

Міністерство освіти і науки України

Донецький національний технічний університет

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І ЗАВДАННЯ
ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ
з дисципліни «Інформатика»
для студентів факультету механіки і машинобудування**

Ухвалено
на засіданні кафедри ОМіП
протокол № 1 від 31.08.2010

Затверджено на засіданні
навчально-видавничої ради ДонНТУ
протокол № 381 від 07.10.2010

Донецьк – 2010

УДК 681.3.06 (071)

Методичні вказівки і завдання до курсової роботи з дисципліни «Інформатика» для студентів факультету механіки і машинобудування / уклад.: С.П.Веретельник, О.М.Копитова, О.Е.Толкачов, – Донецьк: ДОННТУ, 2010 .- 64с.

Викладено мету і задачі курсової роботи, послідовність її виконання, зміст і правила оформлення. Приведено завдання до курсової роботи, надано методичні рекомендації по складу, виконанню і оформленню курсової роботи.

У додатках дано довідковий матеріал і розглянуто приклади розрахунків і оформлення окремих частин пояснювальної записки.

Приведений список літератури, що рекомендується.

Автори: С.П. Веретельник, доц.,
О.М. Копитова, доц.,
О.Э. Толкачов, доц.

СОДЕРЖАНИЕ

1	СПІЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
1.1	Мета і задачі курсової роботи.....	4
1.2	Організація виконання курсової роботи.....	4
2	СКЛАД КУРСОВОЇ РОБОТИ І ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ.....	4
2.1	Структура пояснювальної записки	4
2.2	Вимоги до структурних елементів пояснювальної записки.....	5
2.3	Вимоги до оформлення пояснювальної записки	7
2.4	Рекомендації по складанню програми на VBA	7
3	ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВИХ РОБІТ	8
	ТЕМА 1. Визначення товщини стінки циліндрової обичайки казана вулканізації	9
	ТЕМА 2. Визначення товщини стінки циліндрової обичайки секції випарника	11
	ТЕМА 3. Розрахунок зміцнення нормального одиночного отвору для конічного днища патронного фільтру	14
	ТЕМА 4. Визначення габаритних розмірів корпусу апарату синтезу аміаку	16
	ТЕМА 5. Розрахунок на міцність циліндрової обичайки апарату, призначеного для осушення повітря.....	18
	ТЕМА 6. Визначення ширини плоскої прокладки і розрахункового зусилля герметизації для затвора	20
	ТЕМА 7. Розрахунок діаметру стрижня шпильки затвора	23
	ТЕМА 8. Визначення внутрішнього надлишкового тиску, що допускається, для вузла сполучення штуцера і днища суцільнозварного апарату	24
	ТЕМА 9. Визначення оптимальних розмірів і маси корпусу апарату з умови мінімальної бічної поверхні	27
	ТЕМА 10. Розрахунок барабана сушарки на жорсткість	30
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	32
	ДОДАТОК А. ГРАФІК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ	32
	ДОДАТОК В. ПРИКЛАДИ ОФОРМЛЕННЯ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ	33
	ДОДАТОК С. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ	45
	ДОДАТОК D. ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ.....	48
	ДОДАТОК Е. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ.....	52

1 СПІЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Мета і задачі курсової роботи

Курсова робота виконується на базі знань, отриманих при вивченні курсу «Інформатика» і загальноосвітніх дисциплін.

Метою курсової роботи є закріплення теоретичних знань і практичних навиків студентів по основах алгоритмізації, програмування і відгадці програм при вирішенні інженерної задачі.

Вмістом курсової роботи є розрахункове технологічне завдання однієї із спеціальних дисциплін, що читаються студентам на старших курсах. Надалі це дозволить використовувати результати курсової роботи в науково-дослідній роботі студентів, в курсовому і дипломному проектуванні.

1.2 Організація виконання курсової роботи

Завдання на виконання курсової роботи видається студентові керівником. Студент оформляє лист завдання, що містить тему курсової роботи, дату видачі, термін здачі і початкові дані, – відповідно до теми і номера варіанту. Лист завдання підписується керівником курсової роботи.

При видачі завдання на курсову роботу керівником встановлюється графік виконання роботи (див. додаток А).

Основною формою виконання курсової роботи є самостійна робота студента під керівництвом викладача. Курсова робота має бути виконана в терміни, вказані в листі завдання, і здана на перевірку керівникові. Оцінка за виконання курсової роботи виставляється комісією, призначеною завідувачем кафедри. При незадовільній оцінці курсова робота повертається для виправлення або доповнення або студентові видається нове завдання.

2 СКЛАД КУРСОВОЇ РОБОТИ І ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ

2.1 Структура пояснювальної записки

Титульний лист

Лист завдання

Реферат

Вміст

Введення

- 1. Постановка завдання*
- 2. Контрольний приклад*
- 3. Блок-схема алгоритму*
- 4. Опис алгоритму*
- 5. Характеристика даних і їх умовні позначення*
- 6. Текст програми*
- 7. Опис роботи програми*
- 8. Графік залежності*
- 9. Аналіз результатів*

Висновок

Список використаної літератури

Додатки

2.2 Вимоги до структурних елементів пояснювальної записки

«Титульний лист» (зразок приведений в додатку В.1) є першою сторінкою пояснювальної записки і служить основним джерелом бібліографічної інформації, необхідної для обробки і пошуку документів.

«Лист завдання» (зразок – в додатку В.2) відображає тему завдання і початкові дані відповідного варіанту.

«Реферат» (приклад – в додатку В.3) призначений для ознайомлення з роботою. Він має бути коротким, інформативним і містити відомості, що дозволяють представити суть роботи. Реферат повинен містити:

- зведення про об'єм записки, кількості ілюстрацій, таблиць, додатків, кількості джерел по переліку заслань;
- текст реферату;
- перелік ключових слів.

Текст реферату повинен відображувати інформацію, представлену в записці пояснення і, як правило, в певній послідовності:

- об'єкт розробки або дослідження;
- мета роботи;
- методи дослідження;
- результати і їх новизна;
- значущість роботи і висновки.

Реферат необхідно виконувати об'ємом не більше 500 слів і розміщувати на одній сторінці формату А4.

Ключові слова, істотні для розкриття суті записки, формують на основі тексту реферату і поміщають перед текстом реферату. Перелік ключових слів включає від 5 до 15 слів (словосполук), надрукованих прописними буквами в називному відмінку в рядок через коми.

«Зміст» (приклад – в додатку В.4) поміщають безпосередньо після реферату, зачинаючи з нової сторінки. Зміст включає:

- вступ;
- послідовно перераховані найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони є);
- висновки;
- перелік заслань;
- найменування додатків.

У розділі «Вступ» дається коротка оцінка сучасного стану проблеми і висловлюються існуючі проблеми знання в даній області; обґрунтовується мета роботи і необхідність вживання комп'ютерних засобів для вирішення подібних задач. Вступ розташовується на окремій сторінці.

У розділі «*Постановка задачі*» приводиться словесна і математична постановка задачі.

У розділі «*Контрольний приклад*» (приклад – в додатку В.5) наводяться результати прорахунку без використання програмування, наприклад, виконані за допомогою табличного редактора Excel.

У розділі «*Блок-схема алгоритму*» (приклад – в додатку В.6) приводиться блок-схема алгоритму в стандартних позначеннях відповідно до ГОСТ.

«*Опис алгоритму*» (приклад – в додатку В.7) є поясненнями, відповідними кожному блоку алгоритму.

У розділі «*Характеристика даних і їх умовні позначення*» (приклад – в додатку В.8) необхідно заповнити наступну таблицю:

п/п	Найменування даних	Позначення в блок-схемі	Позначення в програмі	Тип змінної

Розділ «*Текст програми*» (приклад – в додатку В.9) є роздруком працюючої програми з коментарями до неї.

У розділі «*Опис роботи програми*» (приклад – в додатку В.10) необхідно описати характер взаємодії користувача і програми. Тут дається опис послідовності дій користувача, що приводить до отримання результату, і реакцій програми на ці дії.

Розділ «*Графік залежності*» (приклад – в додатку В.11) демонструє графічне представлення результатів обчислювань, отримане в табличному редакторі Excel.

У розділі «*Аналіз результатів*» (приклад – в додатку В.12) необхідно охарактеризувати результати роботи програми і проаналізувати їх відповідність контрольному прорахунку.

«*Висновок*» містить спільні висновки по виконанню курсової роботи.

Всі видання, які було використано при виконанні курсової роботи, і їх автори, перераховуються в «*Списку використаної літератури*».

У «*Додатку*» (приклад – в додатку В.13) приводяться: роздрук результатів, отриманих в результаті роботи програми; вид екрану – якщо завдання вирішувалося в діалоговому режимі і результати виводилися на екран; діаграми, таблиці і інший необхідний матеріал, що доповнює текст пояснювальної записки.

2.3 Вимоги до оформлення пояснювальної записки

Пояснювальна записка оформляється на листах формату А4 в текстовому редакторі WORD. Текст пояснювальної записки має бути набраний 14 шрифтом і мати наступні розміри полів: ліве – 20мм., праве – 10мм., верхнє – 20мм., нижнє – 20мм., абзац – 15мм.

Кожен розділ пояснювальної записки повинен починатися з нової сторінки. Заголовки розділів нумеруються арабськими цифрами і відділяються від основного тексту. Нумерація сторінок крізна, починаючи з титульного листа. На титульному листі, листі завдання, змісті і анотації номера сторінок не ставлять, на подальших сторінках номери указують арабськими цифрами в правому верхньому кутку.

Пояснювальна записка представляється до захисту в зброшурованому вигляді.

У додатку С приведені докладні вимоги до оформлення.

2.4 Рекомендації по складанню програми на VBA

1. Ретельно продумати і скомпонувати форму для обчислювань.
2. Перенести на форму компонент – головне меню, включивши до нього пункти: Введення даних, Обчислення, Вихід, та, можливе, інші.
3. Ретельно продумати і скомпонувати форму для кожного пункту меню, яке буде виведено в додатку. Функціонально зв'язані між собою елементи вікна необхідно об'єднати в групи так, щоб заголовок групи коротко і чітко пояснював її призначення. Для цього зручно використовувати, наприклад, панелі Panel і GroupBox, розташовані на сторінці Standard.
4. Якщо користувачеві необхідно вибирати деяку інформацію з декількох задалегідь відомих альтернатив, то рекомендується використовувати компонент ComboBox – випадний список. Для вибору однієї з декількох взаємовиключних альтернатив слід використовувати компонент RadioGroup.
5. Набудувати властивості і вказати методи кожного з об'єктів.
6. Написати і відладити всі необхідні обробники подій.

3 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВИХ РОБІТ

ВСТУП

Інтенсивний розвиток хімічною і суміжних галузей промисловості вимагає подальшого розвитку проектних і конструкторських робіт із створення високоефективного устаткування. Апарати і машини хімічних виробництв призначаються для здійснення в них одного або одночасно декількох хімічних, фізичних або хіміко-технологічних процесів (хімічна реакція, випар, конденсація, адсорбція, сушка, випаровування і так далі).

Конструкція апарату або машини розробляється виходячи з основних технічних вимог, що пред'являються до устаткування, і умов його експлуатації. До основних вимог належать: призначення і середа, технічна характеристика (продуктивність, ємність, поверхня теплообміну, споживана потужність і так далі), параметри технологічного процесу (тиск і температура), надійність і безпека.

При проектуванні апаратури необхідно прагнути до економії конструкційного матеріалу, зменшенню маси елементів і апарату або машини в цілому, але без збитку для їх надійності і безпеки. Такі елементи устаткування як обичайки, днища, фланцеві з'єднання, вали та інші, є спільними для устаткування хімічних виробництв, незалежно від вигляду і типа машини або апарату. Тому після вибору конструкційного матеріалу і складання розрахункової схеми проектованого елемента, поважно вирішити завдання, пов'язані з вибором його габаритних розмірів, і провести розрахунок по головних критеріях працездатності. Вирішення цих завдань передбачає використання сучасних обчислювальних засобів і відповідного програмного забезпечення. У справжній курсовій роботі пропонуються завдання, що розглядаються в рамках курсів за розрахунком і конструюванням машин і апаратів хімічних виробництв. Виконання цієї курсової роботи передбачає вживання знань і умінь, якими повинні оволодіти студенти при вивченні основ інформатики.

ТЕМА 1. Визначення товщини стінки циліндрової обичайки казана вулканізації

ЗАВДАННЯ. Розробити алгоритм і скласти програму визначення товщини стінки циліндрової обичайки; побудувати графік залежності товщини стінки від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

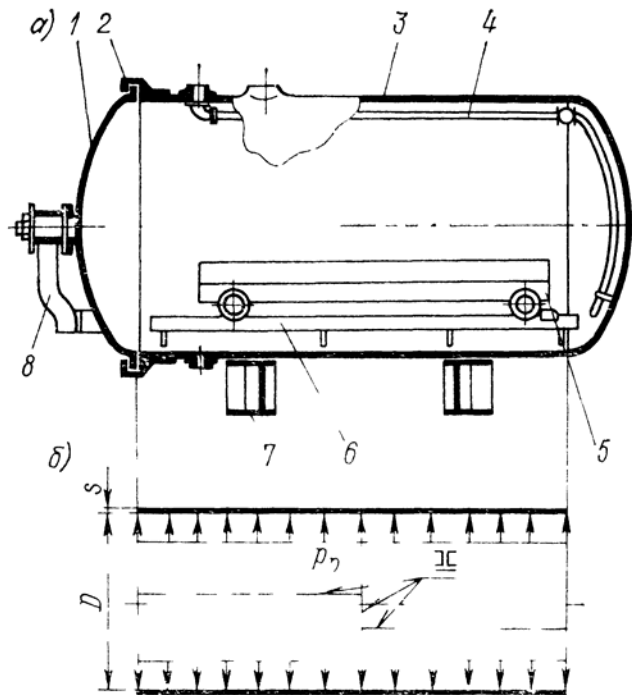


Рис. 1.1. Вулканизационный котел (а) и расчетная схема его цилиндрической обечайки (б):

- 1 – крышка; 2 – байонетное соединение (затвор);
- 3 – корпус; парораспределительный коллектор;
- 5 – тележка; 6 – рельсовый путь; 7 – опора;
- 8 – кронштейн.

Оскільки казан (див. мал.1.1) вулканізації працює під значним внутрішнім тиском, визначальним чинником при його розрахунку є міцність ([1], с. 8 - 19).

Розрахункова товщина стінки циліндрової обичайки визначається по формулі:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} pD / (2\varphi[\sigma] - p) + L \cdot 10^{-3}, \\ p_{и} D / (2\varphi[\sigma]_{и} - p_{и}) + L \cdot 10^{-3}, \end{array} \right.$$

де

φ – коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів обичайки; для швів з двостороннім суцільним проваром при автоматичній зварці $\varphi=1$;

$[\sigma]$ – напруга, що допускається; приймають в робочому стані $[\sigma] = \eta\sigma^*$,

σ^* – нормативна напруга, що допускається; визначається по державному стандарту (ГОСТ) при розрахунковій температурі (див. додаток, Таблиця D.1);

η – поправочний коефіцієнт (Таблиця D.2);

напруга, що допускається, при гідравлічних випробуваннях приймає: $[\sigma]_{и} = \sigma_{T20} / 1,1$, де σ_{T20} – мінімальне значення межі текучості при температурі $+20^{\circ}C$ (Таблиця D.3).

Виконавча товщина приймається з врахуванням конструктивної надбавки

$$s = s_p + c + c_0,$$

де $c = c_1 + c_2 + c_3$;

$c_1 = c_k + c_e$ – надбавка для компенсації корозії і ерозії відповідно;

c_2 – надбавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна надбавка (c_2, c_3 приймаються рівними нулю);

c_0 – надбавка на округлення товщини стінки до найближчого більшого значення, кратного п'яти мм (ГОСТ 19903-74);

$c_k = \Pi * \tau_B$ – надбавка на корозію

Π – швидкість корозії, приймається не більше 0,1 мм/рік;

τ_B – нормативний термін експлуатації апарату.

Значення розрахункової температури стінки казана, визначається залежно від температури середовища в казані: при позитивних температурах $t = \max(t_c; 20^{\circ}C)$, при негативних температурах $t = 20^{\circ}C$, де t_c – температура середовища в казані.

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні:

$$p_{и} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 p \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma] \\ p + 0,3 \end{array} \right\},$$

де $[\sigma]_{20} = \eta \sigma^*_{20}$ – при температурі $+20^{\circ}C$ (Таблиця D.1).

Приведені формули справедливі для тонкостінних апаратів, коли виконується умова, інакше необхідно перерахувати міцність по спеціальних методиках.

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Довжина обичайки	L	мм	2500-3500 $\Delta L=100$	3000	2000
2.	Внутрішній діаметр казана	D	мм	1500	1000-2000 $\Delta D=100$	1000
3.	Робочий тиск	p	Мпа	1,25	1,0	1,5
4.	Температура середовища в казані	t_c	$^{\circ}C$	170	260	100 – 400 $\Delta t_c = 50$
5.	Швидкість корозії	Π	мм/рік	0,1	0,05	0,07
6.	Термін експлуатації	τ_B	років	10	15	20
7.	Матеріал казана (листовий прокат)			Вст3пс	Ст10	Ст20К

ТЕМА 2. Визначення товщини стінки циліндрової обичайки секції випарника

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму визначення товщини стінки циліндрової обичайки секції випарника з сорочкою обігріву. Побудувати графік залежності зовнішнього тиску, що допускається, від змінного параметра в робочому стані і при випробуванні.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

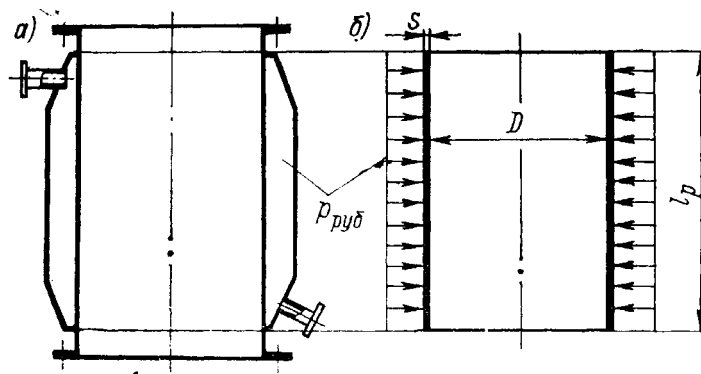


Рис. 16.1. Секція випарника (а) і расчетная схема (б) її циліндричної обечайки, нагруженої на-
ружним тиском

Оскільки корпус випарника (див. рис.2.1) випробовує зовнішній тиск з боку сорочки обігріву, необхідно забезпечити його міцність і жорсткість ([1], с. 32-41).

