

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

С.В. Гулієнко, А.Р. Степанюк

ПРОЦЕСИ ПЕРЕНЕСЕННЯ У СУЦІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

**Рекомендації до виконання
розрахункової роботи**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра,
за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування
обладнання хімічної інженерії»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»,*

Електронне мережеве навчальне видання

2-ге видання, перероблене і доповнене

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

УДК 66.026.4(075.8)(076)
П78

Укладачі: *Гулієнко Сергій Валерійович*, канд. техн. наук., доцент
Степанюк Андрій Романович, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: *Сокольський Олександр Леонідович*, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний редактор *Корнієнко Ярослав Микитович*, д-р техн. наук, проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол N __ від __.__.2023 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол N __ від __.__.2023 р.)
Електронне мережне навчальне видання*

Гулієнко С.В.

П78 Процеси перенесення у суцільних середовищах. [Електронний ресурс]: рек. до виконання розрахунк. роботи : навч. посіб. для студ. ступеня бакалавра за освітн. програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спец. 133 «Галузеве машинобудування» / С.В. Гулієнко, А.Р. Степанюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2-ге вид., переробл. та доповн. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 37 с.

У посібнику викладено теоретичні відомості щодо вибору насосу, описано методику визначення теплофізичних властивостей теплоносіїв, вибору діаметра трубопроводу, коефіцієнта тертя, коефіцієнтів місцевих опорів, сумарних витрат енергії, описано методику вибору насоса та граничної висоти всмоктування. Наведено алгоритм виконання розрахункової роботи. Описано вимоги до оформлення та задачі розрахункової роботи. Наведені індивідуальні завдання для розрахунків. Всі необхідні довідкові дані для виконання розрахунків наведені в тексті посібника. Навчальний посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавр за спеціальністю 133 Галузе машинобудування, буде також корисним для бакалаврів за спеціальностями 101 Екологія, 161 Хімічні технології та інженерія та 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка.

УДК 66.026.4(075.8)(076)

Реєстр. № НП 23/24-346. Обсяг 0,8 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© С.В. Гулієнко, А.Р. Степанюк, 2023
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

Зміст

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ | 5 |
| 1.1 | Визначення теплофізичних властивостей | 5 |
| 1.2 | Вибір діаметра трубопроводу | 5 |
| 1.3 | Визначення витрат енергії | 7 |
| 1.4 | Визначення коефіцієнту тертя | 7 |
| 1.5 | Визначення коефіцієнтів місцевих опорів | 8 |
| 1.6 | Визначення сумарних витрат | 14 |
| 1.7 | Вибір насоса | 14 |
| 1.8 | Гранична висота всмоктування | 15 |
| 2 | АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ | 17 |
| 3 | ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ..... | 18 |
| 3.1 | Завдання на розрахункову роботу..... | 18 |
| 3.2 | Склад, обсяг і структура розрахункової роботи | 18 |
| 3.3 | Вказівки до виконання розділів розрахункової роботи | 18 |
| 3.4 | Структура пояснювальної записки | 20 |
| 3.5 | Вимоги до форматування пояснювальних записок..... | 20 |
| 3.6 | Виклад тексту розрахункової роботи | 21 |
| 3.7 | Оформлення розрахунків | 21 |
| 3.8 | Рекомендації щодо порядку захисту розрахункової роботи | 24 |
| | ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 25 |
| | Додаток А Зразок титульного листа розрахункової роботи | 27 |
| | Додаток Б Завдання до розрахункової роботи. | 28 |
| | Додаток В Приклад оформлення розрахункової роботи | 29 |
| | Додаток Г Приклад оформлення наступних аркушів розрахункової роботи | 31 |
| | Додаток Д Теплофізичні властивості розчинів NaOH..... | 33 |
| | Додаток Ж Технічна характеристика відцентрових насосів..... | 34 |

Вступ

Переміщення рідин і газів є однією з найважливіших проблем сьогодення. У всіх технологічних процесах для забезпечення протікання процесів необхідно забезпечувати певні витрати компонентів через апарати (циклони, центрифуги, ректифікаційні колони, теплообмінники, тощо) [1, 2]. Величина гідродинамічного опору апарата впливає на енергетичні витрати для проведення процесів. Вдалий підбір обладнання для переміщення дозволить значно зменшити як капітальні так і експлуатаційні витрати.

Метою роботи є підбір обладнання для забезпечення необхідних витрат сировини.

Задачі розрахункової роботи:

- вибір діаметру трубопроводу;
- визначення втрат на тертя та на місцеві опори;
- вибір насосів;
- визначення граничних висот всмоктування.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Визначення теплофізичних властивостей

Матеріал викладено за авторами [1, 10].

В усіх випадках, коли це можливо слід використовувати дослідні дані про властивості рідин, котрі наводяться в різноманітних довідниках. Зазвичай в довідковій літературі дані наводять для відносно широких інтервалів фізичних умов, температур, тисків, концентрацій тощо. Проміжні значення знаходять інтерполяцією.

Для практичних цілей доцільно користуватися формулою лінійної інтерполяції:

$$y^* = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x^* - x_1), \quad (1)$$

де y_1, y_2 – табличні значення теплофізичних властивостей;

x_1, x_2 – відповідні табличні значення температури °С або К;

x^* – значення температури, при якій треба визначити теплофізичні властивості °С або К;

y^* – величина теплофізичних властивостей, яку треба визначити.

За відсутності дослідних даних властивості речовин слід визначати розрахунковим шляхом. При повній відсутності даних або неможливості провести розрахунок теоретично необхідно користуватися подібністю фізико-хімічних та інших властивостей.

1.2 Вибір діаметра трубопроводу

Матеріал викладено за авторами [1...10]. Внутрішній діаметр трубопроводу може бути визначений за залежністю:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} \quad (2)$$

де G – витрата (видаток) рідини. кг/с;

ρ – густина рідини, кг/м³;

w – швидкість руху рідини в трубопроводах, м/с.

Витрата (видаток) задана за умовою розрахунку, густина є властивістю речовини, що визначається за довідковими даними (додаток 1). На основі експериментальних і техніко-економічних даних встановлені середні швидкості, які рекомендуються при визначенні діаметру трубопроводу при русі рідини та газів в трубопроводах доцільно вибирати, відповідно до таких рекомендацій, w , м/с:

при русі рідини самотоком:

в'язкі 0,1–0,5

малов'язкі 0,5–1,0

при перекачуванні рідини насосами:

у всмоктувальних трубопроводах 0,8–2,0

у нагнітальних трубопроводах 1,5–3,0

Бажано вибирати швидкість однаковою у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах.

