



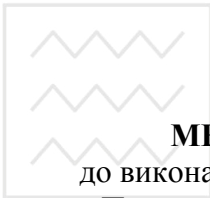
Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики
і гідравлічних машин

02-04-04



Національний університет
водного господарства
та природокористування

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт із дисципліни
«Проектування теплоенергетичних установок»
для студентів напрямку підготовки 6.050601
«Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано методичною
комісією напрямку підготовки
6.050601 «Теплоенергетика»
Протокол №3 від 27.11.13р.

Рівне 2013



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Проектування теплоенергетичних установок» для студентів напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання / В.В.Середа, В.В. Куба. – Рівне: НУВГП, 2013 р. – 31 с.

Упорядники:

В.В. Середа – старший викладач кафедри теплоенергетики і машинознавства;

В.В. Куба – старший викладач кафедри теплоенергетики і машинознавства;



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Відповідальний за випуск: О.А. Рябенко, д.т.н., професор, завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.



ЗМІСТ

Передмова.....	3
<u>Лабораторна робота №1. Розробка хмарних властивостей робочих тіл теплоенергетичних установок.....</u>	4
<u>Лабораторна робота №2. Ексергетичний розрахунок холодильних установок в середовищі Mathcad.....</u>	7
<u>Лабораторна робота №3. Графоаналітичний метод розрахунку вертикального кожухотрубного конденсатора в середовищі Mathcad.....</u>	13
<u>Лабораторна робота №4. Графоаналітичний метод розрахунку горизонтального кожухотрубного випарника затопленого типу в середовищі Mathcad.....</u>	17
<u>Лабораторна робота №5. Конструювання теплообмінного обладнання на ЕОМ з використанням САПР.....</u>	21
<u>Лабораторна робота №6. Компонування трубного пучка теплообмінного обладнання на ЕОМ з використанням САПР.....</u>	26
Список рекомендованої літератури.....	31

ПЕРЕДМОВА

Для закріплення теоретичного матеріалу з дисципліни «Проектування теплоенергетичних установок», яка вивчається студентами напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика», передбачається проведення циклу лабораторних робіт. Виконання цих робіт повинно забезпечити практичну підготовку та активну самостійну роботу студентів.

На лабораторних роботах студенти ознайомлюються із хмарними функціями, вчать користуватися інженерним офісом Mathcad, вивчають можливості використання різних САПР при проектуванні теплоенергетичних установок.

Мета даних методичних вказівок – поглибити і практично закріпити навички автоматизації і програмування розрахунків на ЕОМ, які виконуються при проектуванні різноманітних теплоенергетичних установок.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1.

ТЕМА: РОЗРОБКА ХМАРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОЧИХ ТІЛ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

МЕТА РОБОТИ: Навчитись використовувати хмарні функції для визначення теплофізичних властивостей різних робочих тіл

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Користувачеві Mathcad не потрібно відкривати і вставляти в свій розрахунок інший розрахунковий документ – достатньо зробити посилання на потрібний для нього файл. Після цього користувач може використовувати функції, запрограмовані в ньому, так, ніби вони вже були створені в його власному документі. Таке посилання можна робити не тільки на Mathcad-документи, які зберігаються на робочій станції, але і на сайтах Інтернету. Це відкриває широкі можливості для реалізації нової технології інженерних розрахунків.

Наприклад, щоб розрахувати тиск холодоагенту у випарнику і конденсаторі холодильної установки, потрібно знати відповідну залежність тиску від температури на лінії насичення. Як правило, інженери в цьому випадку звертаються до таблиць, де дана залежність «надрукована» дискретними значеннями тиску і температури, роблять при необхідності інтерполяцію даних і вводять отриманий результат (тиск) в розрахунок. Інший сценарій – інженер робить розрахунок за формулою, яка описує залежність температури від тиску на лінії насичення. Так чи інакше, інженер відволікається від вирішення основного завдання на пошук чи створення функцій, які повертають термодинамічні властивості холодоагенту, або на «ручний» розрахунок і введення потрібного значення. Ось тут йому може істотно допомогти сайт [1].

На рис. 1 можна бачити посилання з ім'ям R290PST(T), дотримуючись якого можна скачати Mathcad-функцію, яка повертає тиск насиченої пари пропану в залежності від температури. Але можна не скачувати цю функцію і не вставляти її в свій розрахунок – достатньо зробити Інтернет-посилання на цю функцію.



Якщо до посилання R290PST(T) підвести курсор миші і натиснути її праву кнопку, то з'явиться діалогове вікно, де можна знайти позицію *Властивості*. Якщо клацнути по ній, то відкриється ще одне діалогове вікно (див. рис. 1), де можна бачити і скопіювати в буфер обміну відповідну адресу, за якою в Інтернеті зберігається потрібна для нашого розрахунку функція.

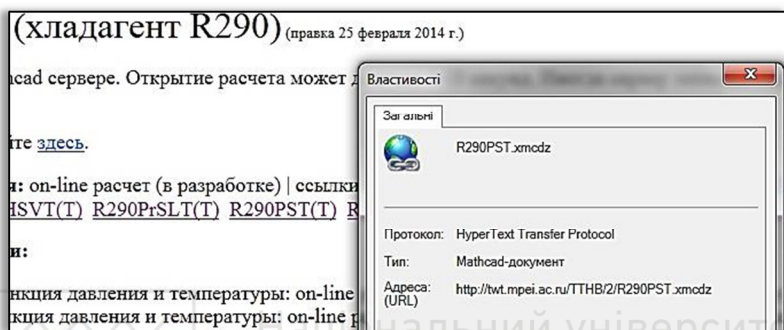


Рис. 1. Властивості посилання на Інтернет-функцію

Щоб ця функція стала видимою в розрахунку холодильної установки, необхідно в робочому Mathcad-документі зробити відповідне посилання на неї. Ця операція показана на рис. 2: у середовищі Mathcad з меню *Вставка* віддається команда *Посилання* та в текстову область діалогового вікна, вставляється адреса, скопійована з сайту [1].

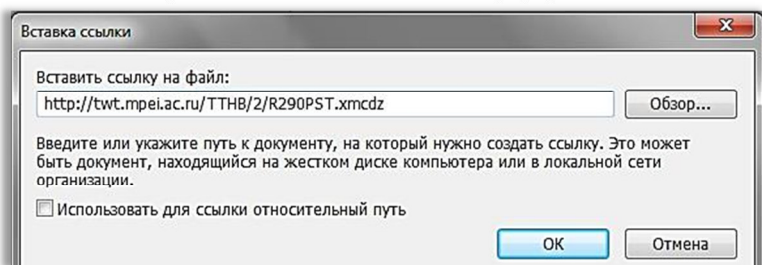


Рис. 3. Вставка посилання на Інтернет-функцію в розрахунок

Після такої вставки (див. рис. 3) можна розрахувати потрібний тиск насичення холодоагенту R290. Більш детально послідовність створення «хмарних» властивостей робочих тіл описана у [2].



Таким чином, за рахунок Інтернет-посилань можна зробити видимими всі функції по термодинамічних властивостях різних робочих тіл, які представлені на сайті [1].

