

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

Навчально-науковий механічний інститут
Кафедра розробки родовищ та видобування корисних копалин

02-06-91М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт із навчальної дисципліни
«Пневмо та гідротранспорт»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Гірництво»
спеціальності 184 «Гірництво»
денної і заочної форми 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 «Пневмо та гідротранспорт» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гірництво» спеціальності 184 «Гірництво» денної форми навчання [Електронне видання] / Маланчук З. Р., Корнієнко В. Я., Васильчук О. Ю., Бортник П. П., Кучерук М. О. – Рівне : НУВГП, 2025. – 38 с.

Укладачі: Маланчук З. Р., професор д.т.н., професор кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;
Корнієнко В. Я., професор д.т.н., професор кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;
Васильчук О. Ю., доцент к.т.н., доцент кафедри розробки родовищ та видобування корисних копалин;
Бортник П. П., директор ПрАТ «Рафалівський кар'єр»;
Кучерук М.О., старша викладачка 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.

Гарант освітньо-професійної програми

Васильчук О. Ю.

© З. Р. Маланчук,
В. Я. Корнієнко,
О. Ю. Васильчук,
П. П. Бортник,
М. О. Кучерук, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

ст

Вступ.....	4
Практична робота № 1. Розрахунок фізичних властивостей рідин.....	5
Практична робота № 2. Розрахунок похилих жолобів.....	8
Практична робота № 3. Розрахунок параметрів гідромонітора....	11
Практична робота № 4. Розрахунок параметрів гідроелеватора...	14
Практична робота № 5. Розрахунок трубопроводів при наявності гідравлічного удару.....	18
Практична робота № 6. Розрахунок параметрів гідротранспорту породи та ґрунтів.....	20
Практична робота № 7. Розрахунок параметрів свердловинного гідровидобутку.....	23
Практична робота №8. Розрахунок параметрів ерліфта.....	27
Практична робота №9. Будова та розрахунок пневмотранспортних систем.....	32
Практична робота № 10. Оцінка ефективності геотехнологічного видобутку корисних копалин.....	36
Список використаних літературних джерел.....	38

Вступ

Сучасний розвиток гірничої промисловості неможливий без ефективних систем транспортування корисних копалин і породи. Значну роль у цьому відіграють гідравлічні та пневматичні методи переміщення сипких і дрібнорозмірних матеріалів, які відзначаються високою продуктивністю, надійністю та можливістю автоматизації процесів. Їх широке впровадження сприяє підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат ручної праці та покращенню умов праці на підприємствах.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Пневмо та гідротранспорт» є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок з розрахунку, проектування, експлуатації та удосконалення систем транспортування матеріалів у гірничій галузі.

Основними завданнями дисципліни є: опанування основ гідравліки, гідродинаміки та пневматики; вивчення технологічних схем гідро- та пневмотранспорту; засвоєння методів розрахунку обладнання та трубопроводів; набуття навичок проектування, експлуатації й обслуговування систем.

Вивчення цієї дисципліни забезпечує майбутніх фахівців гірничої справи знаннями та вміннями, необхідними для впровадження сучасних ресурсозберігаючих технологій транспортування та ефективної організації виробничих процесів.

Практична робота № 1

РОЗРАХУНОК ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДИН

Мета роботи: набути практичних навичок у визначенні й розрахунку основних фізичних властивостей рідин (густини, в'язкості, стисливості, поверхневого натягу тощо), що мають важливе значення для розуміння процесів гідротранспорту та правильного вибору обладнання.

Теоретичні відомості:

Рідина – це фізичне тіло, яке має текучість, здатність змінювати свою форму під впливом найменших сил. До основних характеристик рідини належать густина, стисливість, тепловирозширення та в'язкість.

Густина однорідної рідини – це відношення її маси до об'єму, який рідина займає.

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.1)$$

m – маса рідини, кг; V – об'єм рідини, м³.

Об'ємною (питомою) вагою рідини є вага одиниці об'єму цієї рідини

$$\gamma = \frac{G}{V}, \text{ Н/м}^3 \quad (1.2)$$

G – вага рідини, Н; V – об'єм рідини, м³.

Густина та об'ємна вага пов'язані співвідношенням

$$\gamma = \rho \cdot g, \quad (1.3)$$

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Густина та об'ємна вага рідини змінюються у залежності від тиску та температури.

Стисливість – властивість рідини змінювати свій об'єм під тиском. Цей параметр характеризує коефіцієнт об'ємного стиснення β_p , який являє собою відносну зміну об'єму рідини на одиницю тиску:

$$\beta_p = -\frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta p}, \quad (1.4)$$

де ΔV – зменшення об'єму при збільшенні тиску на Δp , м³; V_0 – початковий об'єм рідини (м³). Одиницею вимірювання β_p є Па-1. Коефіцієнт об'ємного стиснення β_p пов'язаний з об'ємним модулем пружності E співвідношенням

$$\beta_p = \frac{1}{E} \quad (1.5)$$

Порівняно велика величина модуля пружності для більшості рідин дає підставу для того, щоб вважати рідини практично нестисливими.

Для води за нормальних умов модуль пружності можна приймати $E = 2,0 \cdot 10^9$ Па.

Коефіцієнт об'ємного стиснення для деяких рідин наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Характеристики деяких рідин

Рідина	Густина ρ_0 , кг/м ³	Коефіцієнт об'ємного		Кінематична в'яз- кість, мм ² /с, при температурі, °C		
		стиснен- ня $\beta_p \cdot 10^3$, Па ⁻¹	розши- рення $\beta_t \cdot 10^3$ /°C	15	20	50
Вода	1000	0,49	0,20	1,14	1,01	0,55
Ртуть	13600	0,039	0,18	–	0,114	–
Гліцерин	1260	0,25	0,49	–	1180	–
Бензин	680-780	0,92	1,255	0,93	–	0,54
Гас	790-820	0,77	0,96	2,7	2,5	1,5
Спирт етиловий	790	0,78	1,10	–	1,52	0,50
Мазут	890-940	–	–	2000	–	–
Нафта Баку: легка	884	0,78	0,6	–	25	–
важка	924	0,78	0,6	–	140	–
Масила: індустріальні						
I-12	880	–	–	–	50	10-14
I-20	885	0,72	0,73	–	100	17-23
I-30	–	–	–	–	170	23-33
I-50	910	0,68	–	–	400	47-55
АМГ-10	850	0,74	0,83	–	18	10
турбінне-57	920	0,56	0,65	–	–	55-59
веретінне АУ	880	–	–	–	50	12-14
трансформаторне	890	–	–	–	30	9,6
турбінне 30 та 34	900	–	–	–	–	28-32
Повітря	1,2	–	–	–	1490	–

Теплове розширення рідини характеризує температурний коефіцієнт об'ємного розширення, який являє собою відносну зміну об'єму рідини при зміні температури на 1 °C:

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (1.6)$$

де Δt – зміна температури рідини. Значення температурного коефіцієнта об'ємного розширення (°C⁻¹) для деяких рідин наведено в табл. 1.1.

Пароутворення – властивість рідини змінювати свій агрегатний стан на газоподібний. Процес пароутворення на поверхні рідини, який відбувається незалежно від її стану, називають випаруванням. Процес пароутворення у товщі рідини, який відбувається лише при певній температурі та певному тиску, називають кипінням. Тиск, при якому рідина закипає, називають тиском насиченої пари. Величина його залежить від температури рідини.

Розчинення газів у рідині – процес проникання молекул газів з навколишнього середовища всередину рідини через вільну поверхню. Незважаючи на те, що частина молекул повертається до навколишнього середовища за деякий час рідина набуває стану насиченості (кількість розчиненого газу дорівнює кількості виділеного).

В'язкість – властивість рідин та газів чинити опір взаємному переміщенню сусідніх шарів (внутрішнє тертя). Розрізняють в'язкість відносну, динамічну, кінематичну, ньютонівську, питому, приведену і структурну. Всі реальні рідини є в'язкими.

Поверхневий натяг – властивість рідини утворювати стійку плівку на поверхні розділу з газом, яка обумовлена невірноваженістю молекулярних сил, що діють на поверхні розділу, та знаходиться у стані рівномірного натягу. Дією сил поверхневого натягу обумовлені капілярні явища, що проявляються при зануренні труби малого діаметра під рівень рідини, який може бути вищим за рівень рідини, в яку вона занурена (увігнутий меніск), або нижчим (опуклий меніск).

