

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
З ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ
ГІДРОТРАНСПОРТУ ТА ГІДРАВЛІЧНОЇ
КРУПНОСТІ ТВЕРДИХ ЧАСТОК**

Донецьк – 2007

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
З ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ
ГІДРОТРАНСПОРТУ ТА ГІДРАВЛІЧНОЇ
КРУПНОСТІ ТВЕРДИХ ЧАСТОК**

(для студентів механічних та гірничих спеціальностей)

Р о з г л я н у т о
на засіданні кафедри
«Енергомеханічні системи».
Протокол № 1 від 30.08.2007 р.

З а т в е р д ж е н о
на засіданні навчально-видавничої
ради ДонНТУ.
Протокол № 1 від 25.10.2007 р.

УДК 622.271.6 (075.3)

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з визначення критичної швидкості гідротранспорту та гідравлічної крупності твердих часток (для студентів механічних та гірничих спеціальностей) / Укладач: О. В. Федоров — Донецьк: ДонНТУ, 2007. – 12 с.

Містить необхідні матеріали (теоретичні відомості, опис лабораторної установки та методику) для виконання студентами лабораторної роботи з вивчення процесу транспортування висхідним потоком рідини твердих часток та визначення критичної швидкості транспортування, гідравлічної крупності та коефіцієнта опору часток.

Укладач:

О. В. Федоров

Рецензент

В. М. Моргунов

Відповідальний
за випуск

М. Г. Бойко

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ГІДРОТРАНСПОРТУ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

На всіх гідромеханізованих підприємствах обов'язковою ланкою технологічного процесу є *гідралічне транспортування гірської маси* усередині гірського підприємства і часто за його межами.

Гідралічним транспортом (гідротранспортом) називається процес переміщення твердих матеріалів потоком води, або в окремих випадках — потоком інших рідин.

За принципом дії розрізняють гідротранспорт безнапірний і напірний. При **безнапірному** гідротранспорті суміш води і твердого матеріалу (*гідросуміш*), рухаючись по похилому руслу (грунт, лотки і частково заповнені труби), має вільну поверхню, на якій тиск дорівнює атмосферному. **Напірний** гідротранспорт здійснюється по трубах під надлишковим тиском. Цей тиск створюється спеціальними насосами, призначеними для роботи на гідросуміші, або за рахунок різниці висот початку і кінця трубопроводу.

1.1 Поняття про гідралічну крупність часток

Перенос потоком води твердих часток, щільність яких більша, ніж щільність води (піску, часток породи, вугілля та ін.), стає можливим за рахунок гідродинамічної взаємодії часток з рідиною. Показником, який найповніше характеризує рух твердого тіла у вертикальному потоці рідини, є *гідралічна крупність*.

Розглянемо частку, яка рухається у необмеженому об'ємі рідини, рис. 1. Рух частки визначається силами, що діють на неї: сила ваги частки G , сила, що виштовхує (архімедова сила) P_A , та сила динамічного опору рідини P . Рівняння руху частки

$$G - P_A - P = m \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

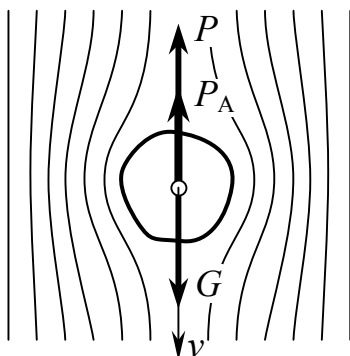


Рисунок 1 – Сили, що діють на частку, яка падає у рідині

де m – маса частки; v – швидкість руху частки. Якщо частка рухається з постійною швидкістю, маємо

$$G - P_A - P = 0. \quad (2)$$

Швидкість усталеного падіння частки у необмеженому об'ємі рідини під дією власної ваги називають її *гідравлічною крупністю*.

Силу ваги та архімедову силу можна визначити за формулами

$$G = \rho_T g V \quad \text{та} \quad P_A = \rho g V, \quad (3)$$

де ρ_T – щільність матеріалу частки; ρ – щільність рідини; V – об'єм частки.

Сила опору P визначається багатьма чинниками. У загальному випадку сила P залежить від швидкості обтікання частки потоком рідини та режиму обтікання (ламінарного або турбулентного), щільності та в'язкості рідини, розмірів, форми та якості поверхні частки. Формування сили P зумовлено двома чинниками: гідродинамічною взаємодією частки та рідини та силами рідинного тертя. Встановлено, що останні значною мірою проявляються при русі тонких тіл, довгастих, або тіл обтічної форми (наприклад, корпусів субмарин). При русі у рідині тіл необтічної форми, до яких відносяться породні або вугільні частки, дія сил тертя незначна у порівнянні з дією гідродинамічних сил і нею можна знехтувати.