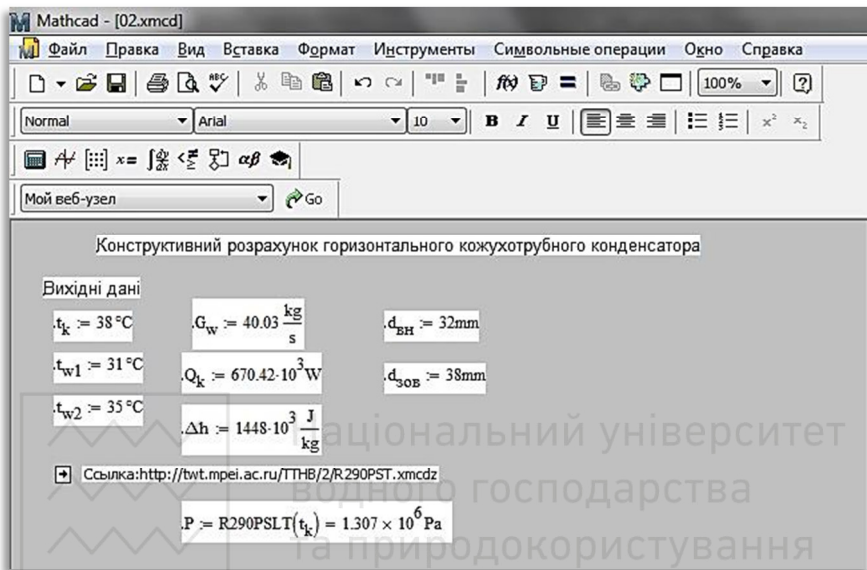


Рис. 3. Розрахунок конденсатора холодильної установки

2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ

1. За допомогою програми REFPROP визначити теплофізичні властивості заданого робочого тіла.
2. В програмі Mathcad створити функцію для визначення заданої властивості в залежності від температури.
3. Користуючись методикою описаною вище, вставити посилання на створену функцію у власний документ.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Поясніть термін «хмарні» властивості.
2. Як в програмі Mathcad створити функцію для визначення заданої властивості в залежності від температури?
3. Як вставити посилання на Інтернет-функцію у інший документ?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ТЕМА: ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

МЕТА РОБОТИ: Навчитись розраховувати величини втрати ексергії у всіх процесах холодильної установки.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Мірою, стандартом якості енергії служить *ексергія* – максимально можлива корисна робота, яку можна отримати із даної форми енергії в умовах навколишнього природного середовища ($P_{н.с.}, T_{о.н.}, W_{о.с.} = 0, Z_{о.н.} = 0$;). При протіканні реальних процесів мають місце втрати ексергії, пов'язані з механічним тертям, подоланням місцевих гідравлічних опорів, теплообміном при кінцевій різниці температур в теплообмінних апаратах, тепловими втратами в навколишнє середовище крізь шар теплової ізоляції трубопроводів, апаратів та агрегатів, тощо. Втрачена ексергія безповоротно перетворюється в *анергію* – ту частину енергії, з якої в умовах навколишнього природного середовища немає можливості отримати корисну роботу взагалі. Тому необхідно відслідковувати величини втрат у всіх процесах, і там де це можливо уникати зайвих втрат. Це пов'язано з тим, що будь-які зайві втрати ексергії призводять до перевитрати первинних енергоресурсів, що в свою чергу має негативний вплив на екологічний стан навколишнього природного середовища.

1.1. Втрати ексергії в компресорі (процес 1-2)

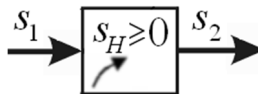


Рис. 4. Ентропійний баланс компресора

Ентропійний баланс $s_1 + s_H = s_2$, звідки створена ентропія

$$s_H = s_2 - s_1. \quad (1)$$



Питомі втрати ексергії в компресорі визначаються за рівнянням Гюї-Стодола:

$$n_{\text{км}} = s_n \cdot T_{\text{н.с.}} \quad (2)$$

Тоді повні втрати в компресорі складають

$$П_{\text{км}} = G_0 \cdot n_{\text{км}} \quad (3)$$

1.2. Втрати ексергії в конденсаторі (процес 2-3)

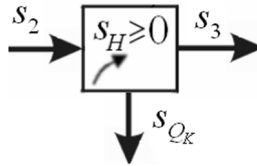


Рис. 5. Ентропійний баланс конденсатора

Ентропійний баланс $s_2 + s_n = s_3 + s_{Q_K}$, звідки створена ентропія $s_n = s_3 - s_2 + s_{Q_K} = (s_3 - s_2) + \frac{q_k}{T_{\text{н.с.}}}$ (4)

Питомі втрати ексергії в конденсаторі:

$$n_K = s_n \cdot T_{\text{н.с.}} \quad (5)$$

Тоді повні втрати в конденсаторах складають

$$П_K = G_0 \cdot n_K \quad (6)$$

1.3. Втрати ексергії в переохолоднику (процес 3-3n)

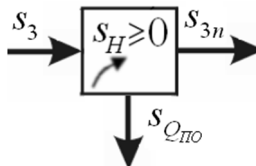


Рис. 6. Ентропійний баланс переохолодника

Ентропійний баланс $s_3 + s_n = s_{3n} + s_{Q_{по}}$, звідки створена ентропія



$$s_n = s_3 - s_2 + s_{Q_k} = (s_{3n} - s_3) + \frac{q_{ПО}}{T_{н.с.}} \quad (7)$$

Питомі втрати ексергії в переохолоднику:

$$n_{ПО} = s_n \cdot T_{н.с.} \quad (8)$$

Тоді повні втрати в переохолоднику складають

$$\Pi_{ПО} = G_0 \cdot n_{ПО} \quad (9)$$

1.4. Втрати ексергії в регенеративному підігрівнику (процеси 3n-3p та 5-1)

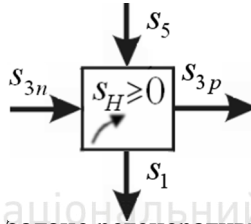


Рис. 7. Ентропійний баланс регенеративного підігрівника

Ентропійний баланс $s_{3n} + s_5 + s_n = s_{3p} + s_1$, звідки створена ентропія

$$s_n = (s_{3p} - s_{3n}) + (s_1 - s_5) \quad (10)$$

Питомі втрати ексергії в регенеративному підігрівнику:

$$n_{РП} = s_n \cdot T_{н.с.} \quad (11)$$

Повні втрати в регенеративному підігрівнику складають

$$\Pi_{РП} = G_0 \cdot n_{РП} \quad (12)$$

1.5. Втрати ексергії в регулювальному вентилі (процес 3p-4)

