі.

Тип теплообмінника: ☐ – з нерухомими трубними решітками (☐ – з температурним компенсатором на кожусі); ☐ – з U-подібними трубками; ☐ – з плаваючою головкою; ☐ – з «труба в трубі». Тиск: $p_p = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа.

*** потрібні параметри позначені, або вписані викладачем**

Група	Студент	Дата видачі	Видав
	ПІБ студента		ПІБ керівника

	Підпис студента		Підпис керівника
--	-----------------	--	------------------

Розрахувати та вибрати **БАРАБАННУ СУШАРКУ** з підйимально-лопатевою насадкою для сушіння матеріалу «М» у межах міста «N». Масова продуктивність сушарки по вологому матеріалу G. Відносна вологість: початкова W_1 , а кінцева W_2 . Сушильний агент – повітря. Витрати теплоти в оточуюче середовище прийняти 8% від корисно витраченої.

Варіант	Речовина «М»	$W_1, \%$	$W_2, \%$	G, кг/с	Місто «N»
1	Хлорид кальцію	6,5	0,4	0,35	Київ
2	Сульфат амонію	3,7	0,4	0,45	Дніпро
3	Нітрат амонію	3,5	0,3	0,6	Миколаїв
4	Хлорид натрію	5,5	0,2	0,75	Кропивницький
5	Суперфосфат	18	3,5	1,0	Одеса
6	Пісок	4	0,1	1,2	Харків
7	Кам'яне вугілля	9	0,6	1,4	Львів
8	Глина	23	4,5	1,6	Суми
9	Хлорид барію	5,5	1,2	1,8	Вінниця
10	Бікарбонат натрію	6	0,1	2,0	Херсон
11	Сульфат амонію	3,6	0,4	1,2	Суми
12	Суперфосфат	18	3,5	0,4	Миколаїв
13	Хлорид барію	5,5	1,2	1,0	Суми
14	Хлорид натрію	5	0,2	1,6	Вінниця
15	Нітрат амонію	4	0,3	1,6	Харків
16	Пісок	4	0,1	0,6	Кропивницький
17	Кам'яне вугілля	9	0,6	0,3	Київ
18	Хлорид калію	6	0,4	0,8	Суми
19	Глина	23	4,5	0,4	Харків
20	Нітрат амонію	4	0,3	0,8	Суми
21	Сульфат амонію	3,6	0,4	0,8	Одеса
22	Пісок	4	0,1	0,4	Львів
23	Кам'яне вугілля	9	0,6	0,6	Київ
24	Сульфат натрію	3,6	0,4	1,2	Черкаси
25	Хлорид амонію	4	0,1	1,2	Миколаїв
26	Нітрат натрію	5,5	1,2	1,8	Київ
27	Сульфат заліза (II)	3,6	0,4	0,4	Хмельницький
28	Сульфат міді	12	3	1,8	Житомир
29	Хлорид літію	8	2,7	1,2	Донецьк

Розрахунок здійснити для літніх умов. Навести графік зміни параметрів вологого повітря в сушарці на I-X діаграмі.

Група	Студент	Дата видачі	Видав
	ПІБ студента		ПІБ керівника
	Підпис студента		Підпис керівника

ДОДАТОК Є. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ШТУЦЕРІВ

2.2 Розрахунок штуцерів

Метою розрахунку є визначення основних параметрів і вибір стандартних штуцерів. Розрахункова схема зображена на рисунку 2.4.

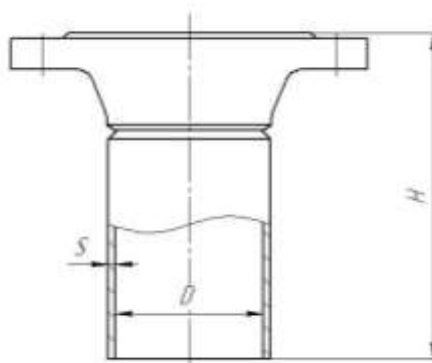


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні дані:

Довжина труб L , м	3;
тиск в середині апарата P , МПа	1;
масова витрата пари $G_{\text{п}}$, кг/с	2,1;
масова витрата димових газів $G_{\text{д.г.}}$, кг/с	5,233.

Методика розрахунку згідно [10 (Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.)].

Розрахунок передбачає вибір стандартних штуцерів за тиском і умовним діаметром, що далі визначається.

Розраховуємо діаметр штуцера для димових газів:

$$d_{\text{штд}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{д.г.}}}{\rho_{\text{газ}} \cdot \omega_{\text{д.г.}}}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{5,233}{0,491 \cdot 42,292}} = 0,567 \text{ м} = 567 \text{ мм},$$

де $\omega_{\text{д.г.}}$ – рекомендована швидкість для газів, $\omega_{\text{д.г.}} = 42,292 \text{ м/з}$ [10]
(Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры та задачи по курсу процесів та аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.);

$\rho_{\text{газ}}$ – густина димових газів, $\rho_{\text{д.г.}} = 0,491 \text{ кг/м}^3$ [10].

Обчислюємо діаметр штуцерів для входу води:

$$d_{\text{штв}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{п}} + 0,1 \cdot G_{\text{п}}}{\rho_p \cdot \omega_p}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,25 + 0,1 \cdot 1,25}{887 \cdot 0,5}} = 0,063 \text{ м} = 63 \text{ мм},$$

де $\omega_{\text{в}}$ – рекомендована швидкість для води, $\omega_{\text{в}} = 0,5 \text{ м/з}$ [10];

ρ_p – густина води, $\rho_p = 887 \text{ кг/м}^3$ [24];

Обчислюємо діаметр штуцерів для виходу водяної пари:

$$d_{\text{шпн}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{G_n}{\rho_n \cdot \omega_n}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,25}{5,16 \cdot 15}} = 0,144 \text{ м} = 144 \text{ мм},$$

де ω_n – рекомендована швидкість для пари, $\omega_n = 15 \text{ м/з}$ [10];

ρ_n – густина пари, $\rho_n = 5,16 \text{ кг/м}^3$ [24];

Обчислюємо діаметр штуцерів для виходу залишку води:

$$d_{\text{штв}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot G_p}{\rho_p \cdot W_p}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot 1,25}{887 \cdot 0,5}} = 0,020 \text{ м} = 20 \text{ мм},$$

де $\omega_{\text{в}}$ – рекомендована швидкість для води, $\omega_{\text{в}} = 0,5 \text{ м/з}$ [10];

ρ_p – густина води, $\rho_p = 887 \text{ кг/м}^3$ [24];

Розміри нормалізованих штуцерів за [1]:

1) 2 штуцери 500 – 12 – 200 – 12X18Н10Т – 10 ОСТ 26-1404 – 76 для входу і виходу димових газів, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр D_y , м	0,500;
Діаметр отвору d_t , м	0,530;
Товщина стінки S_t , м	0,012;
Висота штуцера H_t , м	0,206;

2) штуцер 100 – 6 – 220 – 12X18Н10Т – 10 ОСТ 26-1404 – 76 для входу води, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр D_y , м	0,100;
Діаметр отвору d_T , м	0,108;
Товщина стінки S_T , м	0,006;
Висота штуцера H_T , м	0,217;

3) штуцер 150 – 6 – 170 – 12X18H10T – 10 ОСТ 26-1404 – 76 для виходу водяної пари, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр D_y , м	0,150;
Діаметр отвору d_T , м	0,159;
Товщина стінки S_T , м	0,006;
Висота штуцера H_T , м	0,170;

4) штуцер 50 – 3 – 155 – 12X18H10T – 10 ОСТ 26-1404 – 76 для виходу залишку води, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр D_y , м	0,050;
Діаметр отвору d_T , м	0,055;
Товщина стінки S_T , м	0,0035;
Висота штуцера H_T , м	0,155.

ДОДАТОК Ж. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ПАРОГЕНЕРАТОРА

2.4 Розрахунок гідравлічного опору парогенератора

Метою розрахунку є визначення гідравлічного опору трубного простору парогенератора.

Розрахункова схема зображена на рисунку 2.5.

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}}$, м 0,021;

довжина труб L , м 2,6.

Розрахунок здійснюємо за методикою [23].

Розрахунок гідравлічного опору в трубному просторі:

Сумарні місцеві втрати:

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 2,5 + 1,0 \cdot 2 + 2,0 \cdot 2 = 8,5,$$

де ε_1 - місцеві втрати при повороті теплоносія на 180° , $\varepsilon_1 = 2,5$;

ε_2 - місцеві втрати при вході і виході теплоносія, $\varepsilon_2 = 1,0$;

ε_3 - місцеві втрати при повороті через коліно, $\varepsilon_3 = 2,0$.

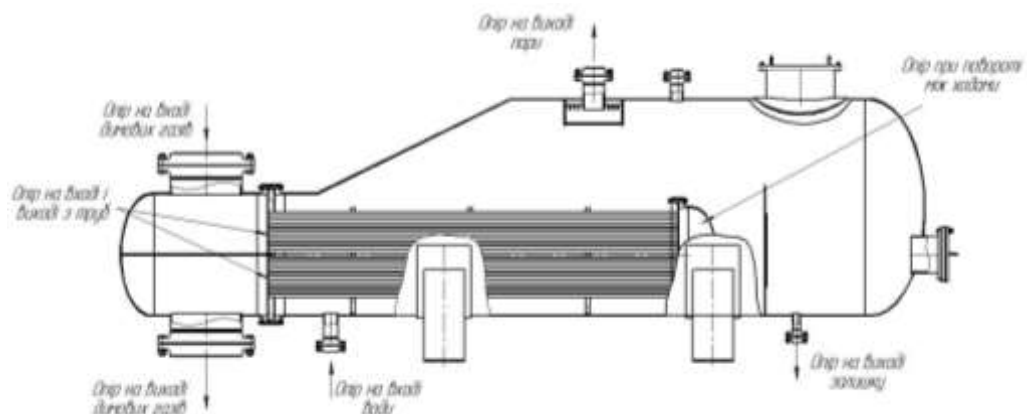


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема гідравлічного опору парогенератора
Швидкість димових газів у трубах:

$$w_{\text{тр}} = \frac{4 \cdot G_{\text{д.г.}}}{\rho_{\text{д.г.}} \cdot \pi \cdot d_{\text{шт}}^2} = \frac{4 \cdot 5,233}{0,491 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2} = 27,154 \text{ м/с},$$

де $\rho_{\text{д.г}}$ - густина газу, $\rho_{\text{д.г}} = 0,491 \text{ кг/м}^3$ [25];

$d_{\text{шт}}$ - діаметр штуцера для входу димових газів, $d_{\text{шт}} = 0,5 \text{ м}$.