При турбулентному режимі обтікання частки рідиною силу гідродинамічного опору можна визначити за формулою

$$P = C F \rho v_0^2, \quad (4)$$

де C – коефіцієнт опору руху тіла; v_0 – швидкість обтікання частки потоком (відносна швидкість частки); F – площа міделевого перетину — перетину частки, нормального до вектора відносної швидкості.

Частки корисних копалин і породи характеризуються складною геометричною формою. Проте, для розрахунків і аналітичних досліджень їх можна умовно вважати тілами кулеподібної форми з об'ємом, що дорівнює об'єму частки, і деяким діаметром $d = \sqrt[3]{6V/\pi}$. Тоді

$$F = \pi d^2 / 4 \quad \text{та} \quad V = \pi d^3 / 6.$$

Підставивши вирази (3) у рівняння (2), отримуємо:

$$\rho_T g \frac{\pi d^3}{6} - \rho g \frac{\pi d^3}{6} - C \frac{\pi d^2}{4} \rho v_0^2 = 0,$$

або

$$(\rho_T - \rho)g \frac{d}{3} - C \frac{\rho v_0^2}{2} = 0.$$

Перетворивши рівняння, отримаємо наступні залежності:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{g d}{C} \frac{\rho_T - \rho}{\rho}}. \quad (5)$$

$$C = \frac{2}{3} \frac{g d}{v_0^2} \frac{\rho_T - \rho}{\rho}, \quad (6)$$

Залежність (5) дозволяє визначити швидкість падіння твердої частки у рідині, тобто її *гідравлічну крупність* v_0 . Для користування цією формулою треба знати параметри d та C . Перший параметр — діаметр рівнооб'ємної кулі — для часток породи, що транспортується, визначити точно досить важко. Це пояснюється як відсутністю визначеної геометричної форми у часток, так і значною неоднорідністю їхніх розмірів. У практиці гідромеханізації для визначення розмірів часток користуються ситовим аналізом, вибираючи середньозважений розмір часток або інші показники гранулометричного складу.

Коефіцієнт опору C , який залежить від форми тіла, що рухається у рідині, та від режиму обтікання тіла рідиною, визначається експериментально. Для цього дослідним шляхом визначають гідравлічну крупність деякого тіла, або класу тіл (наприклад, куль різних розмірів і щільностей, або часток породи) і за формулою (6) визначають коефіцієнт опору для цього класу. Експериментальні дослідження, проведені над тілами різної форми, показали значення коефіцієнту C , які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнту гідродинамічного опору

Тіло, матеріал	$C = \frac{2}{3} \frac{g d}{v_0^2} \frac{\rho_T - \rho}{\rho}$
Стальний шар	0,20 ... 0,25
Гравій добре обкатаний	0,40 ... 0,65
Гравій необкатаний	0,60 ... 0,83
Гравій пластинчастої форми	0,85 ... 1,00
Пісок зернистий	0,65 ... 0,95
Куски породи розміром 2,5 ... 50 мм	0,80 ... 1,25
Куски вугілля розміром 2,5 ... 50 мм	0,70 ... 1,15
Куски вугілля плоскої форми розміром 47 ... 70 мм	1,10 ... 1,50

1.2 Рух гідросуміші у вертикальному трубопроводі

Вертикальне транспортування (підйом) рідиною часток, які мають щільність, більшу, ніж щільність рідини, можна розглядати як безупинне падіння часток у потоці, що рухається нагору. Якщо швидкість потоку рідини $v_{\text{п}}$, швидкість руху частки складатиме $v_{\text{ч}} = v_{\text{п}} - v_0$.

Мінімальну швидкість потоку, при якій можливий гідротранспорт деякого твердого, називають **критичною**.

Наведений вище аналіз руху часток у рідині передбачав наявність необмеженого об'єму цієї рідини. У реальних умовах гідротранспорту об'єм рідини обмежений стінками трубопроводу. Крім того, у русі приймають участь не одна, а велика кількість часток, які також впливають на рух частки, що розглядається.