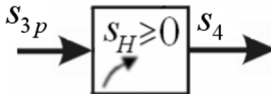


Рис. 8. Ентропійний баланс регулювального вентиля

Ентропійний баланс $s_{3p} + s_n = s_4$, звідки створена ентропія

$$s_n = s_4 - s_{3p} \quad (13)$$

Питомі втрати ексергії в регулювальному вентилі:



$$n_{PB} = s_n \cdot T_{н.с.} \cdot \quad (14)$$

Тоді повні втрати в регульовальному вентилі складають

$$П_{PB} = G_0 \cdot n_{PB} \cdot \quad (15)$$

1.6. Втрати ексергії в випарнику (процес 4-5)

Ентропійний баланс $s_4 + s_n + s_{Q_0} = s_5$, звідки створена ентропія

$$s_n = s_5 - s_4 - s_{Q_0} = (s_5 - s_4) - \frac{q_0}{T_{XH,cep}} \cdot \quad (16)$$

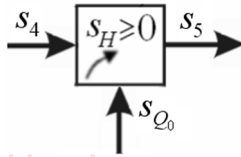


Рис. 9. Ентропійний баланс випарника

Питомі втрати ексергії в випарнику:

$$n_B = s_n \cdot T_{н.с.} \cdot \quad (17)$$

Тоді повні втрати в випарнику складають

$$П_B = G_0 \cdot n_B \cdot \quad (18)$$

1.7. Втрати в електродвигуні компресора

$$N_{ел} = N_K + П_{ел.ов.}, \quad (19)$$

звідси $П_{ел.ов.} = N_{ел} - N_K = N_{ел} - l_K \cdot G_0$.

1.8. Ексергетичний ККД холодильної установки

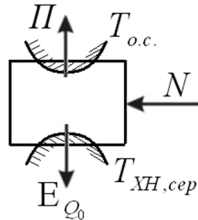


Рис. 10. Ексергетичний баланс холодильної установки



Рівняння ексергетичного балансу (об'єднане рівняння першого та другого законів термодинаміки) для холодильної установки в цілому:

$$N_{el} = E_{Q_0} + P, \quad (20)$$

де N_{el} – сумарна електрична потужність електродвигунів компресорів; P – сумарні втрати ексергії; E_{Q_0} – ексергія, що отримується споживачем холоду:

$$E_{Q_0} = -Q_0 \cdot \left(1 - \frac{T_{н.с.}}{T_{XH,сер}} \right) = Q_0 \cdot \left(\frac{T_{н.с.}}{T_{XH,сер}} - 1 \right). \quad (21)$$

Тоді ексергетичний ККД холодильної установки дорівнює:

$$\eta_{ex} = \frac{E_{Q_0}}{N_{el}}. \quad (22)$$

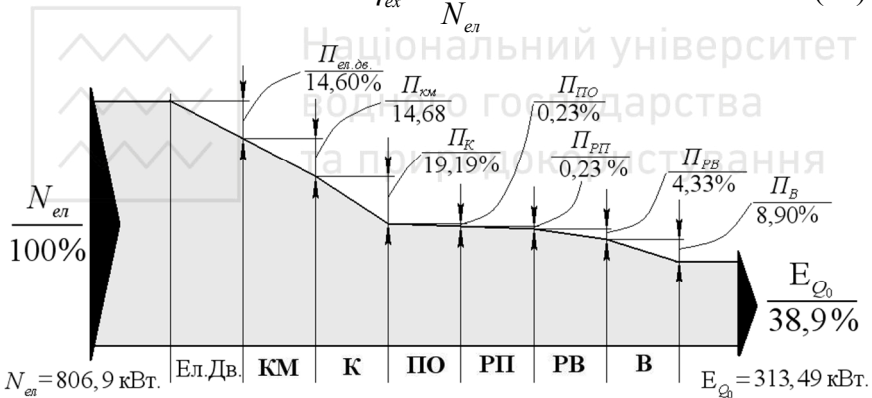


Рис. 11. Графік потоків ексергії в циклі холодильної установки:

Ел. дв. – електричний двигун компресора; КМ – компресор; К – конденсатор; ПО – переохолодник; РП – регенеративний підігрівник; РВ – регулювальний вентиль; В – випарник

Похибка розрахунків втрат полягає в використанні експериментальних даних, величини яких відрізняються від дійсних, в наслідок округлення розрахункових величин, тощо. Також в спроектованій холодильній установці присутні окрім перерахованих і інші втрати ексергії, наприклад, при подоланні робочім тілом, охолоджувальною водою або розсолем місцевих



опорів, гідравлічного тертя, різниці геодезичних відміток, при теплових втратах крізь шар теплової ізоляції, тощо.

Тому в реальній холодильній установці буде мати місце деяке зниження ексергетичного ККД, в наслідок чого буде додатково витрачатися електроенергія на компенсацію втрат. Але це не матиме великого впливу на оцінку ексергетичних показників апаратів спроектованої установки, так як не відбуватиметься різка зміна рівня втрат ексергії.

2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Використовуючи хмарні функції фізичних властивостей робочих тіл енергетики з [1], визначити значення ентропії у всіх характерних точках циклу холодильної установки.

2. В середовищі Mathcad визначити величину втрат ексергії у всіх елементах холодильної установки, користуючись формулами (1)-(19).

3. За формулами (20)-(22) визначити загальний ексергетичний ККД холодильної установки.

4. Побудувати графік потоків ексергії в циклі холодильної установки відповідно до рис. 11.

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке ексергія, анергія?
2. Чому необхідно відслідковувати значення ексергії у всіх процесах теплоенергетичних установок?

3. Як визначити втрати ексергії в компресорі?

4. Як визначити втрати ексергії в конденсаторі?

5. Як визначити втрати ексергії у випарнику?

6. Як визначити втрати ексергії у регенеративному підігрівнику?

7. Як визначається загальний ексергетичний ККД теплоенергетичної установки?

8. Як змінюється ексергетичний ККД реальної теплоенергетичної установки?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ТЕМА: ГРАФОАНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВЕРТИКАЛЬНОГО КОЖУХОТРУБНОГО КОНДЕНСАТОРА В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

МЕТА РОБОТИ: Навчитись проводити проектні розрахунки вертикальних конденсаторів графоаналітичним методом, використовуючи можливості середовища Mathcad.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Для визначення площі поверхні нагріву необхідно провести тепловий конструкторський розрахунок конденсатора, який зводиться до знаходження площі теплообмінної поверхні з рівняння

$$Q_0 = K_{F_{\text{вн}}}^K \cdot F_{\text{вн}}^K \cdot \theta_m^K, \quad (23)$$

де θ_m^K – середньологарифмічний температурний напір.

Розглянемо послідовність знаходження коефіцієнта теплопередачі $K_{F_{\text{вн}}}$ вертикального кожухотрубного конденсатора (рис. 12) графоаналітичним методом.

1) *Визначення питомого теплового потоку від холодоагента до стінки труби, віднесеного до внутрішньої поверхні теплообміну.*

Число Рейнольдса для хвильового режиму течії дорівнює:

$$\text{Re}_{xв} = 0,56 \left(\frac{\sigma}{\rho g^{\frac{1}{3}} v^{\frac{3}{4}}} \right)^{3/11}, \quad (24)$$

де σ, v, ρ – теплофізичні параметри холодоагента.