Після розрахунку діаметру трубопроводу необхідно прийняти стандартні розміри внутрішнього діаметру трубопроводу з такого ряду, мм: **19, 28, 32, 39, 51, 81, 98, 121, 147, 207, 257, 313, 359, 406, 506.**

Після того, як приймається діаметр трубопроводу, необхідно уточнити швидкість рідини в трубопроводах, м/с:

$$w = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot d^2} \quad (3)$$

де G – продуктивність, кг/с;

ρ – густина, кг/м³;

d – діаметр трубопроводу, м.

1.3 Визначення витрат енергії

Матеріал викладено за авторами [1, 2 4...10].

Всі гідравлічні втрати енергії діляться на два типи: втрати на тертя по довжині трубопроводів (h_m), який залежить від довжини та площі перерізу трубопроводів, їх шорсткості, в'язкості рідини та швидкості руху і місцеві втрати ($h_{\text{м}}$), викликані такими елементами трубопроводів, в яких внаслідок зміни розмірів або конфігурації русла відбувається зміна швидкості потоку, відрив потоку від стінок русла і виникнення вихороутворення, м:

$$h_d = h_m + h_{\text{м}} \quad (4)$$

Більш складні випадки місцевого опору є з'єднаннями або комбінації перерахованих найпростіших опорів.

За одиницю вимірювання напору і, відповідно, втрат напору (гідравлічних опорів) у гідравліці прийнято метри водяного стовпа (м. вод. ст., або у системі Сі використовується Па).

З умови, що $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$, то можемо записати, що втрати напору, Па:

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_{\text{м}}, \quad (5)$$

1.4 Визначення коефіцієнту тертя

Матеріал викладено за авторами [1, 2 4...10].

Для круглих труб сталого перерізу втрати напору на тертя визначають за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta P_m = \left(\lambda \frac{l}{d} \right) \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (6)$$

де l – сумарна довжина трубопроводу, м;

λ – коефіцієнт втрат на тертя по довжині трубопроводу (також він називається коефіцієнт Дарсі), який залежить від в'язкості, речовини, що транспортується.

Коефіцієнт втрат на тертя залежить від режиму руху рідини, тому для його визначення необхідно розрахувати критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (7)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с (додаток 1).

При ламінарному режимі ($\text{Re} < 2300$), коефіцієнт тертя визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (8)$$

При ($\text{Re} > 2300$) коефіцієнт тертя визначається за формулою:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right] \quad (9)$$

де ε – відносна шорсткість:

$$\varepsilon = \frac{e}{d} \quad (10)$$

де e – абсолютна шорсткість стінок трубопроводу. Для сталевих трубопроводів з незначною корозією приймається $e=0,2$ мм. Інформація щодо вибору значення величини абсолютної шорсткості стінок e для інших видів труб наведена авторами [1, 2 4...10].

1.5 Визначення коефіцієнтів місцевих опорів

Матеріал викладено за авторами [1, 2 4...10]. Втрати напору у місцевих опорах визначають за формулою, Па:

$$\Delta P_m = (\xi) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (11)$$

де (ξ) – сума коефіцієнтів місцевого опору;

ξ – коефіцієнт місцевого опору, який визначається за довідковими даними по результатах експериментів.

Розглянемо найпростіші місцеві опору при турбулентному режимі течії в трубі.

1. Раптове розширення русла. Втрата напору (енергії) при раптовому розширенні русла витрачається на вихороутворенням, пов'язане з відривом потоку від стінок, тобто на підтримку обертального безперервного руху рідких мас з постійним їх оновленням (рисунок 1.1).

При раптовому розширенні русла (труби) потік зривається з кута і розширюється не раптово, як русло, а поступово, причому в кільцевому просторі між потоком і стінкою труби утворюються вихори, які і є причиною втрат енергії. Розглянемо два перетину потоку: 1-1 – в площині розширення труби і 2-2 – в тому місці, де потік, розширившись, заповнив увесь перетин широкої труби. Так як потік між розглянутими перетинами розширюється, то швидкість його зменшується, а тиск зростає. Тому другий пьезометр показує висоту на ΔH більшу, ніж перший, але якби втрат напору в даному місці не було, то другий пьезометр показав би висоту більшу ще на $h_{\text{розш}}$. Ця висота і є місцева втрата напору на розширення, яка визначається за формулою:

$$h_{\text{розш}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \cdot \frac{w_1^2}{2 \cdot g}, \quad (12)$$

або

$$\Delta P_m = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = (\xi) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (13)$$

де S_1, S_2 – площа поперечних перерізів 1-1 і 2-2.

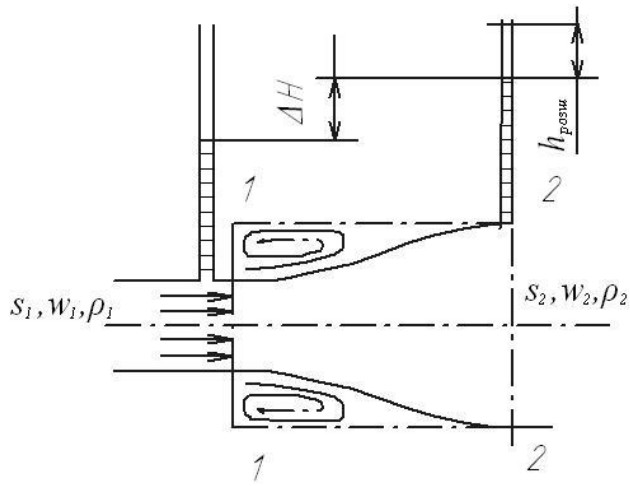


Рисунок 1.1 – Раптове розширення труби

Вираз $\left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$ позначається грецькою буквою ζ (дзета)

Вихід з труби за авторами [8] $\xi=1$.

2. Раптове звуження русла. В цьому випадку втрата напору обумовлена тертям потоку при вході в більш вузьку трубу і втратами на вихороутворення, які утворюються в кільцевому просторі навколо звуженої частини потоку (рисунок 1.2).