Рух частки в обмеженому об'ємі рідини називають **стиснутим**. Розглянемо частку, що падає у трубі діаметром D , заповненій рідиною, рис. 2 а. Рухаючись з деякою швидкістю $v_{\text{ст}}$, частка, яку можна розглядати як “поршень”, витісняє рідину. Рідина обтікає частку, рухаючись у просторі між часткою і стінками труби зі швидкістю $v_{\text{р}}$ у напрямку, протилежному напрямку руху частки. Це збільшує відносну швидкість обтікання частки рідиною:

$$v_0 = v_{\text{ст}} + v_{\text{р}}. \quad (7)$$

Швидкість $v_{\text{р}}$ можна визначити з тієї умови, що витрата рідини, що витісняється часткою, має дорівнювати “витраті” самої частки, тобто добутку її швидкості та поперечного перетину. Якщо умовно вважати частку сферичною з діаметром d , для перетину $l-l$ має виконуватися рівняння

$$v_{\text{р}} \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = v_{\text{ст}} \frac{\pi d^2}{4}, \quad \text{або} \quad v_{\text{р}} = v_{\text{ст}} \frac{d^2}{D^2 - d^2}. \quad (8)$$

Підставивши вираз (8) у рівняння (7) та виконавши перетворення, знайдемо швидкість стиснутого падіння частки у трубі:

$$v_{\text{ст}} = v_0 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right), \quad (9)$$

тобто швидкість падіння частки, стисненого стінками труби, менша, ніж швидкість вільного падіння.

Стиснення падіння часток у гідросуміші, зумовлене взаємовпливом самих часток, має аналогічну природу. У цьому випадку витіснення рідини здійснюється не тільки часткою, що розглядається, а й

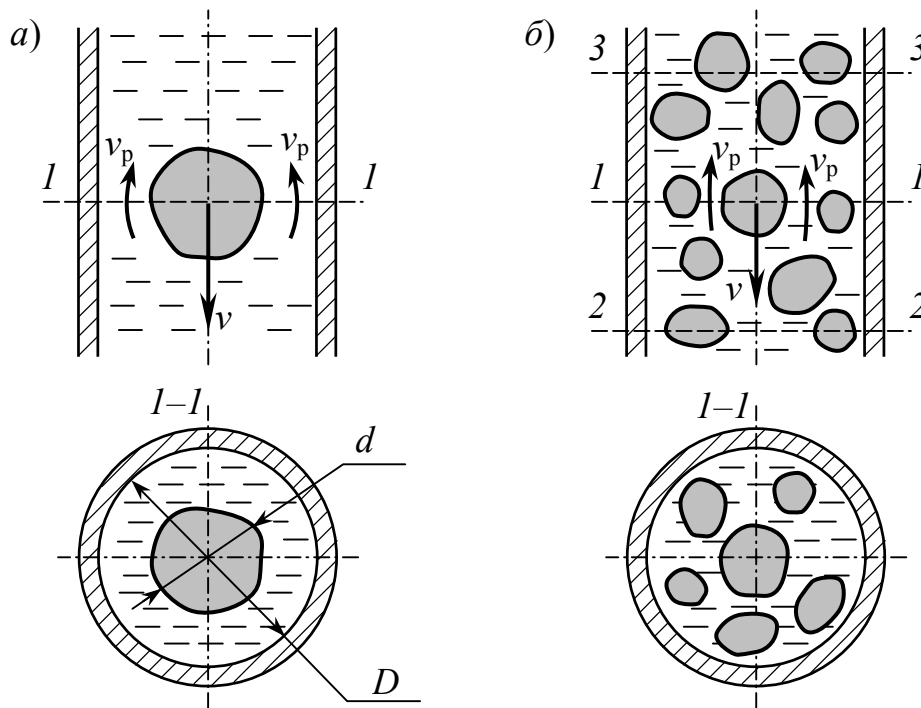


Рисунок 2 – Стиснуте падіння твердих часток у рідині (а) та у гідросуміші (б)

іншими частками, що знаходяться у тому ж перетині труби, рис. 2 б. До того ж, площа перетину, вільна від часток, зменшується. Тому швидкість v_p буде більшою у порівнянні з рухом одиночної частки, що призведе до зменшення швидкості падіння частки v .

Степінь взаємного впливу часток залежить від їхньої кількості у гідросуміші, тобто вмісту твердої фракції. Мірою вмісту твердого у гідросуміші є **концентрація** — відношення кількості (об'єму чи маси) твердого до об'єму чи маси гідросуміші:

$$S = \frac{T}{T + P}, \quad (10)$$

де T і P — кількість твердої та рідкої фракцій. Якщо мірою кількості є об'єм — концентрацію називають *об'ємною*, якщо маса — *масовою*.

З урахуванням взаємного впливу часток у гідросуміші, швидкість стиснутого падіння частки становить

$$v_{ст} = v_0 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) (1 - S)^n, \quad (11)$$

де n — показник степені, значення якого залежить від концентрації суміші: при $S = 0 \dots 0,05$ — $n = 1$; при $S = 0,05 \dots 0,20$ — $n = 2$; при $S = > 0,20$ — $n > 2$.