Завдання

1. Визначити густину суміші двох рідин $V_1 = 10$ л густиною $\rho_1 = 900$ кг/м³ та $V_2 = 20$ л рідини густиною $\rho_2 = 870$ кг/м³.

2. Визначити підвищення тиску, при якому початковий об'єм води буде зменшеним на 1 %.

3. Сталевий трубопровід довжиною $l = 300$ м та діаметром $D = 500$ мм випробовують на міцність гідравлічним способом. Визначити об'єм води, який необхідно додатково ввести у трубопровід, щоб підняти тиск від $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 5$ МПа. Розширення трубопроводу не враховують. Об'ємний модуль пружності води $E = 2060$ МПа.

4. Визначити величину зменшення тиску мастила у замкненому об'ємі ($V_0 = 150$ л) гідроприводу, якщо витік мастила складає $\Delta V = 0,5$ л, а коефіцієнт об'ємного стиснення рідини $\beta_p = 7,5 \cdot 10^{-10}$ Па⁻¹. Деформацією елементів об'ємного гідроприводу, який містить в собі зазначений обсяг мастила, можна знехтувати.

Практична робота № 2

РОЗРАХУНОК ПОХИЛИХ ЖОЛОБІВ

Мета роботи: Навчитися виконувати розрахунок похилих жолобів та визначати їх оптимальні параметри.

Теоретичні відомості:

Самопливний гідротранспорт – це найбільш продуктивний, малогабаритний та безпечний вид транспорту, став якого прокладають з похилом не менше 3%. Порівняння економічної ефективності самопливного гідротранспорту з автомобільним, залізничним та конвеєрним свідчить про його безумовну перевагу.

Широке застосування самопливного гідротранспорту обумовлене такими перевагами, як легкість нарощування траси жолобів, простота з'єднання окремих жолобів, менша вага і

менша вартість одного лінійного метра жолобового ставу у порівнянні з напірним гідротранспортом, можливість швидкого виявлення закупорок та відносна легкість розбутовування жолобів.

До недоліків самопливного гідротранспорту слід віднести відсутність засобів стабілізації продуктивності системи, забутовування жолобів внаслідок потрапляння до них сторонніх предметів та великих грудок транспортованого матеріалу, витік транспортної води через відсутність герметизації на стиках жолобів та підвищений знос жолобів.

Зменшення гідроабразивного зношування жолобів забезпечується покриттям емаллю та футеруванням зносостійкими матеріалами (керамічною плиткою, кам'яним литтям, склом, тощо). Найбільш поширеними є жолоби трапецієподібної форми, які складаються з окремих ланок довжиною до 1,5 м. Застосовують жолоби при похилі ґрунту не більше 15 – 20о. При більшому похилі застосовують труби. Розміри жолобів найбільш розповсюдженого типу наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Типорозміри жолобів для самопливного гідротранспорту

Тип жолоба	Ширина, мм		Висота, мм	Довжина, мм	Площа перерізу, м²
	Внизу	Зверху			
I	300	400	300	1250	0,105
II	350	450	300	1250	0,120
III	400	500	300	1250	0,135
IV	500	600	300	1250	0,165
V	570	670	300	1250	0,186

Похил жолоба (каналу)

$$i = \frac{\lg Q_{cm} + 0,04C + A}{1000R} \quad (2.1)$$

Розрахункова швидкість руху гідросуміші у жолобах

$$u_{cp} = 64\sqrt{R^3} \cdot \sqrt{(\rho_{cp} - 1)w_0 \cdot a} \quad (2.2)$$

$$a = \left[\frac{d_{0-80}}{(0,5d_{cp} + 0,8)d_{cp}} \right]^{-0,2} \quad (2.3)$$

де Q_{cm} – витрата гідросуміші, м³/с; C – масова концентрація

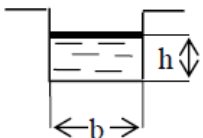
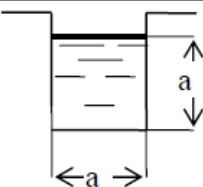
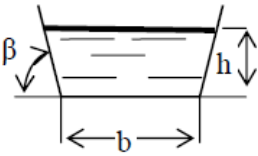
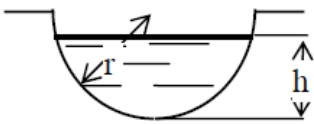
гідросуміші, %; R – гідравлічний радіус, який визначають за допомогою формул, наведених у табл. 2.2; A – коефіцієнт, який характеризує склад ґрунту у гідросуміші (табл. 2.3); $\rho_{см}$ – густина гідросуміші, т/м³; w_0 – осереднена гідравлічна крупність ґрунту, м/с

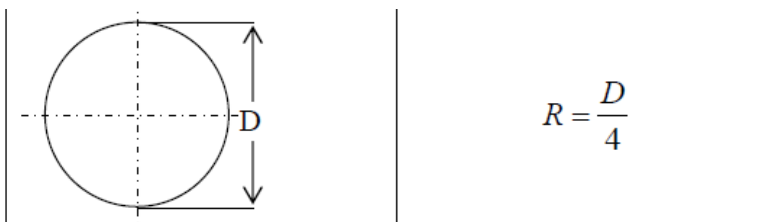
$$w_0 = \frac{\sum w_{i\text{ст}} \cdot \gamma_i}{100} \quad (2.4)$$

де $w_{i\text{ст}}$ – гідравлічна крупність стислого падіння окремих фракцій; γ – вміст цих фракцій у даній породі, %; $0-80 d$ та d_{cp} – середньозважений розмір (діаметр) фракцій ґрунту від 0 до 80 % його складу та всього складу відповідно.

Таблиця 2.2.

Визначення гідравлічного радіусу для жолобів різної форми

Форми потоку	Гідравлічний радіус
	$R = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$
	$R = \frac{a}{4}$
	$R = \frac{h(h + b \operatorname{tg} \beta)}{\left[\frac{\operatorname{tg} \beta (b + 2h)}{\sin \beta} \right]}$
	$R = \frac{r}{\frac{2 - \sqrt{2hr - h^2} (r - h)}{\sqrt{8hr + 1,33h^2}}}$



Таблиця 2.3.

Величина коефіцієнта А у формулі (2.1)

Вид ґрунтів	Коефіцієнт А
Глинисті та суглинністі	1,84
Супісок та пісок	2,0
Крупний пісок з невеликим вмістом гравію	3,0
Гравелистий	3 – 5

Завдання

Вихідні дані для розрахунку: $Q_{см} = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$; $C = 17 \%$; склад ґрунту – пісок середньої крупності; коефіцієнт шорсткості жолобів $\Delta E = 0,012$; $b = 0,5 \text{ м}$; $h = 0,25 \text{ м}$; $u_{ср} = 2,4 \text{ м/с}$.

Визначити Гідравлічний радіус згідно табл. 2.2. Визначити похил жолобу за допомогою формули (2.1) при $C = 17 \%$; $A = 2$. Визначити величину a за формулою (2.3) при $d_{0-80} = 0,2 \text{ мм}$; $d_{ср} = 0,2 \text{ мм}$. Визначити величину розрахункової швидкості гідросуміші у жолобі при $w = 0,02$.

Практична робота № 3

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМОНІТОРА

Мета роботи: Навчитися виконувати розрахунок основних параметрів гідромонітора та визначати його робочі характеристики.

Теоретичні відомості:

Теоретичну дальність польоту струменя при максимальному підйомі стовбура, якщо не враховувати аерацію

струменя, опір повітря та висоту розташування стовбура гідромонітора щодо умовного горизонту можна визначити за формулою:

$$L_T = V_d^2 \cdot 2 \cdot \sin \alpha / g, \quad (3.1)$$

де α - максимальний кут підйому стовбура гідромонітора, град; V_d - дійсна швидкість вильоту струменя з насадки м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²;

Внаслідок опору повітря дійсна дальність польоту струменя менша від теоретичної, а найбільша довжина польоту досягається при нахилі ствола 30°. Залежно від напрямку та сили вітру, а також діаметра насадки ця довжина не перевищує 85...95 % від теоретичної.

Фактична дальність польоту струменя:

$$L_d = 0,9 \cdot L_T. \quad (3.2)$$

Після вильоту з насадки в результаті опору навколишнього середовища відбувається поступовий розпад струменя, зменшення середньої швидкості польоту та збільшення поперечного перерізу. Внаслідок цього зі збільшенням відстані від насадки до вибою величина контактного динамічного тиску струменя та продуктивність гідромонітора при розмиві порід зменшуються.