Повна втрата напору визначиться за виразом:

$$h_{\text{звуж}} = \zeta_{\text{звуж}} \frac{w_1^2}{2 \cdot g}, \quad (14)$$

де $\zeta_{\text{звуж}}$ – коефіцієнт опору звуження визначається по напівемпіричній формулою:

$$\zeta_{\text{звуж}} = 0,5 \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 = 0,5 \left(1 - \frac{1}{n}\right), \quad (15)$$

в якій $n = S_1/S_2$ – ступінь звуження.

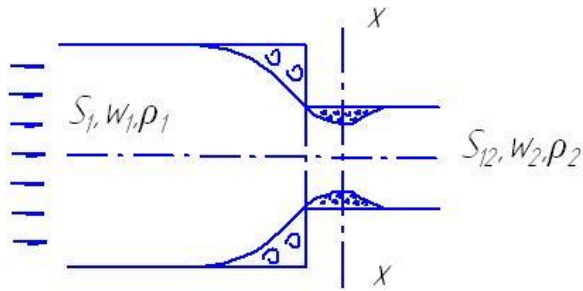


Рисунок 1.2 – Раптове звуження труби

При виході труби з резервуара великих розмірів, коли можна вважати, що $S_2/S_1 = 0$, а також за відсутності заокруглення вхідного кута, коефіцієнт опору $\zeta_{звуж} = 0,5$.

3. Поступовий поворот труби (заокруглене коліно або відвід).

Плавність повороту значно зменшує інтенсивність вихроутворення, а отже, і опір відводу в порівнянні з коліном. Це зменшення тим більше, чим більше відносний радіус кривизни відведення R/d (Рисунок 1.3). Коефіцієнт опору відводу $\zeta_{відв}$ залежить від відношення R/d , кута δ , а також форми поперечного перерізу труби.

Для відводів круглого перетину з кутом $\alpha = 90^\circ$ і $R/d = 1$ при турбулентному режимі течії можна скористатися емпіричним виразом:

$$\zeta'_{відв} = 0,051 + \frac{0,19 \cdot d}{R}. \quad (16)$$

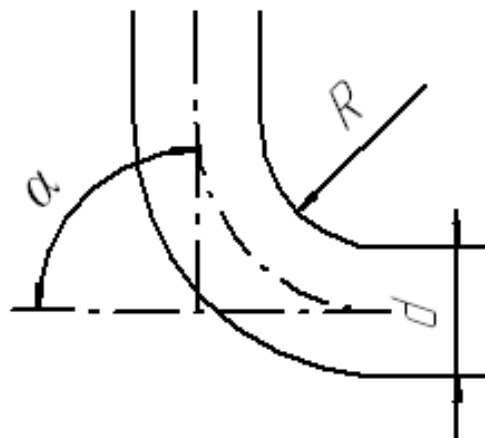


Рисунок 1.4 – Поступовий поворот труби (заокруглене коліно або відвід)

4. Гідравлічний розрахунок теплообмінників

Для трубного простору втрати тиску визначаються за формулою, яка в цілому аналогічна формулі для визначення втрат тиску в трубопроводі:

$$\Delta p_{\tau} = \lambda \frac{n \cdot L}{d_b} \frac{\rho \cdot w^2}{2} + \sum \xi \frac{\rho w^2}{2}, \quad (17)$$

де n – число ходів по трубах;

d_b – внутрішній діаметр труби.

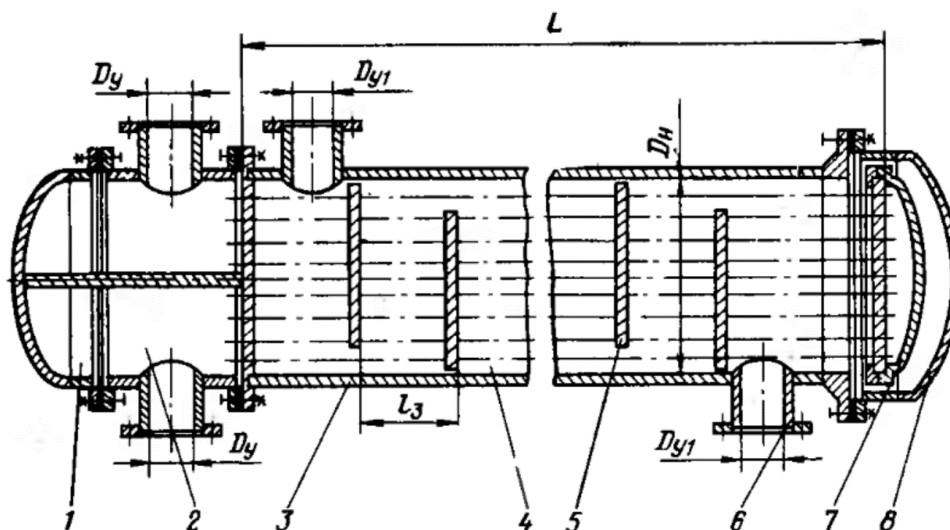
Решта позначень аналогічна позначення в формулі для розрахунку трубопроводів.

Приклад конструкції кожухотрубного теплообмінника (з плаваючою головкою) наведено на Рисунку 1.4.

Втрати тиску в міжтрубному просторі визначаються за формулою:

$$\Delta p_{\text{мт}} = \sum \xi \frac{\rho w^2}{2}. \quad (18)$$

Коефіцієнти місцевих опорів в теплообміннику наведені в таблиці 1.1.



- 1 – кришка розподільчої камери; 2 – розподільча камера; 3 – кожух;
4 – теплообмінні труби; 5 – перегородки з сегментним вирізом; 6 – штуцер;
7 – кришка плаваючої головки; 8 – кришка кожуха

Рисунок 1.4 – Приклад конструкції кожухотрубного теплообмінника (з плаваючою головкою)

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти місцевого опору в кожухотрубних теплообмінниках

| Вид місцевого опору | ξ |
|--|-------|
| Вхідна або вихідна камера | 1,5 |
| Поворот (180°) із однієї секції в іншу через проміжну камеру | 2,5 |
| Вхід в трубний простір або вихід з нього | 1,0 |
| Вхід в міжтрубний простір під кутом 90° до робочого потоку | 1,5 |
| Поворот (180°) в U-подібних трубах | 0,5 |
| Поворот через коліно (180°) в секційних підігрівачах | 2,0 |
| Поворот (180°) через перегородку в міжтрубному просторі | 1,5 |
| Огинання перегородок, що підтримують трубки | 0,5 |
| Вихід з міжтрубного простору під кутом 90° | 1,0 |
| Поворот 90° в міжтрубному просторі | 1,0 |

Крім того, гідравлічний опір пучка труб визначається за залежністю:

$$\xi = \frac{3m}{\text{Re}^{0,2}}, \quad (19)$$

де m – число рядів труб, яке можна визначити таким чином:

$$m = \sqrt{\frac{(n-1)}{3} + 0,25} \approx \sqrt{\frac{n}{3}}, \quad (20)$$

де n – кількість труб в теплообміннику.

