

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Навчально-науковий механічний інститут

Кафедра розробки родовищ та видобування корисних копалин

02-06-86M

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт із навчальної дисципліни
«Спеціалізовані транспортні системи у гірничому виробництві»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними програмами
спеціальності 184 «Гірництво»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості ННМІ
Протокол № 1 від 09.09.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних робіт із навчальної дисципліни «Спеціалізовані транспортні системи у гірничому виробництві» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами спеціальності 184 «Гірництво» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Корнієнко В. Я., Васильчук О. Ю., Семенюк В. В., Кучерук М. О., Падієнко О. С. – Рівне : НУВГП, 2025. – 29 с.

Укладачі:

Корнієнко В. Я., д.т.н., професор кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;

Васильчук О. Ю., к.т.н., доцент кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;

Семенюк В. В., старший викладач кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;

Кучерук М. О., старша викладачка кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин.

Падієнко О. С., інженер-технолог НВФ «Продекологія», старший викладач кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин.

Відповідальний за випуск: Корнієнко В. Я., професор, д.т.н., завідувач кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин.

Керівник групи забезпечення спеціальності

Васильчук О. Ю..

© В.Я Корнієнко.,
О.Ю. Васильчук,
В. В. Семенюк,
М. О. Кучерук,
О. С. Падієнко, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

	ст
Вступ.....	4
Практична робота № 1. Визначення продуктивності транспортних машин безперервної дії.....	5
Практична робота № 2. Розрахунок основних параметрів пластинчастого конвеєра.....	7
Практична робота № 3. Розрахунок продуктивності гвинтового конвеєра та транспортуючих труб.....	8
Практична робота № 4. Визначення продуктивності транспортно-доставних машин шахти	9
Практична робота № 5. Розрахунок шахтного електровозного транспорту.....	13
Практична робота № 6. Розрахунок пневматичних та гідротранспортних установок.....	15
Практична робота № 7. Визначення кількості і місця розташування насосних станцій.....	18
Практична робота № 8. Розрахунок трубопроводу на міцність...	20
Додатки.....	27
Список використаних літературних джерел.....	29

Вступ

Транспортування вантажів та різних гірничих порід є невід’ємною складовою будь якого гірничо-видобувного підприємства, незалежно від способу розробки. Для доставки корисної копалини від сировинної бази до заводу або складу, готової продукції – до споживачів, перевезення інших вантажів використовують різний вид транспортування: автомобільний, конвеєрний, залізничний. Для різних умов роботи гірничого підприємства та відстані транспортування використовується найбільш оптимальний вид транспорту, щоб забезпечити виконання перевезення у достатній кількості та у відповідні терміни. Дисципліна «Спеціалізовані транспортні системи у гірничому виробництві» вивчає використання спеціалізованих транспортних систем для доставки специфічних вантажів, або у місцях, де традиційні мережі транспортування менш ефективні, для забезпечення комфортних процесів проведення робіт та безпеки працівників гірничих підприємств.

При підготовці методичних вказівок за основу взято наукові праці Маланчука З. Р., Корнієнка В. Я., Марчука М. М., Васильчука О. Ю., Жомирука Р. В., Сороки В. С., Стеця С. Є., Зайченка С. В., Побігайла В. А., Дубовика В. Г., Ширіна Л. Н., Пригунова О. С., Денищенко О. В..

Практична робота № 1

Визначення продуктивності транспортних машин безперервної дії

Мета роботи: навчитися визначати основні види продуктивності транспортних машин.

Теоретичні відомості

Кількість вантажу, яка пересувається транспортними пристроями за одиницю часу, називають їхньою **продуктивністю**.

Для машин, що видають вантаж безперервним потоком (рис. 1.1, а, б), продуктивність дорівнює кількості матеріалу, що проходить через даний перетин за одиницю часу

$$Q = 3600 \cdot v \cdot F \cdot \rho, \frac{\text{т}}{\text{год}}, \quad (1.1)$$

або

$$V = 3600 \cdot v \cdot F, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (1.2)$$

де, v —швидкість руху матеріалу, м/с; F — площа поперечного перерізу потоку матеріалу, м^2 ; ρ — насипна щільність матеріалу, $\text{т}/\text{м}^3$.

Продуктивність транспортуючої машини можна виразити також через погонне навантаження q (кг/м) на робочому органі (стрічці, жолобі):

$$Q = \frac{3600 \cdot q \cdot v}{1000} = 3.6 \cdot q \cdot v, \frac{\text{т}}{\text{год}}, \quad (1.3)$$

Якщо відома годинна продуктивність і швидкість руху матеріалу, то звідси можна визначити погонне навантаження

$$q = \frac{Q}{3.6 \cdot v}, \frac{\text{кг}}{\text{м}}, \quad (1.4)$$

При переміщенні насипних вантажів у ковшах (рис. 1.1, г) з кількістю вантажу в посудині i (л) і відстанню (кроком) між ними a (м)

$$q = \frac{i}{a} \cdot \gamma = \frac{i_0 \cdot \psi \cdot \rho}{a}, \frac{\text{кг}}{\text{м}}, \quad (1.5)$$

де i_0 — ємність посудини, л; ψ - коефіцієнт заповнення

Якщо переміщують штучні вантажі вагою G (кг) кожний (рис. 1.1, в) або порціями по z (шт.), тоді

$$q = \frac{G}{a}, \frac{\text{кг}}{\text{м}}, \quad (1.6)$$

або

$$q = \frac{G \cdot z}{a}, \frac{\text{кг}}{\text{м}}, \quad (1.7)$$

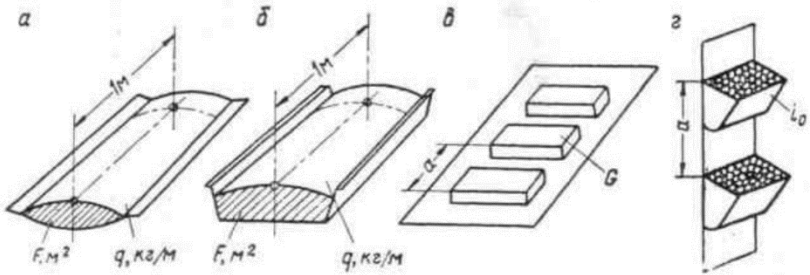


Рис. 1.1. Схеми до визначення продуктивності транспортних пристроїв безперервної дії

Розв'язати задачі відповідно до свого варіанту В.