Висота труби H_{mp} , при якій буде хвильовий режим течії конденсатної плівки, визначається із формули:

$$\text{Re}_{xв} = \frac{\bar{q} H_{mp}}{r \rho v}, \quad (25)$$

де \bar{q} – середня по висоті труби густина теплового потоку, кВт/м²; $r = q_K$ – теплота конденсації.



Коефіцієнт тепловіддачі при хвильовому режимі течії півки визначається за формулою:

$$\alpha_a = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{r\rho^2\lambda^3g}{\mu H_{mp}\theta_a}} = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{r\rho^2\lambda^3g}{\mu H_{mp}}} \cdot \theta_a^{-0,25}, \quad (26)$$

Якщо врахувати, що $q_a = \alpha_a \theta_a$, то прийдемо до виразу:

$$q_a = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{r\rho^2\lambda^3g}{\mu H_{mp}}} \cdot \theta_a^{0,75}. \quad (27)$$

Як видно з формули (24), $q_a = f(\theta_a)$ – нелінійна функція, тому, для її побудови (рис. 13), необхідно виконати розрахунок для декількох значень $\theta_a = t_K - t_{cm}$.

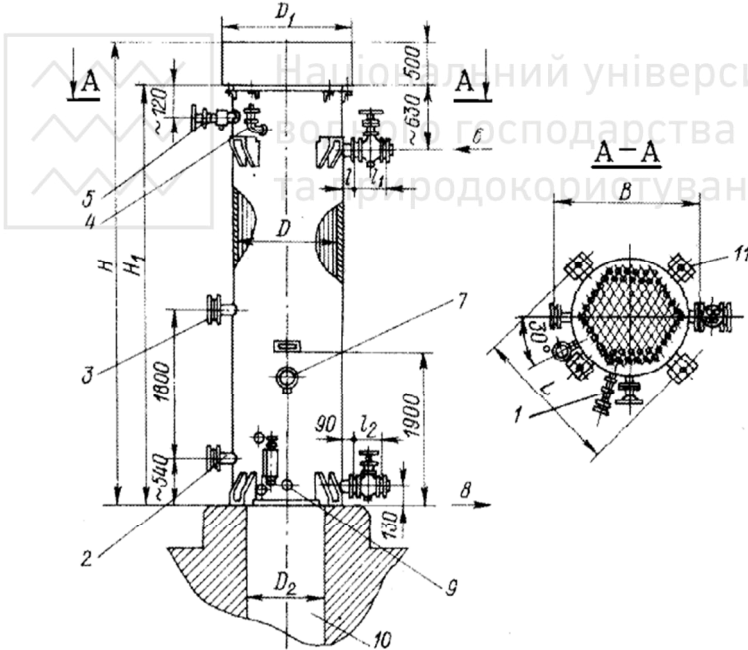


Рис. 12. Вертикальний конденсатор типу KB:

1 – вказівник рівня; 2 – до відокремлювача повітря;
3 – зрівноважувальна лінія; 4 – запобіжний клапан; 5 – випуск повітря; 6 – вхід аміаку; 7 – манометр; 8 – вихід рідкого аміаку; 9 – випуск масла; 10 – відвід води; 11 – лапи кріплення



2) *Визначення питомого теплового потоку від стінки труби до охолоджувальної води, віднесеного до внутрішньої поверхні теплообміну.*

Витрата охолоджувальної води на 1 м периметра труби:

$$\Gamma = \frac{G_{охл}}{\pi \cdot d_{вн} \cdot n_{mp}^K}. \quad (28)$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{\epsilon} = \frac{4\Gamma}{\mu_{\epsilon}}. \quad (29)$$

Критерій Нусельта для турбулентного режиму стікання плівки охолоджувальної води:

$$Nu_{\epsilon} = 0,01 \cdot (Ga \cdot Pr \cdot Re_{\epsilon})^{\frac{1}{3}}, \quad (30)$$

де $Ga = \frac{gH_{mp}^3}{\nu_{\epsilon}^2}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до охолоджувальної води визначаємо за формулою:

$$\alpha_{\epsilon} = \frac{Nu_{\epsilon} \cdot \lambda_{\epsilon}}{H_{mp}}. \quad (31)$$

Тоді питомий тепловий потік від стінки труби до охолоджувальної води, віднесений до внутрішньої поверхні теплообміну визначається за формулою:

$$q_{S,F_{вн}} = \frac{\theta_S}{\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \sum \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_{зоє,i}}{d_{вн,i}}}, \quad (32)$$

де $\theta_S = t_{cm} - t_{\epsilon,сеп}$ – прийняте перше значення середнього температурного напору.

Візьмемо друге значення температурного напору $\theta_S = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Тоді $q_{S,F_{вн}} = 0 \text{ кВт/м}^2$. Так як $q_{S,F_{вн}} = f(\theta_S)$ – лінійна функція, за двома точками будуємо пряму в координатах $q - \theta$, рис. 13.

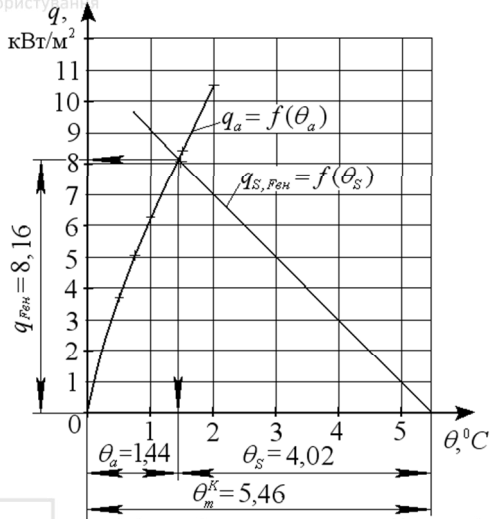


Рис. 13. До визначення питомого теплового потоку в конденсаторі

3) з рис. 13 визначаємо питомий тепловий потік $q_{F_{en}}$, віднесений до внутрішньої поверхні теплообміну.

4) Коефіцієнт теплопередачі віднесений до внутрішньої поверхні теплообміну визначається за рівнянням:

$$K_{F_{en}} = \frac{q_{F_{en}}}{\theta_m^B}. \quad (33)$$

2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Використовуючи хмарні функції з [1], визначити значення необхідних фізичних властивостей для заданого робочого тіла і охолоджувального теплоносія.

2. В середовищі Mathcad провести тепловий конструкторський розрахунок конденсатора за формулами (23)-(32), користуючись рекомендаціями [3].

3. Для визначення питомого теплового потоку, побудувати графік відповідно до рис. 13.

4. Визначити площу теплообмінної поверхні вертикального конденсатора, користуючись формулою (33).



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ТЕМА: ГРАФОАНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОЖУХОТРУБНОГО ВИПАРНИКА ЗАТОПЛЕНОГО ТИПУ В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

МЕТА РОБОТИ: Навчитись проводити проектні розрахунки горизонтальних кожухотрубних випарників графоаналітичним методом, використовуючи можливості середовища Mathcad.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Загальний вигляд кожухотрубного випарника затопленого типу показаний на рис. 14.