2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Мета і основні задачі роботи

Мета роботи — дослідити процес транспортування твердих часток вертикальним висхідним потоком рідини.

Задачі роботи:

1. Засвоїти основні положення теорії гідротранспорту твердих матеріалів, зокрема поняття про гідравлічну крупність та критичну швидкість транспортування.

2. Навчитися визначати дослідним шляхом критичну швидкість транспортування часток, їхню гідравлічну крупність і коефіцієнт опору руху.

Робота вважається виконаною після представлення викладачу звіту, відповіді на поставлені питання і виставляння позитивної оцінки в журналі.

2.2 Схема і принцип дії лабораторної установки

Схему лабораторної установки для визначення критичної швидкості транспортування шматків вугілля та породи, а також гідравлічної крупності і коефіцієнта опору цих шматків, зображено на рис. 3.

Насос *1* подає воду з ємності *2* до прозорих вертикальних труб *3*. Труби у верхній та нижній частинах мають обмежувальні сітки *4*. У простір між сітками поміщені частки вугілля та породи різних розмірів. Вода, рухаючись трубами *3* знизу нагору, піднімає частки, швидкість стиснутого падіння яких менше або дорівнює швидкості руху води у трубі. При цьому дрібні частки збираються у верхній частині труби, а частки, швидкість стиснутого падіння яких близька до швидкості руху води, “витають” у середній її частині.

Змінюючи опір мережі за допомогою вентилів *18*, можна підібрати таке значення швидкості потоку, яке відповідає швидкості стиснутого падіння часток визначеного розміру. Визначивши цю швидкість (для цього необхідно знати витрату води і площу перетину труби), знатимемо і швидкість стиснутого падіння. Для визначення витрати води на нагнітальному трубопроводі *11* встановлена діафрагма *5*, перепад тиску на якій вимірюється диференційним манометром *6*. Витрата визначається за характеристикою діафрагми.

Для заливання насоса перед пуском до нього підключений трубопровід *15* з вентилям *20*, що подає воду з водопровідної мережі, а на усмоктувальній трубі *10* встановлений зворотній клапан *9*.