Для найкращого використання щільнішої частини струменя та інтенсивного розмиву гідромонітор повинен бути розташований якомога ближче до забою.

Мінімальна відстань від гідромонітора до вибою (коефіцієнт наближення гідромонітора до вибою) обмежується правилами безпеки, згідно з якими воно має бути не менше 0,8 висоти уступу, а для глинистих порід, здатних до обвалення великими брилами, не менше 1,2 висоти уступу. При дистанційному управлінні гідромоніторами допускається зменшення цієї відстані до 0,5...0,7 висоти уступу, а при самохідних гідромоніторах, які можна швидко відсунути в період обвалення - до 0,3 висоти уступу.

Пересування гідромонітора для підтримки мінімальної відстані повинні бути якомога частішими. Спостереженнями встановлено, що при розробці суглинків середньої щільності відбувається зниження продуктивності в середньому на 5% при

збільшенні відстані на кожен 1 м між вибоєм та гідромонітором, а при дуже важких суглинках та глинах досягає ще більших значень.

Рекомендована величина кроку переміщення гідромонітора наведено у табл. 3.1.

Найменша відстань установки гідромонітора від вибою:

$$L_{\min} = H_y \cdot a_k, \text{ м} \quad (3.3)$$

де H_y – висота уступа, м; a_k – коефіцієнт приближення гідромонітора до забою.

Найбільша відстань установки гідромонітора від вибою:

$$L_{\max} = H_y + S, \text{ м} \quad (3.4)$$

де S - крок пересування гідромонітора, що визначається довжиною прийнятого вибійного трубопроводу, м.

Таблиця 3.1.

Рекомендована величина кроку пересування
гідромонітора

Категорія міцності порід	Крок пересування гідромонітора, м
1	12
2	10
3	8
4	6
5	4
6	2

Практикою встановлено, що розмив у цілику доцільно здійснювати на відстані від вибою до насадки гідромонітора, що не перевищує 0,25...0,3 величини напору, оскільки на хвостовій ділянці струменя осьовий тиск малий.

Тому граничне раціональне віддалення гідромонітора від вибою при розмиві порід у цілику повинне встановлюватися в певних межах:

$$l_{\max} = \varepsilon \cdot H^o_d, \text{ м} \quad (3.5)$$

де $\varepsilon = 0,25...0,3$ коефіцієнт використання струменя під час підрізування; H^o_d - дійсний робочий напір у насадці гідромонітора м, (на відбійку порід).

Розрахунковий крок пересування гідромонітора:

$$S = \sqrt{\frac{(8 \cdot l_{max}^2 + H_y^2) - 3 \cdot H_y}{4}}, \text{ м.} \quad (3.6)$$

Ширина заходження гідромонітора:

$$B = 2 \cdot \sqrt{l_{max}^2 - (l_{max} - S)^2} \text{ м.} \quad (3.7)$$

Завдання

Виконати розрахунок технологічний розрахунок гідромонітора. Варіанти вихідних даних наведені в табл. 3.2.

№ варіанта	$\alpha, ^\circ$	$V_d, \text{ м/с}$	$H_y, \text{ м}$	a_k	$H_d^o, \text{ м}$
1	26	20	15	1,0	16
2	27	23	16	0,5	20
3	25	23	15	1,0	16
4	28	26	16	0,5	25
5	23	18	13	1,0	15
6	29	29	17	0,5	25
7	24	18	14	1,0	16
8	22	19	13	1,0	16
9	25	18	15	1,0	16
10	26	20	16	0,5	17

Практична робота № 4

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГІДРОЕЛЕВАТОРА

Мета роботи: Засвоїти методику розрахунку гідроелеватора та визначати умови його ефективної роботи.

Теоретичні відомості:

Повний напір, що розвивається гідроелеватором:

$$H_n = h_1 + h_2 + h_1' + h_2', \text{ м} \quad (4.1)$$

де h_1 - геодезична висота всмоктування, м (приймається 1...1,5 м); h_2 - геодезична висота нагнітання, м (приймається рівною висотою уступу, враховуючи максимальну висоту

підйому гідроелеватором пульпи); h_1' і h_2' - втрати напору (орієнтовно прийняті 10% від h_1 і h_2).

Напір робочої рідини біля насадки гідроелеватора:

$$H_o = H_n / (\beta \cdot \varphi^2), \text{ м} \quad (4.2)$$

де β - коефіцієнт відношення напорів (праметр β змінюється в межах від 0,1 до 0,4; $\beta = 0,1$ під час транспортування значних об'ємів пульпи (більше 100 л/с) на невелику висоту (до 5 м); $\beta = 0,4$ при транспортуванні незначних об'ємів пульпи (до 100 л/с) на більшу висоту (понад 5 м). φ - швидкісний коефіцієнт $\varphi = (0,95 \dots 0,97)$.

Рівняння знаходження коефіцієнта підсмоктування залежно від коефіцієнта відношення напорів отримано шляхом обробки значень, знятих з графіка цієї функції, за програмою парної кореляції. Графік є гіперболою:

$$\alpha = 0,326 / \beta - 0,279. \quad (4.3)$$

Витрата робочої рідини:

$$Q_o = \gamma_n \cdot Q_n / (\alpha \cdot \gamma_o), \text{ л/с} \quad (4.4)$$

де γ_n - щільність пульпи, т/м³ (визначається в залежності від кількості твердого в пульпі та середньозваженої величини твердого в ній); Q_n - продуктивність по пульпі, л/с; γ_o - щільність води, т/м³.

Діаметр трубопроводу робочої рідини

$$d_o = \sqrt{4 \cdot Q_o / V_o}, \quad (4.5)$$

де $V_o = 2,5$ м/с - швидкість руху рідини.

Швидкість вильоту струменя з насадки:

$$V_n = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g / H_o}, \text{ м/с} \quad (4.6)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с².

Діаметр насадки:

$$d_n = \sqrt{\frac{1,27 \cdot Q_o}{\mu \cdot V_n}}, \text{ мм} \quad (4.7)$$

де μ - коефіцієнт зниження швидкості, $\mu = 0,9$.

Діаметр горловини:

$$d_\Gamma = \sqrt{\frac{4 \cdot F_\Gamma}{\pi}}, \text{ мм} \quad (4.8)$$

де F_Γ - площа перерізу горловини, що визначається з умови:

$$F_{\Gamma} = \pi \cdot d_n^2 / (4 \cdot \beta), \text{ мм}^2. \quad (4.9)$$

Фактична швидкість руху пульпи у горловині:

$$V_{\Gamma} = (Q_n + Q_o) / F_{\Gamma}, \text{ м/с}. \quad (4.10)$$

Необхідна швидкість руху пульпи:

$$V_{н\delta} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \delta \cdot (h_2 \cdot h_2)}, \text{ м/с} \quad (4.11)$$

де δ - ступінь відновлення пульпи в дифузорі, $\delta = 0,774$.

Умова $V_{\Gamma} \geq V_{н\delta}$ дотримується, отже, розрахунок зроблений правильно.

Діаметр дифузора наприкінці першої частини:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot (Q_{\Pi} + Q_o)}{\pi \cdot V_1}}, \text{ м} \quad (4.12)$$

де V_1 - швидкість руху пульпи у першій частині дифузора

$$V_1 = V_{\Gamma} - (V_{\Gamma} - V_3) / 3, \text{ м/с} \quad (4.13)$$

де V_3 - швидкість руху пульпи у третій частині дифузора (в нагнітальному трубопроводі), що визначається з умови

$$V_3 = 4 \cdot (Q_n + Q_o) / (\pi \cdot d_3^2), \text{ м/с} \quad (4.14)$$

де d_3 - діаметр нагнітального трубопроводу, м.

Необхідна дотриманість умови:

$$V_3 \geq V_{кр}.$$

Якщо швидкість нагнітального трубопроводу більша критичної ($V_{кр}$, м/с), отже діаметр трубопроводу підібраний правильно. Критична швидкість руху пульпи наведена у табл. 6.1.