Швидкості теплоносіїв в штуцерах можуть бути близькими до швидкості в трубах чи міжтрубному просторі. Якщо ж швидкість в штуцерах більша, то втрати тиску при вході в теплообмінник та на виході з нього розраховуються по швидкості в штуцерах. Тому при розрахунках за формулами (1.7.2) та (1.7.3) необхідно ретельно вибирати потрібне значення швидкості для отримання вірного значення втрат тиску. Діаметр та швидкість в штуцерах визначаються так само, як і при виборі діаметру трубопроводу.

При визначенні коефіцієнтів місцевих опорів, які визначаються залежно від виду місцевих опорів доцільно користуватися довідковою літературою, наприклад [1, 2, 4...10].

1.6 Визначення сумарних витрат

Матеріал викладено за авторами [1, 2, 4...10].

Сумарні витрати тиску визначаються за формулою, Па:

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_m = \left(\lambda \frac{l}{d} \right) \frac{\rho \cdot w^2}{2} + (\xi) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + (\xi) \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (21)$$

З урахуванням:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h, \quad (22)$$

втрати напору можна записати у вигляді, м:

$$h_d = h_m + h_m = \left(\lambda \frac{l}{d} \right) \frac{\rho \cdot w^2}{2 \cdot g} + (\xi) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2 \cdot g} = \left(\lambda \frac{l}{d} + (\xi) \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2 \cdot g}, \quad (23)$$

Втрати напору визначаються окремо у всмокутавальному і нагнітаючому трубопроводах за формулою (5), потім визначається їх сума:

$$h_d = h_{d_{\text{всмोक}}} + h_{d_{\text{нагн}}}, \quad (24)$$

1.7 Вибір насоса

Матеріал викладено за авторами [1...7].

Насос вибирається за продуктивністю та потужністю.

Повний напір, що розвивається насосом визначається за формулою:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} + H_z + h_d, \quad (25)$$

де p_1 – атмосферний тиск (див. завдання), МПа;

p_2 – надлишковий тиск в ємності (див. завдання), МПа;

H_z – геометрична висота підйому рідини, м;

h_d – сумарні втрати напору, м.

Корисна потужність визначається за формулою:

$$N_{\kappa} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q = \rho \cdot g \cdot H \cdot \frac{G}{\rho} = g \cdot H \cdot G, \quad (26)$$

де Q – об’ємна витрата (видаток) м³/с.

Потужність на валу двигуна:

$$N_{\delta} = \frac{N_{\kappa}}{\eta_n \cdot \eta_n}, \quad (27)$$

де η_n – ККД насоса, $\eta_n = 0,98$;

η_n – ККД передачі, $\eta_n = 0,65$.

Потужність, що споживається з мережі:

$$N_m = \frac{N_{\delta}}{\eta_{\delta}}, \quad (28)$$

де η_{δ} – ККД двигуна, $\eta_{\delta} = 0,8$.

З урахуванням коефіцієнту запасу міцності потужність установки приймається:

$$N_y = 1,5 \cdot N_m. \quad (29)$$

За значенням потужності установки та повного напору насос приймається за таблицею додатка 2.

1.8 Гранична висота всмоктування

Матеріал викладено за авторами [1...7].

Запас напору для уникнення кавітації визначається за формулою:

$$h_s = \left(0,3 \cdot Q \cdot n^2\right)^{2/3} = \left(0,3 \cdot \frac{G}{\rho} \cdot n^3\right)^{2/3}, \quad (30)$$

Гранична висота всмоктування:

$$H_{вс} \leq \frac{p_a}{\rho \cdot g} - \left(\frac{p_t}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2 \cdot g} + h_{d \text{ всмок}} + h_3 \right) \quad (31)$$

де p_a – атмосферичний тиск, Па;

p_t – тиск насичених парів за робочої температури (додаток 3).

Насос має розташовуватися не вище вказаної величини над рівнем рідини в ємності.

2 АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ

1. Визначаються теплофізичні властивості теплоносія (густина розчину NaOH, коефіцієнт кінематичної в'язкості розчину NaOH) при заданій температурі для вказаної колнцентрації за залежністю (1)

1. Визначається діаметр трубопроводу **окремо у всмоктувальному і нагнітаючому трубопроводах** за залежністю (2) та виконується підбір стандартного діаметру труби та визначається швидкість середовища в ньому за залежністю (3).

2. Визначаються втрати на тертя **окремо у всмоктувальному і нагнітаючому трубопроводах** за залежностями (7...10 та 6).

3. Визначаються втрати на місцеві опори **окремо у всмоктувальному і нагнітаючому трубопроводах** за залежностями (12...20 та 11).

4. Визначаються сумарні витрати тиску **окремо у всмоктувальному і нагнітаючому трубопроводах** за залежностями (21...24).

5. Виконується вибір насоса за залежностями (25...29).

6. Визначається гранична висоти всмоктування за залежностями (30...31).

3 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

3.1 Завдання на розрахункову роботу

Завдання видається кожному студенту особисто протягом перших двох тижнів навчання. перелік завдань наведено у додатку А.

Текст завдання підписується студентом, що буде виконувати розрахункову роботу та керівником розрахункової роботи.

3.2 Склад, обсяг і структура розрахункової роботи

Розрахункова робота є текстовим конструкторським документом.

Розрахункова робота складається з розділів, наведених у зразку змісту (Додаток Б). орієнтовний обсяг пояснювальної записки 20...40 аркушів формату А4.

3.3 Вказівки до виконання розділів розрахункової роботи

При виконанні розділів, необхідно звернути увагу на:

Розділ «**Вступ**».

У вступі коротко надається інформація про актуальність насосного обладнання та точність визначення витрат на переміщення рідин і газів. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки. В кінці вступу вказується, коли було видано завдання на проектування.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Завдання»

У розділі наводиться завдання з вказівкою величин цифрами, відповідно до варіанту та схема трубопроводів до розрахунку насоса з довжинами трубопроводів (Приклад 1).