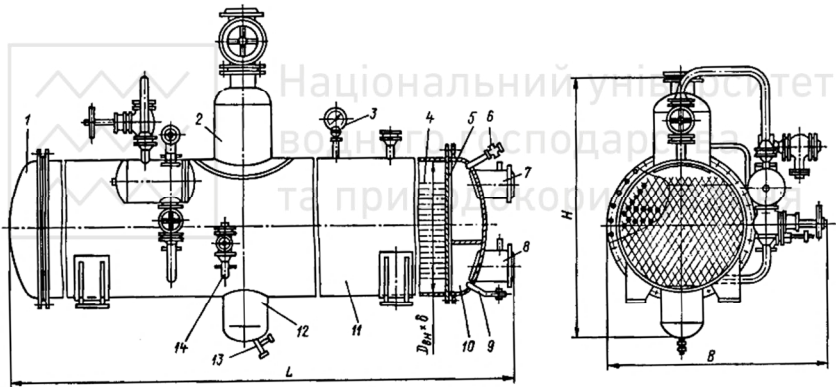


Рис. 14. Кожухотрубний випарник затопленого типу:
1,10 – кришки; 2 – сухопарник; 3 – манометр; 4 – труби;
5 – трубна решітка; 6 – вентиль для спуску повітря; 7,8 – штуцери
для входу і виходу розсолу; 9 – злив розсолу; 11 – корпус;
12 – масловідстійник; 13 – кран для спуску масла;
14 – патрубок для входу рідкого аміаку

Середньологарифмічна різниця температур у випарнику

$$\theta_{\text{сер}} = \frac{t'_s - t''_s}{\ln \frac{t'_s - t_0}{t''_s - t_0}} \quad (34)$$



Кількість теплоти, яка підводиться у випарник:

$$Q_{ov} = (1, 1 \dots 1, 2) \cdot Q_o. \quad (35)$$

Кількість труб в одному ході:

$$n_1 = \frac{4 \cdot G_{xn}}{\pi \cdot d_{вн}^2 \cdot \rho \cdot \omega_{xn}}, \quad (36)$$

де ω_{xn} – швидкість холодоносія в трубах випарника, згідно [3] приймаємо $\omega_{xn} = 1,5 \text{ м/с}$.

Режим руху холодоносія:

$$Re_{xn} = \frac{\omega_{xn} \cdot d_{вн}}{\nu_{xn}}. \quad (37)$$

Число Нусельта:

$$Nu_{xn} = 0,021 \cdot Re_{xn}^{0,8} \cdot Pr_{xn}^{0,43}. \quad (38)$$

Коефіцієнт тепловіддачі на стороні теплоносія:

$$\alpha_{xn} = Nu_{xn} \cdot \frac{\lambda_{вн}}{d_{вн}}, \quad (39)$$

Тепловий потік зі сторони теплоносія віднесений до внутрішньої поверхні труби.

$$q_{вн}^{xn} = \frac{\theta_{xn}}{\frac{1}{\alpha_{xn}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}, \quad (40)$$

де $\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 0,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}}$ – термічний опір горизонтального випарника; θ_{xn} – різниця між температурами внутрішньої стінки труби і теплоносія, °C.

Тепловий потік зі сторони холодоагента віднесений до внутрішньої поверхні труби.

$$q_{вн}^a = 580 \cdot \theta_0^{1,667} \cdot \frac{d_{306}}{d_{вн}}, \quad (41)$$

де θ_0 – різниця між температурами зовнішньої стінки труби і агентом, °C.



Для знаходження теплового потоку зі сторони теплоносія складеться система рівнянь:

$$\begin{cases} q_{вн}^{хн} = 778 \cdot \theta_{хн} \\ q_{вн}^a = 688,8 \cdot \theta_0^{1,667} \end{cases} \quad (42)$$

Розв'язок системи рівнянь графоаналітичним методом показаний на рис. 15, з якого визначаємо $q_{вн} = 2150 \frac{Вт}{м^2}$.

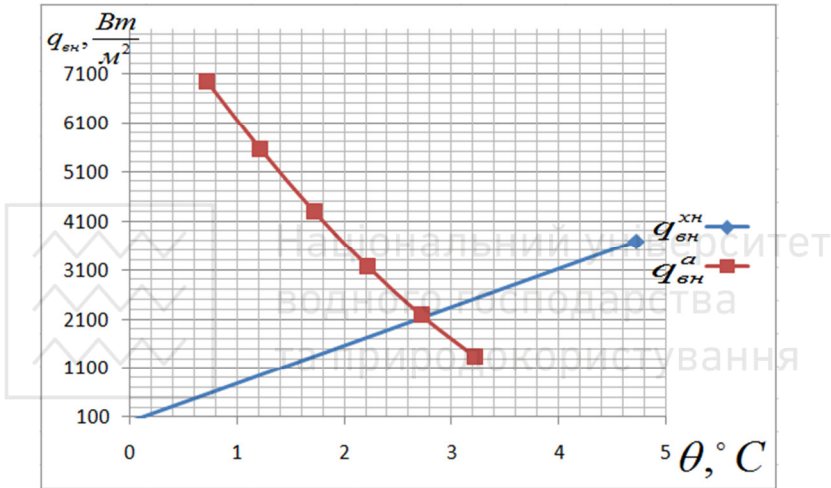


Рис. 15. Тепловий потік зі сторони аміака

Коефіцієнт теплопередачі віднесений до внутрішньої поверхні труби:

$$K_{вн} = \frac{q_{вн}}{\theta_{сеп}}. \quad (43)$$

Площа внутрішньої поверхні апарата:

$$F_{вн} = \frac{Q_{ов}}{q_{вн}}. \quad (44)$$

Приймаємо розміщення труб у трубних решітках апарата по сторонах рівностороннього трикутника із кроком труб:

$$s_1 = 1,3 \cdot d_{зоб}. \quad (45)$$



Довжина труб апарата:

$$L_1 = \frac{F_{\text{вн}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot n_1 \cdot z}. \quad (46)$$

Загальна кількість труб в теплообмінному апараті:

$$n = z \cdot n_1. \quad (47)$$

Внутрішній діаметр обичайки (кожуха апарата):

$$D_{\text{вн}} = m \cdot s_1. \quad (48)$$

Перевіряємо відношення $L_1 / D_{\text{вн}}$ рекомендоване значення якого перебуває в межах 3,5–12.

2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Використовуючи хмарні функції з [1], визначити значення необхідних фізичних властивостей для заданого робочого тіла і холодоносія.

2. В середовищі Mathcad провести тепловий конструкторський розрахунок випарника за формулами (34)-(42), користуючись рекомендаціями [3].

3. Розв'язати систему рівнянь (42) графоаналітичним методом, для чого побудувати графік відповідно до рис. 15.

4. Визначити площу теплообмінної поверхні горизонтального випарника за формулами (43) і (44).

5. Провести конструктивний розрахунок випарника, користуючись формулами (45)-(48).

3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Наведіть послідовність визначення площі поверхні нагріву вертикального конденсатора.

2. Наведіть послідовність визначення площі поверхні нагріву горизонтального випарника затопленого типу.