Задача 1. Визначити продуктивність транспортуючої машини, якщо швидкість руху матеріалу становить $1+(0,1 \cdot B)$ м/с, площа поперечного перерізу вантажу становить $0,1 \cdot B$ м², насипна щільність матеріалу $1,9+(0,1 \cdot B)$ т/м³.

Задача 2. Визначити погонне навантаження при переміщенні насипних вантажів у ковшах, якщо насипна щільність матеріалу, що транспортується становить $1,9+(0,1 \cdot B)$ т/м³, коефіцієнт заповнення ківша $0,85 \dots 0,95$, ємність посудини $5+B$ л. для розрахунків необхідно ємність перевести в м³. Відстань між ними $1+(0,1 \cdot B)$.

Практична робота № 2

Розрахунок основних параметрів пластинчастого конвеєра

Мета роботи: обчислення основних параметрів пластинчастого конвеєра

Теоретичні відомості

Швидкість руху настилу лежить в межах від 0,05 до 1,25 м/с в залежності від типу ланцюга.

Площа поперечного перерізу на настилі з бортами:

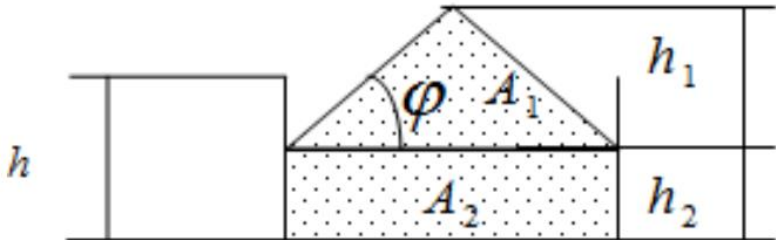


Рис. 2.1. Схема для визначення продуктивності пластинчастого конвеєру

$$A = A_1 + A_2 = \frac{B \cdot h_1}{2} + B \cdot h_2, \text{ м}^2, \quad (2.1)$$

де B - ширина жолоба, м; h - висота борту, м; φ - кут природнього відкосу на настилі; ψ - коефіцієнт наповнення по висоті ($\psi=0,65-0,8$) ($\psi = h_2/h$).

Задаючись висотою борта h , ширина настилу буде:

$$B = \frac{A}{h \cdot \psi_e}, \text{ м}, \quad (2.2)$$

де ψ_e - еквівалентний коефіцієнт, що враховує наповнення жолоба

Продуктивність конвеєра обчислюється за формулою:

$$Q = 3.6 \cdot A \cdot v \cdot \rho, \frac{\text{т}}{\text{год}}, \quad (2.3)$$

де v – швидкість руху стрічки, м/с; ρ – насипна густина, т/м³

Розв’язати завдання відповідно до свого варіанту В.

Завдання

Визначити основні параметри пластинчастого конвеєра якщо ширина жолоба становить 0,9 м, висота борту 0,4 м, кут природнього відкосу на настилі 40...60°, швидкість руху матеріалу становить $1+(0,1 \cdot V)$ м/с, насипна щільність матеріалу, що транспортується становить $1,9+(0,1 \cdot V)$ т/м³.

Практична робота № 3

Розрахунок продуктивності гвинтового конвеєра та транспортуючих труб

Мета роботи: навчитися визначати продуктивності гвинтового конвеєра та транспортуючих труб.

Теоретичні відомості

Для транспортування сильно забруднюючих і пилоподібних матеріалів, гарячих матеріалів, а також матеріалів, що виділяють шкідливі пари, їх звичайно містять у труби, що запобігає забрудненню навколишнього середовища. До таких пристроїв відносять гвинтові конвеєри й транспортуючі труби.

Продуктивність гвинтового конвеєра визначається за формулою:

$$Q = 15 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho \cdot c_{\beta} \cdot \frac{T}{\text{год}}, \quad (3.1)$$

де D – зовнішній діаметр труби, м; s – крок шнеку, м; n – частота обертання шнека, об/хв; φ – коефіцієнт заповнення робочого простору; ρ – щільність вантажу, що транспортується, т/м³; c_{β} – коефіцієнт кута нахилу до горизонту.

Труба має таку частоту обертання, при якій вантаж не захоплювався б відцентровою силою в обертання разом із трубою. Частота обертання (об/хв), при якій рух вантажу уздовж труби припиняється, називається критичної:

$$n_{max} = \frac{42.3}{\sqrt{D}}, \frac{об}{хв}, \quad (3.2)$$

Робочу частоту обертання приймають рівною 50-60% від максимальної частоти.

Продуктивність труби обчислюють за формулою:

$$Q = 15 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot s \cdot n \cdot \rho \cdot k_n \cdot \frac{T}{год}, \quad (3.3)$$

де

$$s = 0.5 \cdot D, м \quad (3.4)$$

Розв'язати завдання відповідно до свого варіанту В.

Завдання

Визначити продуктивність гвинтового конвеєра та транспортуючої труби, якщо зовнішній діаметр труби становить $0,1 + (0,01 \cdot B)$ м, частота обертання шнеку $70 + B$ об/хв, коефіцієнт заповнення робочого простору $0,35 \dots 0,65$, щільність матеріалу, що транспортується становить $0,8 + (0,1 \cdot B)$ т/м³, коефіцієнт кута нахилу до горизонту 1.

Практична робота № 4

Визначення продуктивності транспортно-доставних машин шахти

Мета роботи: навчитися визначати продуктивності транспортно-доставних машин при підземній розробці рудних родовищ.