Таблиця 4.1

Критична швидкість потоку пульпи

Діаметр трубопроводу, мм	Критична швидкість руху пульпи, м/с				
	глинисті породи	глинисто- піщані породи	піщано- гравійні породи	гравій, щебінь	рядове вугілля
200	1,6	1,9	2,4	2,8	2,0
250	1,7	2,0	2,5	3,6	2,2
300	1,8	2,1	2,9	3,9	2,5
350	2,1	2,2	3,0	4,3	2,8
400	2,2	2,4	3,4	4,5	2,9
450	2,3	2,6	3,5	4,8	3,1

500	2,5	3,0	3,8	5,3	3,3
600	2,7	3,2	4,1	-	3,6
700	3,0	3,5	4,6	-	-
800	3,4	3,8	5,2	-	-

Довжина першої частини дифузора:

$$L_1 = (d_2 - d_1) / (2 \cdot \operatorname{tg} 1), \text{ м} \quad (4.15)$$

де $\operatorname{tg} 1$ - в радіанах.

Діаметр другої частини дифузора:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot (Q_n + Q_o)}{\pi \cdot V_2}}, \text{ м} \quad (4.16)$$

де V_2 - швидкість руху пульпи у другій частині дифузора, що визначається за рівнянням:

$$V_2 = V_1 - (V_1 - V_3) / V_3. \quad (4.17)$$

Довжина другої частини дифузора:

$$L_2 = (d_2 - d_1) / (2 \cdot \operatorname{tg} 2^\circ). \quad (4.18)$$

Довжина третьої частини дифузора:

$$L_3 = (d_3 - d_2) / (2 \cdot \operatorname{tg} 6,5^\circ). \quad (4.19)$$

Визначається відстань від насадки до горловини:

$$Z = 4,65 \cdot d_n \left(\frac{V_n}{V_r} \right), \text{ м}. \quad (4.20)$$

Діаметр всмоктуючого трубопроводу визначається аналогічно діаметру d_3 з відрахуванням Q_o .

Швидкість руху пульпи у всмоктувальному трубопроводі:

$$V_{вс} = 4 \cdot Q_n / (\pi \cdot d_{вс}^2), \quad (4.21)$$

де $d_{вс}$ - діаметр всмоктувального трубопроводу, м.

Якщо умова $V_{вс} \geq V_{кр}$ дотримується, то діаметр всмоктувального трубопроводу підібрано правильно.

Діаметр перфорацій грохоту, що встановлюється над приймальним зумпфом або камерою змішування становить не більше $2/3$ мінімального діаметра патрубку, що всмоктує, або дифузора гідроелеватора.

ККД гідроелеваторної установки:

$$\eta = (Q_n + Q_o) \cdot H_n / (Q_o \cdot H_o). \quad (4.22)$$

Завдання

Виконати розрахунок гідроелеваторної установки, якщо дано: щільність пульпи $\gamma_n = 1,2$; продуктивність по пульпі $Q_n = 100$ л/с; щільність води $\gamma_o = 1$ т/м³; діаметр нагнітального трубопроводу $d_3 = 0,6$ м; діаметр всмоктувального трубопроводу $d_{вс} = 0,8$ м.

Практична робота № 5

РОЗРАХУНОК ТРУБОПРОВІДІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ

Мета роботи: Засвоїти принципи розрахунку трубопроводів при гідравлічному ударі та навчитися визначати його основні параметри для забезпечення надійної роботи системи.

Теоретичні відомості:

Гідравлічний удар – це різке короткочасне коливання тиску в рідинному потоці, яке виникає в результаті швидкої зміни швидкості руху рідини в трубопроводі. Найчастіше він спостерігається під час раптового закриття або відкриття запірної арматури, зупинки чи пуску насосів.

У процесі експлуатації трубопровідних систем гідравлічний удар є небезпечним явищем, оскільки може викликати:

- пошкодження труб та арматури через перевищення розрахункового тиску;
- розгерметизацію стиків;
- руйнування насосного обладнання;
- зниження надійності всієї системи.

При гідравлічному ударі виникає хвиля стиску, яка поширюється зі швидкістю:

$$C = \sqrt{\frac{E_p}{\rho(1 + \frac{E_p \cdot d}{E_m \cdot \delta})}}, \text{ м/с} \quad (5.1)$$

де E_p - об'ємний модуль пружності рідини, Па; ρ - густина рідини, кг/м³; E_m - модуль пружності матеріалу труби, Па; d - внутрішній діаметр трубопроводу, мм; δ - товщина стінок труби, мм.

Підвищення тиску при прямому гідроударі:

$$\Delta p = \rho v_0 C, \text{МПа} \quad (5.2)$$

де v_0 - швидкість руху рідини, м/с.

Повний тиск в рідині:

$$p = p_0 + \Delta p, \text{МПа} \quad (5.3)$$

де p_0 - тиск по удару, МПа.

Напруження в стінках труби:

$$\sigma = \frac{pd}{2\delta}, \text{МПа} \quad (5.4)$$

При непрямому гідроударі:

$$t_0 = \frac{2l}{C}, \text{с} \quad (5.5)$$

де l - довжина трубопроводу, м.

Безрозмірний коефіцієнт:

$$k = \frac{\rho l v_0}{p_0 t_0}, \text{с} \quad (5.6)$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{2k}{2-k} \cdot p_0, \text{Па} \quad (5.7)$$

Завдання

1. Провести перевірку на міцність сталюї труби діаметром $d = 200$ мм, в якій можливий прямий гідравлічний удар. Товщина стінок труби $\delta = 4$ мм, допустиме напруження на розтяг $[\sigma] = 140$ МПа, швидкість руху води $v_0 = 5$ м/с, тиск до удару $p_0 = 0,25$ МПа, $E_p = 2 \cdot 10^9$ Па – об'ємний модуль пружності води; $\rho = 1000$ кг/м³ – густина води; $E_m = 2 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності сталі.

2. Визначити підвищення тиску в напірному трубопроводі у випадках прямого і непрямого гідравлічних ударів при $\rho = 1000$ кг/м³; $v_0 = 1$ м/с; $C = 1000$ м/с; $p_0 = 40000$ Па; $l = 200$ м; час закриття заслінки $t_3 = 4$ с.

Практична робота № 6

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГІДРОТРАНСПОРТУ ПОРОДИ ТА ҐРУНТІВ

Мета роботи: Засвоїти методику розрахунку параметрів гідротранспорту породи та ґрунтів.

Теоретичні відомості:

Особливе місце в практиці гідромеханізації гірничих робіт займає процес гідравлічного транспортування різного роду нев'язких ґрунтів, гірничої породи, гравелистих та крупнозернистих пісків. Густина транспортованих матеріалів у даному випадку складає 2000-3000 кг/м³, а середньозважена крупність – від 0,25 ÷ 0,50 до 50÷70 мм для уламкових та подрібнених порід.

Витрати енергії на транспортування таких матеріалів, як правило, значні, а сфера застосування обмежена технологічними та в деяких випадках промисловими гідротранспортними системами при невеликій відстані транспортування.

Розрахунки виконують на основі даних з осередненого (середньозваженого) гранулометричного складу твердого матеріалу, призначеного для гідравлічного транспортування.

Критичну швидкість руху гідросуміші визначають за формулою:

$$u_{кр} = 8,3\sqrt[3]{D} \cdot \sqrt[6]{S \cdot \psi_{ср}}, \quad (6.1)$$

де D – зовнішній діаметр труби, м; S – середня по перерізу потоку об'ємна концентрація гідросуміші, % або частка одиниці; ψ – коефіцієнт, який є функцією гідравлічної крупності частинок твердого матеріалу та визначає здатність ґрунту до транспортування в напірному потоці води. Величину коефіцієнта ψ для стандартних груп крупності наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Величина коефіцієнта ψ

Крупність, мм	0,05- 0,10	0,1- 0,25	0,25- 0,5	0,5- 1,0	1,0- 2,0	2,0- 3,0	3,0- 5,0	5,0- 10,0	>10
Коефіцієнт ψ	0,02	0,2	0,4	0,8	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0

Для багатofракційних ґрунтів підраховують середньозважене значення цього коефіцієнта:

$$\psi_{\text{ср}} = \frac{\sum \psi_i \cdot p_i}{100}. \quad (6.2)$$

де ψ_i – середня величина для i -тої стандартної крупності; p_i – відсотковий вміст i -тої стандартної крупності в пробі ґрунту (за масою).

За середнім значенням стандартних груп крупності (табл. 6.1) побудовано графічну залежність $\psi = f(d_{\text{ср}})$, яка дає можливість визначити величину $\psi_{\text{ср}}$ при використанні матеріалів інших класів крупності стандартної шкали (напр., 0,5 – 1,0; 1 – 3; 3 – 6; 6 – 13) (рис. 6.1).