3. Які переваги і недоліки графоаналітичного розрахунку площі поверхні нагріву теплообмінних апаратів?

4. Які особливості використання середовища Mathcad при виконанні проектних розрахунків теплообмінного обладнання теплоенергетичних установок?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ТЕМА: КОНСТРУЮВАННЯ ТЕПЛОБІМННОГО ОБЛАДНАННЯ НА ЕОМ З ВИКОРИСТАННЯМ САПР

МЕТА РОБОТИ: Навчитись конструювати теплообмінні апарати (ТА), використовуючи різні САПР.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Принципи конструювання ТА в програмі КОМПАС-3D описані в [4]. Нижче наведені окремі моменти розробки конструкції ТА, на які слід звернути увагу при проектуванні.

Будова верхніх камер залежить від кількості ходів теплоносія у трубах, просторового розміщення апарата (вертикальний чи горизонтальний), розміщення вхідного та вихідного патрубку, наявності укріплень на патрубках та ін. Визначальним є кількість ходів у трубах теплообмінника.

Схематичне розміщення перегородок у верхніх та нижніх камерах апарату показано на рис. 16. При розміщенні перегородок у камерах, крім врахування кількості ходів, потрібно ще слідкувати за тим, щоб кількість труб у кожному ході була приблизно однаковою.

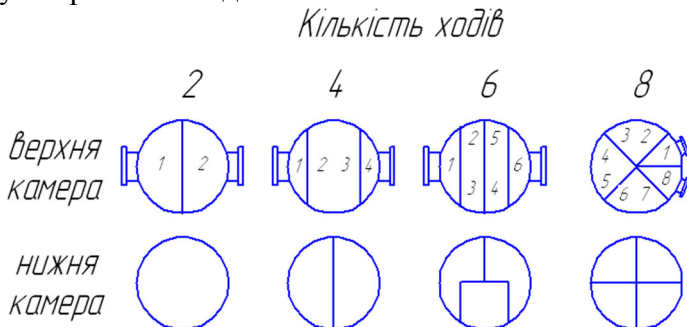


Рис. 16. Схема розташування перегородок у камерах

Моделі камер, що відповідають двоходовим теплообмінникам є досить простими – у верхній камері лише одна перегородка, що розділяє її навпіл – тому тут на них не зупинятимемось.



Набагато складнішими є кришки чотириходових теплообмінників. Верхня та нижча камери чотириходових вертикальних кожухотрубних апаратів без додаткових укріплень вхідних та вихідних патрубків показані на рис. 17 та 18 (патрубки верхньої камери розміщені з боків). Для горизонтальних апаратів камери будуються точно такими, з єдиною відмінністю – у них відсутні вушка, що служать для їх підйому вантажними чи транспортними пристроями.

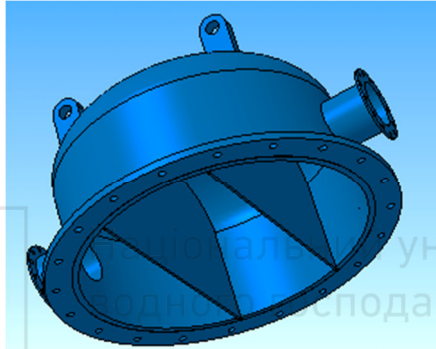


Рис. 17. Верхня камера чотириходового теплообмінника

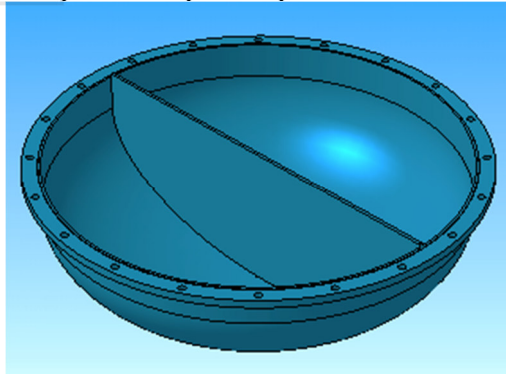


Рис. 18. Нижня камера чотириходового теплообмінника

Головною особливістю переважної більшості одноходових кожухотрубних теплообмінників є те, що обидві їх трубні решітки (верхня і нижня) жорстко закріплені. Тобто корпус, трубні решітки і камери апарату утворюють жорстко з'єднану



складальну одиницю. Проблема у тому, що теплове видовження труб, закріплених у трубних дошках, як правило перевищує збільшення розмірів кожуха апарату, що може призвести до деформації деталей теплообмінника, пошкодження труб, розгерметизації апарату тощо. Для того, щоб уникнути перелічених небажаних явищ застосовують різноманітні компенсатори видовження труб. На рис. 19 зображено корпус вертикального одноходового теплообмінника, на якому до всього вхідний та вихідний патрубки мають додаткове укріплення у вигляді ребер.

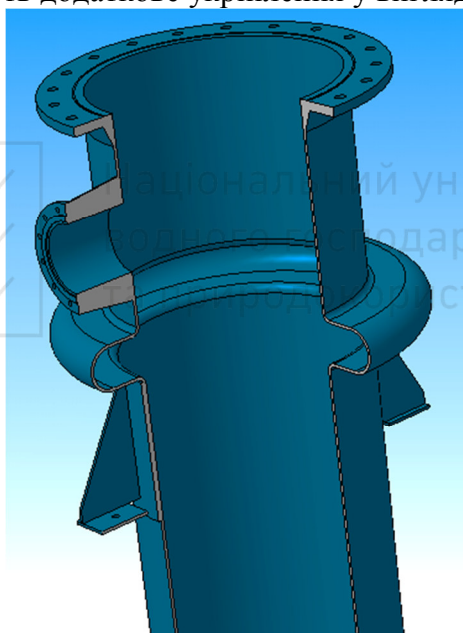


Рис. 19. Корпус одноходового теплообмінника з лінзовим компенсатором (вигляд у розрізі)

Для двох-, чотирьох-, шести- та восьмиходових теплообмінників проблема компенсації температурних видовжень труб і напружень у корпусі також має місце. Вона вирішується шляхом вільного розміщення нижньої трубної решітки, що дозволяє трубам розширюватись, зміщуючи в



осьовому напрямку трубно дошку і нижню камеру. З цього випливає 2 можливих варіанти побудови корпусів таких апаратів:

а) якщо діаметр нижньої трубно решітки (з урахуванням фланців під болти) буде меншим внутрішнього діаметра кожуха апарата, то корпус виконується суцільним. Якщо бути точним, то в дійсності корпус не є суцільним, так як днище в будь-якому випадку виготовляється окремо, а потім приварюється, але так як на моделі зварних швів не позначають, то умовно 3D-модель можна вважати за одне тіло.

б) якщо діаметр нижньої трубно решітки вийде більшим внутрішнього діаметра кожуха (що відповідає випадку щільно заповненого міжтрубного простору), то днище доведеться виготовляти окремо, і за допомогою болтів з'єднати з корпусом, інакше теплообмінний апарат просто неможливо буде зібрати.

На рис. 20 зображені моделі кожухів горизонтальних теплообмінних апаратів.