Товщина стінки з умови міцності обчислюється по формулах:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 \cdot D \cdot 10^{-2} \\ 1,1 \cdot p_{н.р} \cdot D / (2 \cdot [\sigma]) \end{array} \right\}$$

де $p_{н.р} = p_{р.р}$ ($p_{н.р}$ і $p_{р.р}$ – відповідно розрахунковий зовнішній тиск і розрахунковий тиск в сорочці);

$[\sigma]$ – напруга, що допускається, в робочому стані: $[\sigma] = \eta \sigma^*$;

σ^* – нормативна напруга, що допускається; визначається з додатка (Таблиця D.1);

η – поправочний коефіцієнт (додаток, Таблиця D.2);

K_2 – коефіцієнт, приймається 10,5.

Виконавча товщина приймається з врахуванням конструктивної надбавки

$$s = s_p + c + c_0,$$

де c – конструктивна надбавка, що враховує поправки на компенсацію корозії, ерозії, мінусового допуску і технологічну надбавку;

c_0 - надбавка на округлення товщини стінки до найближчого більшого значення, кратного п'яти мм (ГОСТ 19903-74).

Після ухвалення виконавчої товщини стінки визначають значення тиску, що допускається, з умов міцності і стійкості.

Тиск, що допускається, з умови міцності:
у робочому стані

$$[p_H]_{\sigma} = 2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c) / (D + s - c),$$

при гідравлічних випробуваннях

$$[p_H]_{\sigma_{и}} = 2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot (s - c) / (D + s - c),$$

де

$[\sigma]_{и}$ напруга, що допускається, при гідравлічних випробуваннях

$$[\sigma]_{и} = \sigma_{T20} / 1,1;$$

σ_{T20} – мінімальне значення межі текучості при температурі +20°C (Таблиця D.3).

Тиск, що допускається, з умови стійкості в межах пружності обчислюється по наступних формулах:

у робочому стані

$$[p_H]_E = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \frac{D}{l_p} \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^2 \sqrt{\frac{100 \cdot (s - c)}{D}},$$

при випробуванні

$$[p_H]_{E_{и}} = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E_{20}}{n_{y_{и}}} \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^2 \sqrt{\frac{100 \cdot (s - c)}{D}},$$

де E – модуль пружності, значення якого при різних температурах приведені в додатку (Таблиця D.4).

Зовнішній тиск, що допускається, з врахуванням обох умов:
у робочому стані

$$[p_H] = \frac{[p_H]_{\sigma}}{\sqrt{1 + ([p_H]_{\sigma} / [p_H]_E)^2}},$$

при випробуванні

$$[p_n]_{и} = \frac{[p_n]_{\sigma и}}{\sqrt{1 + ([p_n]_{\sigma и} / [p_n]_{E и})^2}}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$p_{и} = 1,25 p_{н.р} [\sigma]_{20} / [\sigma],$$

де $[\sigma]_{20} = \eta \sigma^*_{20}$ – при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ (Таблиця D.1).

Умова стійкості циліндрової обичайки секції випарника товщиною s :

у робочому стані $p_{н.р} < [p_n]$,

при випробуванні $p_{и} < [p_n]_{и}$.

Якщо вказані умови виконуються, розрахункове значення товщини стінки слід вважати за виконавчу товщину, інакше необхідно збільшити товщину стінки на 1 мм і повторити розрахунок.

Розрахункова довжина циліндрової обичайки секції $l_p \approx h_{и}$, оскільки вона практично вся знаходиться під сорочкою.

Коефіцієнт запасу стійкості n_y складає: $n_y=2,4$ – для робочих умов і $n_{y.и} = 1,8$ – для умов випробувань і монтажу.

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Внутрішній діаметр секції випарника	D	мм	220	300–380 $\Delta D=10$	300
2.	Висота секції випарної камери	$h_{и}$	мм	700–1200 $\Delta h_{и}=100$	950	1100
3.	Матеріал корпусу (листовий прокат)			Ст20	16ГС	Ст10
4.	Розрахункова температура стінки	t	$^{\circ}\text{C}$	150	200	200–400 $\Delta t=50$
5.	Надбавка до розрахункової товщини стінки	з	мм	1	0,9	1,2
6.	Тиск в сорочці (розрахункове)	$p_{р.р}$	Мпа	0,5	0,6	0,5

ТЕМА 3. Розрахунок зміцнення нормального одиночного отвору для конічного днища патронного фільтру

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму, що дозволяє розрахувати для конічного днища патронного фільтру, що працює під внутрішнім тиском, зміцнення нормального одиночного отвору без використання накладного кільця. Побудувати графік залежності найбільшого діаметру одиночного отвору, що не вимагає зміцнення, що допускається, від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

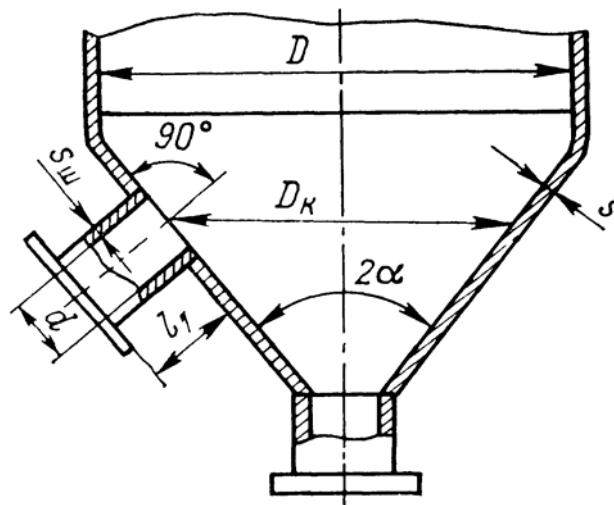


Рис. 3.1. Коническое днище патронного фильтра

Отвори в апараті (див. мал. 3.1) значно знижують міцність за рахунок видалення металу. Вважається, що це ослаблення компенсуватиметься, якщо поблизу отвору розташовується еквівалентна кількість металу, наприклад у формі штуцера. При цьому повинна виконуватися низка умов ([1], с.75 - 82).

Для одиночного отвору, яке допускається, його найбільший діаметр, що не вимагає зміцнення,

$$d_0 = 2 \left(\left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} - c_m \right),$$

де D_p – розрахунковий діаметр конічної оболонки по центру укріпленого отвору

$$D_p = D_k / \cos \alpha .$$

Якщо внутрішній діаметр штуцера $d > d_0$, той отвір необхідно укріплювати.

Розрахункова довжина зовнішньої частки штуцера, що бере участь в зміцненні отвору:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2c_m) \cdot (s_m - c_m)} \right\}.$$

Розрахунковий діаметр отвору, що не вимагає зміцнення, за відсутності надлишкової товщини стінки обичайки

$$d_{op} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}.$$

В разі зміцнення отвору тільки зовнішньою часткою штуцера повинна виконуватися умова

$$(l_{ip} + s - s_p - c) \cdot (s_{ш} - s_{ш.p} - c_{ш}) \cdot \chi_1 + \sqrt{D_p \cdot (s - c)} \cdot (s - s_p - c) \geq 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p,$$

де

$$\chi_1 = \frac{[\sigma]_{ш}}{[\sigma]},$$

$[\sigma]_{ш} = \eta \sigma_{ш20}^*$ – напруга штуцера, що допускається, при $t=20$ °С;

$[\sigma] = \eta \sigma_{20}^*$ – напруга корпусу, що допускається, при $t=20$ °С;

σ_{20}^* , $\sigma_{ш20}^*$ – нормативна напруга, що допускається; визначається з додатка (див. додаток, Таблиця D.1);

η – поправочний коефіцієнт (Таблиця D.2);

d_p – розрахунковий діаметр круглого отвору штуцерів:

$$d_p = d + 2 \cdot c_{ш}.$$

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Внутрішній діаметр днища по центру укріпленого отвору	D_K	мм	700 – 950 $\Delta l=50$	650	800
2.	Внутрішній діаметр штуцера	d	мм	50	60	70
3.	Довжина штуцера	l_1	мм	125	150	100
4.	Розрахункова товщина конічної оболонки	s_p	мм	2,5	2,5	2 – 3 $\Delta s_p=0,1$
5.	Виконавча товщина конічної оболонки	s	мм	4	3,5 – 4 $\Delta s=0,1$	4
6.	Кут при вершині конічного днища	2α	град	90	110	70
7.	Розрахункова товщина штуцера	$s_{ш.p}$	мм	0,87	0,9	0,92
8.	Виконавча товщина штуцера	$s_{ш}$	мм	4	4	4
9.	Надбавка до розрахункової товщини стінки	$c=c_{ш}$	мм	1	0,8	0,9
10.	Матеріал штуцера			Ст10	Ст20	16ГС
11.	Матеріал корпусу			Ст10	Ст20	16ГС
12.	Вид заготівки			листовий прокат	листовий прокат	листовий прокат

ТЕМА 4. Визначення габаритних розмірів корпусу апарату синтезу аміаку

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму визначення габаритних розмірів корпусу апарату синтезу аміаку; побудувати графік залежності спільної висоти апарату від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Даний апарат є товстостінним, тому спочатку визначається

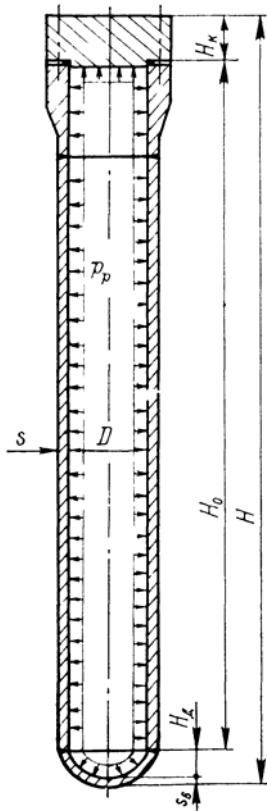


Рис. 4.1. Расчетная схема корпуса аппарата

розрахунковий коефіцієнт товстостінності, а потім розміри апарату ([1], с. 118 - 131). Розрахунковий коефіцієнт товстостінності знаходиться з формули:

$$\ln \beta_p = \frac{p_p}{[\sigma] \cdot \varphi},$$

де $p_p = p$ – розрахунковий тиск;

$[\sigma] = \eta_1 \sigma^*$ – напруга, що допускається, в матеріалі при розрахунковій температурі;

$\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних з'єднань.

За розрахунок береться максимальна температура середовища, дотичного із стінкою судини. Нормативна напруга, що допускається, при розрахунковій температурі:

$$\sigma^* = \min \{ \sigma_B / n_B; \sigma_T / n_T \},$$

де n_B і n_T – коефіцієнти міцності відповідно по межі міцності і текучості, $n_B=2,6$; $n_T = 1,5$; σ_B , σ_T – відповідно межа міцності і межа текучості матеріалу при розрахунковій температурі (див. додаток, Таблиця D.8).

Тоді внутрішній діаметр апарату визначається з вираження:

$$D = \frac{s - c}{0,5 \cdot (\beta_p - 1)}.$$

Виконавчий коефіцієнт товстостінності визначається по формулі:

$$\beta = \frac{D + 2s}{D + 2c}.$$

Допустимий робочий тиск $[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta$.

Набуте значення граничне допустимого тиску $[p]$ не повинно перевищувати робочого тиску p , тобто повинна виконуватися умова $p < [p]$.

Прийнявши температуру t_B внутрішньої поверхні обичайки рівній температурі t_C оброблюваного середовища, отримаємо

$$\Delta t = t_B - t_H .$$

Еквівалентна напруга обчислюється з врахуванням температурної напруги

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{1}{\beta^2 - 1} \sqrt{3 \cdot p^2 + 3 \cdot p \cdot k_1 \cdot \Delta t + k_1^2 \cdot \Delta t^2} ,$$

де

$$k_1 = \frac{\alpha \cdot E}{1 - \mu} \left(\frac{\beta^2 - 1}{2 \cdot \ln \beta} - 1 \right) ,$$

α – коефіцієнт лінійного розширення сталей (Таблиця D.6);

E - модуль подовжньої пружності (Таблиця D.4);

μ – коефіцієнт Пуассона; для сталі $\mu = 0,3$.

Для стабільного функціонування апарату повинна виконуватися умова міцності: ($\sigma_{\text{екв}} \leq \sigma_T / 1,1$, де σ_T - мінімальне значення межі текучості (Таблиці D.3, D.5).

Внутрішню висоту H_D опуклої частки днища знаходять з умови

$$H_D = 0,25 D .$$

Висоту циліндрової частки H_O обичайки визначають з умови

$$H_O = 4V / (\pi D^2) .$$

При товщині сферичного днища $s_B = s$ спільна висота апарату складе

$$H = H_O + H_D + s + H_K .$$

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Об'єм корпусу	V	м ³	8	7	9
2.	Робочий тиск	p	Мпа	30 – 40 $\Delta p = 2$	32	38
3.	Температура середовища в апараті	t_c	°C	300	250	200-300 $\Delta t_c = 50$
4.	Товщина стінки обичайки	s	м	0,35	0,10-0,15 $\Delta s = 0,01$	0,35
5.	Висота кришки апарату	H_K	м	0,35	0,40	0,30
6.	Надбавка до розрахункової товщини	з	м	0,0012	0,0016	0,001
7.	Температура зовнішньої поверхні стінки	t_H	°C	230	200	150
8.	Матеріал обичайки, плоскої кришки, сферичного днища (сталь, поковка)			Ст20	15XM	Ст20К

ТЕМА 5. Розрахунок на міцність циліндрової обичайки апарату, призначеного для осушення повітря

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму розрахунку на міцність циліндрової обичайки апарату, призначеного для осушення повітря; побудувати графік залежності виконавчої товщини стінки обичайки від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Даний апарат є товстостінним і тому спочатку визначається розрахунковий коефіцієнт товстостінності, а потім розміри ([1], с.118 - 131).

Розрахунковий коефіцієнт товстостінності знаходиться з формули

$$\ln \beta_p = \frac{p_p}{[\sigma] \cdot \varphi},$$

де $p_p = p$ – розрахунковий тиск;

$\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних з'єднань;

$[\sigma] = \eta_1 \sigma^*$ – напруга, що допускається, в матеріалі при розрахунковій температурі;

η_1 – поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації апарату. Якщо оброблювана середа не небезпечна і не токсична, то $\eta_1 = 1$; інакше, а також за відсутності даних $\eta_1 = 0,9$.

За розрахункову береться максимальна температура середовища, дотичного із стінкою судини. Нормативна напруга, що допускається, при розрахунковій температурі:

$$\sigma^* = \min \{ \sigma_B / n_B; \sigma_T / n_T \},$$

де n_B і n_T – коефіцієнти міцності відповідно по межі міцності і текучості, $n_B=2,6$; $n_T = 1,5$; (B (T - відповідно межа міцності і межа текучості матеріалу при розрахунковій температурі (див. додаток, Таблиця D.8).

Тоді внутрішній діаметр апарату визначається з вираження:

$$D = \frac{s - c}{0,5(\beta_p - 1)}.$$

Виконавчий коефіцієнт товстостінності визначається по формулі:

$$\beta = \frac{D + 2s}{D + 2c}.$$

Розрахункова температура стінки апарату дорівнює максимальній температурі $t = \max \{ t_c, t_n \}$.

Надбавка до розрахункової товщини на компенсацію корозії

$$c = (\Pi_H + \Pi_B) \cdot \tau.$$

Розрахунковий коефіцієнт товстостінності знаходиться з формули

$$\ln \beta_p = \frac{p_p}{[\sigma] \varphi}$$

Виконавча товщина обичайки визначається з умови

$$s \geq 0,5 \cdot D \cdot (\beta_p - 1) + c$$

і потім округляється до найближчого більшого значення, кратного 5 (у мм).

Робочий тиск, що допускається

$$[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta$$

Прийнявши температури внутрішньої t_B і зовнішньою t_H поверхонь обичайки відповідно рівними температурі оброблюваного середовища в апараті і теплоносія в сорочці $t_B = t_C$ і t_H , отримуємо $\Delta t = t_B - t_H$.

Визначуваний коефіцієнт K_2

$$k_2 = \frac{\alpha \cdot E}{1 - \mu} \cdot \left(\frac{\beta^2 - 1}{2 \cdot \beta^2 \cdot \ln \beta} - 1 \right),$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; для сталі $\mu = 0,3$;

α – коефіцієнт лінійного розширення сталей (Таблиця D.6);

E - модуль подовжньої пружності (Таблиця D.4).

Еквівалентну напругу визначаємо по формулі

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{\beta^2}{\beta^2 - 1} \sqrt{3p^2 + 3pk_2 \Delta t + k_2^2 \Delta t^2}.$$

Якщо умови $\sigma_{\text{екв}} < \frac{\sigma_T}{1,1}$ і $p < [p]$ виконуються, то забезпечується

міцність обичайки в робочому стані.