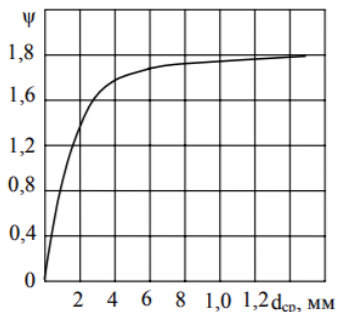


Рис. 6.1. Залежність коефіцієнта Ψ , який характеризує здатність ґрунту до транспортування від крупності матеріалу.

Наявність у ґрунті одномодального розподілу менше 10 % порівняно крупних частинок при визначенні коефіцієнта ψ рекомендовано не враховувати.

Питомі гідравлічні опори при напірному гідравлічному транспортуванні твердих матеріалів рекомендованої категорії в горизонтальних трубопроводах визначають як суму питомих гідравлічних опорів при русі води та додаткових (порівняно з водою) гідравлічних опорів, обумовлених наявністю твердих частинок у гідросуміші.

Питомі втрати напору в трубопроводі при русі води визначають за формулою (6.3), а коефіцієнт гідравлічного опору тертя залежно від стану внутрішньої поверхні – за формулами

(6.4–6.6).

$$i_0 = \frac{\lambda_0 \cdot u^2}{2g \cdot D}. \quad (6.3)$$

Коефіцієнт гідравлічного опору на тертя для трубопроводів з нових сталевих труб або труб, відшліфованих при гідравлічному транспортуванні твердих сипких матеріалів:

$$\lambda_0 = \frac{1,1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2}. \quad (6.4)$$

або, $\lambda_0 =$

$$\frac{0,31}{(\lg Re - 1)^2}. \quad (6.5)$$

У випадку труб із кородованою внутрішньою поверхнею коефіцієнт гідравлічного опору тертя рекомендують визначати за формулою:

$$\lambda_0 = 0,24 \left[\frac{1,9 \cdot 10^{-6}}{D} + \frac{1}{Re} \right]^{-0,226}. \quad (6.6)$$

Число Рейнольдса у формулах (6.4)–(6.6) знаходять з виразу:

$$Re = \frac{uD}{\nu}. \quad (6.7)$$

де $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості води при температурі 20 °С.

Значення питомих гідравлічних опорів, які визначено за допомогою залежності (6.3) з використанням коефіцієнтів гідравлічного опору, розрахованих за формулами (6.4)–(6.6), наведено в табл. 6.2 та табл. 6.3.

Таблиця 6.2.

Питомі гідравлічні опори для гідравлічно гладких та труб,
м вод. ст./м

Швид- кість води, м/с	Діаметр гідравлічно гладкого трубопроводу					
	150	200	250	300	350	400
1,0	0,0060	0,0043	0,0035	0,0029	0,0022	0,0019
1,5	0,0117	0,0094	0,0069	0,0056	0,0046	0,0040
2,0	0,0210	0,0156	0,0120	0,0094	0,0078	0,0067
2,5	0,0323	0,0234	0,0177	0,0140	0,0118	0,0101
3,0	0,0454	0,0321	0,0251	0,0196	0,0165	0,0141
3,5	0,0591	0,0427	0,0324	0,0263	0,0219	0,0187
4,0	0,0752	0,0542	0,0402	0,0330	0,0281	0,0240

Таблиця 6.3.

Питомі гідравлічні опори для гідравлічно шорстких труб,
м вод. ст./м

Швид- кість води, м/с	Діаметр шорсткого трубопроводу					
	150	200	250	300	350	400
1,0	0,0068	0,0052	0,0041	0,0031	0,0025	0,0021
1,5	0,0150	0,0101	0,0082	0,0065	0,0054	0,0045
2,0	0,0263	0,0193	0,0143	0,0115	0,0093	0,0080
2,5	0,0416	0,0295	0,0220	0,0181	0,0145	0,0125
3,0	0,0593	0,0420	0,0319	0,0263	0,0210	0,0180
3,5	0,0802	0,0561	0,0430	0,0357	0,0285	0,0249
4/0	0,1050	0,0734	0,0561	0,0458	0,0373	0,0323

Завдання

За заданим гранулометричним складом ґрунту визначити середній коефіцієнт ψ . Розрахувати критичну швидкість руху гідросуміші в трубопроводі. Обчислити питомі гідравлічні опори та загальні втрати напору в трубопроводі довжиною L . Діаметр трубопроводу $D=0,15$ м; довжина трубопроводу $L=200$ м; густина частинок породи $\rho_m=2600$ кг/м³; середня об'ємна концентрація суміші $S=0,12$; середній розмір частинок $d_{cp}=0,5$ мм; температура води $t=20^\circ\text{C}$ ($\nu=1\cdot 10^{-6}$ м²/с).

Практична робота № 7

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СВЕРДЛОВИННОГО ГІДРОВИДОБУТКУ

Мета роботи: Навчитися виконувати розрахунок основних параметрів свердловинного гідровидобутку.

Теоретичні відомості:

Свердловинне гідродобування (СГВ) – метод підземної розробки родовищ твердих корисних копалин через свердловини

переведенням руди на місці залягання у стан гідросуміші з наступним виділенням з неї корисних компонентів.

Основи технології методу СГВ складають сукупність відомих раніше елементів традиційних технологій, таких як: буріння свердловин, гідроруйнування, самопливний чи примусовий гідротранспорт, гідропідйом, управління гірським тиском, переробка рудної пульпи, водопостачання, засоби і способи контролю і керування процесами, які утворюють у зв'язку зі специфічними особливостями свердловинного гідровидобування нову якість – дистанційність виймання твердої корисної копалини, що виключає присутність людини на місці важких і небезпечних очисних робіт.

Багатоцільовий характер діяльності підприємства свердловинного гідровидобутку (СГВ) корисних копалин ускладнює процес прийняття рішень при виборі оптимальних технологічних параметрів [1].

Складний сам по собі і вибір критерію оцінки, єдиного підходу до вибору критерію оцінки.

Найчастіше використовують критерій, який враховує сумарний прибуток від застосування свердловинного гідровидобутку.

Орієнтовно можна оцінити оптимальні параметри свердловинної технології, дослідивши залежність [2].

$$\Pi = f(R), \text{ грн/т} \quad (7.1)$$

де Π - питомий розрахунковий прибуток від видобування корисної копалини, грн/т; R - радіус камери розмиву, м.

Оцінюючи прибуток як різницю між ціною і собівартістю, необхідно визначити наступні витрати:

- витрати на заробітну плату;
- амортизаційні відрахування;
- витрати на електроенергію;
- умовно - постійні витрати;
- витрати на воду.

Розрахунок ведеться в наступній послідовності.

Запаси корисної копалини, які погашаються однією свердловиною:

$$V_{\text{св}} = \pi \cdot R^2 \cdot m \cdot \rho, \text{ т} \quad (7.2)$$

де m - потужність покладу, м; ρ - густина корисної копалини, т/м³.

Втрати корисної копалини в міжкамерних ціликах:

$$Q_{\text{пц}} = d^2 \cdot m \cdot \rho - V_{\text{св}}, \text{ т} \quad (7.3)$$

де d - відстань між видобувними свердловинами, м.

Сумарні втрати корисної копалини на ділянці, що відпрацьовується однією свердловиною:

$$Q = Q_{\text{пц}} + V_{\text{св}} \cdot (1 - C_1), \text{ т} \quad (7.4)$$

де C_1 — коефіцієнт вилучення відбитої корисної копалини, орієнтовно $C_1=0,95$.

Тривалість відпрацювання запасів однієї свердловини:

$$t_{\text{доб}} = \frac{V_{\text{св}} \cdot C_1}{\Pi^1}, \text{ год} \quad (7.5)$$

де Π^1 - технічна продуктивність видобувного агрегату, т/год.

Час роботи однієї свердловини:

$$t_{\text{св}} = t_{\text{м}} + t_{\text{дем}} + t_{\text{доб}}, \text{ год} \quad (7.6)$$

де $t_{\text{м}}$ - тривалість монтажу видобувного обладнання, год;

$t_{\text{дем}}$ - тривалість демонтажу видобувного обладнання, год.