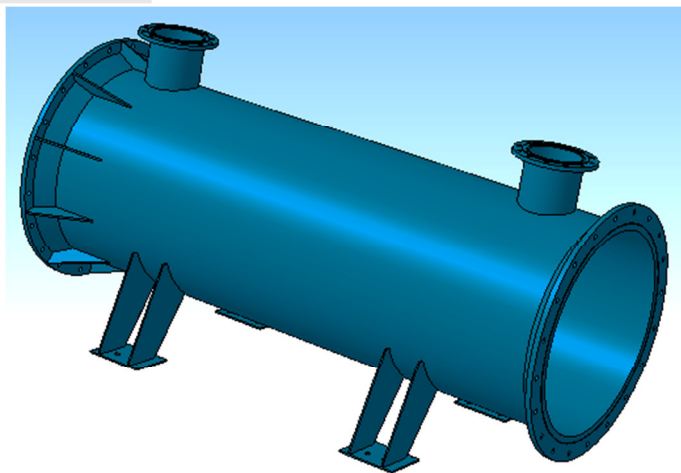


Рис. 20. Кожух горизонтального кожухотрубного теплообмінника



Усі інші моделі деталей (труби, паранітові прокладки, днища) будуються подібно до наведених вище принципів, враховуючи тип апарата, його теплові і конструктивні особливості тощо.

2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Користуючись відповідною літературою та рекомендаціями наведеними вище, сконструювати теплообмінний апарат заданого типу в будь-якій САПР.

2. Результат представити у вигляді креслення, приклад якого показаний на рис. 21.

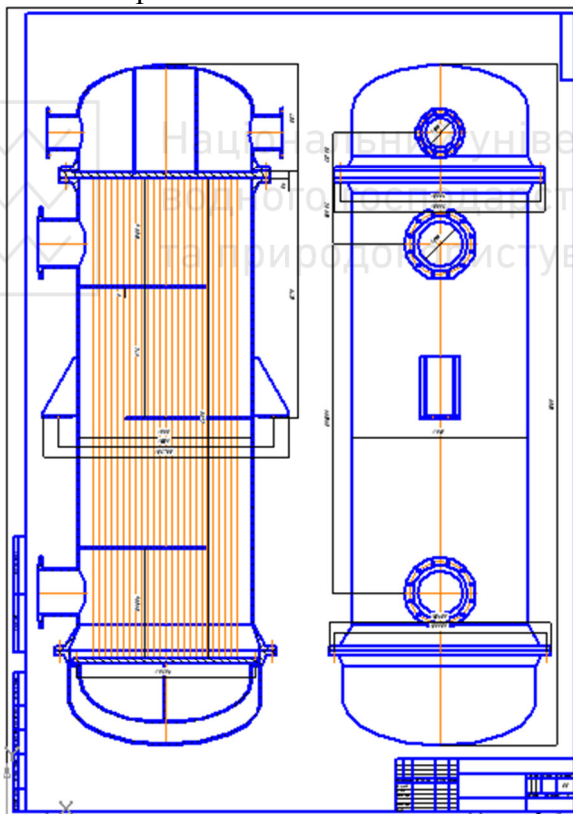


Рис. 21. Креслення загального вигляду ТА



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ТЕМА: КОМПОНУВАННЯ ТРУБНОГО ПУЧКА ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ НА ЕОМ з ВИКОРИСТАННЯМ САПР

МЕТА РОБОТИ: Навчитись виконувати компоновку трубного пучка ТА, користуючись різними САПР.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Розробка і компоновка трубного пучка в програмі КОМПАС-3D детально описані в [4]. Нижче наведена послідовність компонування трубного пучка, яка починається з розробки конструкції трубної решітки.

Основними відмінностями між трубними решітками різних теплообмінних апаратів є кількість та розміщення в них отворів, в які кріпляться труби. Розміщення труб, як уже не раз зазначалось, залежить від кількості ходів та способу розміщення труб у перерізі (по концентричних колах чи рівносторонніх трикутниках).

Трубна решітка одноходового теплообмінного апарата з розміщенням труб по концентричним колам зображена на рис. 22. Загальна кількість труб – 279, кількість труб на діаметрі – 56, перегородок немає.

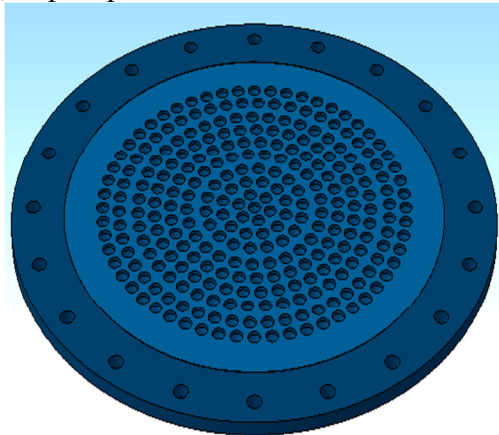


Рис. 22. Трубна решітка одноходового теплообмінника з розташуванням труб по концентричним колам



У отворах решітки робляться фаски під розвальцьовку труб, причому глибина розвальцьовки рівна, мм:

$$h = 0.25 \cdot h_{тр.реш}, \quad (49)$$

де $h_{тр.реш}$ – висота трубної решітки, мм.

Максимальний діаметр розвальцьованого отвору приймається, мм:

$$d_{\max} = 2 \cdot \frac{\frac{h}{2} + \frac{d_3}{2}}{2} = \frac{h + d_3}{2} \quad (50)$$

де d_3 – зовнішній діаметр трубки, мм.

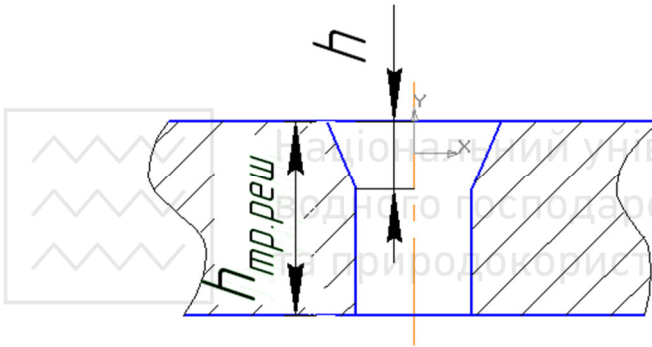


Рис. 23. Отвір у трубній решітці

Верхня трубна решітка чотириходового апарата з шестикутним розташуванням труб показана на рис. 24. Зверніть увагу, на поверхні решітки між трубами передбачені пази, в які вставляються перегородки, що розділяють ходи в трубках. Розміщення пазів повністю повторює розміщення перегородок в кришках для кожного конкретного теплообмінника. На рис. 24 зображена модель саме верхньої дошки, так як в нижній паз лише один і розміщений сторого посередині (але розміщення отворів аналогічне). Глибина пазу рівна товщині стінки корпусу, ширина – товщині перегородки (тобто, у більшості випадків, теж товщині стінки корпусу). Всього на зображеній решітці 517 отворів.