Відносна шорсткість труб:

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} = \frac{0,2}{21} = 0,0095,$$

де Δ - висота виступів шорсткостей, $\Delta = 0,2 \text{ мм}$ [24].

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{\text{тр}} = \frac{w_{\text{тр}} \cdot d_{\text{вн}}}{\nu_{\text{р}}} = \frac{27,154 \cdot 0,021}{68,34 \cdot 10^{-6}} = 8344,$$

де $\nu_{\text{р}}$ - кінематичний коефіцієнт в'язкості, $\nu_{\text{р}} = 68,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{з}$ [25].

При значенні $2000 < Re < 112000$ коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left[e + \left(\frac{68}{Re_{\text{тр}}} \right)^{0,25} \right] = 0,11 \cdot \left[0,015 + \left(\frac{68}{8344} \right)^{0,25} \right] = 0,035.$$

Гідравлічний опір трубного простору:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \left(\frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} + \sum \varepsilon \right) \cdot \frac{w_{\text{тр}}^2 \cdot \rho}{2} = \left(\frac{0,035}{0,013} + 8,5 \right) \cdot \frac{27,154^2 \cdot 0,491}{2} = 2026 \text{ Па}.$$

Висновок: визначено гідравлічний опір трубного простору парогенератора $\Delta P_{\text{тр}} = 2026 \text{ Па}$.

ДОДАТОК 3. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

Розрахунок проводимо аналітичним шляхом по методиці приведені в[1].

Нехай температура повітря на вході в сушарку $t_1 = 110^\circ\text{C}$, а на виході $t_2 = 60^\circ\text{C}$. Коефіцієнт заповнення барабана $\beta = 0,14\%$.

Нехай для зимових умов середня температура $t_0 = -2^\circ\text{C}$, а відносна вологість $\varphi_0 = 84\%$. Припускаючи, що барометричний тиск в даній місцевості $B = 762 \text{ мм.рт.ст.}$ ($\sim 10360 \text{ кгс} / \text{м}^2$). Визначаємо аналітично b_0 і I_0 .

Вологовміст зовнішнього повітря:

$$d_0 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,84 \cdot 52,7}{10360 - 0,84 \cdot 52,7} = 2,669 \text{ г} / \text{кг} = 0,02669 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$
$$p_n = 52,7 \text{ кгс} / \text{м}^2$$

Тепловміст зовнішнього повітря:

$$I_0 = 0,24t_0 + (595 + 0,47t_0) \frac{d_0}{1000} = 0,24 \cdot (-2) + (595 - 0,47 \cdot 2) \frac{2,669}{1000} = 1,106 \text{ ккал} / \text{кг} = 4,63 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Стан повітря на виході із калорифера характеризується параметрами

$$t_1 = 110^\circ\text{C}, \quad d_0 = d_1 = 2,669 \text{ г} / \text{кг} = 0,02669 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_1 = 0,24t_1 + (595 + 0,47t_1) \frac{d_1}{1000} = 0,24 \cdot 110 + (595 + 0,47 \cdot 110) \frac{2,669}{1000} = 27,99 \text{ ккал} / \text{кг} = 117,17 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Параметри повітря на виході із сушарки: задаємось

$t_2 = 60^\circ\text{C}$ і $\varphi_2 = 17\%$. При 60°C $p_n = 2031 \text{ кгс} / \text{м}^2$, тоді

$$d_2 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,17 \cdot 2031}{10360 - 0,17 \cdot 2031} = 21,44 \text{ г} / \text{кг} = 0,2144 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_2 = 0,24t_2 + (595 + 0,47t_2) \frac{d_2}{1000} = 0,24 \cdot 60 + (595 + 0,47 \cdot 60) \frac{21,44}{1000} = 27,76 \text{ ккал/кг} =$$

$$= 116,2 \text{ кДж/кг}$$

Нехай для літніх умов $t_0 = 21,4^\circ \text{C}$, $\varphi_0 = 66\%$.

Вологовміст зовнішнього повітря:

$$d_0 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,66 \cdot 28}{10360 - 0,66 \cdot 28} = 1,111 \text{ г/кг} = 0,0111 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$p_n = 28 \text{ кгс/м}^2$$

Тепловміст зовнішнього повітря:

$$I_0 = 0,24t_0 + (595 + 0,47t_0) \frac{d_0}{1000} = 0,24 \cdot 21,4 + (595 + 0,47 \cdot 21,4) \frac{1,111}{1000} = 5,64 \text{ ккал/кг} =$$

$$= 23,61 \text{ кДж/кг}$$

Стан повітря на виході із калорифера характеризується параметрами:

$$t_1 = 110^\circ \text{C}, \quad d_0 = d_1 = 1,111 \text{ г/кг} = 0,0111 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_1 = 0,24t_1 + (595 + 0,47t_1) \frac{d_1}{1000} = 0,24 \cdot 110 + (595 + 0,47 \cdot 110) \frac{1,111}{1000} = 27,12 \text{ ккал/кг} =$$

$$= 113,52 \text{ кДж/кг}$$

$p_n = 81 \text{ кгс/м}^2$, тоді

$$d_2 = 622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} = 622 \cdot \frac{0,66 \cdot 81}{10360 - 0,66 \cdot 81} = 3,226 \text{ г/кг} =$$

$$= 0,03226 \frac{\text{кг(вологи)}}{\text{кг(абс.сух.пов.)}}$$

$$I_2 = 0,24t_2 + (595 + 0,47t_2) \frac{d_2}{1000} = 0,24 \cdot 60 + (595 + 0,47 \cdot 60) \frac{3,226}{1000} = 27,76 \text{ ккал/кг} =$$

$$= 116,2 \text{ кДж/кг}$$

Матеріальний баланс сушарки

Визначення кількості видаленої вологи за одиницю часу.

$$1 \text{ кг/с} = 3600 \text{ кг/год}$$

4.1.1 Кількість вологого матеріалу, який поступає на сушку:

$$G_1 = G_{\text{сyx}} \frac{100}{100 - \omega_1} = 3600 \cdot \frac{100}{100 - 4} = 3750 \text{ кг/год}$$

4.1.2 Кількість висушеного матеріалу:

$$G_2 = G_{\text{сyx}} \frac{100}{100 - \omega_2} = 3600 \cdot \frac{100}{100 - 0,3} = 3610,83 \text{ кг/год}$$

4.1.3 Кількість видаленої води:

$$W = G_1 - G_2 = 3750 - 3610,83 = 139,17 \text{ кг/год}$$

Кількість води, яка видалена в сушарці:

$$W = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} = 3750 \cdot \frac{4 - 0,3}{100 - 0,3} = 139,168 \text{ кг/год}$$

Попередній вибір основних габаритних розмірів барабана

Об'єм барабана:

$$\text{Задаємо } A_v = 6 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{год)}, D_6 = 1600 \text{ мм}$$

$$V_6 = \frac{W}{A_v} = \frac{139,17}{6} = 23,2 \text{ м}^3$$

Довжина барабана:

$$L_6 = \frac{V_6}{0,785 \cdot D_6^2} = \frac{23,2}{0,785 \cdot 1,6^2} = 11,54 \text{ м}$$

$$\text{Приймаємо } L_6 = 11 \text{ м}, \frac{L_6}{D_6} = \frac{11}{1,6} = 6,875; \text{ Це допустимо, так як}$$

$$3,5 < 6,875 < 7,0.$$

Розрахунок сушарки

- для літніх умов

Питомі витрати сухого повітря на 1 кг води:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1} = \frac{1000}{0,0323 - 0,011} = 47,2 \text{ кг}$$

Годинні витрати повітря:

$$L = l \cdot W = 42,2 \cdot 139,17 = 6568,8 \text{ кг} / \text{год}$$

Об'єм повітря на вході в сушарку:

$$V_1 = v_1 L = 1,11 \cdot 6568,8 = 7291,37 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де $v_1 = 1,11 \text{ м}^3 / \text{год}$ - питомий об'єм вологого повітря при $t_1 = 110^\circ\text{C}$.

Об'єм повітря на виході із сушарки:

$$V_2 = v_2 L = 0,99 \cdot 6568,8 = 6503 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де $v_2 = 0,99 \text{ м}^3 / \text{год}$ - питомий об'єм вологого повітря при $t_2 = 60^\circ\text{C}$.

Витрати тепла на підігрів повітря в калорифері:

$$q_k = l(I_1 - I_0) = 47,2 \cdot (27,12 - 5,64) = 1013,86 \text{ ккал} = 4244,02 \text{ кДж}$$

Годинні витрати тепла:

$$Q_r = q_k W = 1013,86 \cdot 139,17 = 141098,34 \text{ ккал} / \text{год} = 590637,7 \text{ кДж} / \text{год}$$

- для зимових умов

Питомі витрати сухого повітря на 1 кг вологи:

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_1} = \frac{1000}{21,44 - 2,669} = 53,3 \text{ кг}$$

Годинні витрати повітря:

$$L = l \cdot W = 53,3 \cdot 139,17 = 7417,76 \text{ кг} / \text{год}$$

Об'єм повітря на вході в сушарку:

$$V_1 = v_1 L = 1,11 \cdot 7417,76 = 8233,7 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де $v_1 = 1,11 \text{ м}^3 / \text{год}$ - питомий об'єм вологого повітря при $t_1 = 110^\circ\text{C}$.