Витрати на заробітну плату при розробці корисних копалин однією свердловиною:

$$C_{\text{зар}} = \frac{3_o \cdot n \cdot t_{\text{св}}}{V_{\text{св}} \cdot C_1 \cdot T}, \text{ грн./т} \quad (7.7)$$

де 3_o - годинна тарифна ставка робітника, грн; n - чисельність ланки, люд., орієнтовно $n=3$ людини.

Амортизаційні відрахування при експлуатації однієї свердловини:

$$C_{\text{амс}} = \frac{C_{\text{св}}}{V_{\text{св}} \cdot C_1}, \text{ грн./т} \quad (7.8)$$

де $C_{\text{св}}$ - витрати на спорудження свердловини та її обладнання, грн.

Амортизаційні відрахування на гирлове обладнання однієї свердловини:

$$C_{\text{амд}} = \frac{C_{\text{в}} \cdot H_{\text{д}} \cdot t_{\text{св}}}{100 \cdot t_{\text{доб}} \cdot \Pi^1 \cdot n \cdot T_{\text{доб}} \cdot T_{\text{см}}}, \text{ грн./т} \quad (7.9)$$

де $C_{\text{в}}$ - вартість видобувного обладнання однієї свердловини, грн; $H_{\text{д}}$ - норма амортизації видобувного обладнання, орієнтовно $H_{\text{д}}=3,3\%$; $T_{\text{доб}}$ - число робочих днів у

році, $T_{\text{доб}} = 305$ днів.

Амортизаційні відрахування за загальне обладнання:

$$C_{\text{амоб}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_{\text{об}}}{100 \cdot A_{\text{год}}}, \text{ грн./т} \quad (7.10)$$

де $C_{\text{об}}$ - вартість загального обладнання, будівель і споруд, грн; $N_{\text{об}}$ - середня норма амортизації загального устаткування будівель та споруд, орієнтовно $N_{\text{об}} = 10\%$; $A_{\text{год}}$ - виробнича потужність підприємства, т/рік.

Сумарні амортизаційні відрахування:

$$C_{\text{ам}} = C_{\text{амс}} + C_{\text{амд}} + C_{\text{амоб}}, \text{ грн/т} \quad (7.11)$$

Витрати на воду:

$$C_{\text{вд}} = q_{\text{в}} \cdot C_{\text{вт}}, \text{ грн/т} \quad (7.12)$$

де $q_{\text{в}}$ - питомі витрати води на видобування корисних копалин $\text{м}^3/\text{т}$; $C_{\text{вт}}$ - вартість технічної води, $\text{грн}/\text{м}^3$.

Умовно - постійні витрати:

$$C_{\text{уп}} = (C_{\text{зар}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{вд}} + C_{\text{ел}}) \cdot K_{\text{уп}}, \text{ грн/т} \quad (7.13)$$

де $K_{\text{уп}}$ - коефіцієнт, що враховує умовно - постійні витрати; $K_{\text{уп}} = 0,2$; $C_{\text{ел}}$ - питомі витрати на електроенергію, $\text{грн}/\text{т}$, орієнтовно $C_{\text{ел}} = 0,40$ $\text{грн}/\text{т}$.

Сумарна собівартість видобутої корисної копалини

$$C = C_{\text{зар}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{вд}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{уп}} + \frac{(V_{\text{св}} + Q_{\text{пц}})}{V_{\text{св}} \cdot C_1}, \text{ грн/т} \quad (7.14)$$

Розрахунковий прибуток від реалізації корисних копалин:

$$П = (Ц \cdot 100 - C) \cdot A_{\text{год}}, \text{ грн} \quad (7.15)$$

де $Ц$ - ціна корисної копалини, $\text{грн}/\text{т}$.

Завдання

Розрахувати прибуток геотехнологічного підприємства свердловинного гідровидобування для наступних умов: потужність покладу $m = 2,0$ м; щільність корисної копалини $\rho = 1,6$ т/ м^3 ; відстань між видобувними свердловинами $l = 20$ м; радіус камери $R = 8$ м; технічна продуктивність свердловинного агрегату (гідромонітора) $P = 60$ т/год; час на монтаж видобувного обладнання $t_{\text{м}} = 8$ год; час на демонтаж видобувного обладнання $t_{\text{дем}} = 10$ год; витрати на спорудження свердловини $C_{\text{св}} = 800$ грн. Вартість видобувного обладнання однієї свердловини $C_{\text{св}} = 10000$ грн. Вартість загального обладнання $C_{\text{обл.}} = 1000000$ грн.

Виробнича річна потужність геотехнологічного підприємства $A_{\text{річн}} = 200000$ т/рік. Питомі витрати води $g_v = 8 \text{ м}^3/\text{т}$. Витрати на розвідку та підготовку запасів $C_{\text{розв}} = 0,5$ грн/т. Розрахункова ціна корисної копалини $\Pi = 6,5$ грн/т.

Практична робота № 8

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕРЛІФТА

Мета роботи: навчитися виконувати розрахунок ерліфта та визначати його робочі характеристики для транспортування пульпи.

Теоретичні відомості:

Дія ерліфта (повітряного підйомника) засновано на тому, що в двох сполучених ємностях положення рівнів рідини при різних щільності неоднакове, причому рідина з меншою щільністю має більш високий рівень, ніж рідина з більшою щільністю [1].

Ерліфт (рис. 8.1) складається з водопідйомних і повітропровідних труб, змішувача і компресора. Компресор призначений для подачі стисненого повітря в свердловину до змішувача, що знаходиться в нижній частині колони повітропровідних труб. Повітря, вступаючи з повітро-провідної труби в змішувач, утворює повітряно-водяну суміш, щільність якої залежить від кількості повітря, що поступає. Чим більше висота підйому, тим менше повинна бути щільність суміші, тобто зі збільшенням висоти підйому води збільшується витрата повітря [1].

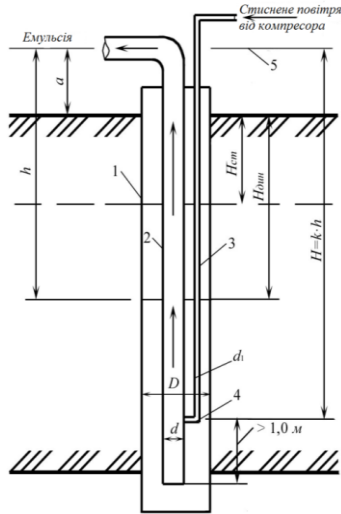


Рис.8.1. Розрахункова схема ерліфта:

1 - обсадна труба; 2 - водопідйомна труба; 3 - повітропровідна труба; 4 - змішувач; 5 - рівень виливу.

Для роботи ерліфта колона повітропровідних труб повинна бути опущена в свердловину нижче рівня води на таку глибину, щоб стовп повітряно-водяної суміші був не тільки урівноважений, але щоб йому було ще здійснено рух вгору. При низькому положенні статичного рівня в свердловині і недостатньою глибині занурення повітряно-водяна суміш не може подолати шлях від змішувача до рівня виливу [1].

За допомогою ерліфта піднімають воду тільки до поверхні землі - збірного резервуара.

Перевага ерліфта перед іншими глибинними насосами полягає в тому, що він не має робочих частин в свердловині, а тому надійний в дії. Ерліфт незамінний в тих випадках, коли при порівняно невеликому діаметрі свердловини потрібно отримати значну кількість води. В цьому відношенні ерліфт стоїть на першому місці серед всіх глибинних насосів. Він придатний для відкачування води з піском. Недоліком ерліфта є низький коефіцієнт корисної дії і необхідність високого стовпа води в свердловині. Шляхом ретельного підбору діаметра труб і глибин

їх занурення вдається підвищити коефіцієнт корисної дії ерліфта до 0,3 [1].

Визначення глибини занурення H змішувача по залежності:

$$H = K \cdot h, \text{ м}, \quad (8.1)$$

де h - відстань від динамічного рівня до рівня виливу, м; K - коефіцієнт занурення.

Найменший коефіцієнт занурення 1,4 і найбільший 3,0 змінюються тільки для короткочасної роботи ерліфта. Оптимальним коефіцієнтом занурення K для експлуатаційних установок приймається 2,0 - 2,5; більш точно він визначається дослідним шляхом. Глибина занурення форсунки під динамічний рівень від рівня виливу підбирається таким чином, щоб вона була в 2,0 - 2,5 рази більше глибини динамічного рівня від рівня виливу. Це відношення визначає коефіцієнт занурення K .