Приклад 1

Завдання

Розрахувати і підібрати відцентровий насос для подачі $G=5,0$ т/год розчину гідроксиду натрію, концентрацією $x=10$, %, з ємності 1, що працює під атмосферним тиском ($p_1=0,1$ МПа)...

... Далі наводиться схема ...

Розділ «Розрахунок насоса»

У пояснювальній записці наводяться всі розрахунки згідно алгоритму розрахунку.

У висновках наводяться параметри вибраного насоса. Приблизний обсяг пояснювальної записки – 15...20 аркушів.

Підрозділ «Висновки»

У висновку наводяться аналіз результатів розрахунку. Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

3.4 Структура пояснювальної записки

Пояснювальна записка виконується згідно вимог ГОСТ 2.105-95.

Пояснювальна записка для курсового проекту розпочинається титульним листом з надписом „Розрахункова робота»(додаток А), наступним аркушем є „Завдання» (додаток Б). Далі розміщується аркуш з заголовком „Зміст» (додаток В). Позиція у основному надписі розрахункової роботи, позначена ХХХ – це номер варіанта, (наприклад 002).

3.5 Вимоги до форматування пояснювальних записок

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

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

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрім першої великої літери) напівжирним форматом літер (Приклад 2). Використання форматування курсивом, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

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

Відстань між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

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

Приклад 2 Оформлення заголовку

2 Гідравлічний розрахунок і вибір насосів

2.1 Вибір діаметру трубопроводу

Мета розрахунку...

3.6 Виклад тексту розрахункової роботи

Повне найменування назви розрахункової роботи на титульному листі, в основному написі і при першому згадуванні в тексті документа повинне бути однаковим з найменуванням його в основному конструкторському документі (специфікації). Найменування, що наводяться в тексті пояснювальної записки і на ілюстраціях, повинні бути однаковими.

3.7 Оформлення розрахунків

Необхідні розрахунки апаратів визначаються керівником. **Всі величини подаються в системі СІ.** В кожному підрозділі розрахунок складається за такою схемою (Приклад 3):

1. Мета розрахунку з вказівкою, що потрібно визначити.
2. Розрахункова схема або ескіз виробу (у довільному масштабі).

3. Вхідні данні.
4. Умови розрахунку.
5. Розрахунок.
6. Висновки, відповідно до мети.

Приклад 3

2.1 Вибір діаметра трубопроводу

Метою розрахунку - є визначення діаметру трубопроводу та підбір стандартного діаметру.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.4.

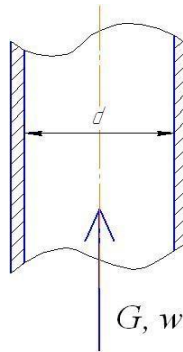


Рисунок 4.4 – Розрахункова схема до визначення діаметру трубопроводу

Вихідні дані:

продуктивність, кг/с, G 1,76

...

Густина, кг/м, ρ 500

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [2].

Вибираємо швидкість у трубопроводах, приймаємо, що швидкість у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однакова і дорівнює 0,8 м/с.

Визначаємо попередньо діаметр трубопроводу за залежністю

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,52}{3,14 \cdot 500 \cdot 0,8}} = 0,053,$$

Висновок: Приймаємо стандартний діаметром 51 мм.

При наведенні алгоритмів та комп'ютерних програм матеріал викладається у такій послідовності (Приклад 4):

Приклад 4.

Метою розрахунку - є визначення діаметру трубопроводу та підбір стандартного діаметру.

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

... Наводиться алгоритм розрахунку...

Вибираємо швидкість у трубопроводах, приймаємо, що швидкість у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однакова і дорівнює 0,8 м/с.

Визначаємо попередньо діаметр трубопроводу, за залежністю:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}}, \quad (3)$$

...

Алгоритмічна схема та її опис знаходиться в додатку А, таблиці ідентифікаторів знаходиться в додатку Б, програма розрахунку (на одній з мов MathCad, Matlab, Delphi, Python) знаходиться в додатку В.

Далі наводяться результати розрахунку...

Висновок: Приймаємо стандартний трубопровід, діаметром 51 мм.

1. Опис математичної моделі та алгоритм розрахунку.
2. Алгоритмічна-схема та її опис.
3. Данні для розрахунку.
4. Програма.

5. Результати розрахунку на ЕОМ.

6. Висновки за результатами розрахунку на ЕОМ.

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

3.8 Рекомендації щодо порядку захисту розрахункової роботи

Зброшурована пояснювальна записка повинна містити усі необхідні розрахунки.

Розрахункова робота захищається після перевірки на керівником розрахункової роботи всіх розділів, про що свідчать підпис керівника на титульному аркуші пояснювальної записки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до розрахункової роботи з кредитного модуля «Процеси та обладнання хімічних технологій – 1. Базові принципи теорії тепломасообміну» «Гідравлічний розрахунок і вибір насосів» для студентів напряму підготовки 133 - Галузеве машинобудування [Електронний ресурс] / А. Р. Степанюк, С. В. Гулієнко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 560 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 24 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21012>

2. Корнієнко Я.М. Процеси та обладнання хімічної технології: підруч. У 2 ч. Ч.1 / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 300 с.

3. Chemical engineering—Handbooks, manuals, etc. I. Perry, Robert H., date. II. Green, Don W. III. Maloney, James O. TP151.P45 1997

4. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан; – К.: Аграрна освіта, 2008. – 577 с.

5. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан; – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 464 с

6. Гідравліка: Навчально-методичний комплекс. Навчально-методичний посібник. / В.І.Дуганець, І.М.Бендера, В.А. Дідур та ін. За ред. В.І. Дуганця, І.М.Бендери, В.А. Дідура. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В. 2013. – ___ с. ISBN 978-617-539-131-0

7 . Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : конспект лекцій / укладач Е. В. Колісніченко, А. С. Мандрика, В. О Панченко. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 176 с.

8 . Ракицький В.Л. Основи проектування насадкових ректифікаційних колон: Навч. посібник / В.Л. Ракицький, І.О. Мікульонок, Г.Л. Рябцев. – К.: НМЦВО, 2000. – 200 с.

9. Процеси та обладнання хімічних технологій – 1. Базові принципи теорії тепломасообміну: навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.Р. Степанюк, С.В. Гулієнко – Електронні текстові данні (1 файл: 3,57 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 160 с.