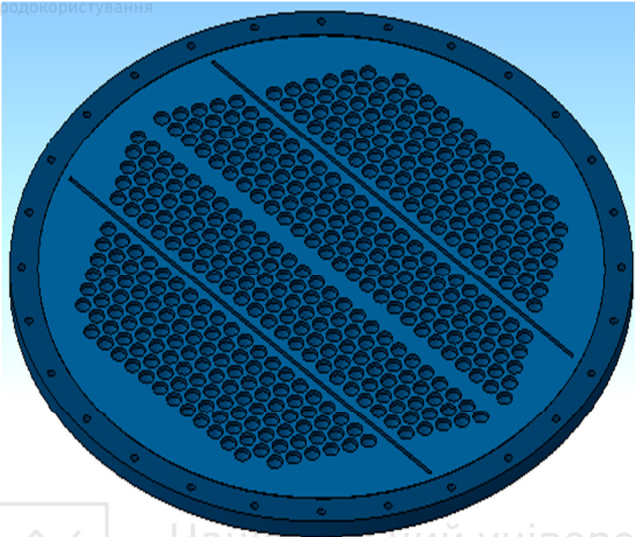


Рис. 24. Трубна решітка верхньої камери чотиреходового теплообмінника з розташуванням труб по вершинам рівносторонніх трикутників

Наступним етапом конструювання трубного пучка після розробки трубних решіток є розміщення перегородок. Вигляд, який набув трубний пучок показано на рис. 25. Після успішного розміщення перегородок, кількість яких визначається кількістю розрахованих ходів у міжтрубному просторі, необхідно приступити до вставки верхньої трубної решітки. Після неї йде вставка верхньої камери, нижньої трубної решітки (якщо така є, тобто якщо теплообмінник не з U-подібними трубками), та нижньої камери (також, якщо вона присутня в апараті – тобто корпус не суцільний).

Всі інші деталі (корпус, паранітові прокладки, днище) вставляються аналогічно. Далі виконуються операції зі встановлення шайб, шпильок і гайок на верхні та нижні фланці корпусу.

Отриману збірку трубного пучка теплообмінного апарата, що розглядався у якості прикладу, показано на рис. 26.

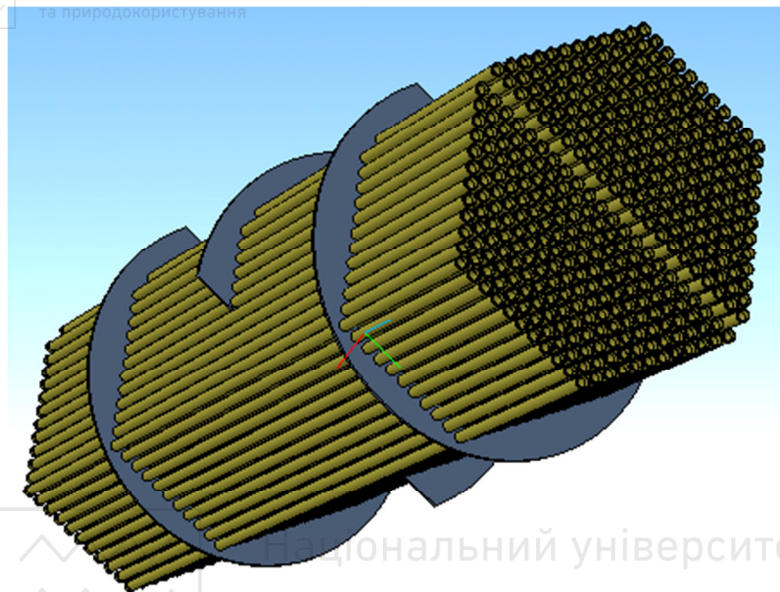


Рис. 25. Розстановка сегментних перегородок

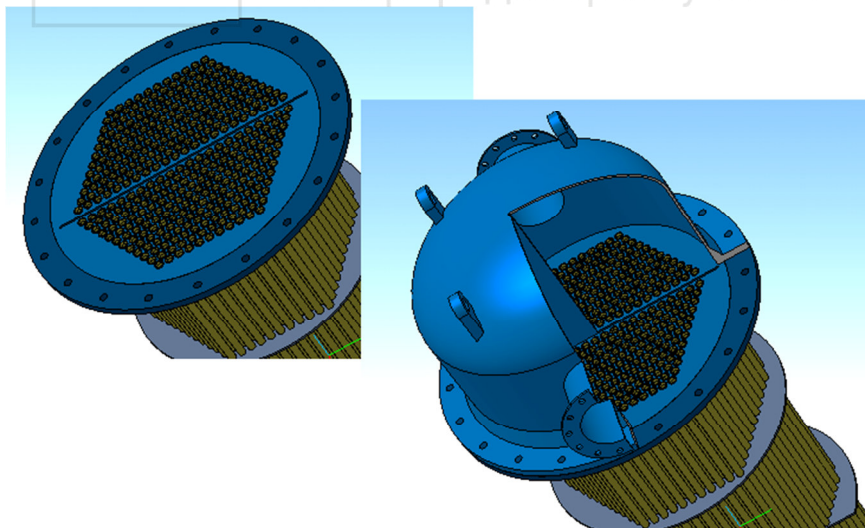


Рис. 26. Вставка верхньої трубної решітки і верхньої камери

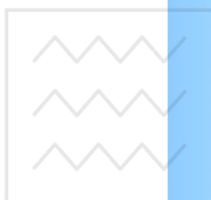


Рис. 27. Модель кожухотрубного теплообмінного апарата

2. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Користуючись відповідною літературою та рекомендаціями наведеними вище, виконати компоновку трубного пучка теплообмінного апарата заданого типу в будь-якій САПР.

2. Результат представити у вигляді креслення, приклад якого показаний на рис. 27.



3. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Наведіть послідовність конструювання теплообмінного обладнання в програмах САПР.
2. Наведіть послідовність компонування трубного пучка в програмах САПР.
3. Які переваги і недоліки таких найбільш поширених САПР, як КОМПАС-3D, SolidWorks, AutoCad та Inventor при використанні їх для проектування теплоенергетичних установок?
4. Розрахунку кожуха на міцність і стійкість.
5. Розрахунок труб на міцність та стійкість.
6. Розрахунок кріплення труб в трубній решітці.
7. Розрахунок лінзового компенсатора.
8. Загальні вимоги до товщини трубної решітки.
9. Визначення зусиль в трубній решітці.
10. Визначення напружень в трубній решітці.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сайт <http://twf.mpei.ac.ru>
2. Очков В.Ф. и др. «Облачный» сервис по свойствам рабочих веществ холодильных установок // Вестник Международной академии холода, №2, 2013 г., с. 23-28.
3. Холодильні установки. Проектування: Учебний посібник / Чумак І.Г., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю., та ін.; Під ред. докт. тех. н., проф. І.Г. Чумака. – 4-е вид. переробл. і доп. – Одеса: Друк, 2008. – том 3, 156 с.
4. Кидрук Максим. Работа в системе проектирования Компас-3D V11. – Эксмо, 2010.