Питому витрату повітря (на 1 м³ піднятої води) визначають за формулою:

$$v_0 = \frac{h}{c \cdot \lg \frac{h \cdot (K-1) + 10}{10}}, \text{ м}^3, \quad (8.2)$$

де c - досвідчений коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта занурення і приймається за табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Залежність досвідченого коефіцієнта c від коефіцієнта занурення K

Коефіцієнт занурення K	4	3,35	2,85	2,5	2,2	2	1,8	1,7	1,55
Дослідний коефіцієнт c	14,3	13,9	13,6	13,1	12,4	11,5	10	9	8

Повну витрату повітря знаходять за формулою:

$$W = \frac{Q \cdot v_0}{3600}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (8.3)$$

де Q - розрахункова витрата води, м³/год.

Пусковий тиск повітря визначають за формулою:

$$p_0 = 0,1 \cdot (K \cdot h - H_{\text{н0}} + 2), \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad (8.4)$$

де $H_{\text{ст}}$ - глибина статичного рівня води, м.

Робочий тиск повітря визначають за формулою:

$$p = 0,1 \cdot [h \cdot (K - 1) + 5], \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}. \quad (8.5)$$

Витрата емульсії (вода + повітря) безпосередньо вище змішувача знаходять з формули:

$$q_1 = \frac{Q}{3600} + \frac{W}{p - 1}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (8.6)$$

Витрата емульсії при зливі підраховують за формулою:

$$q_2 = \frac{Q}{3600} + W, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (8.7)$$

Необхідний перетин водопідйомної труби у форсунки визначають за формулою:

$$\omega_1 = \frac{q_1}{v_1}, \text{ м}^2, \quad (8.8)$$

де v_1 - швидкість руху емульсії у форсунки, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, визначають за табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Швидкість руху емульсії в залежності
від динамічного рівня води

Глибина динамічного рівня води від рівня зливу, м	20	40	60
Швидкість руху емульсії у форсунки, v_1 , м/с	1,8	2,7	3,6
Швидкість руху емульсії на зливі, v_2 , м/с	6	7...8	9...10

Площа перерізу водопідйомною труби у зливі обчислюють за формулою:

$$\omega_2 = \frac{q_2}{v_2}, \text{ м}^2, \quad (8.9)$$

де v_2 - швидкість руху емульсії на виливу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, визначають за табл. 8.2.

Продуктивність компресора приймають за формулою:

$$W_{\text{е}} = 1,2 \cdot W \cdot 3600, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}. \quad (8.10)$$

Діаметр водопідйомною труби визначають:

- при паралельному розташуванні труб

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_2}{\pi}}, \text{ м}, \quad (8.11)$$

- при центральному розташуванні труб

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_2 + \pi \cdot d_1^2}{\pi}}, \text{ м}, \quad (8.12)$$

де d_1 - діаметр повітропровідних труб, приймають по табл.

8.3.

Таблиця 8.3

Залежність діаметра повітропроводу
від продуктивності компресора

Кількість повітря, яке засмоктує омпресор, м³/год	Діаметр повітропроводу, мм	Кількість повітря, яке засмоктує омпресор, м³/год	Діаметр повітропроводу, мм
10...33	15...20	201...400	40...50
34...59	20...25	401...700	50...70
60...100	25...32	701...1000	70...80
101...200	32...40	1001...1600	80...100

У разі центрального розташування повітропровідної труби при визначенні питомої витрати повітря вводиться поправочний коефіцієнт (табл. 8.4) і проводиться уточнення величин v_0 , W , q_1 , q_2 , ω_1 , ω_2 , W_k , d .

Таблиця 8.4

Поправочний коефіцієнт до питомої витрати повітря
для ерліфта при центральному розташуванні труб

Діаметр водопідійомної труби, мм	Діаметр повітропровідної труби, мм	Поправочний коефіцієнт
400	100	1,08
	76	1,06
350	76	1,06
	65	1,05
300	76	1,08
	65	1,06
250	65	1,09
	50	1,06
150	50	1,16
	38	1,10
125	38	1,15

	32	1,11
100	32	1,18
	25	1,11
80	25	1,20
	19	1,13

Робочий тиск компресора знаходять за формулою:

$$p_{\hat{e}} = p + \sum p, \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad (8.12)$$

де $\sum p$ - сума втрат тиску в повітряній лінії від компресора до свердловини в залежності від протяжності лінії (приймають у середньому $0,5 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$).

Потужність на валу компресора:

$$N = \frac{1,1 \cdot N_0 \cdot p_{\hat{e}} \cdot W_{\hat{e}}}{60}, \text{ кВт}, \quad (8.13)$$

де N_0 - питома потужність, визначають по табл. 4 додатка А.

Коефіцієнт корисної дії установки підраховують за формулою:

$$\eta = 0,003 \cdot \frac{Q \cdot h}{N}. \quad (8.14)$$

Завдання

Розрахувати параметри ерліфта для наступних вихідних даних: глибина статичного рівня $H_{\text{ст}} = 3$ м; глибина динамічного рівня $H_{\text{дин}} = 8$ м; відстань від динамічного рівня до рівня виливу $h = 9,5$ м; розрахункова витрата води $Q = 100 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$, схема розташування труб ерліфта – паралельна.

Практична робота № 9

БУДОВА ТА РОЗРАХУНОК ПНЕВМОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: Ознайомитися з будовою пневмотранспортних систем та навчитися їх розрахунку.

Теоретичні відомості:

Розрізняють три типи систем пневматичного транспортування сипких матеріалів: всмоктувальні, нагнітальні та всмоктувально-нагнітальні. Вони транспортують сипкий матеріал, що перебуває у потоці повітря чи димових газів у завислому або частко, що складається з двох компонентів, які значно відрізняються за фізико-механічними властивостями: газу (повітря) і частинок матеріалу.

Недоліком пневмотранспортних систем вважають великі витрати енергії на одиницю матеріалу, що транспортується (до 5 кВт·год./т), а також підвищений шум, що створюється вентиляторами і рухомим матеріалом в трубах, подрібнення матеріалу і необхідність очищення відпрацьованого повітря. Водночас, пневмотранспорт має й низку переваг [3]:

1. Гнучкість траси. Транспортний трубопровід може бути прокладений в будь-якому напрямі, легко обминає перешкоди.

2. Висока маневреність. По одному трубопроводу можна перемішувати матеріал, що транспортується, з різних місць в один пункт призначення або за декількома адресами.

3. Легкість автоматизації. З одного пульта можна дистанційно керувати всіма елементами установки.

4. Компактність. Транспортна установка має просту конструкцію, оскільки її тяговий орган (повітря) береться з навколишнього середовища.

5. Герметичність. При транспортуванні матеріалу виключається його втрата, що попереджує забруднення довкілля.

6. Спутні можливості. Одночасно з транспортуванням подрібненого матеріалу можливо виконувати інші технологічні і санітарно-гігієнічні операції: аспірацію цехів, сушіння матеріалу, його фракціонування.

7. Економічність. При відстані транспортування матеріалу понад 100 м пневматичний транспорт здебільшого економічніший за механічний транспорт.

Необхідна кількість повітря розраховується:

$$Q_{\pi} = \frac{Q_m}{\mu \cdot \rho}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (9.1)$$

де Q_m – об'ємні витрати матеріалу; μ – масова концентрація матеріалу в аеросуміші; ρ – густина.

Реальна продуктивність установки по повітря, з урахуванням можливих втрат (витоків) повітря через нещільність трубопроводу величиною близько 10% (коефіцієнт витoku K_v)

$$Q_p^p = Q_p \cdot K_v, \text{ м}^3/\text{год} \quad (9.2)$$

Розрахункова витрата концентрації аеросуміші:

$$\mu = \frac{Q_m}{Q_p^p \cdot \rho}, \text{ кг/кг} \quad (9.3)$$

Діаметр труб в системі становить:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p^p}{\pi \cdot V_y \cdot 3600}}, \text{ м} \quad (9.4)$$

Дійсна швидкість повітря:

$$V = \frac{4 \cdot Q_p^p}{\pi \cdot D^2 \cdot 3600}, \text{ м/с} \quad (9.5)$$

Перевірка відповідності прийнятої швидкості потоку $V \geq V_{кр}$. За формулою:

$$V_{кр} = 45 \sqrt[3]{D} + 0,38 \cdot \mu_1, \text{ м/с} \quad (9.6)$$

Втрати тиску у відводі враховуємо шляхом збільшення довжини трубопроводу на величину L_e . Тоді приведена довжина трубопроводу становитиме:

$$L_{пр} = L + L_e, \text{ м} \quad (9.7)$$

Коефіцієнт втрат тиску від тертя повітря (за формулою Блесса).