Теоретичні відомості

У даний час при проведенні гірничих виробок та веденні очисних робіт широке застосування отримали транспортно-доставні машини, які замінюють комплекси з навантажувального та транспортного обладнання. Транспортно-доставні машини у порівнянні з іншими засобами навантаження та транспортування мають ряд істотних переваг. Ці машини мають більшу маневреність, можуть працювати у декількох вибоях та

транспортувати руду по виробках з малими радіусами заокруглень, мають високу продуктивність, вимагають меншої кількості обслуговуючого персоналу. Усі транспортно-доставні машини поділяються на вантажно-доставні машини типу ПД та вантажно-транспортні машини типу ПТ. Вантажно-доставні машини транспортують гірничу масу в ковші. Вантажно-транспортні машини мають ківш та кузов й транспортують гірничу масу в кузові.

Технічну характеристику транспортно-доставних машин подано в додатку А.

Змінна продуктивність навантажувальних машин періодичної і безперервної дії в щільній масі в одиночні вагонетки або склад (за наявності перевантажувача) визначається за формулою:

$$Q_{зм} = \frac{T_{зм} - t_{пз} - t_{ос}}{k_{від} \cdot K_P \cdot \left(\frac{k_{кр}}{Q_T} + t_v + \frac{2 \cdot L}{60 \cdot V_B \cdot K_3 \cdot v \cdot n_B} \right)}, \frac{м^3}{зм}, \quad (4.1)$$

де $t_{пз}$ – час на підготовчо-заклучні операції: для горизонтальних виробок – 20 – 30 хв, для похилих – 40 – 50 хв; $t_{ос}$ – особистий час робочого, що дорівнює 10 хв; $k_{від}$ – коефіцієнт відпочинку, що дорівнює 1,05; K_P – коефіцієнт розпушення гірничої маси, визначається за формулою (1.2); $k_{кр}$ – коефіцієнт, що враховує величину кусків породи і її властивості, що дорівнює 1,3, якщо крупність кусків вище передбаченої конструкцією машини; Q_T – технічна продуктивність машини, $м^3/хв$; L – відстань до обмінного пункту вагонеток, м; V_B – об'єм вагонетки, $м^3$; K_3 – коефіцієнт заповнення вагонетки, що дорівнює 0,9; v – середня швидкість відкати вагонеток або складів з урахуванням маневрів, перечеплення вагонетки, складів та ін., що дорівнює 0,6 м/с при одиночному обміні і 0,9 м/с при обміні складами; n_B – число вагонеток у складі, що входять під перевантажувач (при одиночному обміні $n_B = 1$); t_v – питомі витрати часу на допоміжні операції, не пов'язані з обміном вагонеток. Для виробок, ширина яких дорівнює фронту захоплення ківшем вантажної машини, питомі витрати часу t_v

постійні та рівні 1,5 хв/м³ для машин періодичної дії, та 1 хв/м³ для машин безперервної дії. Якщо фронт навантаження у ковшових машин менше в 1,5 – 2,0 рази ширини виробки, то $t_b = 3,3 - 6,9$ хв/м³.

Змінна продуктивність комплексу, що складається з навантажувальної машини періодичної дії на гусеничному або пневмошинному ході і самохідного вагона визначається за формулою:

$$Q_{зм} = \frac{(T_{зм} - t_{пз} - t_{ос}) \cdot V \cdot K_3}{\left(\frac{V \cdot K_3 \cdot t_{ц}}{V_K \cdot K_{3,к}} + t_b \right) \cdot k_{від} + \frac{2 \cdot L}{v_c} + t_p}, \frac{м^3}{зм}, \quad (4.2)$$

де V – об'єм вагона, м³; K_3 – коефіцієнт заповнення вагона, що дорівнює 0,9; V_K – об'єм ковша, м³; $K_{3,к}$ – коефіцієнт заповнення ковша, що дорівнює 0,75; $t_{ц}$ – тривалість циклу черпання, що дорівнює 0,3 хв; t_b – час подрібнення негабаритних кусків, що дорівнює 3,1 хв на вагон; L – відстань транспортування, м; v_c – середня швидкість пересування вагона, що дорівнює 50 м/хв; t_p – час розвантаження вагону в рудоспуск, що дорівнює 0,5 хв.

Змінна продуктивність комплексу типу, що складається з навантажувальної машини безперервної дії і самохідного вагона або автосамоскида визначається за формулою:

$$Q_{зм} = \frac{(T_{зм} - t_{пз} - t_{ос}) \cdot V \cdot K_3}{\left(\frac{V \cdot K_3 \cdot t_{ц}}{Q_T} + t_b \right) \cdot k_{від} + \frac{2 \cdot L}{v_c} + t_p}, \frac{м^3}{зм}, \quad (4.3)$$

де Q_T – технічна продуктивність вантажної машини, м³/хв; t_b – час подрібнення негабаритних кусків, що дорівнює 10 – 15 хв на вагон; v_c – середня швидкість пересування вагона або автосамоскида, рівна 80 м/хв по підготовчим виробкам і 160 м/хв по транспортним магістральним виробкам; t_p – час розвантаження вагону або автосамоскида в рудоспуск, рівний 1 хв.