Об'єм повітря на виході із сушарки:

$$V_2 = v_2 L = 0,99 \cdot 7417,76 = 7343 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де $v_2 = 0,99 \text{ м}^3 / \text{год}$ - питомий об'єм вологого повітря при $t_2 = 60^\circ\text{C}$.

Витрати тепла на підігрів повітря в калорифері:

$$q_k = l(I_1 - I_0) = 53,3 \cdot (27,98 - 1,106) = 1432,38 \text{ ккал} = 5995,94 \text{ кДж}$$

Годинні витрати тепла:

$$Q_r = q_k W = 1432,38 \cdot 139,17 = 199344,91 \text{ ккал/год} = 834457,8 \text{ кДж/год}$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище

для літніх умов

Середня швидкість повітря в сушарці:

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{0,5 \cdot (V_1 + V_2)}{F_{\text{с}} \cdot (1 - \beta)} = \frac{0,5 \cdot (7291 + 6503)}{0,785 \cdot 1,6^2 (1 - 0,15 \cdot 3600)} = 1,098 \text{ м/с}$$

Середня температура

$$t_f = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{110 + 60}{2} = 85^\circ \text{C}$$

де $\nu = 21,595 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ - кінематична в'язкість

$\lambda = 2,655 \cdot 10^{-2} \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,088 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - коефіцієнт теплопровідності

Для визначення режиму руху повітря знаходимо:

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\text{с}} D_{\text{с}}}{\nu} = \frac{1,098 \cdot 1,6}{21,595 \cdot 10^{-6}} = 8,14 \cdot 10^4$$

Так як $\text{Re} > 10^4$ то коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки за рахунок вимушеної конвекції:

$$\text{Nu}_f = 0,018 \cdot (\text{Re})^{0,8} \cdot \varepsilon = 0,018 \cdot (8,14 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 1,16 = 177,1$$

$$\varepsilon = 1,16$$

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_f \cdot \lambda}{D_{\text{с}}} = \frac{177,1 \cdot 2,655 \cdot 10^{-2}}{1,6} = 2,94 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

для зимових умов

Середня швидкість повітря в сушарці:

$$\omega_B^{cp} = \frac{0,5 \cdot (V1 + V2)}{F_6 \cdot (1 - \beta)} = \frac{0,5 \cdot (8234 + 7344)}{0,785 \cdot 1,6^2 (1 - 0,15 \cdot 3600)} = 1,26 \text{ м/с}$$

Середня температура

$$t_f = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{110 + 60}{2} = 85^\circ \text{C}$$

де $\nu = 21,595 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ - кінематична в'язкість

$\lambda = 2,655 \cdot 10^{-2} \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,088 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - коефіцієнт теплопровідності

Для визначення режиму руху повітря знаходимо:

$$\text{Re} = \frac{\omega_6 D_6}{\nu} = \frac{1,26 \cdot 1,6}{21,595 \cdot 10^{-6}} = 9,34 \cdot 10^4$$

Так як $\text{Re} > 10^4$ то коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря за рахунок вимушеної конвекції може бути розрахований за рівнянням:

$$\text{Nu}_f = 0,018 \cdot (\text{Re})^{0,8} \cdot \varepsilon = 0,018 \cdot (9,34 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 1,16 = 197,7$$

$$\varepsilon = 1,16$$

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_f \cdot \lambda}{D_6} = \frac{197,7 \cdot 2,655 \cdot 10^{-2}}{1,6} = 3,28 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,815 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі за рахунок звичайної конвекції:

$$\text{Nu}_f = 0,47 \cdot (\text{Cr})^{0,25} = 0,47 \cdot (2 \cdot 10^{10})^{0,25} = 176,75$$

Критерій Грасгофа:

$$\text{Cr} = \frac{g \cdot D_6^3 \cdot \Delta t}{\nu^2 \cdot T} = \frac{9,81 \cdot 1,6^3 \cdot 85}{(21,595 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 358} = 2 \cdot 10^{10}$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1'' = \frac{176,75 \cdot 2,655 \cdot 10^{-2}}{1,6} = 2,93 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 3,408 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стінки:

$$\alpha_1 = 1,25 \cdot (\alpha_1'' + \alpha_1) = 1,25 \cdot (2,93 + 2,94) = 7,34 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = \\ = 8,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$$

Припускаємо, що температура в цеху - $t_u = 15^\circ \text{C}$, а температура ізолюваної зовнішньої стінки барабана - $t_{w^2} = 30^\circ \text{C}$

Середня температура пограничного шару повітря біля стінки:

$$t_{n.шар.} = \frac{30 + 15}{2} = 22,5^\circ \text{C}$$

при цих умовах

$$\nu = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\lambda = 2,25 \cdot 10^{-2} \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 2,617 \cdot 10^{-2} /(\text{м} \cdot \text{K})$$

Критерій Грасгофа:

$$Cr = \frac{9,81 \cdot 1,7^3 \cdot 15}{(1,51 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 288} = 107 \cdot 10^8$$

Приймаємо із урахуванням товщини стінки і шару ізоляції:

$$D_n = 1,7 \text{ м}$$

Тоді

$$(Cr \cdot Pr) = (107 \cdot 10^8 \cdot 0,7) = 75 \cdot 10^8 > 2 \cdot 10^6$$

Знаходимо критерій Нусельта:

$$Nu_T = 0,135 \cdot \sqrt[3]{Cr \cdot Pr} = 0,135 \cdot \sqrt[3]{75 \cdot 10^8} = 263$$

Тоді

$$\alpha_2' = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_n} = \frac{263 \cdot 2,25 \cdot 10^{-2}}{1,7} = 3,48 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 4,047 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$$

Променевий коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2'' = \frac{\varepsilon_n \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_{cm}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp}}{100} \right)^4 \right]}{T_{cm} - T_{cp}} = \frac{0,95 \cdot 4,96 \left[\left(\frac{273+30}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+15}{100} \right)^4 \right]}{30-15} =$$

$$= 4,76 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 5,536 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Тут $\varepsilon_n = 0,95$ - ступінь чорноти для поверхні;

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки барабана до повітря:

$$\alpha_2 = \alpha_2' + \alpha_2'' = 3,48 + 4,76 = 8,24 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) = 9,583 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Питомий тепловий потік:

$$q_l = \pi \cdot D_\phi \cdot \alpha_1 \cdot (t_f - t_{w_1}) = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 7,36 \cdot (85 - 60) = 924,42 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) =$$

$$= 1075,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$t_{w_1} = 60^\circ \text{C}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{(\delta_1 + \delta_3)}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{7,36} + \frac{1}{8,24} + \frac{(0,01 + 0,001)}{39} + \frac{0,03}{0,095}} = 1,74 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}) =$$

$$= 2,024 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Площа поверхні теплообміну:

$$F = \pi \cdot D_n \cdot L_\phi + 2 \cdot 0,785 \cdot D_n^2 = 3,14 \cdot 1,6 \cdot 11 + 2 \cdot 0,785 \cdot 1,6^2 = 59,28 \text{ м}^2$$

Втрати тепла в навколишнє середовище на 1 кг вологи:

$$q_n = \frac{K \cdot F \cdot \Delta t_{cp}}{W} = \frac{1,74 \cdot 59,28 \cdot 85}{139,17} = 63 \text{ ккал} = 263,72 \text{ кДж}$$

Тепловий баланс сушарки

для літніх умов

Прихід тепла в ккал на 1 кг вологи:

$$1) \text{ з повітрям } q = l \cdot I_0 = 47,2 \cdot 5,64 = 266,21 \text{ ккал} = 1114,36 \text{ кДж}$$

2) з вологістю матеріала $q = 1 \cdot \theta_1 = 30 \text{ ккал} = 125,6 \text{ кДж}$

3) з матеріалом

$$q = \frac{G_2}{W} \cdot c_m'' \cdot \theta_1 = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 30 = 179 \text{ ккал} = 749,3 \text{ кДж}$$

Де теплоємність на виході із сушарки визначена по такій формулі:

$$c_m'' = 0,23 \cdot \frac{100 - 0,1}{100} + \frac{0,1}{100} = 0,23 \text{ ккал/кг} \cdot ^\circ \text{C} = 0,963 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$$

4) від створювача тепла $q_k = 101386 \text{ ккал} = 4244,02 \text{ кДж}$

Сума: $1489,1 \text{ ккал/кг} = 6234,21 \text{ кДж/кг}$

Витрати теплоти в ккал на 1 кг вологи:

1) з повітрям $q = l \cdot l_2 = 47,2 \cdot 27,76 = 1310,27 \text{ ккал} = 5484,8 \text{ кДж}$

2) з матеріалом $q_m = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 30 = 179 \text{ ккал} = 749,3 \text{ кДж}$

1) Витрати в навколишнє середовище $q_{\text{env}} = 65,89 \text{ ккал} = 275,82 \text{ кДж}$

Сума: $1555,2 \text{ ккал/кг} = 6510,067 \text{ кДж/кг}$

ДЛЯ ЗИМОВИХ УМОВ

Прихід тепла в ккал на 1 кг вологи:

1) з повітрям $q = l \cdot I_0 = 53,3 \cdot 1,106 = 58,95 \text{ ккал} = 246,76 \text{ кДж}$

2) з вологістю матеріала $q = 1 \cdot \theta_1 = 20 \text{ ккал} = 83,72 \text{ кДж}$

3) з матеріалом

$$q = \frac{G_2}{W} \cdot c_m'' \cdot \theta_1 = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 20 = 119,35 \text{ ккал} = 499,6 \text{ кДж}$$

Де теплоємність на виході із сушарки визначена по такій формулі:

$$c_m'' = 0,23 \cdot \frac{100 - 0,1}{100} + \frac{0,1}{100} = 0,23 \text{ ккал/кг} \cdot ^\circ \text{C} = 0,963 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$$