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{D} \quad (9.8)$$

Втрати тиску на тертя і підйом матеріалу при русі аеросуміші:

$$P_{сум} = \lambda \frac{L_{пр}}{D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} + \frac{5,3}{\sqrt{V^3}} L_{пр} \cdot \mu_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} + g \cdot \rho \cdot \mu_1 \cdot L_{пр}, \text{ Па} \quad (9.9)$$

Втрати тиску в змішувальній (завантажувальній) камері ($P_{з.к.}$ як місцевий опір), на розгін повітря ($P_{р.п.}$) і матеріалу ($P_{р.м.}$):

$$P_k = P_{з.к.} + P_{р.п.} + P_{р.м.} = 1,5 \cdot B_p \cdot (1 + \mu_1) \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \text{ Па} \quad (9.10)$$

Швидкість потоку на вході в циклон:

$$P_{сум} = \frac{Q_p^p}{2 \cdot 3600 \cdot F_{вх}}, \text{ м/с} \quad (9.11)$$

Гідравлічні опори двох циклонів:

$$P_{\text{ц}} = 2 \cdot \varepsilon \cdot \frac{\rho \cdot V_{\text{вх}}^2}{2}, \text{ Па} \quad (9.12)$$

Загальні витрати тиску:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{сум}} + P_{\text{К}} + P_{\text{ц}}, \text{ кПа} \quad (9.13)$$

Потужність, що споживається повітродувною машиною (з урахуванням витоку повітря $K_{\text{в}}$):

$$N = \frac{P_{\text{заг}} \cdot Q_{\text{п}}^{\text{п}}}{K_{\text{в}} \cdot \eta_0}, \text{ кВт} \quad (9.14)$$

де η_0 - орієнтовно прийняте значення к.к.д. повітродувної машини.

Завдання

Провести аеродинамічний розрахунок пневмотранспортної системи. Якщо дано: $Q_{\text{м}}=6000$; $\mu=10$; $\rho=1,2$; $K_{\text{в}}=0,9$; $V=25$ м/с; $\mu_1=11,1$; $L_{\text{с}}=20$ м; $B_{\text{р}}=1,3$; $F_{\text{вх}}=0,0046$ м²; $\varepsilon=6$; $\eta_0=0,55$.

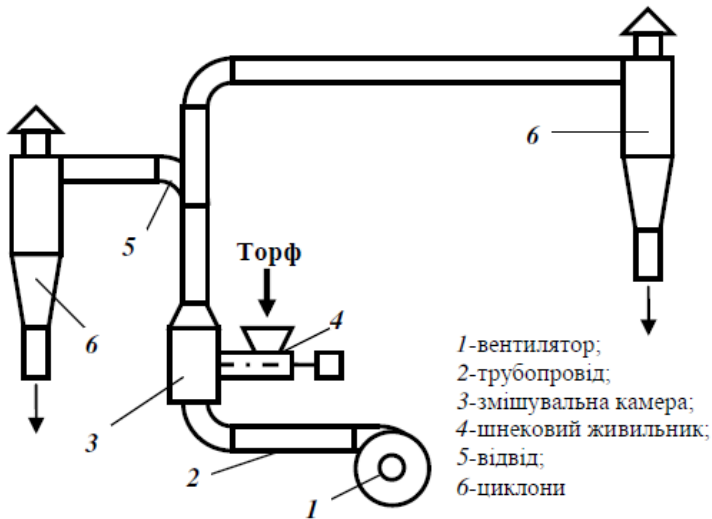


Рис. 9.1. Розрахункова схема нагнітальної пневмотранспортної установки

Таблиця 9.1

Вихідні дані для розрахунку

Показник	Одиниці	Значення
1 Продуктивність	т/год.	6
2. Матеріал	—	Фрезерний торф
3. Довжина трубопроводу, L	м	54
4. Висота підйому матеріалу, H	м	14
5. Кількість відводів	одиниць	один
6. Кут повороту відводу	град.	90
7. Концентрація аеросуміші	кг/кг	10
8. Тип циклонів	—	ВТИ

Практична робота № 10

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Мета роботи: Навчитися визначати економічні та технічні показники ефективності геотехнологічного способу видобутку корисних копалин.

Теоретичні відомості:

Коефіцієнт фондівіддачі:

$$E_{\phi} = \frac{A_p \cdot C_o}{K}, \quad (10.1)$$

де A_p – річний обсяг кінцевого продукту, т/рік; C_o – оптова ціна кінцевого продукту, грн/рік; K – капітальні витрати кінцевого продукту, грн/т

Показник рентабельності для геотехнології:

$$E_p = \frac{A_p \cdot (C_o - C)}{(\Phi_o + \Phi_{об})}, \quad (10.2)$$

де C – собівартість готового продукту, грн/рік; Φ_o – середньорічна вартість нормованих основних виробничих фондів, грн; $\Phi_{об}$ – середньорічна вартість нормованих оборотних коштів, грн, ($\Phi_{об} = \Phi_o + 1000000$)

Період окупності капіталовкладень є величиною,

зворотною показнику рентабельності (років):

$$t = \frac{1,0}{E_p}. \quad (10.3)$$

Приведена собівартість готового продукту (грн/т):

$$C_{\Pi} = C + \frac{e_n \cdot K}{A_p}, \quad (10.4)$$

де e_n – нормативний галузевий коефіцієнт економічної ефективності ($e_n = 0,15$).

Цінність родовища становить (грн):

$$\Pi = (C_o - C_{\Pi}) \cdot Z_{\text{пром}}, \quad (10.5)$$

де $Z_{\text{пром}}$ – промислові запаси корисної копалини, т.

Допустима собівартість корисної копалини (грн):

$$C_g = C_o - \frac{e_n \cdot K}{A_p 1 - \left[\frac{1}{(1 - e_n)^t} \right]}, \quad (10.6)$$

Економічна ефективність геотехнологічного способу (грн/м):

$$E_{\Gamma} = (C_1 + \frac{e_n \cdot K_1}{A_{p1}}) - \left(C + \frac{e_n \cdot K}{A_p} \right), \quad (10.7)$$

де C_1 – собівартість готового продукту при традиційних способах розробки родовищ корисних копалин, грн/т; K_1 – капітальні витрати при традиційних способах, грн; ($K_1=900000000$); A_{p1} – річний обсяг кінцевого продукту на підприємствах з традиційною технологією (шахтах), т.

Завдання

Визначити ефективність геотехнічного способу видобутку корисних копалин. Якщо річний обсяг кінцевого продукту, становить 700 тис. т/рік; оптова ціна кінцевого продукту, 150 грн/рік; капітальні витрати кінцевого продукту, 10 млн. грн/т; собівартість готового продукту, 70 грн/рік; середньорічна вартість нормованих основних виробничих фондів, 9 млн. грн; промислові запаси корисної копалини, 210 млн. т; собівартість готового продукту при традиційних способах розробки родовищ корисних копалин, 180 грн/т; річний обсяг кінцевого продукту на підприємствах з традиційною технологією (шахтах), 90 тис. т.

Список використаних літературних джерел

1. Маланчук З. Р., Боблях С. Р., Маланчук Є. З. Гідровидобуток корисних копалин : навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2009. 280 с.
2. Маланчук, З. Р., Маланчук, Є. З., Корнієнко, В. Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2017. 268 с.
3. Гнеушев В. О. Вентиляція і пневматичний транспорт : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 138 с.
4. Маланчук З. Р., Боблях З. Р. Геотехнології гірництва : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 200 с.
5. Маланчук, З. Р., Гавриш, В. С., Стріха, В. А., Киричик, І. М. Технології відкритої розробки корисних копалин. : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 286 с.
6. 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.
7. Нахайчук О.В., Музичук В.І. Задачник з гідравліки та теплотехніки : навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2012. 123 с.
8. Кравець В. Г, Білецький В. С., Смирнов В. О. Техніка і технологія збагачення корисних копалин : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 286 с.
9. Гідравліка : навч. посіб. / В. І. Дуганець, І. М. Бендера, В. А. Дідур, С. Л. Олексійко, Я. М. Михайлович Т. Д. Гуцол, П. П. Краснолуцький, В. В. Чекаменів. Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, ТДАТУ, 2013. 566 с.