Змінна продуктивність вантажно-транспортних і вантажно-доставних машин:

$$Q_{\text{зм}} = \frac{(T_{\text{зм}} - t_{\text{пз}} - t_{\text{ос}}) \cdot V \cdot K_3}{(t_0 + t_{\text{в}}) \cdot k_{\text{від}} \cdot K_{\text{р}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{зм}}, \quad (4.4)$$

де $t_{\text{пз}}$ – тривалість підготовчо-заклучних операцій що залежить від типу машини і рівна 30 – 70 хв на зміну; V – об’єм кузова для вантажнотранспортних машин або об’єм ковша для вантажно-доставних машин, м^3 ; $t_{\text{в}}$ – час допоміжних операцій, пов’язаних з маневрами машини, штабелювання гірської маси, її кайлування і розбиття негабаритів, що дорівнює 0,8 – 3,0 хв/рейс (більший час відноситься до вантажно-транспортних машин); t_0 – час основних операцій на рейс, хв.

$$t_0 = \frac{2 \cdot L}{v_c} \cdot t_n + t_{\text{р}}, \text{хв}, \quad (4.5)$$

де L – відстань транспортування, м; v_c – середня швидкість транспортування, що дорівнює 75 – 80 м/хв; $t_{\text{р}}$ – час розвантаження, у середньому дорівнює 1 хв; t_n – час навантаження, рівний для накопичення ковша вантажно-доставної машини 0,9 – 1,4 хв, а для вантажно-транспортних машин.

$$t_n = \frac{V \cdot K_3 \cdot t_{\text{ц}}}{V_{\text{к}} \cdot K_{3,\text{к}}}, \text{хв}, \quad (4.6)$$

де V і $V_{\text{к}}$ – відповідно об’єм кузова і ковша, м^3 ; K_3 і $K_{3,\text{к}}$ – коефіцієнти заповнення кузова 0,9 і ковша 0,75; $t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу черпання, що дорівнює 0,8 хв.

Допоміжними операціями при прибиранні гірської маси навантажувальними машинами є: її зрошення, оборка вибою, маневри навантажувальної машини при навантаженні. Кайлування гірської маси (розбиття негабаритів). Відкидання гірської маси від боків виробки до ковша або нагортального

пристрою. Розрівнювання гірської маси у транспортному засобі. Підтягування та підвішування кабелю або повітропровідного шлангу при навантаженні. Укладання й пересування до вибою ланки висувних рейок. Зачистка, підчищення шляху й робочого місця. При використанні у якості транспортних засобів вагонетки до допоміжних операцій при навантаженні відносять: причеплення вагонеток до машини та їх відчеплення. Відкатка навантажених та підкат порожніх вагонеток.

Заклучні операції. Після прибирання гірської маси у вибою здійснюють відгін навантажувальної машини від вибою. Відключення кабелю або повітропровідного шлангу та очищення машини від гірської маси. Проводять прибирання інструменту та робочого місця.

Завдання

Відповідно до додатку А згідно свого варіанту підібрати вантажно-доставну машину та визначити її змінну продуктивність.

Практична робота № 5

Розрахунок шахтного електровозного транспорту

Мета роботи: навчитися визначати основні показники шахтного електровозного транспорту

Теоретичні відомості

Електровоз – це локомотив, який приводиться в рух тяговими електродвигунами. В свою чергу, електродвигуни живляться електричним струмом від контактної мережі.

Дійсна змінна продуктивність рейсового електровоза при вивозі планового вантажопотоку визначається за формулою:

$$A_{\text{зм.рейс}} = \frac{\sum_1^i (Q_{\text{зм.}i} + Q_{\text{зм.}ni}) \cdot l_i}{n_{\text{л.рейс}}}, \frac{\text{т} \cdot \text{км}}{\text{зм}}, \quad (5.1)$$

де $Q_{зм.}$ – змінна продуктивність, т/зм; $Q_{зм.п}$ – змінний вантажопотік п навантажувального пункту, т; l – шлях, км; $n_{л.рейс}$ – кількість рейсових електровозів, шт.

Розрахункова місячна продуктивність рейсового електровоза визначається за формулою:

$$A_{міс.рейс} = A_{зм.рейс} \cdot n_{д.з.} \cdot n_{р.д.}, \frac{т \cdot км}{міс}, \quad (5.2)$$

де $n_{д.з.}$, $n_{р.д.}$ – кількість відповідно добових змін і робочих днів на місяць.

Отримане значення місячної продуктивності порівнюють з досягнутим рівнем продуктивності шахтних електровозів та при незадовільних результатах порівняння вишукують шляхи підвищення технічних показників.

Витрата енергії за рейс на шинах змінного струму перетворювальної підстанції для живлення зарядних пристроїв визначається за формулою:

$$a_{ц.п.} = \frac{a_{ц.к.}}{\eta_{л} \cdot \eta_{ен} \cdot \eta_{з.у.}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (5.3)$$

де $a_{ц.к.}$ – витрата електроенергії за цикл, кВт·год; $\eta_{л}$ – ККД електровоза ($\eta_{л}=0,5\dots0,6$); $\eta_{ен}$ – електричний ККД тягової батареї; $\eta_{з.у.}$ – ККД зарядного пристрою ($\eta_{з.у.}=0,85\dots0,92$).

Питома витрата енергії на шинах змінного струму перетворювальної підстанції, віднесена до одного тонно-кілометра нетто визначається за формулою:

$$a_{п.пит.} = \frac{a_{ц.п.}}{Z \cdot m_{пр} \cdot l_1}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т} \cdot \text{км}}, \quad (5.4)$$

де Z – кількість вагонів, шт; $m_{пр}$ – зведена вантажопідйомність, т.

Змінна витрата енергії на магістральному транспорті:

$$A_{зм.м.} = a_{п.пит.} \cdot \sum (Q_{зм.і} + Q_{зм.ні}) \cdot l_i, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (5.5)$$

де $\sum(Q_{зм.i} + Q_{зм.нi})$ – сумарна транспортна робота по всіх маршрутах горизонту, т·км.

Загальні змінні витрати енергії:

$$A_{зм.} = A_{зм.м.} + A_{зм.д.}, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (5.6)$$

Розв'язати задачі відповідно до свого варіанту В.

Задача 1. Знаючи, що змінна продуктивність шахтного електровозу становить $1400+(3 \cdot B)$ т, змінний вантажопотік становить $350+(2 \cdot B)$ т, шлях, який проходить електровоз становить 2 км, а кількість рейсових електровозів становить 10 штук. Визначити дійсну продуктивність шахтного електровозу та його місячну продуктивність, при умові, що підприємство працює у 2 зміни 24 дні на місяць.