2) від створювача тепла $q_k = 1432,38 \text{ ккал} = 5995,94 \text{ кДж}$

Сума: $1630,91 \text{ ккал} / \text{кг} = 6826,99 \text{ кДж} / \text{кг}$

Витрати теплоти в ккал на 1 кг вологи:

1) з повітрям $q = 53,3 \cdot 27,76 = 1479,61 \text{ ккал} = 6193,65 \text{ кДж}$

2) з матеріалом $q_m = \frac{3610,83}{139,17} \cdot 0,23 \cdot 20 = 119,35 \text{ ккал} = 499,6 \text{ кДж}$

3) Витрати в навколишнє середовище $q_{\text{от}} = 65,89 \text{ ккал} = 275,82 \text{ кДж}$

Сума: $1664,85 \text{ ккал} / \text{кг} = 6969,06 \text{ кДж} / \text{кг}$

Визначення тривалості сушіння

Час сушки нітрату амонію можна розрахувати по формулі:

$$\tau = 120 \cdot \frac{\beta \cdot \rho \cdot (\omega_1 - \omega_2)}{A_v \cdot [200 - (\omega_1 + \omega_2)]} = 120 \cdot \frac{0,14 \cdot 800 \cdot (4 - 0,3)}{7 \cdot [200 - (4 + 0,3)]} = 36,3 \text{ хв}$$

де $\rho = 800 \text{ кг} / \text{м}^3$ - насипна маса матеріала

Перевіряємо розрахунок часу сушіння:

$$V_{\text{о}} = 0,785 \cdot D_{\text{о}}^2 \cdot L_{\text{о}} = 0,785 \cdot 1,6^2 \cdot 11,54 = 23,2 \text{ м}^3$$

Хвилинна об'ємна подача матеріала:

$$V = \frac{G_1}{60 \cdot \rho} = \frac{3750}{60 \cdot 800} = 0,07813 \text{ м}^3 / \text{хв}$$

Час сушіння:

$$\tau = \frac{V_{\text{о}} \cdot \beta}{V} = \frac{23,2 \cdot 0,14}{0,07813} = 41,57 \text{ хв}$$

ДОДАТОК К. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНОКУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБИЧАЙКИ РОТОРА ЦЕНТРИФУГИ В ЗОНІ КРАЙОВОГО ЕФЕКТУ

Мета розрахунку: визначити навантаження на краях обичайки в місці її з'єднання з днищем і встановлення необхідності потовщення обичайки на краях.

Розрахункова схема рисунок 4.1.

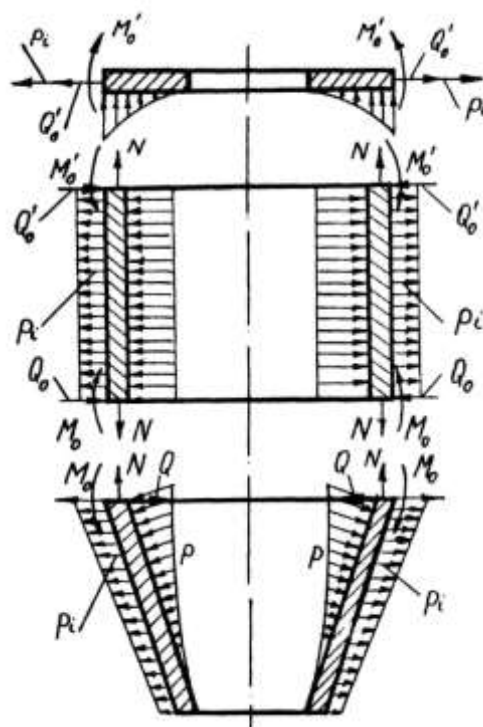


Рисунок 4.1 – Схема до визначення крайових навантажень

Початкові дані:

Внутрішній радіус ротора, R , м	0,5
Коефіцієнт заповнення, ψ	0,51
Максимальна частота обертання ротора, n , s^{-1}	17,5
Густина суспензії, ρ_c , $кг/м^3$	866

Матеріал ротора сталь – 12Х18Н10Т	
Товщина циліндричної обичайки	0,006
Товщина борта	0,012
Прибавуа до розрахункової тощини с	0,0005
Модуль повздовжньої пружності, Е, МПа	$2,05 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона, μ	0,3
Допустиме напруження матеріалу обичайки ротора, [σ], МПа [21]	178
Допустиме напруження в зоні крайового ефекту, [σ], МПа [21]	258
Коефіцієнт міцності зварних швів, ϕ	0,9

Крайові навантаження Q_0, M_0, Q'_0, M'_0 (рисунок 1.1) - внутрішні невідомі фактори, що не можуть бути визначені з умов рівноваги. Для розкриття статичної невизначеності та розрахунку невідомих реакцій складають систему рівнянь сумісності радіальних Δ та кутових θ деформацій. Ця система являє собою умову, при якій сумарні радіальні та кутові переміщення країв одної деталі від дії всіх навантажень рівні сумарним радіальним та кутовим переміщенням краю сполученої з нею деталі від цих же силових факторів.

Визначимо радіальне переміщення циліндричної обичайки, викликане силою p . Таблиці для визначення величин в додатку 1.

$$\begin{aligned} \Delta_{1p} &= \frac{\rho_c \cdot \omega^2 \cdot R^4}{2 \cdot E \cdot (S - c)} \cdot \psi \cdot \left(1 - \frac{\mu \cdot \psi}{4}\right) = \\ &= \frac{866 \cdot 109,9^2 \cdot 0,5^4}{2 \cdot 2,05 \cdot 10^{11} \cdot (0,006 - 0,0005)} \times 0,51 \cdot \left(1 - \frac{0,3 \cdot 0,51}{4}\right) = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ м.} \end{aligned}$$

Радіальне переміщення циліндричної обичайки, викликане дією сили p_i :

$$\Delta_{1pi} = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R^3}{E} = \frac{7900 \cdot 109,9^2 \cdot 0,5^3}{2,05 \cdot 10^{11}} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$\lambda = \frac{R_m}{R};$$

де

$$R_m = R \cdot \sqrt{(1 - \psi)};$$

$$R_m = 0,5 \cdot \sqrt{(1 - 0,51)} = 0,35 \text{ м};$$

$$\lambda = \frac{0,35}{0,5} = 0,7.$$

Радіальне переміщення борта, викликане дією сили P_i :

$$\begin{aligned} \Delta_{2pi} &= \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R^3}{4 \cdot E} \cdot (1 - \mu + (3 + \mu) \cdot \lambda^2) = \\ &= \frac{7900 \cdot 109,9^2 \cdot 0,5^3}{4 \cdot 2,05 \cdot 10^{11}} \cdot (1 - 0,3 + (3 + 0,3) \cdot 0,7^2) = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ м.}; \end{aligned}$$

Радіальне переміщення борта, викликане силою P :

$$\begin{aligned} \Delta_{2p} &= - \frac{\rho_c \cdot \omega^2 \cdot R^5}{16 \cdot E \cdot (S_{II} - c)^2 \cdot (1 - \lambda^2)} \times \\ &\times \left[3 \cdot (1 + \mu) \cdot ((1 - \lambda^4) \cdot (1 - 2 \cdot \lambda^2) - 2 \cdot \lambda^6 \cdot \ln \lambda^2) - (1 + 5 \cdot \mu) \cdot (1 - \lambda^2)^3 \right] = \\ &= - \frac{866 \cdot 109,9^2 \cdot 0,5^5}{16 \cdot 1,05 \cdot (0,012 - 0,0005)^2 \cdot (1 - 0,7^2)} \times \\ &\left[3 \cdot (1 + 0,3) \cdot ((1 - 0,7^4) \cdot (1 - 2 \cdot 0,7^2) - 2 \cdot 0,7^6 \cdot \ln 0,7^2) - (1 + 5 \cdot 0,3) \cdot (1 - 0,7^2)^3 \right] = \\ &= 2,025 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \end{aligned}$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}}{\sqrt{R \cdot (S - c)}} = \frac{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,3^2)}}{\sqrt{0,5 \cdot (0,006 - 0,0005)}} = 20,324.;$$

Для обчислення інших значень переміщень, спочатку необхідно обчислити реакції Q_0 та M_0 . Тому, спочатку знайдемо добутки:

добуток сили Q_0^{-1} та радіального переміщення циліндричної обичайки, викликаного цією силою:

$$Q_0^{-1} \cdot \Delta_{1Q_0} = \frac{2 \cdot \beta \cdot R^2}{E \cdot (S - c)} = \frac{2 \cdot 20,324 \cdot 0,5^2}{2,05 \cdot 10^{11} \cdot (0,006 - 0,0005)} = 6,196 \cdot 10^{-9};$$

добуток моменту M_0^{-1} та радіального переміщення циліндричної обичайки, викликаного цим моментом:

$$M_0^{-1} \cdot \Delta_{1M_0} = \Delta_{1Q_0} \cdot \beta = 6,196 \cdot 10^{-9} \cdot 20,324 = 1,2593 \cdot 10^{-7};$$

добуток сили Q_0^{-1} та радіального переміщення борта, викликаного цією силою:

$$\begin{aligned} Q_0^{-1} \cdot \Delta_{2Q_0} &= \frac{4 \cdot R}{E \cdot (S_n - c) \cdot (1 - \lambda^2)} \cdot (1 - \mu + (1 + \mu^2) \cdot \lambda^2) = \\ &= \frac{4 \cdot 0,5}{2,05 \cdot 10^{11} \cdot (0,012 - 0,0005) \cdot (1 - 0,7^2)} \cdot (1 - 0,3 + (1 + 0,3^2) \cdot 0,7^2) = 3,649 \cdot 10^{-9}; \end{aligned}$$