10. Процеси та обладнання хімічних технологій-1. Базові принципи теорії тепломасообміну. Практикум з кредитного модуля [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузе машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. С. В. Гулієнко, Я. В. Гробовенко. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,93 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31112>

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

з дисципліни

ПРОЦЕСИ ПЕРЕНЕСЕННЯ У СУЦІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.

на тему: **ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК І ВИБІР НАСОСІВ**

Студент II курсу, групи ЛН-21

_____ Іван ІВАНОВ

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма: Комп'ютерно-інтегровані
технології проектування обладнання хімічної
інженерії

Керівник доцент, к.т.н.,

_____ Андрій СТЕПАНЮК

Оцінка _____

Кількість балів: _____

Київ 2023

Додаток Б Завдання до розрахункової роботи.

Розрахувати і підібрати відцентровий насос для подачі G , т/год розчину гідроксиду натрію, концентрацією x , %, з ємності 1, що працює під атмосферним тиском ($p_1=0,1$ МПа) в ємність 2 під надлишковим тиском $0,1$ МПа ($p_2=0,2$ МПа). Температура розчину t °С. Довжина всмоктуючої і нагнітаючої лінії та місцеві опори показані на схемі (рисунок 1). Геометрична висота підйому – H_z , м. Висота труб теплообмінного апарата $H_T=3$ м, діаметр теплообмінних труб, d мм, кількість труб Z .

При розрахунках всі величини перевести в систему СІ.

| n (варіант) | G , т/год | n (варіант) | x , % | n (варіант) | t , °С | n (варіант) | H_z , м | n (варіант) | L , м | n (варіант) | d , мм | Z |
|------------------|----------------|------------------|------------|------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|------------|------------------|-------------|-----|
| 1 | 5,0 | 1 | 5 | 1 | 52 | 1 | 4,2 | 1 | 5,0 | 1 | 16 | 19 |
| 2 | 5,2 | 2 | 10 | 2 | 57 | 2 | 4,6 | 2 | 5,1 | 2 | 21 | 13 |
| 3 | 5,4 | 3 | 15 | 3 | 63 | 3 | 4,8 | 3 | 5,2 | 3 | 16 | 61 |
| 4 | 5,6 | 4 | 20 | 4 | 68 | 4 | 5,0 | 4 | 5,3 | 4 | 21 | 37 |
| 5 | 5,8 | 5 | 25 | 5 | 72 | 5 | 5,2 | 5 | 5,4 | 5 | 16 | 100 |
| 6 | 6,0 | 6 | 30 | 6 | 77 | 6 | 5,4 | 6 | 5,5 | 6 | 21 | 62 |
| 7 | 6,2 | 7 | 40 | 7 | 83 | 7 | 5,6 | 7 | 5,6 | 7 | 16 | 181 |
| 8 | 6,4 | 8 | 50 | 8 | 88 | 8 | 5,8 | 8 | 5,7 | 8 | 21 | 111 |
| 9 | 6,6 | 9 | 60 | 9 | 92 | 9 | 6,0 | 9 | 5,8 | 9 | 16 | 389 |
| 0 | 6,8 | 0 | 70 | 0 | 98 | 0 | 6,2 | 0 | 5,9 | 0 | 21 | 257 |

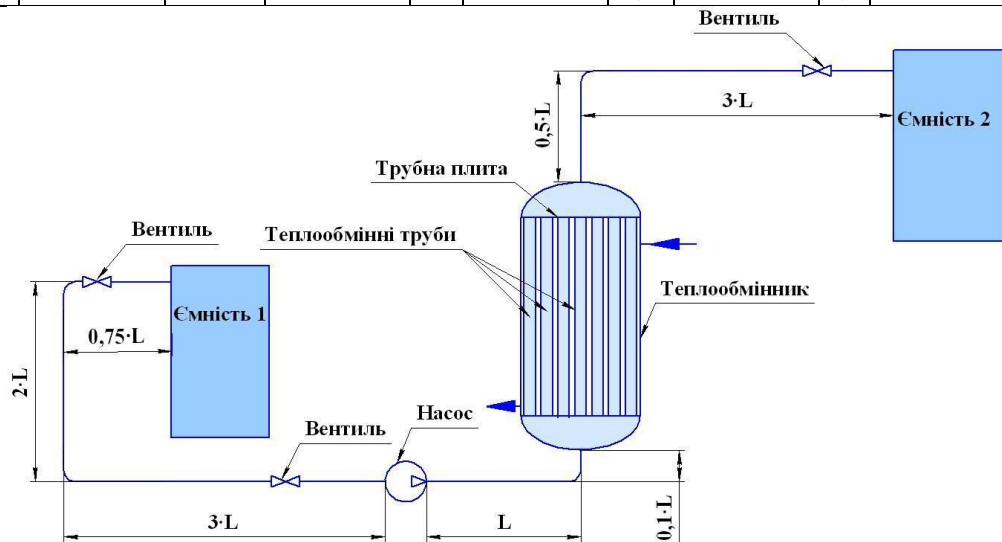


Схема трубопроводів до розрахунку насоса

| Група | Дата видачі | Студент | Завдання видав |
|-------|-------------|---------|----------------|
| | | | |

Додаток В Приклад оформлення розрахункової роботи

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

Інженерно-хімічний факультет

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних
виробництв**

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

з кредитного модуля:

**ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
– 1. БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ТЕОРІЇ ТЕПЛОМАСООБМІНУ**

на тему: **ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК І ВИБІР
НАСОСІВ**

Студент II курсу, групи ЛН-61

_____ **Іван ІВАНОВ**

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Спеціалізація: Комп'ютерно-інтегровані технології
проектування обладнання хімічної інженерії