Задача 2. Визначити витрату енергії за рейс, питому витрату енергії та змінну витрату енергії електровоза на шинах змінного струму перетворювальної підстанції для живлення зарядних пристроїв, за умови, що електричний ККД тягової батареї становить 0,55, витрата електроенергії за цикл 7...12 кВт·год, кількість вагонів електровозу $10+(2 \cdot B)$, зведена вантажопідйомність 2,53, змінна продуктивність шахтного електровозу $1800+(3 \cdot B)$, змінний вантажопотік становить $320+(2 \cdot B)$ т, шлях, який проходить електровоз становить 2,5 км, витрата енергії допоміжних електровозів 90кВт·год.

Практична робота № 6

Розрахунок пневматичних та гідротранспортних установок

Мета роботи: навчитися визначати основні параметри пневматичних установок та гідротранспортних установок.

Теоретичні відомості

Пневматичні установки. Розрахунок пневматичних

установок починається з визначення швидкості, яка забезпечує транспортування матеріалу. Для цього спочатку розглянемо частку матеріалу в потоці повітря (рис. 6.1). Сила F виникає внаслідок зміни напрямку руху потоку і аеродинамічного ефекту, при якому повітря, зустрівши частку матеріалу в точці a , рухається по цій поверхні, змінивши напрям; за точкою b частки повітря відриваються від поверхні тіла, утворюючи розрядження.

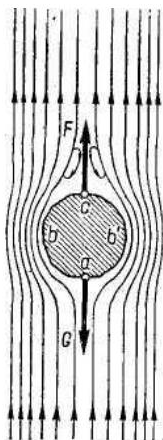


Рис. 6.1. Частка матеріалу в потоці повітря

Різниця тисків у нижній bab' і верхній $bc'b'$ зонах визначає аеродинамічну силу. Зависання матеріалу в повітрі у вертикальній трубі настає тоді, коли вага частки зрівноважується аеродинамічною силою:

$$F = G = \psi \cdot \rho_{\text{п}} \cdot A \cdot v_{\text{п}}^2, \text{ Н}, \quad (6.1)$$

де ψ – аеродинамічний коефіцієнт, який характеризує форму і розміри часток ($\psi = 0,23$ для обтічної кулястої форми діаметром d); $\rho_{\text{п}}$ — густина повітря, кг/м^3 ; A – площа перерізу частки, м ; $v_{\text{п}}$ – швидкість повітряного потоку, при якій частка тримається у повітрі.

Розрахунок пневматичної установки передбачає визначення витрати повітря, діаметра трубопроводу, перепаду тиску на кінцях траси, потужності повітрорудної машини.

Витрата повітря залежить від продуктивності Q , т/год, і характеру матеріалу:

$$Q = \frac{Q_{\Pi}}{\mu}, \frac{\text{т}}{\text{год}}, \quad (6.2)$$

де μ – коефіцієнт концентрації суміші, який визначається як відношення вагової продуктивності установки до вагової витрати повітря. μ залежить від характеру матеріалу і становить $\mu = 20 \dots 200$.

Щоб матеріал рухався в трубопроводі, швидкість повітряного потоку повинна бути більша ніж критична:

$$v_{\Pi} \geq k \cdot v_{\text{кр}}. \quad (6.3)$$

де $k = 1,3 \dots 1,5$ – коефіцієнт запасу; $v_{\text{кр}}$ – критична швидкість повітря.

Витрата повітря обчислюється за формулою:

$$Q_{\Pi} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_{\Pi}. \quad (6.4)$$

Витрата повітря на виході з повітродувної машини:

$$Q_{\text{ПМ}} = k_{\Pi} \cdot Q_{\Pi}, \quad (6.5)$$

де $k_{\Pi} = 1,1 \dots 1,15$ — коефіцієнт втрат повітря.

Використовуючи енергію повітря, по трубах переміщують також посудини і состави (капсульний пневмотранспорт), для чого на початку і в кінці поїзда встановлюють приводні вагонетки, забезпечені ущільнювальними манжетами.

Гідротранспортні установки

Гідравлічний транспорт застосовують головним чином на шахтах, де підготовчі виробки характеризуються великими схилами ($0,05 \dots 0,07$) і малими площами поперечного перерізу.

При напірному транспортуванні розміри кусків вантажу повинні бути в $2 \dots 2,5$ рази менше діаметра трубопроводу і відповіла би розмірам потоковій частині пульпонасосів. Для цього матеріал попередньо дроблять. Потужні напірні установки при консистенції пульпи $T:P = 1:5$ забезпечують продуктивність

до 500 т/год. Затрати води на 1 м³ вантажу не перевищують 7 м³.

Критична швидкість гідротранспорту визначається за формулою:

$$v_{кр} = C_1 \cdot \sqrt{f \cdot a \cdot g \cdot s \cdot D}, \quad (6.6)$$

де C_1 – 8.5...9.5 – дослідна константа; f – коефіцієнт тертя матеріалу об стінки труби; a – відношення густини матеріалу і рідини; s – об'ємна концентрація суміші, кг/м³; D – діаметр труби, м.

Розв'язати задачі відповідно до свого варіанту В.

Задача 1. Визначити основні параметри пневматичної установки, якщо площа перерізу частки 0,005...0,01 м, критична швидкість повітряного потоку, $5+(0,1 \cdot V)$ м/с, зовнішній діаметр труби становить $0,1+(0,01 \cdot V)$ м.

Задача 2. Визначити критичну швидкість гідротранспорту, якщо діаметр труби становить $0,1+(0,02 \cdot V)$ м, об'ємна концентрація суміші становить $1,5+(0,1 \cdot V)$ кг/м³, щільність матеріалу $0,8+(0,1 \cdot V)$ т/м³.