добуток моменту M_0^{-1} та радіального переміщення борта, викликаного цим моментом:

$$\begin{aligned} M_0^{-1} \cdot \Delta_{2M_0} &= \frac{6 \cdot R}{E \cdot (S_n - c)^2 \cdot (1 - \lambda^2)} \cdot (1 - \mu + (1 + \mu) \cdot \lambda^2) = \\ &= \frac{6 \cdot 0,5}{2,05 \cdot 10^{11} \cdot (0,012 - 0,0005)^2 \cdot (1 - 0,7^2)} \cdot (1 - 0,3 + (1 + 0,3) \cdot 0,7^2) = 5,470 \cdot 10^{-9} ; \end{aligned}$$

Кутове переміщення циліндричної обичайки, спричинене силою p :

$$\Theta_{1p} = 0.$$

Кутове переміщення циліндричної обичайки, спричинене силою p_i :

$$\Theta_{1pi} = 0$$

Добуток сили Q_0^{-1} та кутового переміщення циліндричної обичайки, спричиненого дією цієї сили:

$$Q_0^{-1} \cdot \Theta_{1Q_0} = Q_0^{-1} \cdot \Delta_{1Q_0} \cdot \beta;$$

$$Q_0^{-1} \cdot \Theta_{1Q_0} = 6,1964 \cdot 10^{-9} \cdot 20,324 = 1,259 \cdot 10^{-7}.$$

Добуток моменту M_0^{-1} та кутового переміщення циліндричної обичайки, викликаного його дією:

$$M_0^{-1} \cdot \Theta_{1M_0} = M_0^{-1} \cdot \Delta_{1M_0} \cdot 2 \cdot \beta = 12593 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 20,324 = 5,1194 \cdot 10^{-6};$$

Кутове переміщення борта, викликане силою p :

$$\Theta_{2p} = \frac{\Delta_{2p} \cdot 2}{S_n - c} = \frac{2,025 \cdot 10^{-4} \cdot 2}{0,012 - 0,0005} = 3,30742 \cdot 10^{-2}.$$

Кутове переміщення борта, викликане силою p_i :

$$\Theta_{2pi} = 0.$$

Добуток моменту M_0^{-1} та кутового переміщення борта, викликаного його дією:

$$M_0^{-1} \cdot \Theta_{2M_0} = \frac{2 \cdot M_0^{-1} \cdot \Delta_{2M_0}}{S_n - c} = \frac{2 \cdot 5,47 \cdot 10^{-9}}{0,012 - 0,0005} = 8,9374 \cdot 10^{-7};$$

Добуток сили Q_0^{-1} та кутового переміщення борта, спричиненого дією цієї сили:

$$Q_0^{-1} \cdot \Theta_{2Q_0} = \frac{Q_0^{-1} \cdot \Delta_{2Q_0} \cdot 1,5}{S_n - c} = \frac{3,649 \cdot 10^{-9} \cdot 1,5}{0,012 - 0,0005} = 4,4687 \cdot 10^{-7}.$$

Для подальшого розв'язання, позначимо:

$$c_1 = \Delta_{1p} + \Delta_{1pi} + \Delta_{2p} + \Delta_{1pi};$$

$$c_1 = 5,3 \cdot 10^{-5} + 4,8 \cdot 10^{-5} + 2,025 \cdot 10^{-4} + 3,46 \cdot 10^{-5} = 2,6912 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$c_2 = \Theta_{23} = 3,30742 \cdot 10^{-2} \text{ рад.}$$

та

$$A_1 = -Q_0^{-1} \cdot \Delta_{1Q_0} - Q_0^{-1} \cdot \Delta_{2Q_0} = 6,196 \cdot 10^{-9} - 3,649 \cdot 10^{-9} = -9,846 \cdot 10^{-9};$$

$$A_2 = M_0^{-1} \cdot \Delta_{1M_0} + M_0^{-1} \cdot \Delta_{2M_0} = 1,2593 \cdot 10^{-7} + 5,47 \cdot 10^{-9} = 1,3141 \cdot 10^{-7};$$

$$A_3 = Q_0^{-1} \cdot \Theta_{1Q_0} - Q_0^{-1} \cdot \Theta_{2Q_0} = 1,259 \cdot 10^{-7} - 4,4687 \cdot 10^{-7} = -3,2094 \cdot 10^{-9};$$

$$A_4 = -M_0^{-1} \cdot \Theta_{1M_0} - M_0^{-1} \cdot \Theta_{2M_0} = 5,1194 \cdot 10^{-6} + 8,9374 \cdot 10^{-4} = -6,0127 \cdot 10^{-6};$$

тоді:

$$Q_0 = \frac{\left(-c_2 + \frac{A_4 \cdot c_1}{A_2} \right)}{\left(A_3 - \frac{A_1 \cdot A_4}{A_2} \right)} = \frac{\left(-3,30742 \cdot 10^{-2} + \frac{-6,0127 \cdot 10^{-6} \cdot 2,6912 \cdot 10^{-4}}{1,3141 \cdot 10^{-7}} \right)}{\left(-3,2094 \cdot 10^{-7} + \frac{(-9,846 \cdot 10^{-9}) \cdot (-6,0127 \cdot 10^{-6})}{1,3141 \cdot 10^{-7}} \right)} = -5,8836 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м};$$

$$M_0 = \frac{-c_1 - (A_1 \cdot Q_0)}{A_2} = \frac{-2,6912 \cdot 10^{-4} + (9,846 \cdot 10^{-9} \cdot (-5,8836 \cdot 10^{-2}))}{1,3141 \cdot 10^{-7}} = 2,3603 \cdot 10^{-3} \text{ МНм/м.};$$

Тепер можна обчислити всі переміщення:

$$\Delta_{1Q_0} = \frac{\Delta_{1Q_0} \cdot Q_0}{Q_0} = 6,196 \cdot 10^{-9} \cdot 5,8836 \cdot 10^{-4} = 3,646 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta_{1M_0} = \frac{\Delta_{1M_0} \cdot M_0}{M_0};$$

$$\Delta_{1M_0} = 1,259 \cdot 10^{-7} \cdot 1,3603 \cdot 10^3 = 2,9724 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$\Theta_{1Q_0} = \frac{\Theta_{1Q_0} \cdot Q_0}{Q_0};$$

$$\Theta_{1Q_0} = 1,259 \cdot 10^{-7} \cdot 5,8836 \cdot 10^4 = 7,4095 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

Аналогічно знаходимо:

$$\Theta_{1M_0} = 1,2082 \cdot 10^{-2} \text{ рад,}$$

$$\Delta_{2Q_0} = 2,1472 \cdot 10^{-4} \text{ м,}$$

$$\Delta_{2M_0} = 1,2921 \cdot 10^{-5} \text{ м,}$$

$$\Theta_{2Q_0} = 2,6292 \cdot 10^{-2} \text{ рад,}$$

$$\Theta_{2M_0} = 2,1095 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

Відцентрова сила інерції матеріалу ротора:

$$p_i = \rho \cdot \omega^2 \cdot R \cdot (S - c);$$

$$p_i = 7900 \cdot 109,9^2 \cdot 0,5 \cdot (0,006 - 0,0005) = 0,32 \text{ МПа.}$$

Тиск загрузки на обичайку ротора:

$$p = \frac{\omega^2 \cdot \rho_c \cdot (R^2 - R_M^2)}{2} = \frac{109,9^2 \cdot 866 \cdot (0,5^2 - 0,35^2)}{2} = 0,36 \text{ МПа,}$$

Осьова сила:

$$P_\theta = \frac{\pi \cdot \omega^2 \cdot \rho_c \cdot (R^2 - R_M^2)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 109,9^2 \cdot 866 \cdot (0,5^2 - 0,35^2)^2}{4} = 0,048 \text{ МН};$$

Напруження, викликане дією p_i та p :

$$\sigma_{pi} = -(p + p_i) = -(0,36 + 0,32) = -0,68 \text{ МПа,}$$

Знайдемо нормальну меридіональну силу на межі граней:

$$N = \frac{F_{\epsilon}}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{0.048}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5} = 0,015 \text{ МПа.}$$

Складові кільцевої сили Т:

$$T_p = p \cdot R = 0,36 \cdot 0,5 = 0,36 \cdot 0,5 = 0,178 \text{ МН};$$

$$T_{pi} = p_i \cdot R = 0,32 \cdot 0,5 = 0,158 \text{ МН};$$

Довжина зони крайового ефекту:

$$L = \frac{\pi}{2,5 \cdot \beta} = \frac{3,14}{2,5 \cdot 20,324} = 6,18 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Далі проводиться знаходження кільцевих та меридіональних напружень на внутрішній та зовнішній поверхнях у десяти перерізах зони крайового ефекту. Найбільшими вони є для значення $x = 0$.

Знайдемо коефіцієнти:

$$F_1 = e^{-\beta \cdot x} \cdot \cos(\beta \cdot x) = e^0 \cos 0 = 1;$$

$$F_2 = e^{-\beta \cdot x} \cdot \sin(\beta \cdot x) = e^0 \cdot \sin(0) = 0;$$

Складові сил та моментів у перерізах:

$$Q_{Q_0} = Q_0 \cdot (F_1 - F_2) = -5,8846 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м};$$

$$T_{Q_0} = 2 \cdot \beta \cdot R \cdot Q_0 \cdot F_1 = 2 \cdot 20,324 \cdot 0,5 \cdot (-5,8846 \cdot 10^{-2}) \cdot 1 = -1,1958 \text{ МН/м};$$

$$M_{Q_0} = \frac{Q_0 \cdot F_2}{\beta} = 0;$$

$$T_{M_0} = 2 \cdot \beta^2 \cdot R \cdot M_0 \cdot (F_1 - F_2) = 2 \cdot 20,324^2 \cdot 0,5 \cdot 2,3603 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,9749 \text{ MH};$$

$$Q_{M_0} = -2 \cdot \beta \cdot M_0 \cdot F_2 = 0;$$

$$M_{M_0} = M_0 \cdot (F_1 + F_2) = 2,3603 \cdot 10^{-3} \text{ МНм/м};$$

Меридіональний вигинаючий момент:

$$M = M_{Q_0} + M_{M_0} = 0 + 2,3603 \cdot 10^{-3} = 2,3603 \cdot 10^{-3} \text{ МНм/м};$$

Кільцевий вигинаючий момент:

$$K = \mu \cdot M = 0,3 \cdot 2,3603 \cdot 10^{-3} = 0,7081 \cdot 10^{-3} \text{ МНм/м};$$

Поперечна сила:

$$Q = Q_{Q_0} + Q_{M_0} = -5,8846 \cdot 10^{-2} + 0 = -5,8846 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м};$$

Нормальна кільцева сила:

$$T = T_p + T_{pi} + T_M + T_{Q_0} = 0,1785 + 0,158 + 0,9749 - 1,1958 = 0,1157 \text{ МН};$$

Використаємо знайдені значення для обчислення напружень, а саме дотичного, кільцевого напруження на внутрішній та зовнішній поверхнях, меридіонального напруження на внутрішній та зовнішній поверхнях і еквівалентне напруження.

Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot (S - c)} = \frac{-5,8846 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot (0,006 - 0,0005)} = -2,34 \text{ МПа}.$$

Кільцеве напруження на внутрішній поверхні:

$$\sigma_{t1} = \frac{N}{S-c} + \frac{6 \cdot M}{(S-c)^2} = \frac{0,015}{0,006-0,0005} + \frac{6 \cdot 2,3603 \cdot 10^{-3}}{(0,006-0,0005)^2} = 223,17 \text{ МПа.};$$

Кільцеве напруження на зовнішній поверхні:

$$\sigma_{t2} = \frac{N}{S-c} - \frac{6 \cdot M}{(S-c)^2} = \frac{0,015}{0,006-0,0005} - \frac{6 \cdot 2,3603 \cdot 10^{-3}}{(0,006-0,0005)^2} = -219,38 \text{ МПа}$$

Меридіональне напруження на внутрішній поверхні:

$$\sigma_{m1} = \frac{T}{S-c} + \frac{6 \cdot K}{(S-c)^2} = \frac{0,1157}{0,006-0,0005} + \frac{6 \cdot 0,7081 \cdot 10^{-3}}{(0,006-0,0005)^2} = 80,84 \text{ МПа.}$$

Меридіональне напруження на зовнішній поверхні:

$$\sigma_{m2} = \frac{T}{S-c} - \frac{6 \cdot K}{(S-c)^2} = \frac{0,1157}{0,006-0,0005} - \frac{6 \cdot 0,7081 \cdot 10^{-3}}{(0,006-0,0005)^2} = -51,92 \text{ МПа.}$$

Еквівалентне напруження визначається за умовою:

$$\sigma_{екв} = \max\{\sigma_m; \sigma_t\} = \max\{223,17; -219,38\} = 223,17 \text{ МПа.}$$

Умова міцності в зоні крайового ефекту має вигляд:

$$\sigma_{екв} \leq [\sigma_M] \cdot \varphi.$$

В нашому випадку нерівність виконується:

$$223,17 \leq 258 \cdot 0,9;$$

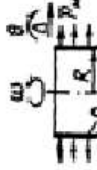
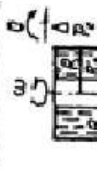
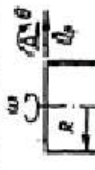
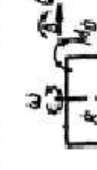
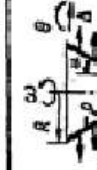
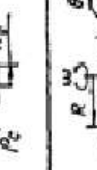
$$223,17 \leq 232,2.$$

Висновок

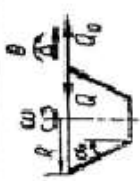
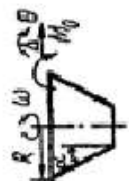
За результатами розрахунку визначено величину крайових навантажень $M_0 = 2,3603 \cdot 10^{-3}$ МН та $Q_0 = -5,8836 \cdot 10^{-2}$ МН/м і встановлена непотрібність потовщення обичайки на краях (виконується умова міцності на краю обичайки). У результаті проведених розрахунків приймаємо товщину стінки обичайки $S = 0,006$ м.

ДОДАТОК К. ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ПРИ РОЗРАХУНКУ КРАЙОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

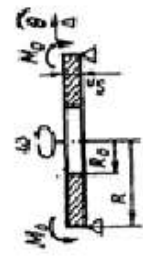
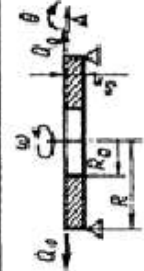
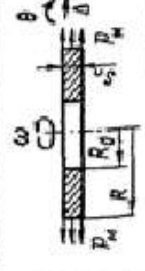
Залежності для визначення навантажень, переміщень і напружень на межі обичайки ротора

Навантаження	Зусилля		Моменти		Переміщення			Напруження		
	Меридіальне	Кільцеве	Меридіальний	Кільцевий	Радіальне	Кутове	Меридіальне	Кільцеве	Примітки	
	0	$\rho(s-c) \times \omega^2 R^2$	0	0	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{E}$	0	0	$\rho \omega^2 R^2$	—	
	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{8} \psi^2$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2} \psi$	0	0	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2E(s-c)} \psi \left(1 - \frac{1}{\psi}\right)$	0	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{8(s-c)} \psi^2$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2(s-c)} \psi$	$\psi = 1 - \frac{R_1^2}{R^2}$	
	0	$2\rho R Q_0$	0	0	$\frac{2\rho R^3}{E(s-c)} Q_0$	$\frac{2\rho R^3}{E(s-c)} Q_0$	0	$\frac{2\rho R}{s-c} Q_0$	$\beta = \frac{\sqrt[3]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R(s-c)}}$	
	0	$2\rho^2 R M_0$	M_0	μM_0	$\frac{2\rho^2 R^3}{E(s-c)} M_0$	$\frac{4\rho^2 R^3}{E(s-c)} M_0$	$\pm \frac{\delta M_0}{(s-c)^2}$	$\frac{2\rho^2 R M_0}{s-c} \frac{\delta \mu M_0}{(s-c)^2}$		
	0	$\rho(s_k-c)\omega^2 R^2$	0	0	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{E}$	$(3+\mu) \frac{\rho \omega^2 R^3}{E} \lg \alpha$	0	$\rho \omega^2 R^2$	—	
	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{8} \cos \alpha \psi^2$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2} \cos \alpha \psi$	0	0	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{8E(s_k-c)} \cos \alpha \times \psi(4-\mu\psi)$	$\frac{\rho \omega^2 R^3 \sin \alpha}{8E(s_k-c) \cos \alpha} \times \frac{1}{\psi(8(1+\psi)-\psi^2)}$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{8(s_k-c) \cos \alpha} \psi^2$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2(s_k-c) \cos \alpha} \psi$	$\psi = 1 - \frac{R_1^2}{R^2}$ $\beta_{\text{нв}} = \sqrt[3]{\frac{3(1-\mu^2)}{R(s_k-c) \cos \alpha}}$	
	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{8} \cos \alpha \psi^2$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2} \cos \alpha \psi$	0	0	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2E(s_k-c)} \cos \alpha$	$\frac{\rho \omega^2 R^3 \sin \alpha}{E(s_k-c) \cos \alpha} (1+\psi)$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{8(s_k-c) \cos \alpha} \psi^2$	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{2(s_k-c) \cos \alpha} \psi$	$Q = \frac{\rho \omega^2 R^3}{8} \psi^2 \lg \alpha$	

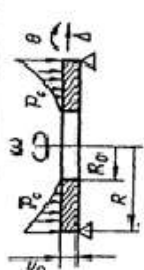
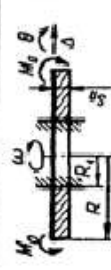
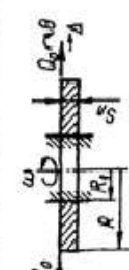
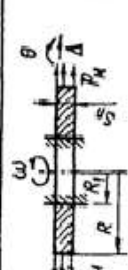
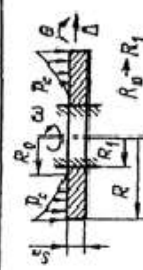
Продовження

Навантаження	Зусилля		Моменти		Переміщення			Напруження		Примітки
	Модальне	Критичне	Місцеві	Кінцеві	Радіальне	Кутове	Місцеве	Кінцеве		
	$(Q_0 - Q) \sin \alpha$	$2\beta_K R (Q_0 - Q)$	0	0	$\frac{2\beta_K R^2 (Q_0 - Q)}{E (s_K - c)}$	$\frac{2\beta_K^2 R^3 (Q_0 - Q)}{E (s_K - c) \cos \alpha}$	$\frac{\sin \alpha (Q_0 - Q)}{s_K - c}$	$\frac{2\beta_K R (Q_0 - Q)}{s_K - c}$	$\psi = 1 - \frac{R_0^2}{R^2};$ $\beta_K = \frac{\sqrt[3]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R (s_K - c) \cos \alpha}}$ $Q = \frac{\rho \omega^2 R^3}{8} \psi^2 \varrho \alpha$	
	0	$\frac{2\beta_K^2 R}{\cos \alpha} M_0$	M_0	μM_0	$\frac{2\beta_K^2 R^2 M_0}{E (s_K - c) \cos \alpha}$	$\frac{4\beta_K^3 R^3 M_0}{E (s_K - c) \cos^2 \alpha}$	$\pm \frac{6M_0}{(s_K - c)^2}$	$\pm \frac{2\beta_K^2 R M_0}{(s_K - c) \cos \alpha} \pm \frac{6\mu M_0}{(s_K - c)^2}$		

Залежності для визначення переміщень по зовнішньому контуру диска постійної товщини