Керівник доцент, к.т.н.,

_____ **Андрій СТЕПАНЮК**

Національна оцінка _____

Кількість балів: _____ оцінка: ECTS _____

Київ 2023

Зміст

| | |
|--|----|
| Вступ | 3 |
| 1 Завдання | 4 |
| 2 Розрахунок насоса | 5 |
| 2.1 Розрахунок теплофізичних властивостей теплоносія | 5 |
| 2.2 Вибір діаметра трубопроводу | 5 |
| 2.3 Визначення витрат на тертя | 6 |
| 2.4 Визначення витрат на місцеві опори | 7 |
| 2.5 Визначення сумарних витрат | 8 |
| 2.6 Вибір насоса | 9 |
| 2.7 Гранична висота всмоктування | 10 |
| Висновки | 11 |

| | | | | | | | |
|------------------|-----------------|---------------|----------------|-------------|--|-------------|---------------|
| | | | | | <i>ЛН91.062820.001 ПЗ</i> | | |
| <i>Кол.</i> | <i>Лист</i> | <i>докум.</i> | <i>Підпис.</i> | <i>Дата</i> | | | |
| <i>Розроб.</i> | <i>Іванко</i> | | | | <i>Форм.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Пробл.</i> | <i>Соловйов</i> | | | | 2 | 2 | |
| <i>Н. Коопр.</i> | | | | | <i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, МАХНВ</i> | | |
| <i>Чол.</i> | | | | | | | |

Гідравлічний розрахунок і
вибір насоса

Додаток Г Приклад оформлення наступних аркушів розрахункової роботи

Вступ

Переміщення рідин і газів є однією з найважливіших проблем сьогодення. У всіх технологічних процесах для забезпечення протікання процесів необхідно забезпечувати певні витрати компонентів через апарати (циклони, центрифуги, ректифікаційні колони, теплообмінники, тощо). Величина гідродинамічного опору апарата впливає на енергетичні витрати для проведення процесів. Вдалий підбір обладнання для ~~переміщення~~ дозволить значно зменшити як капітальні так і експлуатаційні витрати.

Метою роботи є підбір обладнання для забезпечення необхідних витрат сировини.

Задачі розрахункової роботи:

- вибір діаметру трубопроводу;
- визначення втрат на тертя та на місцеві опори;
- вибір насосів;
- визначення граничних висот всмоктування.

Завдання на проектування видано 03.02.2021

| | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|---------------|----------------|-------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 3 |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>Докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | | | | |

ЛН91.062820.001 ПЗ

2 Розрахунок насоса

2.1 Розрахунок теплофізичних властивостей теплоносія

Метою розрахунку – є визначення густини при заданій температурі.

Початкові дані:

| | |
|---|-----------------------|
| Температури, при якій працює установка, Т, С° | 78 |
| Концентрація, с, % | 20 |
| Температура, Т, С° | 70 |
| Густина розчину NaOH, ρ , кг/м ³ | 1190 |
| Коефіцієнт кінематичної в'язкості розчину NaOH, ν , м ² /с | $1,185 \cdot 10^{-6}$ |
| Температура, Т, С° | 80 |
| Густина розчину NaOH, ρ , кг/м ³ | 1183 |
| Коефіцієнт кінематичної в'язкості розчину NaOH, ν , м ² /с | $1,074 \cdot 10^{-6}$ |

Розрахунок ведеться за апторами [2].

<...наводиться розрахунок густини та коефіцієнта кінематичної в'язкості розчину NaOH при заданій температурі...>

Висновок: приймаємо густину теплоносія $\rho = 1140$ кг/м³, коефіцієнт кінематичної в'язкості розчину NaOH $\nu = 1,163 \cdot 10^{-6}$, м²/с

2.2 Вибір діаметра трубопроводу

Метою розрахунку – є визначення діаметру трубопроводу та підбір стандартного діаметру.

Розрахункова схема зображена на рисунку 1

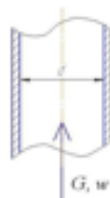


Рисунок 1 – Розрахункова схема до визначення діаметру трубопроводу

Додаток Д Теплофізичні властивості розчинів NaOH

Густина розчинів NaOH, ρ , кг/м³

| Концентрація, % | Температура розчинів, °C | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 0 | 998 | 983 | 978 | 972 | 965 | 958 | 951 | 943 |
| 5 | 1041 | 1036 | 1030 | 1024 | 1018 | 1012 | 1005 | 997 |
| 10 | 1094 | 1089 | 1083 | 1077 | 1071 | 1064 | 1057 | 1049 |
| 15 | 1148 | 1142 | 1136 | 1130 | 1124 | 1117 | 1110 | 1102 |
| 20 | 1202 | 1196 | 1190 | 1183 | 1177 | 1170 | 1163 | 1155 |
| 25 | 1309 | 1250 | 1244 | 1237 | 1230 | 1223 | 1216 | 1208 |
| 30 | 1410 | 1303 | 1296 | 1289 | 1283 | 1276 | 1269 | 1261 |
| 40 | 1410 | 1403 | 1396 | 1389 | 1382 | 1375 | 1368 | 1360 |
| 50 | 1504 | 1497 | 1490 | 1483 | 1476 | 1469 | 1462 | 1454 |
| 60 | 1595 | 1588 | 1581 | 1574 | 1567 | 1560 | 1553 | 1544 |
| 70 | 1684 | 1677 | 1670 | 1663 | 1656 | 1649 | 1642 | 1663 |

Коефіцієнт кінематичної в'язкості розчинів NaOH, $\nu \cdot 10^6$ м²/с

| Концентрація, % | Температура розчинів, °C | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 0 | 0,479 | 0,415 | 0,367 | 0,325 | 0,286 | 0,268 | 0,244 |
| 5 | 0,667 | 0,568 | 0,515 | 0,485 | 0,460 | 0,436 | 0,415 |
| 10 | 0,835 | 0,706 | 0,650 | 0,629 | 0,611 | 0,592 | 0,574 |
| 15 | 1,111 | 0,957 | 0,872 | 0,827 | 0,806 | 0,783 | 0,760 |
| 20 | 1,364 | 1,185 | 1,074 | 1,011 | 0,983 | 0,958 | 0,935 |
| 30 | 2,611 | 2,046 | 1,678 | 1,511 | 1,428 | 1,378 | 1,351 |
| 40 | 3,878 | 3,192 | 2,597 | 2,194 | 1,978 | 1,822 | 1,744 |
| 50 | 5,361 | 4,436 | 3,733 | 3,222 | 2,706 | 2,467 | 2,353 |
| 60 | 8,167 | 6,389 | 4,778 | 4,028 | 3,500 | 3,128 | 2,903 |
| 70 | 11,686 | 9,444 | 7,222 | 5,278 | 4,278 | 3,778 | 3,528 |