Практична робота № 7

Визначення кількості і місця розташування насосних станцій

Мета роботи: навчитися визначати необхідну кількість насосних станцій для трубопроводів та їх розміщення

Теоретичні відомості

Для створення й підтримки в трубопроводі напору, достатнього для забезпечення транспортування нафти або нафтопродукту, використовують нафтоперегінні станції (НПС). Основне призначення кожної НПС полягає в тому, щоб забрати рідину з перетину трубопроводу з низьким напором, збільшити цей напір і потім увести транспортуемую рідину у перетин трубопроводу з високим напором, тому головним елементом

НПС є насоси.

Кількість насосних станцій знаходиться за формулою:

$$n_p = \frac{H_{\text{заг}}}{H_{\text{розр}}}, \quad (7.1)$$

де $H_{\text{заг}}$ – загальний напір трубопроводу, МПа; $H_{\text{розр}}$ – розрахунковий напір магістральних насосів, МПа.

При округленні числа n_p при закругленні в більшу сторону продуктивність буде більшою від розрахункової, при закругленні меншу – меншою. Останнє є не допустимим. Тому для заокруглення кількості НС у меншу сторону необхідно компенсувати вставкою чи лупінгом. Тобто необхідно досягнути рівності:

$$(n_p - n) \cdot H_{\text{розр}} = 1,02 \cdot i \cdot x \cdot (1 - \omega) \quad (7.2)$$

Довжина лупінга:

$$x = \frac{(n_p - n)}{1,02 \cdot i \cdot (1 - \omega)} \cdot H_{\text{розр}}, \text{ м.} \quad (7.3)$$

Лупінг — трубопровід, який прокладається паралельно до основного трубопроводу; підключається для збільшення його пропускної здатності.

На ділянці трубопроводу з лупінгом витрата продукту, що транспортується в основному трубопроводі зменшується, отже, скорочується загальна втрата напору на подолання гідравлічного опору. Тому при незмінній величині напору пропускна здатність трубопроводу в цілому збільшується тим значніше, чим більше площа поперечного перерізу лупінга.

Визначення місця розташування насосних станцій на профілі траси трубопроводу в свій час було запропоновано В.Г.Шуховим.

Для визначення розміщення необхідно знати наступні параметри трубопроводу:

- а) Гідравлічний нахил для основної магістралі i ;
- б) Гідравлічний нахил для ділянок з лупінгами (вставками) i_e (i_a);
- в) Розрахункового напору нафти на виході насосних станцій $H_{\text{розр}}$;

- г) Величину залишкового напору h_e ;
- д) Величину підпору для НС, для без кавітаційної роботи насосів.

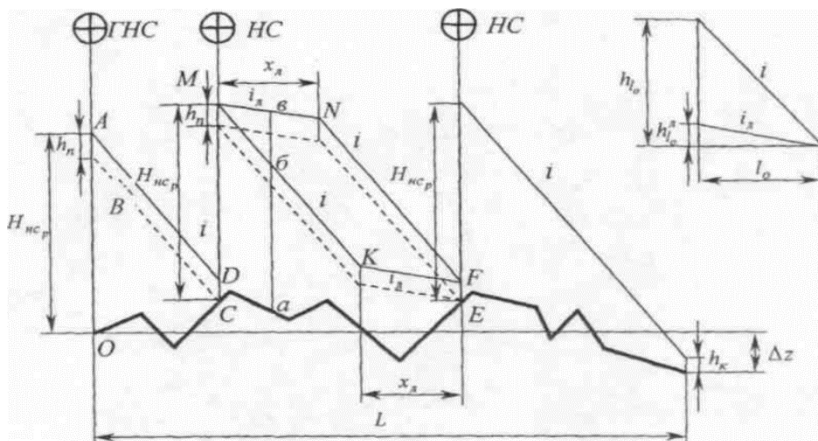


Рис. 7.1. Розташування перекачувальних станцій

Завдання

За вихідними даними, який видає викладач, навчитися визначати необхідну кількість насосних станцій для трубопроводів та їх розміщення та побудувати схему розташування перекачувальних станцій.

Практична робота № 8

Розрахунок трубопроводу на міцність

Мета роботи: навчитися проводити розрахунок трубопроводу на міцність.

Теоретичні відомості

Покладений у ґрунт трубопровід випробовує цілий ряд силових впливів що викликає кільцеві, поздовжні й радіальні напруги (рисунк 8.1).

Кільцеві напруження σ_k виникають від внутрішнього тиску

і дорівнюють:

$$\sigma_k = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \delta}, \text{ Па}, \quad (8.1)$$

де P – тиск, Н/м²; D – внутрішній діаметр труби, м; δ – товщина стінки трубопроводу, м.

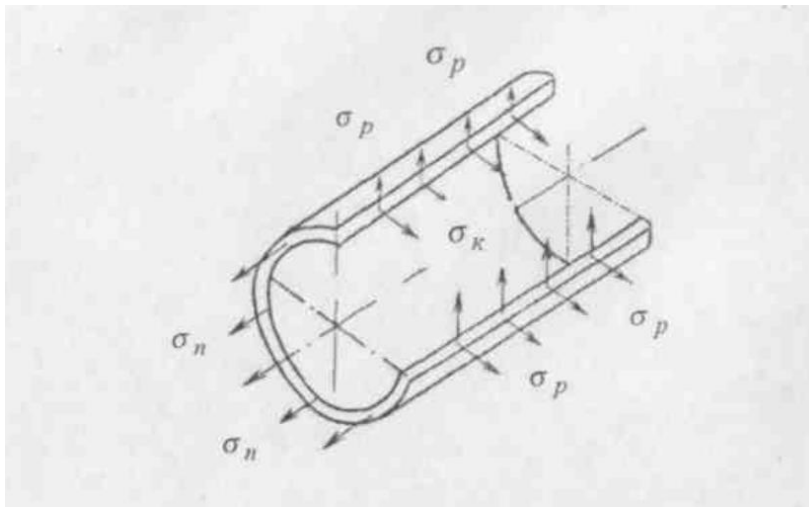


Рис. 8.1. Схема напружень, що виникають в трубопроводі

Поздовжні напруження σ_n створюються:

- під дією внутрішнього тиску:

$$\sigma_n^{\text{вн}} = \mu \cdot \sigma_k = \mu \cdot \frac{P \cdot D}{2 \cdot \delta}, \text{ Па}, \quad (8.2)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона (для сталі середнє значення $\mu = 0,3$);

- при зміні температури:

$$\sigma_n^t = -E \cdot a \cdot \Delta t, \text{ Па}, \quad (8.3)$$

де E – модуль пружності, для сталі $E = 206000$ МПа; a – коефіцієнт лінійного розширення, $a = 12 \cdot 10^{-6}$ 1 /град; Δt – температурний перепад температур стінки трубопроводу

відповідно в момент часу, що розглядається, і в момент укладання трубопроводу;

- при згині:

$$\sigma_{\pi}^{\text{зг}} = \frac{E \cdot D}{2 \cdot r_{\text{зг}}}, \text{Па}, \quad (8.4)$$

де D – зовнішній діаметр трубопроводу, м; $r_{\text{зг}}$ – радіус згину, м.

Поздовжні напруження різного походження підсумовуються:

$$\sigma_{\pi} = \mu \cdot \frac{P \cdot D}{2 \cdot \delta} - E \cdot a \cdot \Delta t \pm \frac{E \cdot D}{2 \cdot r_{\text{зг}}}, \text{Па}, \quad (8.5)$$

Радіальні напруження σ_r дорівнюють внутрішньому тиску в трубопроводі. Вони малі за величиною і при розрахунках не враховуються. При розрахунках трубопроводів на міцність не враховуються також тиск ґрунту і рухомі навантаження (вага тракторів, сільськогосподарських машин, автомобілів). Ці зовнішні навантаження незначні і, крім того, вони компенсуються внутрішнім тиском.

Визначення товщини стінки трубопроводу

При технологічному розрахунку магістральних нафтопроводів із таблиці 8.1. за заданою річною продуктивністю вибирається рекомендований діаметр трубопроводу. Розглядається також найближче більше і менше стандартне значення діаметра і подальший розрахунок проводиться для трьох варіантів.

Розрахунок починається із вибору марки сталі труб. Для магістральних трубопроводів із зовнішнім діаметром до 426 мм застосовують сталі безшовні гарячекатані труби із вуглецевих і легированих сталей, а діаметром 530 мм і більше - електрозварні прямошовні або спіральні-зварні труби із низьколегованих сталей.

Спіральні-шовні труби мають переваги перед прямошовними. Сталева штаба, із якої виготовляють спіральні-шовні труби, дешевша від листів, які використовуються для прямо-шовних труб такого ж діаметра, оскільки ширина штаби менша. Спіральне розміщення волокон у трубі більш

сприятливе, ніж поздовжнє. Недоліки спіральнотшовних труб – більша протяжність шва, складність контролю якості зварювання, а також якості скрученої в рулон сталі.

Механічні характеристики деяких трубних сталей наведені в таблиці 8.1.

Умова міцності труби має такий вигляд:

$$n \cdot P \cdot D \leq 2 \cdot \delta \cdot R_1, \quad (8.6)$$

де n – коефіцієнт перевантаження робочого тиску; P – робочий (нормативний) тиск у трубопроводі, МПа; R_1 – розрахунковий опір матеріалу труб.

Таблиця 8.1

Механічні характеристики трубних сталей

№ з/п	Марка сталі	Межа міцності (не менше), σ_m , МПа	Межа текучості (не менше), σ_m , МПа	Зовнішній діаметр труби, мм
1	10	340	210	219-426
2	20	420	250	219-426
3	Ст.2	340	210	219-426
4	Ст.3	380	230	219-426
5	Ст.4	420	250	219-426
6	Ст.5	500	270	219-426
7	10Г2	480	270	219-426
8	13ХМ	440	230	219-426
9	14ХГС	500	350	530, 720, 1020
10	17ХГС	520	360	530, 720, 820
11	17Г1С	520	360	1020, 1220
12	17ГС	520	360	530, 720, 820
13	14Г2САФ	550	380	1020
14	14Г2САФ (еспандові)	570	400	1020, 1220
15	16Г2САФ	600	420	1020
16	10Г2СД(МК)	500	350	530, 630
17	14ГН	480	330	920

Оскільки труби для магістральних трубопроводів стандартизуються за зовнішнім діаметром D_3 , то формулу для визначення товщини стінки виражають через цей діаметр.

Враховуючи, що

$$D = D_3 - 2 \cdot \delta, \text{ м.} \quad (8.6)$$

Товщина стінки труби без врахування осьових стискаючих напружень дорівнює:

$$\delta = \frac{n \cdot P \cdot D_3}{2 \cdot (R_1 + n \cdot P)}, \text{ м.} \quad (8.7)$$

Коефіцієнт перевантаження робочого тиску n приймається згідно з СНиП 2.05.06-85 залежно від характеру навантажень. При тимчасових, тривалих навантаженнях від внутрішнього тиску для нафтопродуктопроводів діаметром 700 - 1200 мм з проміжними нафтоперекачувальними станціями $n = 1,15$, а для нафтопродуктопроводів діаметром менше 700 мм $n = 1,1$.