Навантаження	Радіальне переміщення	Кутове переміщення	При- мітка
	$\frac{6R}{E(s_0 - c)^3(1 - \lambda^2)} [1 - \mu + (1 + \mu)\lambda^2] M_0$	$\frac{12R}{E(s_0 - c)^3(1 - \lambda^2)} [1 - \mu + (1 + \mu)\lambda^2] M_0$	$\lambda = \frac{R_0}{R}$
	$\frac{4R}{E(s_0 - c)^3(1 - \lambda^2)} [1 - \mu + (1 + \mu)\lambda^2] Q_0$	$\frac{6R}{E(s_0 - c)^3(1 - \lambda^2)} [1 - \mu + (1 + \mu)\lambda^2] Q_0$	
	$\frac{\rho\omega^2 R^3}{4E} [1 - \mu + (3 + \mu)\lambda^2]$	0	

Продовження

Навантаження	Радіальне переміщення	Кутове переміщення	При- мітка
	$-\frac{\rho_c \omega^2 R^3}{16E(s_n - c)^2(1 - \lambda^2)} \{3(1 + \mu)[(1 - \lambda^4)(1 - 2\lambda^2) - 2\lambda^6 \ln \lambda^2] - 2\lambda^6 \ln \lambda^2\} - (1 + 5\mu)(1 - \lambda^2)^3$	$-\frac{\rho_c \omega^2 R^4}{8E(s_n - c)^2(1 - \lambda^2)} \{3(1 + \mu)(1 - \lambda^4)(1 - 2\lambda^2) - 2\lambda^6 \ln \lambda^2\} - (1 + 5\mu)(1 - \lambda^2)^3$	$\lambda = \frac{R_0}{R}$
	$\frac{6R}{E(s_n - c)^2} \frac{(1 - \mu)(2 + \mu) + (1 + \mu)(2 - \mu)\lambda^2}{(2 + \mu) - (2 - \mu)\lambda^2} M_0$	$\frac{12R}{E(s_n - c)^2} \frac{(1 - \mu)(2 + \mu) + (1 + \mu)(2 - \mu)\lambda^2}{(2 + \mu) - (2 - \mu)\lambda^2} M_0$	
	$\frac{4R}{E(s_n - c)} \frac{(1 - \mu^2)[(2 + \mu) + (2 - \mu)\lambda^2] + (2 + \mu^2)\lambda^2}{[(1 + \mu) + (1 - \mu)\lambda^2][(2 + \mu) - (2 - \mu)\lambda^2]} Q_0$	$\frac{6R}{E(s_n - c)^2} \frac{(1 - \mu)(2 + \mu) + (1 + \mu)(2 - \mu)\lambda^2}{(2 + \mu) - (2 - \mu)\lambda^2} Q_0$	
	$\frac{\rho \omega^2 R^3}{4E} \frac{(2\mu^2 + 3\mu - 5)\lambda^4 + [2(1 - \mu) - (3 + \mu)\mu^2]\lambda^2 - (1 + \mu)^2}{(1 - \mu)\lambda^2 + (1 + \mu)}$	0	$\lambda_1 = \frac{R_1}{R}$
	$\frac{\rho_c \omega^2 R^3}{16E(s_n - c)^2} \frac{(1 - \mu^2)}{[1 + \mu + \lambda^2(1 - \mu)]} \times$ $\times \{2(1 + \mu)(1 - \lambda^2)^3 - 3\lambda^2[(1 - \lambda^2)^2 + \lambda^2(1 - 2 \ln \lambda^2)]\}$	$\frac{\rho_c \omega^2 R^3}{8E(s_n - c)^2} \frac{(1 - \mu^2)}{[1 + \mu + \lambda^2(1 - \mu)]} \times$ $\times \{2(1 + \mu)(1 - \lambda^2)^3 - 3\lambda^2[(1 - \lambda^2)^2 + \lambda^2(1 - 2 \ln \lambda^2)]\}$	

ДОДАТОК Л. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСИЧЕНОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ

Температура	Абсолютний тиск	Густина	Питома теплота пароутворення
t, К, (°C)	p, МПа	ρ , кг/м ³	r, кДж/кг
373, (100)	0,1013	0,598	2256,8
383, (110)	0,1430	0,826	2230,0
393, (120)	0,1980	1,121	2202,8
403, (130)	0,2700	1,496	2174,3
413, (140)	0,3610	1,966	2145,0
423, (150)	0,4760	2,547	2114,4

ДОДАТОК М. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДИМОВИХ ГАЗІВ

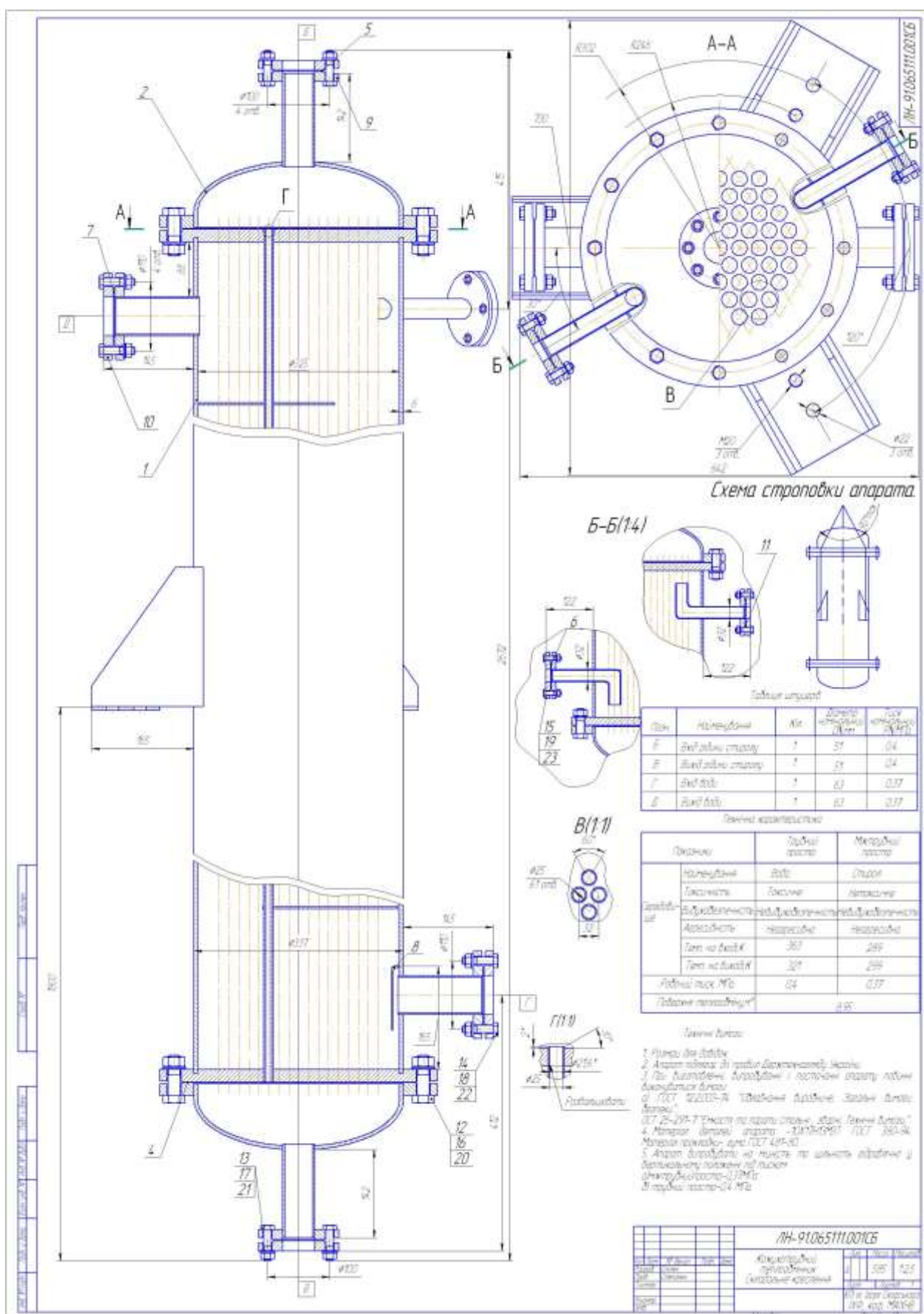
$P_B = 760 \text{ мм рт. ст.} \approx 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}; \overline{P_{\text{CO}_2}} = 0,13; \overline{P_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,11; \overline{P_{\text{N}_2}} = 0,76$

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$c_p,$ $\text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \cdot 10^3,$ $\text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$a \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6,$ $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Pr
0	1,295	1,042	2,28	16,9	15,8	12,20	0,72
100	0,950	1,068	3,13	30,8	20,4	21,54	0,69
200	0,748	1,097	4,01	48,9	24,5	32,80	0,67
300	0,617	1,122	4,84	69,9	28,2	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	94,3	31,7	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	121,1	34,8	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	150,9	37,9	93,61	0,62
700	0,363	1,239	8,27	183,8	40,7	112,1	0,61
800	0,330	1,264	9,15	219,7	43,4	131,8	0,60
900	0,301	1,290	10,0	258,0	45,9	152,5	0,59
1000	0,275	1,306	10,90	303,4	48,4	174,3	0,58
1100	0,257	1,323	11,75	345,5	50,7	197,1	0,57
1200	0,240	1,340	12,62	392,4	53,0	221,0	0,56

ДОДАТОК Н. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ

Темпе- ратура	Густина	Питома масова теплоємність	Коефіцієнт теплопровідності	Кінематична в'язкість	Коефіцієнт об'ємного розширення
t, К, (°С)	ρ , кг/м ³	c, Дж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^3$, К ⁻¹
273, (0)	999,6	4212	0,551	1,789	−0,06
283, (10)	999,7	4191	0,575	1,306	0,08
293, (20)	998,2	4183	0,599	1,006	0,21
303, (30)	995,7	4174	0,618	0,805	0,30
313, (40)	992,2	4174	0,634	0,659	0,39
323, (50)	988,1	4174	0,648	0,556	0,43
333, (60)	983,2	4179	0,659	0,478	0,53
343, (70)	977,8	4187	0,668	0,415	0,58
353, (80)	971,8	4195	0,675	0,365	0,63
363, (90)	965,3	4208	0,680	0,326	0,69
373, (100)	958,4	4220	0,683	0,285	0,75