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Внутрішній тиск	p	Мпа	10 – 15 $\Delta p = 1$	32	28
2.	Температура середовища в апараті	t_C	$^{\circ}\text{C}$	185	220	180
3.	Температура теплоносія в сорочці	t_H	$^{\circ}\text{C}$	200	250	200 – 210 $\Delta t = 5$
4.	Внутрішній діаметр апарату	D	мм	950	1000- 1500 $\Delta D = 100$	1200
5.	Швидкість корозії:					
	внутрішньої сторони корпусу	P_B	мм/рік	0,048	0,05	0,04
	зовнішньої сторони корпусу	P_H	мм/рік	0,002	0,0025	0,002
6.	Термін служби апарату	τ	років	20	20	20
7.	Матеріал корпусу			15ХМ	Ст20	Ст20к

ТЕМА 6. Визначення ширини плоскої прокладки і розрахункового зусилля герметизації для затвора

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму визначення ширини плоскої прокладки і розрахункового зусилля герметизації для затвора; побудувати графік залежності розрахункового зусилля герметизації від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

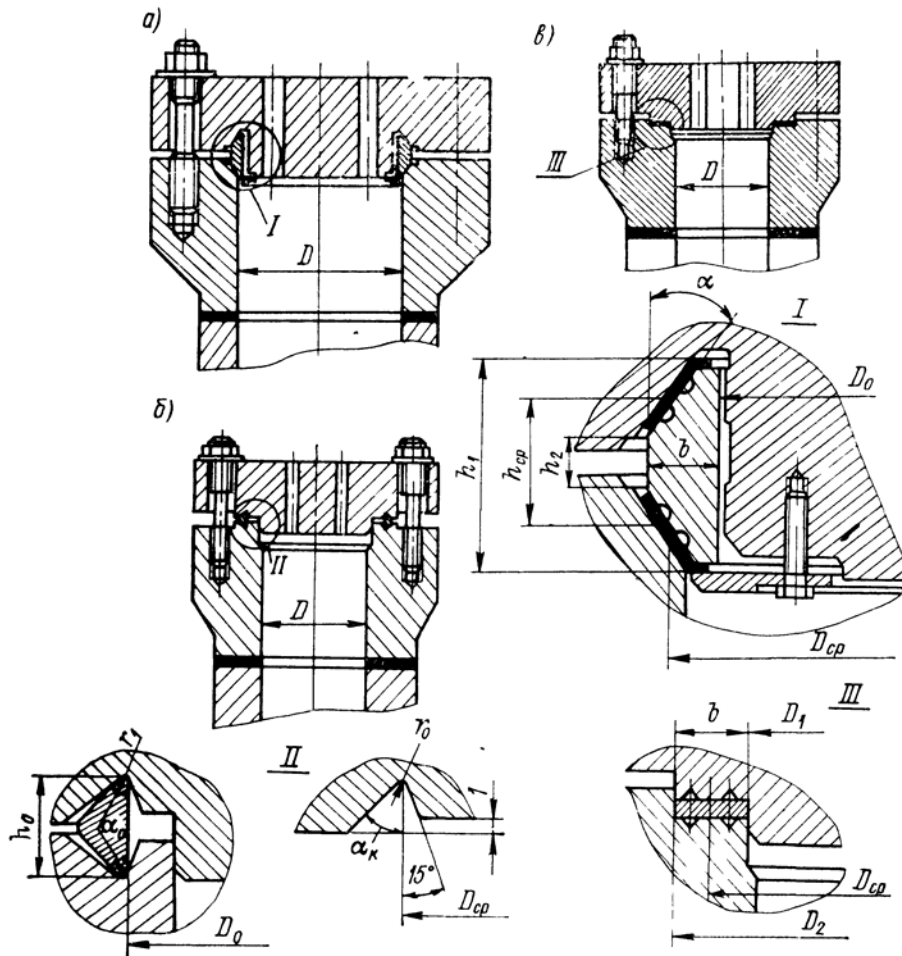


Рис. 6.1. Конструкции затворов: а – с двухконусным obturatorом; б – с дельта-obturatorом; в – с плоской металлической прокладкой.

У аппаратах високого тиску має бути забезпечена надійна герметизація стику між кришкою і корпусом апарату. Це досягається вибором оптимальної ширини металеві прокладки і створенням в ній напруги, при якій відбувається формування прокладки ([1], с. 143 - 150).

Розрахункову температуру приймаємо рівній температурі робочого середовища $t = t_c$, а розрахунковий тиск $p_p = p$. Найменше значення межі текучості при розрахунковій температурі

$$\sigma_T^{\min} = \min\{\sigma_T^K; \sigma_T^{KP}\},$$

де σ_T^K і σ_T^{KP} – межі текучості матеріалу корпусу і матеріалу кришки відповідно (див. додаток, Таблиця D.8).

Контактна напруга, що допускається при розрахунковій температурі:

$$[\sigma_K] = \sigma_T^{\min} = \begin{cases} \sigma_T^{\min}, & \text{если } \sigma_T^{\min} \leq 274,68 \text{ МПа} \\ 0,35 \cdot \sigma_T^{\min} + 180 \text{ МПа}, & \text{если } \sigma_T^{\min} > 274,68 \text{ МПа} \end{cases};$$

при температурі 20°C :

$$[\sigma_K]_{20} = \sigma_{T20}^{\min} = \min\{\sigma_{T20}^K; \sigma_{T20}^{KP}\},$$

де σ_{T20}^{\min} – найменше із значень меж текучості σ_{T20}^K и σ_{T20}^{KP} відповідно матеріалу корпусу і кришки при 20°C (Таблиця D.8).

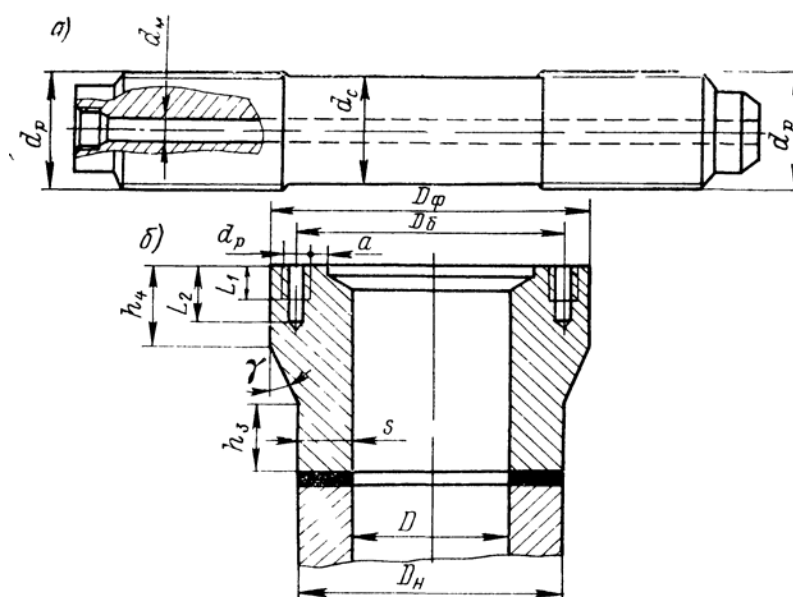


Рис. 6.2. Элементы затворов: а – шпилька; б – фланец.

Напруга σ_{CM} , що зім'яло прокладки, визначається по Таблиці D.7.

Розрахункова ширина плоскої металевої прокладки приймається згідно умові:

$$b_p = \max\left\{ \frac{0,25 \cdot p_p \cdot D_1}{[\sigma_K] - \sigma_{CM} - 0,25 \cdot p_p}; \frac{1,1 \cdot p_{II} \cdot D_1}{4 \cdot [\sigma_K]_{20} - 1,1 \cdot p_{II}} \right\},$$

де $p_{и}$ – пробний тиск, визначуваний таким чином:

$$\text{якщо } p < 0,5 \text{ МПа, то } p_{и} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}; 0,2 \right\};$$

$$\text{якщо } p \geq 0,5 \text{ МПа, то } p_{и} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}; p + 0,3 \right\}.$$

Тут $[\sigma]$ і $[\sigma]_{20}$ – напруги, що допускаються, відповідно при розрахунковій температурі і при $+20^{\circ}\text{C}$; обчислюються по формулах:

$$[\sigma] = \eta \sigma^*, \quad [\sigma]_{20} = \eta \sigma^*_{20},$$

де σ^* і σ^*_{20} – нормативна напруга, що допускається, при розрахунковій температурі і при температурі $+20^{\circ}\text{C}$ (Таблиця D.1);

η – поправочний коефіцієнт (Таблиця D.2);

Виконавча ширина прокладки b обчислюється округленням b_p до найближчого більшого значення, кратного 5 (у мм).

Середній діаметр поверхні ущільнювача

$$D_{cp} = D_1 + b.$$

Реакція прокладки в робочих умовах розраховується по формулі

$$R_{п} = \pi \cdot D_{cp} \cdot b \cdot \sigma_{cm}.$$

Рівнодійна внутрішнього тиску на кришку

$$F_p = \frac{\pi \cdot D_{cp}^2 \cdot p_p}{4}.$$

Розрахункове зусилля герметизації

$$F = F_p + R_{п}.$$

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Ед. изм.	Варіант		
				1	2	3
1.	Внутрішній тиск	p	Мпа	20 – 30 $\Delta p = 2$	25	30
2.	Найменший діаметр поверхні ущільнювача	D_1	мм	500	100 – 600 $\Delta D_1 = 50$	530
3.	Температура середовища в апараті	t_c	$^{\circ}\text{C}$	200	300	100 – 300 $\Delta t = 50$
4.	Матеріал корпусу			Ст 20К	Ст 22К	Ст 20К
5.	Матеріал кришки			Ст 20	Ст 20	Ст 22К
6.	Матеріал прокладки			алюміній		

ТЕМА 7. Розрахунок діаметру стрижня шпильки затвора

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму, що дозволяє розрахувати для виносного теплообмінного агрегату діаметр стрижня шпильки затвора, що має дельтаподібний обтюратор; побудувати графіки залежності розрахункового і старанного діаметрів від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Шпильки апаратів високого тиску (див. мал.6.1, 6.2) є найбільш відповідальними елементами, оскільки забезпечують притиснення кришки і герметизацію затвора. Зазвичай по колу розташовують певне число шпильок (кратне 4) а потім визначають діаметр шпильок з врахуванням особливостей їх конструкції ([1], с. 143 - 150)..

Розрахунковий тиск $p_p = p$.

Розрахункову температуру приймаємо рівній температурі робочого середовища $t = t_c$.

Нормативна напруга, що допускається, для матеріалу шпильки при розрахунковій температурі

$$\sigma^* = \frac{\sigma_T}{n_T},$$

де

σ_T – межа текучості (див. додаток, Таблиця D.8);

n_T – коефіцієнт запасу міцності по межі текучості; $n_T = 1,5$.

Напруга, що допускається, для шпильок .

Осьова складова F_0 рівнодійною внутрішнього тиску на дельтаподібний обтюратор визначається по формулі

$$F_0 = 0,5 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot h_0 \cdot p_p \cdot \operatorname{tg} \alpha_K$$

де D_0 – внутрішній діаметр обтюратора (Таблиця D.9);

h_0 - висота дельтаподібного обтюратора (Таблиця D.9);

α_K – кут конусності поверхонь ущільнювачів кришки і корпусу затвора; $\alpha_K = 47^\circ$.

Рівнодійна внутрішнього тиску на кришку

$$F_p = \frac{\pi D_{CP}^2 P_p}{4},$$

де D_{CP} – діаметр центру закруглень канавки ущільнювача. Приймається $D_{CP} = D_0$.

Розрахункове зусилля герметизації для затвора з дельтаподібним обтюратором

$$F = F_p + F_0$$

Розрахунковий діаметр стрижня шпильки

$$d_{CP} = \sqrt{\frac{4 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot F}{\pi \cdot n_{ш} \cdot [\sigma]_1}} + d_M^2,$$

де

k_4 – коефіцієнт, що враховує тангенціальну напругу, яка виникає в шпильці при її затягуванні. Для затвора з двоконусним або дельтоподібним обтюратором $k_4 = 1,0$. Для затвора з плоскою металевою прокладкою $k_4 = 1,2$.

k_5 – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження між шпильками. Приймається для контрольованого і неконтрольованого затягувань відповідно $k_5 = 1,3$ і $k_5 = 1,5$.

d_M – діаметр центрального отвору в шпильці. Для шпильок з різьбленням до $M85 \times 6$ $d_M = 12$ мм, для шпильок з різьбленням більш $M85 \times 6$ $d_M = 18$ мм.

Виконавчий діаметр d_C стрижня шпильки вибирається з додатка (Таблиця D.10) по d_{CP} як найближче більше паспортне значення.

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Внутрішній тиск	p	Мпа	40 – 50 $\Delta p = 2$	25	45
2.	Діаметр апарату	D	мм	1000	200 – 200 $\Delta D = 100$	1000
3.	Робоча температура середовища в апараті	t_c	$^{\circ}C$	200	300	20 – 200 $\Delta t = 30$
4.	Кількість шпильок	$n_{ш}$	шт.	12	16	16
5.	Поправочний коефіцієнт	η_1	-	0,9	0,8	0,95
6.	Матеріал шпильок			35ХМ	25Х1МФ	34ХН3М

ТЕМА 8. Визначення внутрішнього надлишкового тиску, що допускається, для вузла сполучення штуцера і днища суцільнозварного апарату

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму, що дозволяє визначити внутрішній надлишковий тиск, що допускається, для вузла сполучення штуцера і еліптичного днища горизонтального суцільнозварного апарату, забезпеченого трубним пучком; побудувати графік залежності напруги, що допускається, від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

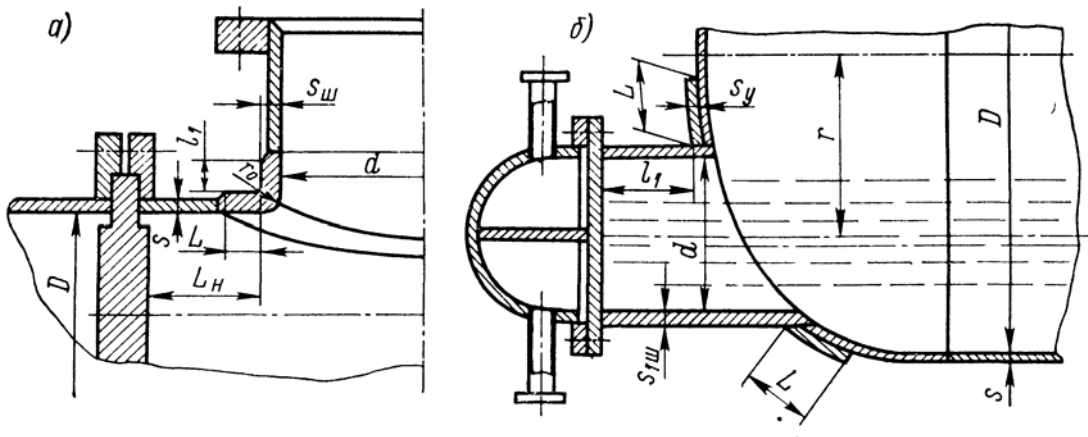


Рис. 8.1. Укрепление отверстия штуцера: *a* – торообразной вставкой на кожухе теплообменника; *б* – накладным кольцом на эллиптическом днище горизонтального аппарата

Отвори в апараті (див. мал.8.1) значно знижують міцність за рахунок видалення металу. Вважається, що це ослаблення компенсуватиметься, якщо поблизу отвору розташовується еквівалентна кількість металу, наприклад у формі штуцера. При цьому повинна виконуватися лава умов ([1], с. 75 – 82).

Розрахунковий діаметр укріплюваного днища для місця розташування штуцера

$$D_p = 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \left(\frac{r}{D} \right)^2}.$$

Розрахунковий діаметр отвору зміщеного штуцера

$$d_p = \frac{d + 2c_{ш}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2r}{D_p} \right)^2}}.$$

Розрахунковий діаметр отвору, що не вимагає зміцнення, за відсутності надлишкової товщини стінки днища

$$d_{0p} = 0,4 \sqrt{D_p (s - c)}.$$

Ширина зони зміцнення в околицях штуцерів

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s_{y.p} + s - c)}.$$

Якщо $\Delta > 2L_0$, отвір штуцера можна вважати за одиночний.

Розрахункова довжина зовнішньої частки штуцера (внутрішня відсутня)

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2c_{ш}) \cdot (s_{ш} - c_{ш})} \right\}.$$

Внутрішній тиск, що допускається, для вузла сполучення штуцера і днища

$$[p]_{ш} = \frac{2 \cdot k_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D_p + s - c} \cdot v,$$

де $k_1=2$ – для еліптичного днища.

Оскільки матеріал днища, штуцера і накладного кільця однаковий, то $\chi_1=\chi_2=1$ і тоді при фактичній довжині внутрішньої частки штуцера $l_2=0$

$$v = \min \left\{ 1; \frac{L_0 (s_{y.p} + s - c) + (l_{1p} + s_{y.p} + s - s_p - c)(s_{ш} - c_{ш})}{[L_0 + 0,5(d_p - d_{0p}) + k_1(l_{1p} + s_{y.p} + s - s_p - c)(d + 2c_{ш})/D_p](s - c)} \right\}.$$

Для забезпечення міцності необхідно, щоб в робочому стані виконувалася умова $p_p \leq [p]_{ш}$.

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Внутрішній діаметр апарату	D	мм	2800	2000-4000 $\Delta D=200$	2200
2.	Діаметр штуцера	d	мм	400-500 $\Delta d=10$	380	430
3.	Довжина штуцера	l_1	мм	200	150	250
4.	Розрахункова і старанна товщина стінки днища апарату	s_p	мм	7	8	6
5.	Виконавча товщина стінки днища апарату	s	мм	10	11	9
6.	Розрахункова товщина стінки штуцера	$s_{ш.p}$	мм	1,6	1,3	1,7
7.	Виконавча товщина стінки штуцера	$s_{ш}$	мм	6	5	7
8.	Виконавча товщина накладного кільця	s_y	мм	6	5	7
9.	Розрахункова товщина накладного кільця	$s_{y.p}$	мм	6	5	7
10.	Напруга, що допускається, в робочому стані	$[\sigma]$	МПа	120,6	90	130
11.	Відстань від центру укріпленого отвору до осі еліптичного днища	r	мм	900	800	800 -1000 $\Delta r=20$
12.	Відстань до найближчого отвору	Δ	мм	1400	1500	1300
13.	Надбавка до розрахункової товщини стінки	$c=c_{ш}$	мм	1,5	1,5	1,5
14.	Коефіцієнт міцності зварних швів	φ	-	1	1	1
15.	Матеріал апарату штуцера і накладного кільця			Вст3сп	Вст3сп	Вст3сп

ТЕМА 9. Визначення оптимальних розмірів і маси корпусу апарату з умови мінімальної бічної поверхні

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму, що дозволяє визначити оптимальні розміри і масу корпусу апарату з еліптичною кришкою і днищем з умови мінімальної бічної поверхні; побудувати графік залежності маси корпусу від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

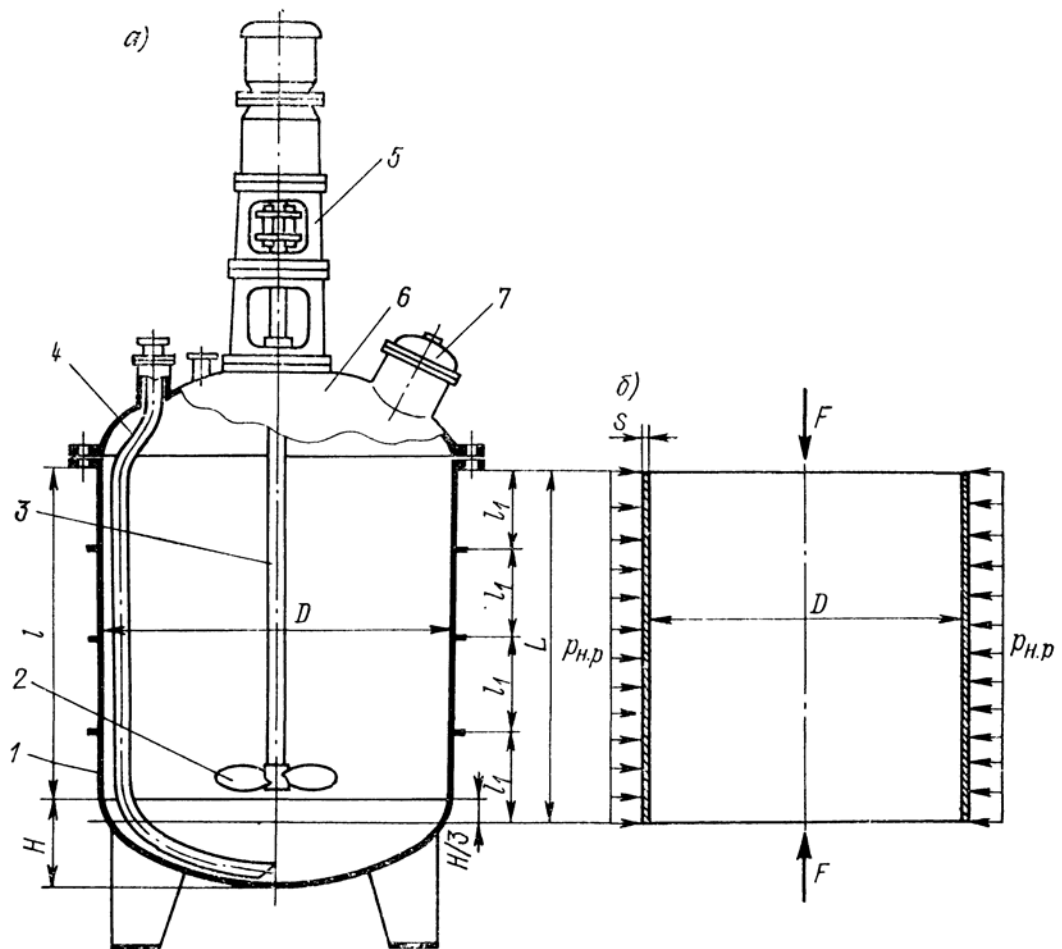


Рис. 9.1. Аппарат с эллиптическим днищем, крышкой и перемешивающим устройством (а), работающий под вакуумом, и расчетная схема (б) его цилиндрической обечайки:

1 – корпус; 2 – мешалка; 3 – вал; 4 – труба для перекачки; 5 – привод; 6 – крышка; 7 – люк-лаз.