Додаток Ж Технічна характеристика відцентрових насосів

| Марка | Q, м ³ /Г | H, м | n, об/хв | Електродвигун | |
|---|----------------------|------|-------------|---------------|--------|
| | | | | тип | N, кВт |
| Консольні насоси загального призначення для води | | | | | |
| К 8/18 | 8 | 18 | 2900 | 4A80A2 | 1,5 |
| КМ 20/18а | 17 | 15 | 2900 | 4AX80A2 | 1,5 |
| К 20/18 | 20 | 18 | 2900 | 4A80B2 | 2,2 |
| К 20/30 | 20 | 30 | 2900 | 4A100S2 | 4,0 |
| К 45/30 | 45 | 30 | 2900 | 4A112M2 | 7,5 |
| КМ 80-50-200 | 50 | 50 | 2900 | 4A160S2 | 15,0 |
| К 90/20 | 90 | 90 | 2900 | 4A112M2 | 7,5 |
| К 90/35 | 90 | 90 | 2900 | 4A160S2 | 15,0 |
| КМ 90/55а | 90 | 90 | 2900 | 4A112M2 | 18,5 |
| КМ 100-65-200 | 100 | 100 | 2900 | 4A112M2 | 30,0 |
| К 160/30 | 160 | 160 | 1450 | 4A112M4 | 15,0 |
| КМ 150-125-315 | 160 | 200 | 1450 | 4A112M4 | 30,0 |
| К 290/18 | 290 | 290 | 1450 | 4A112S4 | 22,0 |
| К290/30 | 290 | 290 | 1450 | 4A112M4 | 37,0 |
| Насоси для хімічних виробництв. Консольні насоси. | | | | | |
| ХМ 2/25 | 2 | 25 | 2900 | 4A71B2 | 1,1 |
| Х 3/40 | 3 | 40 | 2900 | 4A1002 | 4,0 |
| Х 8/18 | 8 | 18 | 2900 | 2B100S2 | 4,0 |
| Х 8/30 | 8 | 30 | 2900 | 4A100S2 | 4,0 |
| ХМ 8/40 | 8 | 40 | 2900 | 2B100S2 | 4,0 |
| Х 8/60 | 8 | 60 | 2900 | 2A160M2 | 18,5 |
| Х 50-32-125 | 12,5 | 20 | 2900 | 4A90L2 | 3,0 |
| Х 20/18 | 20 | 18 | 2900 | 2B100S2 | 4,0 |
| Х 65-50-125 | 25 | 20 | 2900 | 4A100S2 | 4,0 |
| Х 65-50-160 | 25 | 32 | 2900 | AB100L2 | 5,5 |

| | | | | | |
|--------------------------|------|----|------|-----------|------|
| AX 65-40-200 | 25 | 50 | 2900 | 4A160S2 | 15,0 |
| X 20/31 | 20 | 31 | 2900 | 4A112M2 | 7,5 |
| X 20/53 | 20 | 53 | 2900 | 4A132M2 | 11,0 |
| XO 20/95 | 20 | 95 | 2900 | B160M2 | 18,5 |
| X 45/31 | 45 | 31 | 2900 | 4A160S2 | 15,0 |
| X 45/54 | 45 | 54 | 2900 | 4A180S2 | 22,0 |
| X 45/90 | 45 | 90 | 2900 | 4A200M2 | 37 |
| X 80-50-160 | 50 | 32 | 2900 | 4A160M2 | 18,5 |
| X 50-50-200 | 50 | 50 | 2900 | 4A160M2 | 18,5 |
| TX 72/20 | 72 | 20 | 1450 | 4A160S2 | 15 |
| AX 125-80-250 | 80 | 20 | 1450 | 4A160S4 | 15 |
| X 90/33 | 90 | 33 | 2900 | 4A180S2 | 22 |
| X 90/49 | 90 | 49 | 2900 | 4A180M2 | 30 |
| X 90/85 | 90 | 85 | 2900 | 4A225M2 | 55 |
| X 100-80-160 | 100 | 32 | 2900 | 4A180S2 | 22 |
| X 100-65-250 | 100 | 80 | 2900 | 4A225M2 | 55 |
| X 160/29 | 160 | 29 | 1450 | 4A200M4 | 37 |
| X 130/49/2 | 160 | 49 | 2900 | 4A225M2 | 55 |
| X 150-125-315 | 200 | 32 | 1450 | 4A225M4 | 55 |
| X 280/29 | 280 | 29 | 2900 | 4A225M4 | 55 |
| X 280/42 | 280 | 42 | 2900 | 4A225M4 | 55 |
| X 280/72 | 280 | 72 | 2900 | АО 101-4М | 125 |
| Герметичні електронасоси | | | | | |
| ЦГ 6,3/20 | 6,3 | 29 | 3000 | | 1,1 |
| ЦГ 63/32 | 6,3 | 32 | 3000 | | 2,2 |
| 1ЦГ 12,5/50 | 12,5 | 50 | 3000 | | 4 |
| 2ХГ -9 | 20 | 19 | 3000 | | 2,8 |
| 2ХГ -5 | 20 | 44 | 3000 | | 4,5 |
| 2ХГ -4 | 20 | 61 | 3000 | | 10 |

| | | | | | |
|------------|-----|------|------|--|----|
| ЦГ 25/50 | 25 | 50 | 3000 | | 14 |
| ЦГ 25/80 | 25 | 80 | 3000 | | 15 |
| ЦГ 50/12,5 | 50 | 12,5 | 1500 | | 3 |
| ЦГ 50/50 | 50 | 50 | 3000 | | 15 |
| ЦГ 50/80 | 50 | 80 | 3000 | | 30 |
| ЦГ 100/32 | 100 | 32 | 3000 | | 15 |
| ЦГ 100/80 | 100 | 80 | 3000 | | 45 |
| ЦГ 200/50 | 200 | 50 | 3000 | | 45 |

Додаток 3. Теплофізичні властивості водяної пари

t – температура водяної пари, °С;

T – температура водяної пари, К ;

p – тиск насичених парів водяної пари, мм. рт. ст.

P – тиск насичених парів водяної пари, МПа .

| t , °С | T , К | p , мм. рт. ст. | P , МПа |
|-------------|------------|----------------------|--------------|
| 50 | 323 | 92,51 | 0,0123 |
| 60 | 333 | 149,4 | 0,0199 |
| 70 | 343 | 222,7 | 0,0297 |
| 80 | 353 | 355,1 | 0,0473 |
| 90 | 363 | 525,8 | 0,0701 |
| 100 | 373 | 760,0 | 0,101 |
| 110 | 383 | 1072 | 0,1430 |
| 120 | 393 | 1485 | 0,1980 |