ДОДАТОК О. ПРИКЛАД СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ



ДОДАТОК П. ПРИКЛАД СПЕЦИФІКАЦІЇ ДО СКЛАДАЛЬНОГО КРЕСЛЕННЯ

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A1				Документация		
A2				Сборочные единицы		
A3						
A4				Детали		
A5						
A6						
A7						
A8						
A9						
A10						
A11						
A12						
A13						
A14						
A15						
A16						
A17						
A18						
A19						
A20						
A21						
A22						
A23						
A24						
A25						

Инд. № подл.	Изд. № док.	Взам. инд. №	Подп. и дата	Инд. № док.	Подп. и дата	ЛН-91.065111.001				
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Кожухотрубний теплообмінник					
Разроб.	Смілян									
Проб.	Степанюк									
Н.контр.										
Утв.					Лит. 1 2					
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, каф. МАХНВ				
Копіював						Формат А4				

[illegible]

ДОДАТОК Р. КЛАСИФІКАТОР ЄСКД

(редагована версія для використання в навчальному процесі)

КЛАС 06

ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

ОБЛАДНАННЯ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ, ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

1.79.100

КЛАС 060000	Обладнання гідромеханічних, теплових, масообмінних процесів		
ПІДКЛАС 065000	Обладнання теплових, процесів		
ГРУПА 065100	Апарати та пристрої теплообмінні для нагріву, охолодження, випарювання, конденсації поверхневого типу		
ПІДГРУПА		ВИД	
065110 Теплообмінники та холодильники кожухотрубні	065111	Теплообмінники	з нерухомими трубними ґратками
	2		з температурним компенсатором на кожусі
	3		з плаваючою головкою
	4		без компенсатора
	5		з компенсатором
	6	з U-подібними трубами	
	7	Холодильники	з нерухомими трубними ґратками
	8		з температурним компенсатором на кожусі
	9	з плаваючою головкою	
065120 Конденсатори кожухотрубні, кожухозмійовикові	065121	Кожухотрубні	з нерухомими трубними ґратками
	2		з температурним компенсатором на кожусі
	3		з плаваючою головкою
	4	Кожухозмійовикові	
	5		
	6		
	7		
	8		
	9	Інші	
065130 Випаровувачі кожухотрубні, кожухозмійовикові	065131	З гладкими трубами	з нерухомими трубними ґратками
	2		з температурним компенсатором на кожусі
	3		з паровим простором
	4		з U-подібними трубами
	5		з плаваючою головкою
			з внутрішніми ребрами

	6	З оребреними трубами	з завнішнім оребренням
	7	Кожухозмійовикові	
	8		
	9	Інші	
065140 Теплообмінники, конденсатори, випаровувачі пластинчасті, панельні	065141	Пластинчас	нерозбірні
	2	ті	розбірні
	3		блочні
	4		цільнозварні
	5		на консольні рамі
	6		на двухопорні рамі
	7		на трюхопорні раме
	8		на двухопорні рамі з промежною плитою
	9	Напівзбіжні	
065150 Теплообмінники сотові, "труба в трубі", "посудина в посудині", змійовикові, кожухозмійовикові	065151	Сотові	
	2	"Труба в трубі"	Одно поточні
	3		двух- та більш поточні
	4	"Посудина в посудині "	
	5	Змійовикові	Погружні
	6		Зрошувальні
	7	Кожухозмійовико-ві	з неоребренними поверхнями теплообміну
	8		з оребренними поверхнями теплообміну
	9	Інші	
065160 Теплообмінники графітові блочні, спіральні, оребрені, з оболоню на стінці апаратів	065161		з циліндричними блоками
	2		з прямокутними блоками
	3	Кожухоблочні	
	4	Спіральные	з глухими кромками каналу
	5		з тупіковими кромками каналу
	6		з наскрізними кромками каналу
	7	Оребрені	
	8	З оболоню на стінці апаратів	
	9	Інші	
065170 Конденсатори (окрім кожухотрубних та змійовикових), повітряохолоджувачі	065171	Конденсатори	трубчато-ребристи
	2		гладкотрубчаті
	3		пластинчасто-ребристі
	4	Повітряохолоджувачі	трубчато-ребристі
	5		гладкотрубчаті
	6		пластинчасто-ребристі, пластинчасті та панельні
	7		
	8		
	9	Інші	
065180 Повітрянагрівачі з оребреними поверхнями	065181	Пластинчасті	Одноходові
	2		Багатоходові
	3	Спірально-наливними	Одноходові

	4	Спирально-накатними	Багатоходові
	5		Одноходові
	6		Багатоходові
	7		
	8		
	9		
065190 Підігрівачі та випаровувачі вогневі з пальниками та їх блоки	065191	Підігрівачі	прямого підігріву
	2		з проміжним теплоносієм
	3		з жаровими трубами
	4	Випаровувачі	
	5	Блоки підігрівачів та випаровувачів	
	6		
	7		
	8		
	9		

КЛАС 060000	ОБЛАДНАННЯ гідромеханічних, теплових, масообмінних процесів		
ПІДКЛАС 065000	ОБЛАДНАННЯ теплових процесів		
ГРУПА 065200	Апарати повітряного охолодження		
ПІДГРУПА		ВИД	
065210 Горизонтальні	065211	З роз'ємними камерами секцій	одновентиляторні
	2		двохвентиляторні
	3		трьохвентиляторні
	4	З нероз'ємними камерами секцій	одновентиляторні
	5		двохвентиляторні
	6		трьохвентиляторні
	7		
	8		
	9	Інші	
065220 Горизонтальні з рециркуляцією повітря	065221	З роз'ємними камерами секцій	одновентиляторні
	2		двохвентиляторні
	3		трьохвентиляторні
	4	З нероз'ємними камерами секцій	одновентиляторні
	5		двохвентиляторні
	6		трьохвентиляторні
	7		
	8		
	9	Інші	
065230	065231	Одновентиляторні	
	2	Двохвентиляторні	
	3	Трьохвентиляторні	

Горизонтальні з внутрешнім змеевиком для вязких та високовязких продуктов	4 5 6 7 8 9	Інші	
065240 Горизонтальні колекторні	065241 2 3 4 5 6 7 8 9	одновентиляторні двохвентиляторні трёхвентиляторні Четырех- та более вентиляторные	
065250 Зигзагоподібні	065251 2 3 4 5 6 7 8 9	3 роз'ємними камерами секцій 3 нероз'ємними камерами секцій Інші	одновентиляторні двохвентиляторні трёхвентиляторні одновентиляторні двохвентиляторні трёхвентиляторні
065260 Шатрові	065261 2 3 4 5 6 7 8 9	3 розташуванням секцій по сторонах шатра 3 зигзагообразным расположением секцій по сторонам шатра Інші	одновентиляторні двохвентиляторні трёхвентиляторні одновентиляторні двохвентиляторні трёхвентиляторні
065270 Колонні	065271 2 3 4 5 6 7 8 9	одновентиляторні двохвентиляторні трёх- та більше вентиляторні Інші	
065280 Вертикальні	065281 2 3 4 5 6	3 роз'ємними камерами секцій 3 нероз'ємними камерами секцій	одновентиляторні двохвентиляторні трёх- та більше вентиляторні одновентиляторні двохвентиляторні трёх- та більше вентиляторні

	7	
	8	
	9	Інші

КЛАС 060000	ОБЛАДНАННЯ гідромеханічних, теплових, масообмінних процесів		
ПІДКЛАС 066000	ОБЛАДНАННЯ масообмінних та хімічних процесів		
ГРУПА 066200	ОБЛАДНАННЯ ректифікаційне, абсорбційне, екстракційне		
ПІДГРУПА		ВИД	
066210 Колони з тарілками (крім клапанних)	066211	Ковпачковими	
	2	Ситчатими	без відбійних елементів
	3		з відбійними елементами
	4	Решітчатими	
	5	S -подібними	
	6	Центробіжними	
	7		
	8		
	9	Інші	
066220 Колони з клапанними тарілками	066221	Перехресноточними	
	2	Прямоточними	
	3	Баластними	
	4	Трапецієвидними	
	5	Жалюзійними	
	6	S -подібними	
	7	Ситчато-клапанними	
	8		
	9	Інші	
066230 Колони з нерухомою насадкою	066231	Насипною	
	2	Сотовою	
	3	Плоскопаралельною	
	4	Блочною	
	5	Хордовою	
	6	Пакетною	
	7		
	8		
	9	Інші	
066240 Колони з нерухомою насадкою	066241	Що	дисковою
	2	обертаються	лопатевую
	3		комбінованою (секціонованою)

	4	Вібруючою		
	5			
	6			
	7			
	8			
	9	Інші		
066250 Колони порожнисті	066251	Зі зрошувальними пристроями (струменеві)		
	2	Поличні		
	3	Ультразвукові		
	4	З пристроями для створення киплячого шару		
	5			
	6			
	7			
	8			
	9	Інші		
066260 Установки та апарати для перегонки та дистиляції (крім колон, установок та апаратів опріснення)	066261	Простої перегонки		
	2	Азеотропної ректифікації		
	3	Екстрактивної ректифікації		
	4	Молекулярної дистиляції		
	5			
	6			
	7			
	8			
	9	Інші		
066270 Абсорбери (окрім колон) та їх блоки	066271	Поверхневі		
	2	Пластинчасті		
	3	Трубчасті		
	4	Насадочні		
	5			
	6			
	7			
	8			
	9	Інші		
066280 Установки екстракційні та екстрактори (окрім колонних)	066281	Установки екстракційні		
	2	Екстрактори рідині	гравітаційні	диференціально-контактні ступінчаті
	3		центро-біжні	диференціально-контактні
	4			ступенчаті
		Екстрактори твердофазні	зрошувальні	
	5		затоплення	
	6			
	7			
	8			
	9	Інші		