У ряді випадків за найбільш економічну вважається така конструкція циліндрової судини, яка забезпечує найменшу бічну поверхню корпусу (наприклад, апарати, що підлягають футеруванню, емалюванню, теплоізоляції і так далі). Розглянемо рекомендації по вибору оптимальних розмірів судин в цьому випадку ([1], с. 111 - 114).

Повна бічна поверхня корпусу апарату (див. рис.9.1) з еліптичною кришкою і днищем визначається по формулі

$$A_E = A_{\text{Ц}} + A_K + A_D,$$

де

$A_{\text{Ц}}$ – бічна поверхня циліндрової частки

$$A_{\text{Ц}} = 4 \cdot V/D - 1,05 \cdot D^2;$$

A_K і A_D – відповідно бічна поверхня кришки і днища без циліндрової частки

$$A_K = 1,24 \cdot D^2;$$

$$A_D = A_K = 1,24 \cdot D^2;$$

V – об'єм апарату;

D – внутрішній діаметр апарату.

Таким чином, повна бічна поверхня корпусу

$$A_E = (4 \cdot V/D - 1,05 \cdot D^2) + 1,24 \cdot D^2 + 1,24 \cdot D^2 = 4 \cdot V/D + 1,43 \cdot D^2.$$

Похідна від бічної поверхні по діаметру

$$dA_E/dD = -4 \cdot V/D^2 + 2,86 \cdot D.$$

Прирівнюючи $dA_E/dD = 0$ і знаходячи звідси D , набудемо оптимального його значення з умови забезпечення мінімальної бічної поверхні:

$$-4 \cdot V/D^2 + 2,86 \cdot D = 0;$$

$$D = \sqrt[3]{4 \cdot V/2,86},$$

після чого округлимо отриманий діаметр до найближчого стандартного значення.

Довжина циліндрової частки апарату

$$L = 4 \cdot V/(\pi \cdot D^2) - D/3.$$

Внутрішня висота еліптичної частки кришки (днища)

$$H = 0,25 \cdot D.$$

Сумарна довжина апарату

$$L_{\text{ОБЩ}} = L + 2 \cdot H.$$

Бічна поверхня корпусу:

$$A_E = 4 \cdot V/D + 1,43 \cdot D^2.$$

Напруга, що допускається, при робочій температурі

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*,$$

де

η – значення поправочного коефіцієнта залежно від виду заготівки (Таблиця D.2);

σ^* – нормативна напруга, що допускається, Мпа (Таблиця D.1).

Маса корпусу апарату

$$m_k = \rho \cdot [4 \cdot V \cdot (k_s + c/D) + 143 \cdot D^2 \cdot (k_s \cdot D + c)],$$

де

ρ – щільність сплаву матеріалу корпусу

c – надбавка до розрахункової товщини стінки

k_s - комплекс, що обчислюється за формулою

$$k_s = p_p / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p).$$

Тут p_p – внутрішній тиск в апараті

φ – коефіцієнт міцності зварних швів.

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Од. вим.	Варіант		
				1	2	3
1.	Об'єм апарату	V	м ³	100 – 200 $\Delta V=10$	100	150
2.	Внутрішній тиск в апаратурі	p_p	МПа	0,5	0,5 – 1,0 $\Delta p_p = 0,05$	0,5
3.	Робоча температура	t	°C	190	200	100 – 350 $\Delta t=50$
4.	Коефіцієнт міцності зварних швів	φ		1	1	1
5.	Надбавка до розрахункової товщини стінки	c	мм	1,5	1,0	1,5
6.	Матеріал корпусу			Листовий прокат із Ст10	Листовий прокат із Ст10	Листовий прокат із Ст10
7.	Щільність матеріалу корпусу	ρ	кг/м ³	7850	7850	7850

ТЕМА 10. Розрахунок барабана сушарки на жорсткість

Завдання. Розробити алгоритм і скласти програму, що дозволяє провести розрахунок барабана сушарки на жорсткість (визначити прогин); побудувати графік залежності прогину від змінного параметра.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

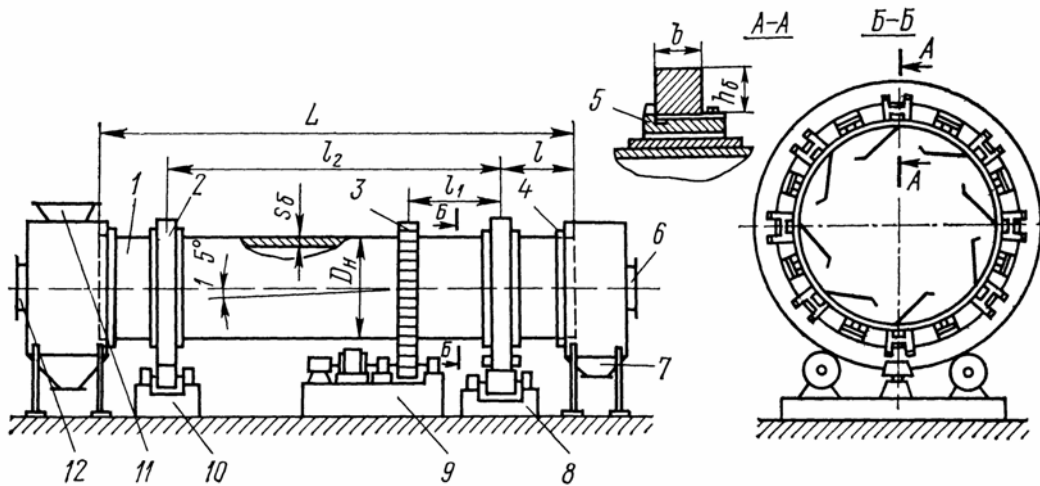


Рис. 10.1. Вращающийся барабанный аппарат:

1 – барабан; 2 – бандаж; 3 – венцовая шестерня; 4 – уплотнение; 5 – башмак; 6 – штуцер входа сушильного агента; 7 – штуцер выхода материала; 8 – опорно-упорная станция; 9 – приводная станция; 10 – опорная станция; 11 – штуцер входа материала; 12 – штуцер выхода газа.

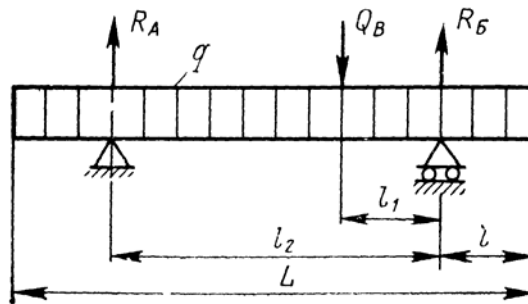


Рис. 10.2. Распределение нагрузок на барабан

Особливістю розрахунку барабаних апаратів (див. мал.10.1 і 10.2) є підвищені вимоги до жорсткості, оскільки при роботі прогин барабана не повинен перевищувати певної величини, інакше порушується нормальне функціонування і знижується надійність роботи ([1], с.244 – 254).

Лінійне навантаження від маси оброблюваного матеріалу

$$q_1 = gm_M / L,$$

де m_M – маса оброблюваного матеріалу,

L – довжина барабана,

g – прискорення вільного падіння ($g=9,81$ м/с²).

Лінійне навантаження від маси барабана

$$q_2 = gm_k / L,$$

де m_k – маса барабана.

Товщина стінки барабана обчислюється за формулою

$$s_6 = (0,007 - 0,01)D_n,$$

з подальшим округленням до найближчого більшого значення, кратного 5 (у мм). Тут D_n – зовнішній діаметр барабана.

Момент інерції одиничної кільцевої ділянки барабана

$$I_x = 1 * s_6^3 / 12.$$

Середній діаметр барабана

$$D_{cp} = D_n - s_6.$$

Сумарний максимальний прогин від навантажень, що діють

$$y_{max} = \frac{D_{cp}^3}{8EI_x} (0,04q_1 + 0,002q_2),$$

де E – модуль пружності матеріалу корпусу при робочій температурі (див. додаток, Таблиця D.4).

$$\text{Відносний прогин } \varepsilon = \frac{y_{max}}{D_{cp}}.$$

Умова жорсткості виконана, якщо

$$\varepsilon \leq [\varepsilon],$$

де $[\varepsilon] = 1/300$ – відносний прогин, що допускається (барабан з футеруванням);

$[\varepsilon] = 1/200$ – відносний прогин, що допускається (барабан без футерування).

Початкові дані

№ п/п	Найменування	Позначення	Ед. изм.	Варіант		
				1	2	3
1.	Зовнішній діаметр барабана	D_n	мм	1200 – 1300 $\Delta D_n=10$	1200	1200
2.	Довжина барабана	L	мм	10000	10000–11000 $\Delta L=100$	10000
3.	Маса оброблюваного матеріалу	m_M	кг	2500	2500	2500 – 2600 $\Delta m_M=10$
4.	Барабан			без футерування	з футеруванням	без футерування
5.	Маса корпусу барабана	m_k	кг	3000	3200	3000
6.	Матеріал корпусу			Сталь10	Сталь20	Сталь3
7.	Робоча температура	t	°C	350	300	150

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов/ М.Ф.Михалев, Н.П.Третьяков, А.И.Мильченко, В.В.Зобнин; Под общ. ред. М.Ф.Михалева. Л.:Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.
2. Каратыгин С.А., Тихонов А.Ф., Долголаптев В.Г., Ильина М.М., Тихонова Л.Н.. Электронный ОФИС: В 2-х томах. Т.2. – М.: Нолидж, 1999. – 768с.
3. Гарбер Г.З. Основы программирования на VB и VBA в Excel2007. – М.:Солон-Пресс, 2008. – 192 с..
4. Дж.Уокенбах. Microsoft Office Excel 2007: профессиональное программирование на VBA. – М. Изд. дом "Вильямс", 2008. – 800 с.

ДОДАТОК А. ГРАФІК ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

№п/п	Види робіт (найменування розділів)	Термін виконання (тиждень семестру)	Відмітка про виконання
1.	Вступ. Постановка задачі	1	
2.	Контрольний приклад: розрахунки і формули	2-3	
3.	Побудова графіка залежності	4	
4.	Аналіз результатів	5	
5.	Структура даних і їх умовні позначення	6	
6.	Блок-схема алгоритму	7	
7.	Компоновка форми	8	
8.	Складання і відладка програми	9-11	
9.	Оформлення пояснювальної записки	12-14	
11.	Захист курсової роботи	15-16	

Додаток В.2. Лист завдання

Міністерство освіти і науки України

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАВДАННЯ
на курсову роботу по дисципліні
«Інформатика»

студентові _____
 групи фак-та

ФІО

ТЕМА КУРСОВОЇ РОБОТИ:
«Розрахунок барабана сушарки на жорсткість»

Дата видачі завдання: 15.02.2011

Термін здачі роботи: 31.05.2011

Початкові дані

№ п/п	Найменування величини	Значення
1.	Зовнішній діаметр барабана, мм	1200 – 1300 $\Delta D_n=10$
2.	Довжина барабана, мм	1000
3.	Маса оброблюваного матеріалу, кг	2500
4.	Маса барабана, кг	3000
5.	Модуль пружності, Мпа	1,87·10 ⁵
6.	Барабан	без футеруван ня
7.	Матеріал корпусу	Ст3

Керівник _____
 підпись

Додаток В.3. Реферат

Реферат

СУШАРКА, БАРАБАН, РОЗРАХУНОК НА ЖОРСТКІСТЬ, ВІДНОСНИЙ ПРОГІН, АЛГОРИТМ, БЛОК-СХЕМА, ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТ PASCAL, EXCEL.

Сторінок – 16, малюнків – 1, таблиць – 1, діаграм – 1, джерел – 5 .

Об'єктом дослідження є горизонтальний барабан сушарки матеріалів, що обертається. Мета роботи:

- 1) розробка алгоритму і написання програми на мові VBA, призначеної для розрахунку барабана на жорсткість і обчислення відносного прогину барабана;
- 2) розрахунок відносного прогину за допомогою табличного редактора EXCEL; побудова в EXCEL графіка залежності прогину барабана від зовнішнього діаметру барабана.

У записці пояснення представлені блок-схема і опис алгоритму розрахунку значень прогину; текст програми і результати її роботи; графік залежності прогину барабана від зовнішнього діаметру.

Додаток В.4. Зміст

Зміст

Вступ.....	5
1. Постановка задачі.....	6
2. Контрольний приклад	8
3. Блок-схема алгоритму.....	9
4. Опис алгоритму.....	10
5. Характеристика даних і їх умовні позначення..	11
6. Текст програми.....	12
7. Опис роботи програми.....	13
8. Графік залежності відносного прогину барабана від маси оброблюваного матеріалу	14
9. Аналіз результатів.....	15
Висновок.....	16
Список використаної літератури.....	17
Додаток.....	18

ДОДАТОК В.5. Контрольный приклад

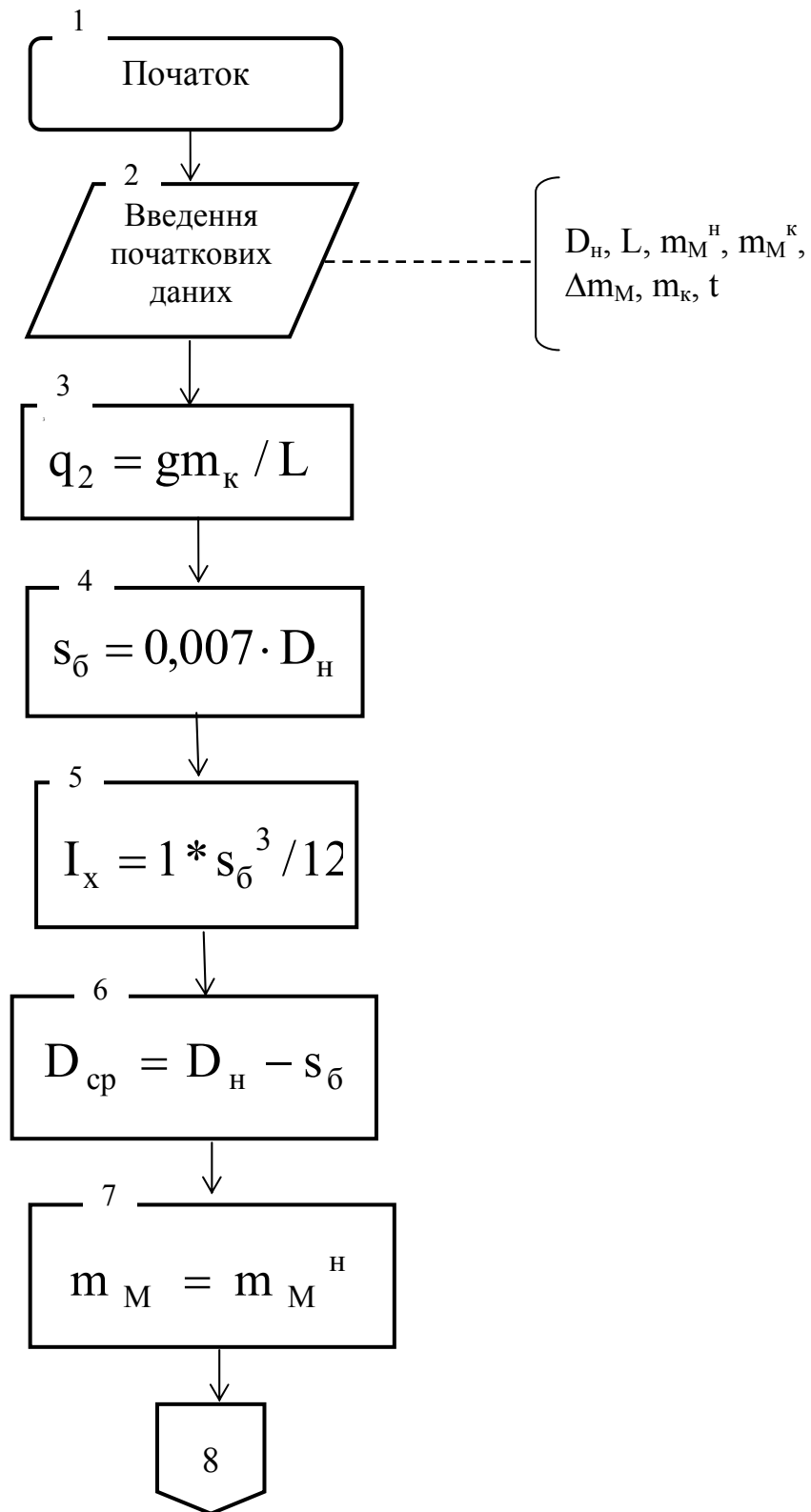
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Расчет барабана сушилки на жесткость												
2													
3	Исходные данные												
4	D _н , мм	L, мм	L, м	m _м , кг	барабан	m _к , кг	материал корпуса	t, град.	E, МПа	E, Па	g, м/сек ²	[ε]	
5	1200	10000	10	2500-2600; Δm _м =10	без футеровки	3000	Ст3	150	1,86E+05	1,86E+11	9,81	1/200	
6													5,00E-03
7	Таблица D.4												
8	Модуль продольной упругости (E·10 ⁻⁵ , МПа) сталей	Температура t, °C	20	100	150	200	250	300	350	400	450		
9		Сталь углеродистая	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,4		
10													
11	Вычисления												
12	m _м , кг	q ₁ , Н/м	q ₂ , Н/м	σ _р , мм расчетное	σ _р , мм принятое	I _х , мм ³	I _х , м ³	D _{ср} , м	Y _{max}	ε	Условие жесткости выполнено?		
13	2500	2453	2943	8,4	10	83,3	8,33E-08	1,19	0,001413	0,001188	Да		
14	2510	2462							0,001419	0,001192	Да		
15	2520	2472							0,001424	0,001196	Да		
16	2530	2482							0,001429	0,001201	Да		
17	2540	2492							0,001434	0,001205	Да		
18	2550	2502							0,001440	0,001210	Да		
19	2560	2511							0,001445	0,001214	Да		
20	2570	2521							0,001450	0,001219	Да		
21	2580	2531							0,001456	0,001223	Да		
22	2590	2541							0,001461	0,001228	Да		
23	2600	2551							0,001466	0,001232	Да		
24													