Розрахунковий опір сталі визначається за формулою:

$$R_1 = \frac{R_1^H \cdot m}{k_1 \cdot k_H}, \text{ Па,} \quad (8.8)$$

де $R_1^H = \sigma_m$ – нормативний опір матеріалу труб, що приймається рівним тимчасовому опору матеріалу труб (залежно від марки сталі); m – коефіцієнт умов роботи, для нафтопроводів III і IV категорій $m = 0,90$; для трубопроводів I і II категорій $m = 0,75$, для категорії В- $m = 0,60$; k_H – коефіцієнт надійності за призначенням трубопроводу, при діаметрі нафтопроводу 1000 мм і менше $k_H = 1,00$, при діаметрі 1200 мм - $k_H = 1,05$;
 k_1 – коефіцієнт надійності за матеріалом, вибирається із таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

Значення коефіцієнта надійності за матеріалом

№ з/п	Характеристика труб	k_n
1	Зварні із малоперлітної і бейнітної сталі контрольованої прокатки і термічно зміцнені труби, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням під флюсом по суцільному технологічному шву, з мінусовим допуском по товщині стінки не більше 5 % і які пройшли 100 %-ний контроль на суцільність основного матеріалу і зварних з'єднань неруйнівними методами	0,34
2	Зварні із нормалізованої, термічно зміцненої сталі і сталі контрольованої прокатки, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням під флюсом по суцільному технологічному шву і які пройшли 100 %-ний контроль зварних з'єднань неруйнівними методами. Безшовні із катаної або кованої заготовки, які пройшли 100 %-ний контроль неруйнівними методами	0,40
3	Зварні із нормалізованої і гарячекатаної низьколегованої сталі, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням і які пройшли 100%-ний контроль зварних з'єднань неруйнівними методами	0,47
4	Зварні із гарячекатаної низьколегованої або вуглецевої сталі, виготовлені двобічним електродуговим зварюванням або струмами високої частоти. Решта безшовних труб	0,55

Одержана товщина стінки заокруглює до найближчого більшого стандартного значення і визначається внутрішній діаметр трубопроводу за формулою 8.6.

Якщо товщина стінки буде змінна, що змінюється відповідно до зміни тиску по довжині, то для нафтопроводів

може бути досягнута істотна економія металу.

Розміщення труб з різною **товщиною** стінок по довжині перегону називається розкладкою труб.

Завдання.

За даними таблиць 8.1 та 8.2 відповідно до свого варіанту розрахувати основні параметри трубопроводу.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічна характеристика транспортно-доставних навантажувальних машин

Тип машини	Вантажопідйомність, т	Місткість ковша, м ³	Місткість кузова, м ³	Висота розвантаження, м	Потужність приводу, кВт	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Маса, т
Виробництво різних країн									
ПТ-4	4,0	0,2	1,5	2,20	42,7	3,02	1,8	1,8	4,6
ПД-2Е	2,06	1,4	-	2,8	45,0	6,25	1,5	1,9	6,9
МПД-4	9,2	3,8	-	1,85	170	9,71	2,54	2,35	24,0
ПД-5А	6,0	3,0	-	1,53	100	8,0	2,2	1,85	15,0
ПД-8	8,0	4,0	-	2,20	147	9,0	2,5	2,5	22,4
МоАЗ-405	9,0	2,7	-	1,84	190	9,96	2,65	2,3	24,0
Виробництва «Strojarné Prievidza» (Словаччина)									
PNE-900	2,0	0,9	-	1,03	30,0	5,15	1,25	1,99	9,0
PNE-1700	6,0	1,7	-	1,60	55,0	7,39	1,65	2,0	18,6
PNE-2500	10,0	2,4	-	1,60	75,0	7,39	2,0	2,0	22,0
Виробництва «Atlas Copco» (Швеція)									
EST 2D	3,6	2,0	-	2,54	56,0	6,88	1,52	2,09	11,4
EST 3,5	6,0	3,4	-	2,70	74,6	8,85	2,12	2,12	17,0
ST 2D	3,6	2,0	-	2,54	63,0	6,88	1,56	2,09	11,5
ST 3,5	6,0	3,4	-	2,70	136	8,85	2,12	2,12	17,5
ST 8C	14,5	7,6	-	3,52	242	-	2,76	2,69	39,1
ST 710	6,5	3,4	-	3,15	149	8,83	2,14	2,11	18,2
ST 1030	10,0	5,6	-	3,40	186	9,75	2,56	2,36	26,3
ST 1520	15,0	7,5	-	4,13	298	11,32	2,92	2,65	41,3
Виробництва «Sandvik» (Фінляндія)									
LH 203	3,5	1,75	-	-	63,0	6,97	1,48	1,84	8,7
LH 203E	3,5	1,75	-	-	55,0	7,0	1,48	1,84	9,4

Продовження додатку А

LH 409E	9,6	4,6	-	-	110	9,74	2,53	2,32	24,5
LH 514	14,0	6,0	-	-	243	10,51	2,84	2,54	33,7
LH 307	6,70	3,3	-	-	142	8,61	2,23	2,20	17,2
LH 410	10,0	5,4	-	-	187	9,68	2,55	2,40	26,2
LH 517	17,2	8,4	-	-	298	11,12	3,0	2,75	44,0

Список використаних літературних джерел

1. Маланчук З. Р., Корнієнко В. Я., Сорока В. С., Васильчук О. Ю. Транспортні системи гірничих підприємств : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2018. 190 с.
2. Геотехнології гірництва [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів ВНЗ / З. Р. Маланчук, С. Р. Боблях ; Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. Рівне : НУВГП, 2013. 200 с. ISBN 978-966-327-229-0.
3. Транспортні системи гірничих підприємств (шахти та збагачувальні фабрики) [Електронне видання] : навч. посіб. / З. Р. Маланчук, В. Я. Корнієнко, М. М. Марчук та ін. Рівне : НУВГП, 2020. 157 с.
4. Маланчук З. Р. Маланчук Є. З. Корнієнко В. Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2017. 290 с.
5. Технологія і керування гідровидобутком корисних копалин : монографія / Маланчук З. Р., Калько А.Д., Маланчук Є. З., Жомирук Р. В., Стець С. Є., Боблях С.Р., Рачковський В. П., Прокопюк О. М. Рівне : НУВГП, 2009. 480 с.
6. Ширін Л. Н., Пригунов О. С., Денищенко О. В. Транспортні комплекси кар'єрів : нав. посіб. / М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Д. : НГУ, 2015. 241 с. ISBN 978-966-350-561-9.
7. Транспортні системи електромеханічних комплексів: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. В. Зайченко, В. А. Побігайло, В. Г. Дубовик. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/68dec947-97f5-4fc5-b235-ca3c27e7ebbf/content>