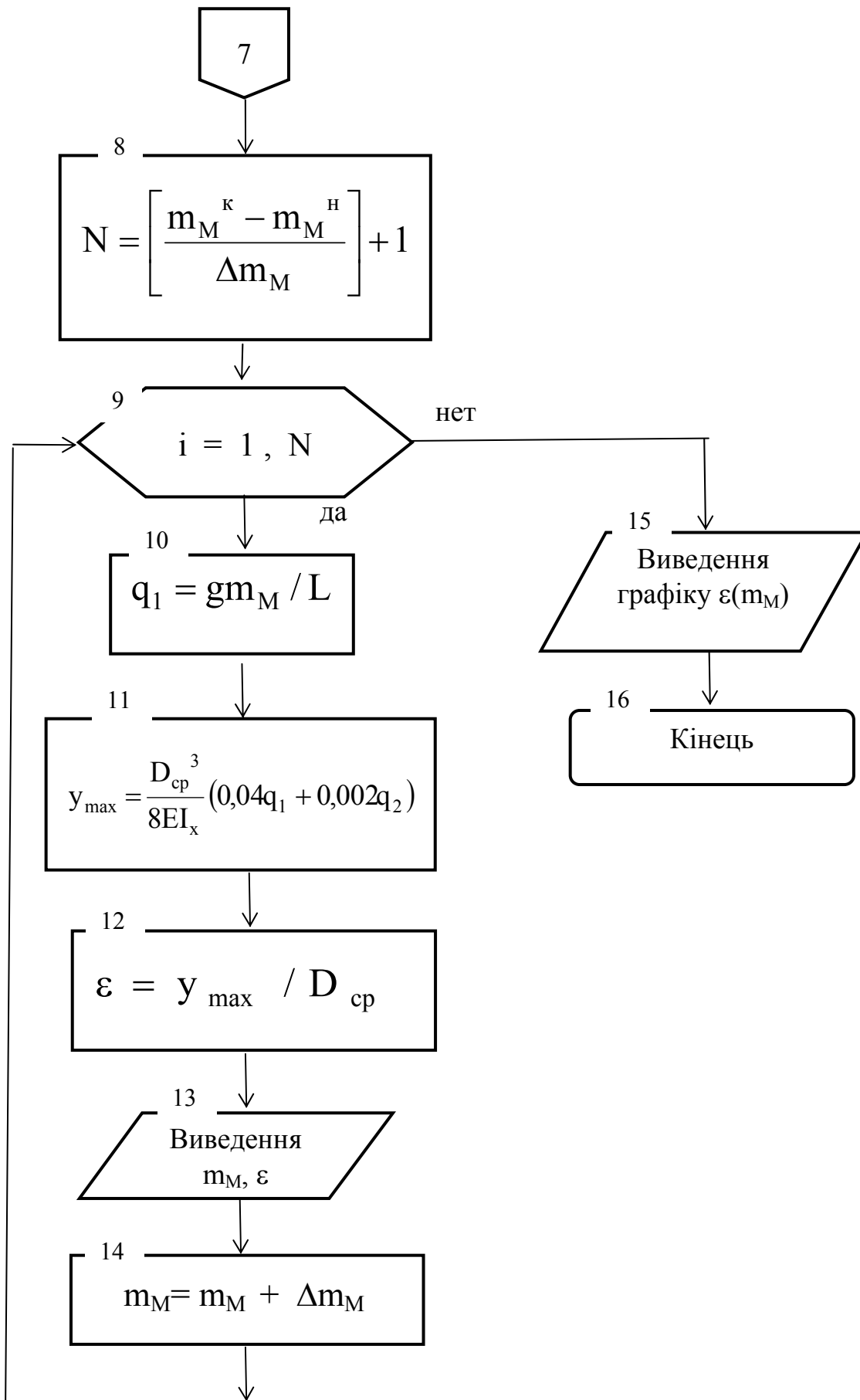
Рабочий лист з обчисленнями

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Расчет барабана сушилки на жесткость								
2									
3	Исходные данные								
4	D _н , мм	L, мм	L, м	m _м , кг	барабан	m _к , кг	материал корпуса	t, град.	E, МПа
5	1200	10000	=L мм/1000	2500-2600; Δm _м =10	без футеровки	3000	Ст3	150	=1,86*10^5
6									
7	Таблица D.4								
8	модуль продольной упругости (E·10 ⁻⁵ , МПа) сталей	температура t, °C	20	100	150	200	250	300	350
9		Сталь углеродистая	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64
10									
11	Вычисления								
12	m _м , кг	q ₁ , Н/м	q ₂ , Н/м	σ _р , мм расчетное	σ _р , мм принятое	I _х , мм ³	I _х , м ³	D _{ср} , м	Y _{max}
13	2500	=g*A13/L	=mk*g/L	=0,007*Dн	=ОКРВВЕР*(D13;10)	=ss^3/12	=F13/10^9	=(Dн-ss)/1000	=Dcp^3*(0,04*B13+0,002*q2)/(8*E*x)
14	2510	=g*A14/L							=Dcp^3*(0,04*B14+0,002*q2)/(8*E*x)
15	2520	=g*A15/L							=Dcp^3*(0,04*B15+0,002*q2)/(8*E*x)
16	2530	=g*A16/L							=Dcp^3*(0,04*B16+0,002*q2)/(8*E*x)
17	2540	=g*A17/L							=Dcp^3*(0,04*B17+0,002*q2)/(8*E*x)
18	2550	=g*A18/L							=Dcp^3*(0,04*B18+0,002*q2)/(8*E*x)
19	2560	=g*A19/L							=Dcp^3*(0,04*B19+0,002*q2)/(8*E*x)
20	2570	=g*A20/L							=Dcp^3*(0,04*B20+0,002*q2)/(8*E*x)
21	2580	=g*A21/L							=Dcp^3*(0,04*B21+0,002*q2)/(8*E*x)
22	2590	=g*A22/L							=Dcp^3*(0,04*B22+0,002*q2)/(8*E*x)
23	2600	=g*A23/L							=Dcp^3*(0,04*B23+0,002*q2)/(8*E*x)
24									

Рабочий лист з формулами

Додаток В.6. Блок-схема алгоритму





Додаток В.7. Опис алгоритму

Блок-схема алгоритму реалізує циклічний обчислювальний процес по параметру m_M і включає наступні блоки:

1. Початок алгоритму.
2. Введення початкових даних D_H , L , m_M^H , m_M^K , Δm_M , m_K , E .
3. Обчислення лінійного навантаження від маси барабана q_2 .
4. Визначення товщини стінки барабана s_σ .
5. Обчислення моменту інерції I_x .
6. Визначення середнього діаметру барабана $D_{ср}$.
7. Підготовка до циклу по параметру m_M – привласнення m_M його початкового значення.
8. Обчислення N – числа повторень циклу.
9. Заголовок циклу по параметру m_M .
10. Обчислення лінійного навантаження від маси оброблюваного матеріалу q_1 .
11. Обчислення сумарного максимального прогину y_{max} .
12. Обчислення відносного прогину ε .
13. Виведення величин m_M , ε .
14. Перерахунок параметра m_M .
15. Виведення графіка залежності ε від m_M .
16. Кінець алгоритму.

Додаток В.8. Характеристика даних і їх умовні позначення

№ п/п	Найменування даних	Позначення в блок-схемі	Позначення в програмі	Тип змінної
1	Зовнішній діаметр барабана	D_H	DH	real
2	Довжина барабана	L	L	real
3	Маса оброблюваного матеріалу	m_M	mm	real
4	Початкове значення маси оброблюваного матеріалу	m_M^H	mmn	real
5	Кінцеве значення маси оброблюваного матеріалу	m_M^K	mmk	real
6	Крок зміни маси оброблюваного матеріалу	Δm_M	dmm	real
7

Додаток В.9. Текст програми

```
Option Explicit
Option Base 1
Const g = 9.81
Const k_uglerod = 9          ' размерность таб D.4 для углерод.
сталей
Const k_legir = 14          ' размерность таб D.4 для легиров.
сталей
Dim t_rab
Dim E_legir
Dim E_uglerod
Dim DH As Single, L As Single, L_M As Single          'L
- длина в мм, L_M - длина в м
Dim mm As Single, mmn As Single, mmk As Single, hmm As Single '
mm - переменный параметр
Dim mk As Single, E As Single, q1 As Single, q2 As Single, koef As
Single
Dim ss As Single, ss_pr As Single
Dim Ix As Single, Ix_M As Single, Dcp As Single, Ymax As Single
Dim eps As Single, eps_dop As Single
Dim Dcp_M As Single
Dim t As Single
Dim i As Integer, N As Integer
Dim usl As String

' ----- ВЫЧИСЛЕНИЯ -----
Private Sub Cmd_calc_Click()

' формирование справочных таблиц
t_rab = Array(20, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500,
550, 600, 650, 700)
E_legir = Array(2, 2, 1.99, 1.97, 1.94, 1.91, 1.86, 1.81, 1.77,
1.68, 1.61, 1.53, 1.45, 1.36)
E_uglerod = Array(1.99, 1.91, 1.86, 1.81, 1.76, 1.71, 1.64, 1.55,
1.4)

' ----- Ввод исходных данных
DH = CSng(Txt_DH.Text)          'наружный диаметр барабана
L = CSng(Txt_l.Text)           'длина барабана
mmn = CSng(Txt_mmn.Text)       'нач. знач. массы материала
mmk = CSng(Txt_mmk.Text)       'кон. знач. массы материала
hmm = CSng(Txt_hmm.Text)       'шаг изменения массы матер.
mk = CSng(Txt_mk.Text)         'масса корпуса барабана
```



```

t = CInt(Txt_t.Text)          'рабочая температура
' ----- Начало вычислений
L_M = L / 1000                ' длина в метрах
q2 = g * mk / L_M            'лин. нагр-ка от массы корпуса барабана
Txt_q2.Text = CStr(q2)
ss = 0.007 * DH              ' толщина стенки барабана
Txt_ss.Text = CStr(ss)
' Расчет принимаемой толщины
ss_pr = 0
Do While ss >= ss_pr
    ss_pr = ss_pr + 10
Loop
Txt_ss_pr.Text = CStr(ss_pr)
Ix = ss_pr * ss_pr ^ 2 / 12   ' момент инерции в куб. мм
Ix_M = Ix / 1000000000
Txt_Ix.Text = FormatNumber(Ix, 4)
Dcp = DH - ss_pr             ' средний диаметр в мм
Dcp_M = Dcp / 1000           ' средний диаметр в м
Txt_Dcp.Text = CStr(Dcp_M)
mm = mmn                     ' подготовка к циклу по мм
i = 1
' Выч-ние модуля упругости E
Do While t_rab(i) < t
    i = i + 1
Loop
koef = (t - t_rab(i - 1)) / (t_rab(i) - t_rab(i - 1))
If OBtn_uglerod.Value = True Then
    E = E_uglerod(i - 1) - (E_uglerod(i - 1) - E_uglerod(i)) * koef
Else
    E = E_legir(i - 1) + (E_legir(i - 1) - E_legir(i)) * koef
End If
Txt_E.Text = CStr(E) & "E+05"
' Вычисление допускаемого относит. прогиба
If OBtn_fut.Value = True Then
    eps_dop = 1 / 300
Else
    eps_dop = 1 / 200
End If
Txt_dop.Text = FormatNumber(eps_dop, 3)
For mm = mmn To mmk Step hmn
    q1 = g * mm / L_M
    Ymax = Dcp_M ^ 3 * (0.04 * q1 + 0.002 * q2) / (8 * E * Ix_M
* 1000000000000#)
    eps = Ymax / Dcp_M

```

```

        If eps <= eps_dop Then
            usl = "да"
        Else
            usl = "нет"
        End If
        ListBox1.AddItem " " & CStr(mm) & " "
& FormatNumber(q1, 0) & " "
& FormatNumber(Ymax, 6) & " " & FormatNumber(eps, 6) & "
" & usl
    Next mm
End Sub

```

' -----

```

Private Sub Cmd_clear_Click()
    Txt_DH.Text = ""
    Txt_l.Text = ""
    Txt_mmn.Text = ""
    Txt_mmk.Text = ""
    Txt_hmm.Text = ""
    Txt_mk.Text = ""
    Txt_t.Text = ""
    Txt_DH.Text = ""
    Txt_l.Text = ""
    Txt_mmn.Text = ""
    Txt_mmk.Text = ""
    Txt_hmm.Text = ""
    Txt_mk.Text = ""
    Txt_t.Text = ""
    ListBox1.Clear

```

End Sub

' -----

```

Private Sub Cmd_exit_Click()

```

End

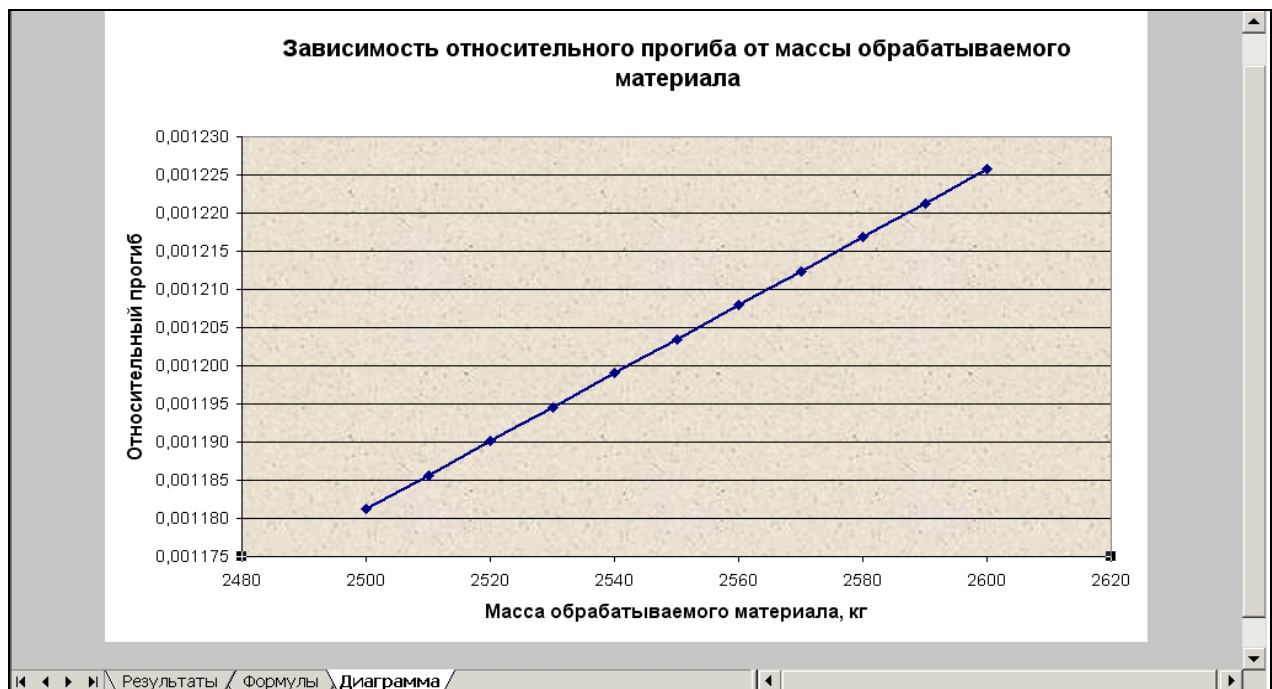
End Sub

Додаток В.10. Опис роботи програми

Взаємодія користувача і програми здійснюється таким чином.

1. На екран виводяться два вікна: ліве вікно – для введення початкових даних, праве – для виведення результатів (див. додаток В.13).
2. У лівому вікні необхідно ввести початкові значення вхідних параметрів:
зовнішній діаметр барабана в мм;
довжина барабана в мм;
початкове значення для маси оброблюваного матеріалу
.
Тут же слід вибрати типа барабана (з футеруванням або без футерування) і типа матеріалу, з якого зроблений корпус барабана (легована сталь або вуглецева). В разі помилки на екран виводиться відповідне повідомлення.
3. Для обчислення результату слід натискувати кнопку «Вважати».
4. Справа виводяться обчислені значення наступних параметрів:
модуль пружності в Мпа, обчислений по таблиці D.4 (см додаток D.4);
відносний прогин, що допускається;
.
5. Кнопка «Скидання» очищає поля введення початкових параметрів і виведення результатів.
6. Кнопка «Вихід» завершує роботу програми.

Додаток В.11. Графік залежності відносного прогину від маси оброблюваного матеріалу



ДОДАТОК В.12. Аналіз результатів

Для порівняння результатів роботи програми з результатами контрольного прорахунку складемо порівняльну таблицю значень:

Назва параметра	Одиниця виміру	Значення в програмі	Значення в контрольному прикладі	Вічко (діапазон вічок) робочого листа
Модуль пружності	Мпа	1,87E+05	1,87E+05	H5
Лінійне навантаження від маси барабана	Н/м	2943	2943	C10
Товщина стінки барабана	мм	8,4	8,4	D10
.

Таблиця показує збіг результатів розрахунку і тим самим підтверджує правильність роботи програми.

Додаток В.13. Програмний інтерфейс

Расчет барабана сушилки на жесткость
✕

Исходные данные

Наружный диаметр барабана: мм

Длина барабана: мм

Масса обрабатываемого материала (переменный пар-р)

нач. знач-е	кон. знач-е	шаг изменения
<input type="text" value="2500"/> кг	<input type="text" value="2800"/> кг	<input type="text" value="10"/> кг

Барабан

с футеровкой без футеровки

Масса корпуса барабана: кг

Материал корпуса: сталь Ст3

легированная углеродистая

Рабочая температура: град. С

Результат вычислений

Модуль упругости: МПа

Допускаемый относительный прогиб:

Лин. нагрузка от массы барабана: Н/м

Толщина стенки барабана: мм

Принимаемая толщина: мм

Момент инерции: куб.мм

Средний диаметр барабана: м

Масса обрабатываемого материала, кг	Линейная нагрузка от массы, Н/м	Максимальный прогиб	Относительный прогиб	Условие жесткости выполн.?
2500	2 453	0,001413	0,001188	да
2510	2 462	0,001419	0,001192	да
2520	2 472	0,001424	0,001197	да
2530	2 482	0,001429	0,001201	да
2540	2 492	0,001435	0,001205	да
2550	2 502	0,001440	0,001210	да
2560	2 511	0,001445	0,001214	да
2570	2 521	0,001450	0,001219	да
2580	2 531	0,001456	0,001223	да
2590	2 541	0,001461	0,001228	да
2800	2 551	0,001466	0,001232	да

ДОДАТОК С. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальну записку оформляють на листах формату А4 (210x297 мм) машинним (за допомогою комп'ютерної техніки) способом на одній стороні листа білого паперу. Міжрядковий інтервал вибирають з розрахунку не більше 40 рядків на сторінці за умови рівномірного її заповнення і висоті букв не менше $h=2,5$ мм, дотримуючи при цьому наступні розміри полів: верхнє, ліве і нижнє – не менше 20 мм, праве – не менше 10 мм.

Помилки, описки і графічні неточності допускається виправляти стиранням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням на тому ж місці або між рядків виправленого зображення машинописним способом або від руки.

Кожен пункт, підпункт і перерахування записуються з абзацного відступу.

Розділи і підрозділи повинні мати заголовки. Пункти, як правило, заголовків не мають. Заголовки повинні чітко і коротко відображати вміст розділів і підрозділів.

Заголовки структурних елементів записки і заголовки розділів слід розташовувати в середині рядка і друкувати прописними буквами без крапки в кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів записки слід починати з абзацного відступу і друкувати окрім першої прописної рядковими буквами, не підкреслюючи, без крапки в кінці. Якщо заголовок складається з двох пропозицій, їх розділяють крапкою. Відстань між заголовком і текстом при виконанні записки має бути не менше двох рядків

Кожен розділ текстового документа слід починати з нового листа. Перенесення слів в заголовок не допускаються.

Текст пояснювальної записки має бути коротким, чітким і не допускати різних тлумачень.

Структурні елементи «Реферат», «Введення», «Висновок», «Список літератури» не нумерують, а їх найменування служать заголовками структурних елементів. Розділи, підрозділи, пункти, підпункти слід нумерувати арабськими цифрами, наприклад 1, 2, 3, і так далі. Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, розділених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад 1.1, 1.2 і так далі. Пункти повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу або підрозділу, наприклад, 1.1, 1.2 або 1.1.1, або 1.1.2 і так далі

Нумерація сторінок записки

Сторінки пояснювальної записки слід нумерувати арабськими цифрами, дотримуючи крізну нумерацію по всьому тексту. Номер сторінки проставляють в правому верхньому кутку сторінки без крапки в кінці. «Титульний лист», «Лист завдання» включають в спільну нумерацію сторінок записки. Номер сторінки на титульному листі не проставляється. Ілюстрації і таблиці,

розташовані на окремих сторінках, включають в спільну нумерацію сторінок записки.

Побудова таблиць

Таблиці застосовують для кращої наочності і зручності представлення показників. Назва таблиці, при його наявності, повинна відображати її вміст, бути точним, коротким. Назву слід поміщати над таблицею. При перенесенні частки таблиці на ту ж або інші сторінки назву поміщають тільки над першою часткою таблиці.

Таблиці, за винятком таблиць додатків, можна нумерувати арабськими цифрами крізною нумерацією і в межах розділів. У останньому випадку номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою. При цьому перша цифра номер розділу, а друга – порядковий номер таблиці в розділі.

Таблиці кожного застосування позначають окремою нумерацією арабськими цифрами з додаванням перед цифрою позначення додатка. Якщо в документі одна таблиця, вона має бути позначена «Таблиця 1» або «Таблиця А.1 », якщо вона приведена в додатку А.

На всі таблиці мають бути приведені зазначення в тексті записки. При зазначенні слід писати слово «таблиця (таблиця.)» з вказівкою її номера. Наприклад, таблиця 2.1, що означає, що це перша таблиця другого розділу.

Заголовки граф і рядків таблиці слід писати з прописної букви, а підзаголовки граф – з рядкової букви, якщо вони складають одну пропозицію із заголовком або з прописної букви, якщо вони мають самостійне значення. В кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставляться. Заголовки і підзаголовки граф указують в однині.

Розділяти заголовки і підзаголовки діагональними лініями не допускається. Горизонтальні і вертикальні лінії, що розмежовують рядки таблиці, допускається не проводити, якщо їх відсутність не утрудняє користування таблицею. Заголовки граф, як правило, записують паралельно рядкам таблиці. При необхідності допускається перпендикулярне розташування заголовків граф.

Голівка таблиці має бути відокремлена від решти частки таблиці. Висота рядків таблиці має бути не менше 8 мм. Таблицю, залежно від її розміру, поміщають під текстом, в якому вперше дана зазначення на неї, або на наступній сторінці, а при необхідності – в додатку до документа.

Якщо рядки або графи таблиці виходять за формат сторінки, таблицю ділять на частини, поміщаючи одну частку під інший або поруч або переносячи частку таблиці на наступну сторінку. При цьому в кожній частці таблиці повторюють її голівку і боковик.

При діленні таблиці на частини допускається її голівку і боковик замінювати відповідно номером граф і рядків. При цьому нумерують арабськими цифрами графи і (або) рядки першої частки таблиці.

Слово «Таблиця» указують один раз зліва над першою часткою таблиці. Над іншими частками пишуть слова «Продовження таблиці» з вказівкою

номера. Якщо в кінці сторінки таблиця уривається і її продовження буде на наступній сторінці, в першій частці таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю не проводять.

Графу «номер по порядку» в таблицю включати не допускається. При необхідності нумерації показників, параметрів або інших даних порядкові номери слід указувати в першій графі (боковику) таблиці безпосередньо перед їх найменуванням. Перед числовими значеннями величин і позначенням типів, марок і тому подібне порядкові номери в таблицях не проставляються.

Формули і рівняння

Формули і рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче за кожен формулу або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Формули і рівняння в записці слід нумерувати порядковою нумерацією в межах розділу. Номер формули або рівняння складається з номера формули або рівняння, розділених крапкою, наприклад, формула (5.3) – третя формула п'ятого розділу. Номер формули або рівняння указують на рівні формули або рівняння в дужках в крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять у формулу або рівняння, слід приводити безпосередньо під формулою в тій послідовності, в якій вони зустрінути у формулі або рівнянні.

Пояснення кожного символу і числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснень слід зачинати з абзацу словом «де» без двокрапки. Вище і нижче за кожен формулу або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка.

Додатки

Матеріал, доповнюючий текст пояснювальної записки, допускається поміщати в додатках. Додатками можуть бути, наприклад, графічний матеріал, таблиці великого формату, розрахунки, описи апаратури, описи алгоритмів і програм завдань, що вирішуються на ЕОМ, якщо це не є основним завданням роботи.

Додатки оформляють як продовження даного документа на подальших його листах. Додатки повинні мати спільну з рештою частки крізну нумерацію сторінок. У тексті пояснювальної записки на всі застосування мають бути дані зазначення. Додатки розташовують в порядку зазначень на них в тексті пояснювальної записки.

Кожне застосування слід починати з нової сторінки з вказівкою вгорі посередині сторінки слова «Додаток» і його позначення. Додаток повинен мати заголовок, який записують симетрично щодо тексту з прописної букви окремим рядком.

ДОДАТОК D. ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ

Таблиця D.1

Нормативна напруга, що допускається σ^* (МПа) для сталей

Розрахункова температура стінки $t^{\circ}\text{C}$	Вуглецеві і низьколеговані				Теплостійкі і кислотостійкі			
	ВСтЗпс ВСтЗсп ВСтЗГпс	10	20 20К	09Г2С 16ГС	12ХМ 12МХ	15ХМ	15Х5М	12Х18Н10Т 12Х18Н12Т
20	140	130	147	170	147	455	146	160
100	134	125	142	160	-	-	141	152
150	131	122	139	154	-	-	138	146
200	126	118	136	148	145	152	134	140
250	120	112	132	145	145	152	127	136
300	108	100	119	134	141	147	120	130
350	98	88	106	123	137	142	114	126
375	93	82	98	116	135	140	110	124
400	85	74	92	105	132	137	105	121
410	81	70	86	104	130	136	103	120
420	75	66	80	92	129	135	101	120
430	-	62	75	86	127	134	99	119
440	-	56	67	78	126	132	96	118
450	-	51	61	71	124	131	94	117
460	-	47	55	64	122	127	91	116
470	-	42	49	56	117	122	89	115
480	-	-	-	-	114	117	86	115
490	-	-	-	-	105	107	83	114
500	-	-	-	-	96	99	79	113

Таблиця D.2

Значення поправочного коефіцієнта η залежно від виду заготівки

Вид заготівки	η
Листовий прокат	1,0
Відливання, що піддаються індивідуальному контролю не руйнуючими методами	0,8
Відливання, що не піддаються індивідуальному контролю	0,7

Таблиця D.3

Мінімальне значення межі текучості (σ_T , МПа) вуглецевих і низьколегованих сталей

Температура $t, \text{O C}$	Марка сталі				Температура $t, \text{O C}$	Марка сталі			
	ВстЗ	10	2020 До	09Г2с 16ГС		ВстЗ	10	202 До	09Г2с 16ГС
20	210	195	220	280	350	147	132	159	185
100	201	188	213	240	375	140	123	147	174
150	197	183	209	231	400	-	-	-	158
200	189	177	204	222	410	-	-	-	156
250	180	168	198	218	420	-	-	-	138
300	162	150	179	201					

Таблиця D.4Модуль подовжньої пружності ($E \cdot 10^{-5}$, МПа) сталей

Температура t, ОС	Сталь	
	вуглецева	легована
20	1,99	2,0
100	1,91	2,0
150	1,86	1,99
200	1,81	1,97
250	1,76	1,94
300	1,71	1,91
350	1,64	1,86
400	1,55	1,81
450	1,40	1,77
500	-	1,68
550	-	1,61
600	-	1,53
650	-	1,45
700	-	1,36

Таблиця D.5Мінімальне значення межі текучості (σ_T , МПа) теплостійких і кислотостійких сталей

Розрахункова температура стінки t, О С	Марка стали				
	12ХМ 12МХ 15ХМ	15Х5М	12Х18Н10Т 12Х18Н12Т 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т 08Х18Н12Т	08Х17Н13М2Т 08Х17Н15М3Т
20	240	220	240	210	200
100	235	210	228	195	195
150	226	207	219	180	
200	218	201	210	173	
250	218	190	204	165	
300	212	180	195	150	
350	206	171	190	137	
375	202	164	186	133	
400	198	158	181	129	
410	195	155	180	128	
420	194	152	180	128	
430	-	-	179	127	
440	-	-	177	126	
450	-	-	176	125	
460	-	-	174	125	
470	-	-	173	124	
480	-	-	173	123	
490	-	-	171	122	
500	-	-	170	122	
510	-	-	168	120	
520	-	-	168	119	

Таблиця Д.6Коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha \cdot 10^6, 1/^\circ\text{C}$) сталей

Температура $t, ^\circ\text{C}$	10	20; 20К	30	35Х	38ХА	12ХМ	15Х5М	15ХМ	20Х2МА	20Х3М
20 – 100	12,2	12,0	11,2	13,1	12,2	11,2	12,0	11,9	11,5	11,6
20 – 200	12,5	12,4	12,1	13,3	12,9	12,5	12,1	12,6	12,9	11,8
20 – 300	12,8	12,9	12,8	13,8	13,1	12,7	12,2	13,2	13,0	12,1
20 – 400	13,3	13,3	13,4	14,2	13,4	12,9	12,3	13,7	13,2	12,3
20 – 500	13,8	13,7	13,9	14,6	13,8	13,2	12,7	14,0	13,5	12,7
20 – 600	14,2	14,1	14,4	14,8	14,1	13,9	13,0	14,3	13,8	12,9

Таблиця Д.7Напруга, що зім'яла матеріал прокладки, при якій
забезпечується герметичність затвора

Матеріал прокладки	$\sigma_{\text{см}}, \text{МПа}$
Алюміній	68,67
Мідь	98,10
Сталь 05кп	122,62
Сталь 08Х13	122,62
Сталь 08Х18Н10Т	176,58

Таблиця Д.8Механічні властивості матеріалів
вживаних для судин високого тиску

Деталі або вироби	Марка сталі	Товщина листа або поковки, мм	Температура випробування $^\circ\text{C}$	Межа міцності $\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	Межа текучості $\sigma_{\text{т}}, \text{МПа}$		
Корпуси, обичайки, фланці, днища, горловина, кришки	20 (поковка)	301-500	20	363	186		
			200	334	177		
			300	314	157		
	20К, 22К (поковка)	200-500	20	432	216		
			200	392	196		
			300	373	186		
	15ХМ (поковка)	до 800			540	280	
			35ХМ; 30ХМА(поков ка)	150	20	736	540
					200	687	490
Основні шпильки	25Х1МФ(поко вка)	150	20	834	638		
			300	687	490		
	34ХН3М(поко вка)	300	20	883	736		
			200	834	687		

Таблиця D.9**Основні параметри затворів з дельтоподібним обтюратором**

Внутрішній діаметр апарату D , мм	Внутрішній діаметр обтюратора D_0 , мм	Висота дельтоподібного обтюратора h_0 , мм
200	219	14,5
300	319	16,6
400	424	19,7
500	529	21,8
600	639	23,0
800	829	27,0
1000	1039	31,0
1200	1239	33,0

Таблиця D.10**Основні розміри шпильок і різбових гнізд**

Діаметр різблення d_R , мм	Діаметр стрижня шпильки d_S , мм	Довжина різблення гнізда корпусу L_1 , мм	Довжина гнізда під шпильку L_2 , мм		Діаметр різблення d_R , мм	Діаметр стрижня шпильки d_S , мм	Довжина різблення гнізда корпусу L_1 , мм	Довжина гнізда під шпильку L_2 , мм	
			Виконання 1	Виконання 2				Виконання 1	Виконання 2
60	51,5	105	120	150	105	96,5	170	185	215
64	55,5	110	125	155	110	101,5	175	190	220
68	59,5	115	130	160	120	111,5	190	205	240
72	63,5	120	135	165	130	121,5	205	220	250
76	67,5	125	140	170	140	131,5	220	235	265
80	71,5	130	145	175	150	141,5	235	250	280
85	76,5	140	155	185	160	151,5	250	265	295
90	81,5	145	160	190	170	161,5	265	280	310
95	86,5	155	170	200	180	171,5	280	295	325
100	91,5	160	175	205	190	181,5	295	310	340

ДОДАТОК Е. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

ЗАВДАННЯ 1

ВИЗНАЧИТИ ТОВЩИНУ СТІНКИ ЦИЛІНДРОВОЇ ОБИЧАЙКИ КАЗАНА

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Внутрішній діаметр обичайки $D=1500$ мм; робочий тиск $p=1,25$ Мпа; температура середовища в казані ; матеріал казана – листовий прокат із сталі ВСт3пс; швидкість корозії $\Pi=0,1$ мм/год; термін експлуатації $\tau_B = 15$ років.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Розрахункова температура стінки казанат $t = t_c = 170^0\text{C}$, оскільки температура середовища позитивна. Напруга, що допускається, в робочому стані $[\sigma] = \eta \sigma^* = 1 \cdot 129 = 129$ Мпа, $\eta = 1$, оскільки матеріал казана – листовий прокат; для сталі ВСт3пс і температури 170^0C , $\sigma^* = 129$ Мпа (Таблиця D.2). Напруга, що допускається, при гідравлічних випробуваннях $[\sigma]_{\text{и}} = \sigma_{T20} / 1,1 = 210 / 1,1 = 190,9$ Мпа, де $\sigma_{T20} = 210$ Мпа для сталі ВСт3пс і температури 20^0 (Таблиця D.3).

Розрахункове значення внутрішнього надлишкового тиску для газової робочого середовища казана: $p=1,25$ Мпа. Пробний тиск при гідравлічному випробуванні

$$p_{\text{и}} = 1,69 \text{ МПа} = \max \begin{cases} 1,25p[\sigma]_{20} / [\sigma] = 1,25 \cdot 1,25 \cdot 140 / 129 = 1,69 \text{ МПа} \\ p + 0,3 = 1,25 + 0,3 = 1,55 \text{ МПа} \end{cases}$$

Тут $[\sigma]_{20} = \eta \sigma_{T20}^* = 140$ Мпа при температурі 20^0 (Таблиця D.1), коефіцієнт подовжніх зварних швів обичайки $\varphi = 1$, оскільки застосовується автоматична зварка. Надбавки до розрахункової товщини стінки для компенсації корозії $c_k = \Pi \tau_B = 0,1 \cdot 15 = 1,5$ мм, надбавки до розрахункової товщини стінки для компенсації ерозії $c_k = \Pi \tau_B = 0,1 \cdot 15 = 1,5$. Приймаючи $c_2 = 0$ і $c_3 = 0$, отримаємо: $c = c_1 = c_k = 1,5$ мм. Розрахункова і виконавча товщина стінки циліндрової обичайки:

$$s_p = \max \begin{cases} pD / (2\varphi[\sigma] - p) = 1,25 \cdot 1,5 / (2 \cdot 1 \cdot 129 - 1,25) = 7,3; \\ p_{\text{и}} D / (2\varphi[\sigma]_{\text{и}} - p_{\text{и}}) = 1,69 \cdot 1,5 / (2 \cdot 1 \cdot 190,9 - 1,69) = 6,7. \end{cases}$$

Отже, $s_p = 7,3$ мм. Тоді $s = s_p + c + c_0 = 7,3 + 1,5 + 0,2 = 9$ мм. Тут $c_0 = 0,2$ з умови округлення товщини стінки до найближчої більшої стандартної товщини (ГОСТ 19903-74*). Оскільки $(s - c) / D = (9 - 1,5) \cdot 10^{-3} / 1,5 = 0,005 < 0,1$, то умова застосовності формул виконується. Таким чином, при товщині стінки $s = 9$ мм забезпечується міцність циліндрової обичайки казана як в робочому стані, так і при гідравлічних випробуваннях.

ЗАВДАННЯ 2

РОЗРАХУВАТИ ТОВЩИНУ СТІНКИ ЦИЛІНДРОВОЇ ОБИЧАЙКИ СЕКЦІЇ ВИПАРНИКА, ЩО ПРАЦЮЄ ПІД АТМОСФЕРНИМ ТИСКОМ

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Внутрішній діаметр $D=220$ мм, висота секції випарної камери $h_u = 920$ мм, матеріал корпусу – сталь 20 (листовий прокат), розрахункова температура стінки $t=150^0\text{C}$, надбавка до розрахункової товщини стінки $c = 1$ мм, тиск в сорочці (розрахункове) $p_{p,p} = 0,5$ Мпа.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Розрахунковий зовнішній тиск $p_{н,p} = p_{p,p} = 0,5$ Мпа.

Розрахункова довжина циліндрової обичайки секції $l_p \approx h_u$, оскільки практично вся вона знаходиться під сорочкою ($l_p = 920$ мм). Модуль пружності для сталі 20 при $t=20^0\text{C}$ і $t=150^0\text{C}$ відповідно $E_{20} = 1,99 \cdot 10^5$ МПа і $E = 1,86 \cdot 10^5$ МПа (додаток, Таблиця D.4). Напруга, що допускається, в робочому стані $[\sigma] = \eta \sigma^* = 1 \cdot 139$ Мпа. Напруга, що допускається, при гідравлічному випробуванні $[\sigma]_u = \sigma_{T20} / 1,1 = 220 / 1,1 = 200$ Мпа, $\eta = 1$, оскільки матеріал корпусу – листовий прокат (Таблиця D.2); $\sigma^* = 139$ Мпа – для листового прокату при $t=150^0\text{C}$ (Таблиця D.1); $\sigma_{T20} = 220$ Мпа – межа текучості сталі 20 при $t=20^0\text{C}$ (Таблиця D.3). Коефіцієнт запасу стійкості: у робочому стані $n_y = 2,4$; при випробуванні $n_{y,u} = 1,8$.

Розрахункова і виконавча товщина стінки випарної камери в першому наближенні відповідно:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 D \cdot 10^{-2} = 1,05 \cdot 0,22 \cdot 10^{-2} = 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \\ 1,1 p_{н,p} D / (2[\sigma]) = 1,1 \cdot 0,5 \cdot 0,22 / (2 \cdot 139) = 0,44 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{array} \right\}$$

де по номограмі (див.[1], стор. 37) при:

$$K_1 = n_y p_{н,p} / (2,4 \cdot 10^{-6} E) = 2,4 \cdot 0,5 / (2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,86 \cdot 10^5) = 2,7;$$

$$K_3 = l_p / D = 920 / 220 \approx 4,2 \text{ і}$$

$$10^3 \cdot [\sigma] / E = 10^3 \cdot 139 / (1,86 \cdot 10^5) = 0,75.$$

Отже, $s_p = 2,31$ мм. Тоді $s = s_p + c + c_0 = 2,31 + 1 + 0,69 = 4$ мм, де $c_0 = 0,69$ з умови округлення товщини стінки до найближчої більшої стандартної товщини (ГОСТ 19903-74*).

Тиск, що допускається, з умови міцності:
у робочому стані

$$[p_n]_{\sigma} = 2[\sigma] \cdot (s - c) / (D + s - c) = 2 \cdot 139 \cdot (4 - 1) \cdot 10^{-3} / [(220 + 4 - 1) \cdot 10^{-3}] = 3,74 \text{ Мпа};$$

при випробуванні

$$[p_n]_{\sigma u} = 2[\sigma]_u (s - c) / (D + s - c) = 2 \cdot 200 (4 - 1) \cdot 10^{-3} / [(220 + 4 - 1) \cdot 10^{-3}] = 5,38 \text{ Мпа}.$$

Тиск, що допускається, з умови стійкості в межах пружності при $l_p < l_0$
 $l_0 = 8,15D\sqrt{D/[100(s-c)]} = 8,15 \cdot 920 \cdot \sqrt{920/[10094-1]} = 1535 \text{ мм}; \quad l_p < l_0,$
 оскільки $920 < 1535$.

У робочому стані

$$[p_n]_E = 18 \cdot 10^{-6} E \cdot D / (n_y \cdot l_p) \cdot [100(s-c)/D]^2 \sqrt{100(s-c)/D} =$$

$$18 \cdot 10^{-6} \cdot 1,86 \cdot 10^5 \cdot 0,22 / (2,4 \cdot 0,92) \cdot [100(4-1) \cdot 10^{-3} / 0,22]^2 \sqrt{100(4-1) \cdot 10^{-3} / 0,22} =$$

$$= 0,72 \text{ МПа}.$$

При випробуванні

$$[p_n]_{Eu} = 18 \cdot 10^{-6} E_{20} \cdot D / (n_{yu} \cdot l_p) \cdot [100(s-c)/D]^2 \sqrt{100(s-c)/D} =$$

$$= 18 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 0,22 / (1,8 \cdot 0,92) \cdot [100(4-1) \cdot 10^{-3} / 0,22]^2 \sqrt{100(4-1) \cdot 10^{-3} / 0,22} =$$

$$= 1,03 \text{ МПа}.$$

Зовнішній тиск, що допускається, з врахуванням обох умов:
 у робочому стані

$$[p_n] = [p_n]_{\sigma} / \sqrt{1 + ([p_n]_{\sigma} / [p_n]_E)^2} = 3,74 / \sqrt{1 + (3,74 / 0,72)^2} = 0,707 \text{ МПа};$$

при випробуванні

$$[p_n]_u = [p_n]_{\sigma u} / \sqrt{1 + ([p_n]_{\sigma u} / [p_n]_{Eu})^2} = 5,38 / \sqrt{1 + (5,38 / 1,03)^2} = 1,014 \text{ МПа}.$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$p_u = 1,25 p_{н,р} [\sigma]_{20} / [\sigma] = 1,25 \cdot 0,5 \cdot 147 / 139 = 0,661 \text{ МПа}, \text{ де } [\sigma]_{20} = 147 \text{ МПа для}$$

сталі 20 при 20^0 C .

Умова стійкості циліндрової обичайки секції випарника товщиною $s=4$ мм виконується для робочого стану і при випробуванні:

$$p_{н,р} < [p_n] \quad (0,5 \text{ МПа} < 0,707 \text{ МПа})$$

$$p_u < [p_n]_u \quad (0,661 \text{ Па} < 1,014 \text{ МПа})$$

Таким чином, $s=4$ слід вважати за виконавчу товщину стінки.

ЗАВДАННЯ 3

РОЗРАХУВАТИ ДЛЯ КОНІЧНОГО ДНИЩА ПАТРОННОГО ФІЛЬТРУ, ЩО ПРАЦЮЄ ПІД ВНУТРІШНІМ ТИСКОМ, ЗМІЦНЕННЯ НОРМАЛЬНОГО ОДИНОЧНОГО ОТВОРУ БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ НАКЛАДНОГО КІЛЬЦЯ

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Внутрішній діаметр апарату $D=1000$ мм, внутрішній діаметр днища по центру укріпленого отвору $D_k = 750$ мм, внутрішній діаметр штуцера $d = 50$ мм, довжина штуцера $l_1 = 125$ мм, розрахункова і виконавча товщина конічної оболонки $s=4$ мм, розрахункова і виконавча товщина штуцера $s_{ш,р} = 0,87$ мм, $s_{ш} = 4$ мм, матеріал конічної оболонки і

штуцера – сталь 12Х18Н12Т; кут при вершині конічного днища $2\alpha = 90^\circ$, надбавка до розрахункової товщини стінки $c = c_{ш} = 1$ мм.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Розрахунковий діаметр конічної оболонки по центру укріплюваного отвору

$$D_p = D_k / \cos \alpha = 0,75 / \cos 45^\circ = 1,061 \text{ м.}$$

Найбільший діаметр одиночного отвору, що не вимагає зміцнення, що допускається

$$\begin{aligned} d_0 &= 2\{[(s - c) / s_p - 0,8] \sqrt{D_p (s - c)} - c_{ш}\} = \\ &= 2\{[(4 - 1) \cdot 10^{-3} / (2,5 \cdot 10^{-3}) - 0,8] \sqrt{1,061(4 - 1) \cdot 10^{-3}} - 1 \cdot 10^{-3}\} = \\ &= 0,043 \text{ м} = 43 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Оскільки внутрішній діаметр штуцера $d > d_0$ ($50 \text{ мм} > 43 \text{ мм}$), той отвір необхідно укріплювати.

Розрахункова довжина зовнішньої частки штуцера, що бере участь в зміцненні отвору:

$$\begin{aligned} l_{1p} &= \min \{l_1; 1,25 \sqrt{(d + 2c_{ш})(s_{ш} - c_{ш})}\} = \\ &= \min \{0,125; 1,25 \cdot \sqrt{(50 + 2 \cdot 1) \cdot 10^{-3} (4 - 1) \cdot 10^{-3}}\} = \\ &= \min \{0,125; 0,0156\} = 15,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \end{aligned}$$

Розрахунковий діаметр отвору, що не вимагає зміцнення, за відсутності надлишкової товщини стінки обичайки

$$d_{0p} = 0,4 \sqrt{D_p (s - c)} = 0,4 \sqrt{1,061(4 - 1) \cdot 10^{-3}} = 22,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

В разі зміцнення отвору тільки зовнішньою часткою штуцера повинно виконуються умова

$$(l_{1p} + s - s_p - c)(s_{ш} - s_{ш.p} - c_{ш.p})\chi_1 + \sqrt{D_p (s - c)}(s - s_p - c) \geq 0,5(d_p - d_{0p})s_p,$$

де $\chi_1 = [\sigma]_{ш} / [\sigma] = 1$, оскільки матеріал штуцера і корпусу однаковий;

$$d_p = d + 2c_{ш} = 0,052 \text{ м} - \text{для нормального штуцера.}$$

Тоді

$$\begin{aligned} &(15,6 + 4 - 2,5 - 1) \cdot 10^{-3} (4 - 0,87 - 1) \cdot 10^{-3} \cdot 1 + \sqrt{1,061(4 - 1) \cdot 10^{-3}} \times \\ &\times (4 - 2,5 - 1) \cdot 10^{-3} > 0,5(0,052 - 0,0226)2,5 \cdot 10^{-3}, \end{aligned}$$

тобто $62,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 > 36,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, і, значить, умова зміцнення виконується.

ЗАВДАННЯ 4

ВИЗНАЧИТИ ГАБАРИТНІ РОЗМІРИ КОРПУСУ АПАРАТУ РОЗПОДІЛУ ГАЗОВОЇ СУМІШІ

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Об'єм корпусу $V = 8\text{ м}^3$; матеріал обичайки, плоскої кришки і сферичного днища – сталь 12ХМ, робочий тиск $p = 32\text{ МПа}$, температура середовища в апараті $t_c = 300^\circ\text{С}$, товщина стінки обичайки $s = 0,15\text{ м}$, виходячи з умов технології її виготовлення, висота кришки апарату $H_k = 0,35\text{ м}$, надбавка до розрахункової товщини $c = 1,2 \cdot 10^{-3}\text{ м}$, температура зовнішньої поверхні стінки корпусу $t_n = 230^\circ\text{С}$.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Розрахунковий тиск $p_p = p = 32\text{ МПа}$, допустима напруга в матеріалі при температурі $t_c = 300^\circ\text{С}$: $[\sigma] = \eta \sigma^* = 130,5\text{ МПа}$. Коефіцієнт міцності зварних з'єднань $\varphi = 1,0$, розрахунковий коефіцієнт товстостінності визначається по формулі:

$$\ln \beta_p = p / ([\sigma] \varphi) = 32 / (130,5 \cdot 1,0) = 0,245, \text{ звідки } \beta_p = 1,278.$$

Вирішивши вираження $s \geq 0,5D(\beta_p - 1) + c$ відносно D , отримаємо

$$D \leq (s - c) / [0,5 \cdot (\beta_p - 1)] = (0,15 - 0,0012) / [0,5 \cdot (1,278 - 1)] = 1,07\text{ м}.$$

По ГОСТ 11879-66 приймається $D = 1000\text{ мм}$.

Виконавчий коефіцієнт товстостінності визначається по формулі:

$$\beta = (D + 2s) / (D + 2c) = (1 + 2 \cdot 0,15) / (1 + 2 \cdot 0,002) = 1,3.$$

Робочий тиск, що допускається, визначається по формулі:

$$[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta = 130,5 \cdot 1,0 \cdot \ln 1,3 = 33,9\text{ МПа}.$$

Таким чином $p < [p]$ $32\text{ МПа} < 33,9\text{ МПа}$.

Прийнявши температуру t_b внутрішньої поверхні обичайки рівній температурі t_c оброблюваного середовища, отримаємо

$$\Delta t = t_b - t_n = 300 - 230 = 70^\circ\text{С}.$$

Для заданої марки стали 12ХМ і температури $t_c = 300^\circ\text{С}$:

$\alpha = 12,7 \cdot 10^{-6} (1/^\circ\text{С})$ (див. додаток, Таблиця D.6); $E = 1,91 \cdot 10^5\text{ МПа}$ (Таблиця D.4); $\mu = 0,3$; $\sigma_T = 212\text{ МПа}$ (Таблиця D.5).

Еквівалентна напруга визначається по формулі:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{екв}} &= 1/(\beta^2 - 1) \cdot \sqrt{3p^2 + 3pk_1\Delta t + k_1^2 \cdot (\Delta t)^2} = \\ &= 1/(1,3^2 - 1) \cdot \sqrt{3 \cdot 32^2 + 3 \cdot 32 \cdot 1,13 \cdot 70 + 1,13^2 \cdot 70^2} = 138\text{ МПа}, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} k_1 &= \alpha E / (1 - \mu) \cdot [(\beta^2 - 1) / (2 \ln \beta) - 1] = \\ &= (12,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1,91 \cdot 10^5) / (1 - 0,3) \cdot [(1,3^2 - 1) / (2 \ln 1,3) - 1] = 1,13. \end{aligned}$$

Умова міцності $\sigma_{\text{екв}} \leq \sigma_T / 1,1$ виконується: $138 \text{ МПа} < 212 / 1,1 \text{ МПа}$.

Внутрішня висота H_D опуклої частки днища визначається з умови

$$H_D / D = 0,25; \quad H_D = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1 = 0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм} .$$

Висота циліндрової частки H_0 визначається з умови

$$V \approx H_0 \pi D^2 / 4, \quad H_0 = 4V / (\pi D^2) = 4 \cdot 8 / (\pi \cdot 1^2) = 10,2 \text{ м} .$$

Спільна висота апарату складе при s м:

$$H = H_0 + H_D + s + H_k = 10,2 + 0,25 + 0,15 + 0,35 = 10,95 \text{ м} .$$

По ГОСТ 11879-6 приймається остаточно $H = 11 \text{ м}$.

Таким чином, габаритні розміри апарату:

висота – 11 м, діаметр – 1 м.

ЗАВДАННЯ 5

ВИКОНАТИ РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ ЦИЛІНДРОВОЇ ОБИЧАЙКИ АПАРАТУ, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ ОСУШЕННЯ ПОВІТРЯ

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Внутрішній тиск $p = 28 \text{ Мпа}$, температура середовища в апараті $t_c = 180^\circ \text{С}$, температура теплоносія в сорочці $t_n = 220^\circ \text{С}$, а тиск нехтує мало, внутрішній діаметр апарату $D = 1000 \text{ мм}$, матеріал корпусу – сталь 20Х2МА, швидкість корозії: внутрішньої сторони корпусу $\Pi_b = 0,048 \text{ мм/рік}$, зовнішньої сторони корпусу $\Pi_n = 0,002 \text{ мм/рік}$, термін служби апарату $\tau = 20 \text{ років}$.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Розрахунковий тиск $p_p = p = 28 \text{ Мпа}$. Розрахункова температура стінки апарату дорівнює максимальній температурі $t = t_n = 220^\circ \text{С}$. Коефіцієнт міцності $[\sigma] = \eta \sigma^* = 184 \text{ Мпа}$. Коефіцієнт міцності зварних подовжніх швів для хромомолібденових сталей $\varphi = 1,0$.

Надбавка до розрахункової товщини на компенсацію корозії

$$c = (\Pi_n + \Pi_b) \tau = (0,002 + 0,048) \cdot 20 = 1,0 \text{ мм} .$$

Розрахунковий коефіцієнт товстостінності визначається по формулі

$$\ln \beta_p = p_p / ([\sigma] \varphi) = 28 / (184 \cdot 1,0) = 0,152, \text{ звідки } \beta_p = 1,164 .$$

Виконавча товщина обичайки визначається по формулі

$$s \geq 0,5D(\beta_p - 1) + c = 0,5 \cdot 1,0 \cdot (1,164 - 1) + 0,001 = 0,083 \text{ м} .$$

По ГОСТ 19903-74 вибирається найближче більше значення, кратне 5 мм: $s = 0,085 \text{ м} = 85 \text{ мм}$. Допустимий робочий тиск визначається по формулі

$$[p] = [\sigma] \varphi \ln \beta = 184 \cdot 1,0 \cdot \ln(1,168) = 28,6 \text{ Мпа}$$

де $\beta = (D + 2s) / (D + 2c) = (1 + 2 \cdot 0,085) / (1 + 2 \cdot 0,001) = 1,168$.

Прийнявши температури внутрішньої t_b і зовнішньої t_n поверхонь обичайки відповідно рівними температурі t_c оброблюваного середовища в апараті і теплоносія в сорочці $t_b = 180^0\text{C}$ і $t_n = 220^0\text{C}$, отримаємо

$$\Delta t = t_b - t_n = 180 - 220 = -40^0\text{C}.$$

Значення k_2 визначається по формулі

$$k_2 = \alpha E / (1 - \mu) \cdot [(\beta^2 - 1) / (2\beta^2 \ln \beta) - 1] = \\ = (12,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,83 \cdot 10^5) / (1 - 0,3) \cdot [(1,168^2 - 1) / (2 \cdot 1,168^2 \cdot \ln(1,168)) - 1] = -0,47,$$

де

$$\mu = 0,3; \alpha = 12,9 \cdot 10^{-6} (1/^0\text{C}); E = 1,83 \cdot 10^5 \text{МПа}.$$

Еквівалентна напруга визначається по формулі:

$$\sigma_{\text{екв}} = \beta^2 / (\beta^2 - 1) \cdot \sqrt{3p^2 + 3pk_2\Delta t + k_2^2 \cdot (\Delta t)^2} = \\ = 1,168^2 / (1,168^2 - 1) \cdot \sqrt{3 \cdot 28^2 + 3 \cdot 28 \cdot (-0,47) \cdot (-40) + (-0,47)^2 \cdot (-40)^2} = \\ = 65,5 \text{МПа}.$$

Таким чином, умова $\sigma_{\text{екв}} < \sigma_T / 1,1$ $65,5 < 382 / 1,1$ виконується. При цьому $p < [p]$ ($28 < 28,6$), тим самим забезпечується міцність обичайки в робочому стані.

ЗАВДАННЯ 6

ВИЗНАЧИТИ ШИРИНУ ПЛОСКОЇ ПРОКЛАДКИ І РОЗРАХУНКОВЕ ЗУСИЛЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦІЇ ДЛЯ ЗАТВОРА

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Внутрішній тиск $p_p = 25$ МПа, найменший діаметр поверхні ущільнювача $D_1 = 520$ мм, температура середовища в апараті $t_c = 150^0\text{C}$, матеріал корпусу – сталь 22К, кришки – сталь 20.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Найменше значення межі текучості при температурі $t = t_c = 150^0\text{C}$: $\sigma_T^{\min} = \min\{\sigma_T^k; \sigma_T^{\text{кр}}\} = \min\{201 \text{МПа}; 180 \text{МПа}\} = 180 \text{МПа}$, де σ_T^k і $\sigma_T^{\text{кр}}$ – межа текучості матеріалу корпусу і кришки (Таблиця D.8).

Оскільки $\sigma_T^{\min} < 274,68$ МПа, то контактна напруга $[\sigma_K]$, що допускається, при $t = 150^0\text{C}$ і $[\sigma_K]_{20}$ при 20^0C буде:

$$[\sigma_K] = \sigma_T^{\min} = 180 \text{МПа}; [\sigma_K]_{20} = \sigma_{T20}^{\min} = 186 \text{МПа},$$

де σ_{T20}^{\min} - найменше значення межі текучості при 20^0C (Таблиця D.8).

Напруга того, що зім'яло алюмінієвої прокладки $\sigma_{\text{см}} = 68,67$ МПа (Таблиця D.7). Пробний тиск: $p_u = 1,25p_p = 1,25 \cdot 25 = 31,25$ МПа. Тоді розрахункова ширина плоскої металевої прокладки:

$$b_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot p_p \cdot D_1 / ([\sigma_K] - \sigma_{\text{см}} - 0,25 \cdot p_p) = \\ 1,1 \cdot p_u \cdot D_1 / (4 \cdot [\sigma_K]_{20} - 1,1 \cdot p_u) = \end{array} \right.$$

$$\begin{cases} = 0,25 \cdot 25 \cdot 0,52 / (180 - 68,67 - 0,25 \cdot 25) = 0,031 \text{ м} \\ = 1,1 \cdot 31,25 \cdot 0,52 / (4 \cdot 186 - 1,1 \cdot 31,25) = 0,025 \text{ м} \end{cases}$$

Отже $b_p = 0,031 \text{ м}$. Виконавча ширина прокладки приймається рівною $b = 0,04 \text{ м}$.

Середній діаметр поверхні ущільнювача визначається по формулі:

$$D_{cp} = D_1 + b = 0,520 + 0,040 = 0,560 \text{ м} = 560 \text{ мм}.$$

Реакція прокладки в робочих умовах визначається по формулі:

$$R_{II} = \pi D_{cp} b \sigma_{cm} = 3,14 \cdot 0,56 \cdot 0,04 \cdot 68,67 = 4,83 \text{ МН}.$$

Рівнодійна внутрішнього тиску на кришку:

$$F_p = \pi D_{cp}^2 p_p / 4 = 3,14 \cdot 0,56^2 \cdot 25 / 4 = 6,15 \text{ МН}.$$

Розрахункове зусилля герметизації визначається по формулі:

$$F = F_p + R_{II} = 6,15 + 4,83 = 10,98 \text{ МН}.$$

ЗАВДАННЯ 7

ДЛЯ ВІНОСНОГО ТЕПЛООБМІННОГО АГРЕГАТУ РОЗРАХУВАТИ ДІАМЕТР СТРИЖНЯ ШПИЛЬКИ ЗАТВОРА, ЩО МАЄ ДЕЛЬТАПОДІБНИЙ ОБТЮРАТОР

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Внутрішній тиск $M\text{па}$, діаметр апарату $D = 1000 \text{ мм}$, висота обтюратора $h_0 = 31 \text{ мм}$, матеріал шпильок – сталь 35ХМ, робоча температура середовища в апараті $t_c = 200^\circ\text{C}$, кількість шпильок $n_{ш} = 12$, поправочний коефіцієнт $\eta_1 = 0,9$.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Розрахунковий тиск $p_p = p = 40 \text{ Мпа}$. Розрахункова температура приймається рівній температурі робочого середовища $t = t_c = 200^\circ\text{C}$.

Нормативна напруга, що допускається, для матеріалу шпильки при температурі $t = t_c = 200^\circ\text{C}$ визначається по формулі:

$\sigma^* = \sigma_T / n_T = 490 / 1,5 = 326,6 \text{ МПа}$, де $\sigma_T = 490 \text{ МПа}$ для сталі 35ХМ при $t = 200^\circ\text{C}$; $n_T = 1,5$ (додаток, Таблиця D.8).

Напруга, що допускається, для шпильок $[\sigma]_1 = \eta_1 \sigma^* = 0,9 \cdot 326,6 = 294 \text{ МПа}$.

Осьова складова F_0 рівнодійної внутрішнього тиску на дельтаподібний обтюратор визначається по формулі:

$$F_0 = 0,5 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot h_0 \cdot p_p \cdot \text{tg}(\alpha_k) = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,039 \cdot 0,031 \cdot 40 \cdot \text{tg}(47^\circ) = 2,17 \text{ МН}$$

Тут $D_0 = 1,039$ – внутрішній діаметр обтюратора при $D = 1000 \text{ мм}$, - кут конусності поверхонь ущільнювачів кришки і корпусу затвора $\alpha_k = 47^\circ$ (Таблиця D.9).

Рівнодійна внутрішнього тиску на кришку визначається по формулі:

$F_p = \pi D_{cp}^2 p_p / 4 = 3,14 \cdot 1,039^2 \cdot 40 / 4 = 33,9 \text{ МН}$, де D_{cp} – діаметр центру закруглень канавки ущільнювача, м.

Розрахункове зусилля герметизації для затвора з дельтаподібним обтюратором визначається по формулі:

$$F = F_p + F_0 = 33,9 + 2,17 = 36,07 \text{ МН}.$$

Розрахунковий діаметр стрижня шпильки обтюратором визначається по формулі:

$$d_{cp} = \sqrt{(4 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot F) / (\pi \cdot n_{ш} \cdot [\sigma]_1) + d_m^2} = \sqrt{(4 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 36,07) / (3,14 \cdot 12 \cdot 294) + 0,018^2} = 0,131 \text{ м}.$$

Тут $k_4 = 1$; $k_5 = 1,3$ для даного обтюратора при контрольованому затягуванні шпильок; $d_m = 0,018 \text{ м}$, оскільки діаметр шпильки більше 85 мм.

Виконавчий діаметр стрижня шпильки з дотриманням умови вибирається $d_c = 131,5 \text{ мм}$.

ЗАВДАННЯ 8

ВИЗНАЧИТИ ВНУТРІШНІЙ НАДЛИШКОВИЙ ТИСК, ЩО ДОПУСКАЄТЬСЯ, ДЛЯ ВУЗЛА СПОЛУЧЕННЯ ШТУЦЕРА І ЕЛІПТИЧНОГО ДНИЩА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СУЦІЛЬНОЗВАРНОГО АПАРАТУ, ЗАБЕЗПЕЧЕНОГО ТРУБНИМ ПУЧКОМ.

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Внутрішній діаметр апарату $D = 2800 \text{ мм}$, діаметр штуцера $d = 400 \text{ мм}$, довжина штуцера $l_1 = 200 \text{ мм}$, розрахункова і виконавча товщина стінки днища апарату $s_p = 7 \text{ мм}$ і $s = 10 \text{ мм}$, розрахункова і виконавча товщина стінки штуцера $s_{ш.p} = 1,6 \text{ мм}$ і $s_{ш} = 6 \text{ мм}$, виконавча і розрахункова товщина накладного кільця $s_y = s_{y.p} = 6 \text{ мм}$, матеріал апарату штуцера і накладного кільця – сталь ВСтЗсп, напруга, що допускається, в робочому стані $[\sigma] = 120,6 \text{ Мпа}$, відстань від центру укріплюваного отвору до осі еліптичного днища $r = 900 \text{ мм}$, відстань до найближчого отвору $\Delta = 1,4 \text{ м}$, надбавка до розрахункової товщини стінки $c = c_{ш} = 1,5 \text{ мм}$, коефіцієнт міцності зварних швів $\phi = 1$. Штуцера розташовані на рівній відстані від осі днища.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Розрахунковий діаметр укріплюваного днища для місця розташування штуцера

$$D_p = 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \left(\frac{r}{D} \right)^2} = 2 \cdot 2,8 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0,9}{2,8} \right)^2} = 4,65 \text{ м}.$$

Розрахунковий діаметр отвору зміщеного штуцера

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_{\text{ш}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot r}{D_p}\right)^2}} = \frac{0,4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 0,9}{4,65}\right)^2}} = 0,437 \text{ м.}$$

Розрахунковий діаметр отвору за відсутності надлишкової товщини стінки днища

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot \sqrt{4,65 \cdot (10 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,079 \text{ м.}$$

Ширіна зони зміцнення в околицях штуцерів

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s_{y.p} + s - c)} = \sqrt{4,65 \cdot (6 + 10 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,26 \text{ м.}$$

Оскільки $\Delta = 1,4 \text{ м} > 2L_0 = 2 \cdot 0,26 = 0,52 \text{ м}$, отвір штуцера можна вважати за одіночний.

Розрахункова довжина зовнішньої частки штуцера (внутрішня відсутня)

$$\begin{aligned} l_{1p} &= \min \left\{ l_1; 1,25 \sqrt{(d + 2c_{\text{ш}})(s_{\text{ш}} - c_{\text{ш}})} \right\} = \\ &= \min \left\{ 0,2; 1,25 \sqrt{(0,4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3})(6 - 1,5) \cdot 10^{-3}} \right\} = \\ &= \min \left\{ 0,2; 0,0532 \right\} = 0,0532 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \end{aligned}$$

Внутрішній тиск, що допускається, для вузла сполучення штуцера і днища

$$[p]_{\text{ш}} = \frac{2 \cdot k_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D_p + s - c} \cdot v,$$

де $k_1 = 2$ – для еліптичного днища.

Оскільки матеріал днища, штуцера і накладного кільця однаковий, то $\chi_1 = \chi_2 = 1$ і тоді при $l_2 = 0$

$$\begin{aligned} v &= \min \left\{ 1; \frac{L_0 \cdot (s_{y.p} + s - c) + (l_{1p} + s_{y.p} + s - s_p - c) \cdot (s_{\text{ш}} - c_{\text{ш}})}{[L_0 + 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) + k_1 \cdot (l_{1p} + s_{y.p} + s - s_p - c) \cdot (d + 2c_{\text{ш}}) / D_p] \cdot (s - c)} \right\} = \\ &= \min \left\{ 1; \frac{[0,26 \cdot (6 + 10 - 1,5) \cdot 10^{-3} + (0,0532 + 6 + 10 - 7 - 1,5) \cdot 10^{-3} \cdot (6 - 1,5) \cdot 10^{-3}] /}{[0,26 + 0,5 \cdot (0,437 - 0,079) + 2 \cdot (0,0532 + 6 + 10 - 7 - 1,5) \cdot 10^{-3} \cdot (0,4 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3})] \cdot (10 - 1,5) \cdot 10^{-3} / 4,65} \right\} = \min \{ 1; 1,06 \} = 1. \end{aligned}$$

Тепер

$$[p]_{\text{ш}} = \frac{2 \cdot k_1 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D_p + s - c} \cdot v = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 120,6(10 - 1,5)10^{-3}}{4,65 + 10 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 1 = 0,88 \text{ МПа.}$$

Для забезпечення міцності необхідно, щоб в робочому стані виконувалася умова $p_p \leq [p]_{\text{ш}}$.

ЗАВДАННЯ 9

ВИЗНАЧИТИ ОПТИМАЛЬНІ РОЗМІРИ І МАСУ КОРПУСУ АПАРАТУ З ЕЛІПТИЧНОЮ КРИШКОЮ І ДНИЩЕМ З УМОВИ МІНІМАЛЬНОЇ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

ПОЧАТКОВІ ДАНІ. Об'єм $V=100\text{м}^3$, внутрішній тиск $p = 0,5\text{Мпа}$. Матеріал корпусу – сталь 10, робоча температура $t = 190^\circ\text{С}$, коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 1$, надбавка до розрахункової товщини стінки $c = 1,5\text{мм}$.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Повна бічна поверхня корпусу

$$A_E = A_{\text{Ц}} + A_{\text{К}} + A_{\text{Д}} = (4V/D - 1,05D^2) + 1,24D^2 + 1,24D^2 = 4V/D + 1,43D^2.$$

Похідна від бічної поверхні по діаметру

$$dA_E / dD = -4 \cdot V / D^2 + 2,86 \cdot D.$$

Прирівнюючи $dA_E / dD = 0$ і знаходячи звідси D , набуваємо оптимального його значення за умови забезпечення мінімальної бічної поверхні:

$$-4 \cdot V / D^2 + 2,86 \cdot D = 0;$$

$$D = \sqrt[3]{4 \cdot V / 2,86} = \sqrt[3]{4 \cdot 100 / 2,86} = 5,19 \text{ м}.$$

Округлюємо отриманий діаметр до найближчого стандартного значення: $D=5000 \text{ мм}$.

Довжина циліндрової частки апарату

$$L = 4 \cdot V / (\pi \cdot D^2) - D / 3 = 4 \cdot 100 / (3,14 \cdot 5^2) - 5 / 3 = 3,429 \text{ м} = 3429 \text{ мм}.$$

Внутрішня висота еліптичної частки кришки (днища)

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ м}.$$

Сумарна довжина апарату

$$L_{\text{ОБЦ}} = L + 2 \cdot H = 3,429 + 2 \cdot 1,25 = 5,929 \text{ м} = 5929 \text{ мм}.$$

Бічна поверхня корпусу

$$A_E = 4V/D + 1,43D^2 = 4 \cdot 100 / 5 + 1,43 \cdot 5^2 = 115,75 \text{ м}^2.$$

Напруга, що допускається

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1 \cdot 117 = 117 \text{ МПа},$$

де $\eta=1$, оскільки матеріал – листовий прокат 1 (Таблиця D.2), $\sigma^* = 117 \text{ МПа}$ – для сталі 10 при $t=190^\circ\text{С}$ (Таблиця D.1).

Комплекс

$$k_s = p_p / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p_p) = 0,5 / (2 \cdot 1 \cdot 117 - 0,5) = 2,14 \cdot 10^{-3}.$$

Маса корпусу апарату

$$\begin{aligned} m_{\text{К}} &= \rho \cdot [4 \cdot V \cdot (k_s + c/D) + 1,43 \cdot D^2 (k_s \cdot D + c)] = \\ &= 7850 [4 \cdot 100 (2,14 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} / 5) + 1,43 \cdot 5^2 (2,14 \cdot 10^{-3} \cdot 5 + 1,5 \cdot 10^{-3})] = \\ &= 11085 \text{ кг}, \end{aligned}$$

де $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ – для сталі 10.

ЗАВДАННЯ 10

ПРОВЕСТИ РОЗРАХУНОК БАРАБАНА СУШАРКИ НА ЖОРСТКІСТЬ (ВИЗНАЧИТИ ПРОГИН)

ПОЧАТКОВІ ДАНІ.. Зовнішній діаметр барабана $D_n = 1200$ мм, довжина барабана $L=10000$ мм, матеріал корпусу – сталь3, робоча температура $t=140^{\circ}\text{C}$, маса оброблюваного матеріалу $m_M = 2500$ кг, маса корпусу барабана $m_K=3000$ кг, барабан без футерування, відносний прогин барабана, що допускається, без футерування $[\varepsilon]=1/200$.

РОЗВ'ЯЗАННЯ. Лінійне навантаження від маси оброблюваного матеріалу

$$q_1 = gm_M / L = 9,81 \cdot 2500 / 10 \approx 2500 \text{ Н/м}.$$

Лінійне навантаження від маси барабана

$$q_2 = gm_K / L = 9,81 \cdot 3000 / 10 \approx 3000 \text{ Н/м}.$$

Товщина стінки барабана

$$s_6 \geq 0,007D_n = 0,007 \cdot 1200 = 8,4 \text{ мм} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

приймаємо $s_6 = 10$ мм.

Момент інерції одиничного кільця барабана

$$I_x = 1 \cdot s_6^3 / 12 = 1 \cdot (10 \cdot 10^{-3})^3 / 12 = 83,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Середній діаметр барабана

$$D_{cp} = D_n - s_6 = 1200 - 10 = 1190 \text{ мм} = 1,19 \text{ м}.$$

Модуль пружності вибраний по Таблиці D.4 відповідно до матеріалу корпусу (вуглецева сталь3) і робочої температури $t=140^{\circ}\text{C}$

$$E = 1,87 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Сумарний максимальний прогин від навантажень, що діють

$$y_{\max} = \frac{D_{cp}^3}{8EI_x} (0,04q_1 + 0,002q_2) = \frac{1,19^3}{8 \cdot 1,87 \cdot 10^{11} \cdot 83,3 \cdot 10^{-9}} (0,04 \cdot 2500 + 0,002 \cdot 3000) =$$

$$= 0,143 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Відносний прогин

$$\varepsilon = \frac{y_{\max}}{D_{cp}} = \frac{0,143 \cdot 10^{-2}}{1,19} = 0,0012 = 1/833.$$

Умова жорсткості виконана:

$$\varepsilon \leq [\varepsilon] \quad (1/833 < 1/200).$$

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І ЗАВДАННЯ
ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ
з дисципліни «Інформатика»
для студентів факультету механіки і машинобудування**

Укладачі: Веретельник Святослав Петрович, к.т.н., доцент
Копитова Ольга Михайлівна, к.ф.-м.н., доцент
Толкачев Олег Едуардович, к.т.н., доцент.

Формат 60x84 1/16, усл. печ. лист. – 4
83000, м. Донецьк, вул. Артема, 58, ДонНТУ