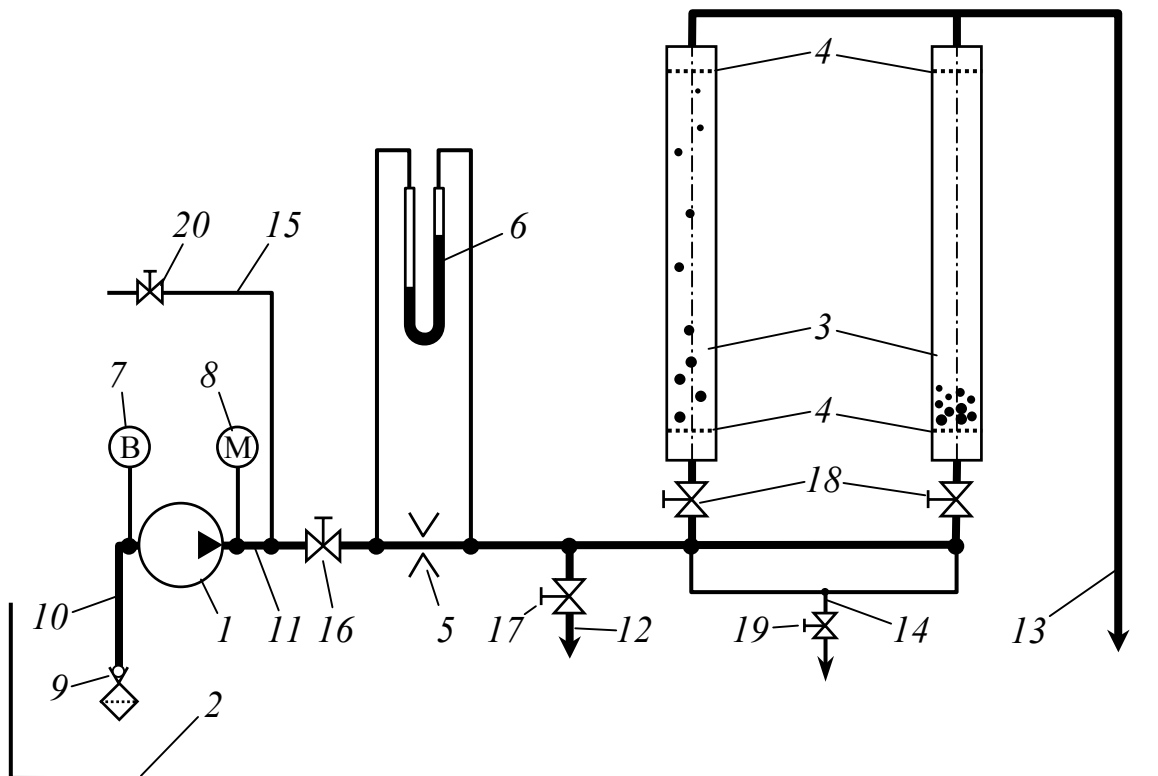


Рисунок 3 – Схема лабораторної установки: 1 – насос; 2 – ємність; 3 – скляні вертикальні труби зі шматками вугілля та породи; 4 – сітки; 5 – діафрагма; 6 – диференційний манометр; 7 – вакуумметр; 8 – манометр; 9 – прийомна коробка зі зворотним клапаном; 10 – усмоктувальний трубопровід; 11 – нагнітальний трубопровід; 12, 13 і 14 – зливні трубопроводи; 15 – заливальний трубопровід; 16, 17, 18, 19 і 20 – вентиля

Регулювання подачі насоса здійснюється вентилям 16, а контроль роботи насоса — приборами 7 і 8.

Вода, що пройшла крізь труби 3, зливається у ємність по трубопроводу 13. Для спуску води з системи після виключення насоса передбачено трубопроводи 14 з вентилям 19.

2.3 Порядок виконання лабораторної роботи

1. До лабораторної роботи допускаються лише студенти, які підготувалися до неї. Студенти мають знати основні теоретичні положення гідротранспорту (розділ 1), ознайомитися зі схемою та принципом дії лабораторної установки, порядком виконання роботи, підготувати протокол вимірювань, див. п. 2.4.

2. Перед початком роботи слід перевірити положення вентилів: вентилям 16 і 17 мають бути відкриті, а 18, 19 і 20 — закриті. Також слід виміряти та занести до протоколу внутрішній діаметр D труб 3 (якщо безпосередньо це зробити неможливо, слід виміряти зовнішній діаметр D_3 і товщину стінки δ ; тоді $D = D_3 - 2\delta$).

3. Перед включенням установки насос 1 необхідно залити водою. Для цього відкрити вентиль 20. Сигналом, що насос заповнено, є витікання води з труби 12. Після цього вентиля 20 і 16 закривають і подають напругу на двигун насоса 1. Якщо насос створює необхідний тиск, що можна бачити за показаннями манометра 8, можна відкрити вентиль 16.

4. При наявності стабільної подачі насосом води закрити вентиль 12. Поступово відкриваючи один з вентилів 18, збільшувати швидкість руху води у відповідній трубі, доки частки заданого розміру не почнуть “витати” у трубі. Занести до протоколу вимірювань, табл. 2, наступні показники: матеріал частки, що витає, розмір частки d та показання h_d диференційного манометра 6.

5. Поступово відкриваючи вентиль, повторити дії п. 4. для умов “витання” всіх класів часток, що знаходяться в трубі. Повторити досліди для другої труби (при цьому вентиль першої труби слід закрити). Дані дослідів занести до протоколу.

6. Для кожного дослідів за характеристикою діафрагми визначити подачу Q і занести в протокол.

2.4 Виконання розрахунків та оформлення звіту з роботи

1. Звіт з лабораторної роботи оформлюється на аркуші формату А4 або на подвійному аркуші з зошита. У звіті вказати тему, ціль роботи, навести схему лабораторної установки, її опис та принцип дії.

2. Підготувати таблицю протоколу вимірювань, табл. 2. Під час виконання роботи у таблицю занести дані, вказані у п. 2.3.

3. За даними дослідів виконати наступні розрахунки:

— визначити швидкість руху води у трубопроводі, яка дорівнює швидкості стиснутого падіння частки, що витає:

$$v_{ст} = \frac{4Q}{\pi D^2}. \quad (12)$$

— швидкість вільного падіння або гідравлічна крупність частки:

$$v_0 = \frac{v_{ст}}{(1 - (d/D)^2)}. \quad (13)$$

— коефіцієнт опору частки руху визначити за формулою (6).

У звіті обов'язково навести розрахункові формули з поясненнями позначень та приклад розрахунку для одного дослідів. Результати розрахунків для всіх дослідів занести у протокол.

Таблиця 2 – Протокол вимірювань

№ дослідю	Матеріал частки	Щільність матеріалу частки ρ_r , кг/м ³	Дані дослідю			Результати розрахунку		
			Розмір часток d , мм	Показання дифманометра $h_{дб}$, мм	Витрата води Q , м ³ /год	Швидкість стиснутого падіння частки $v_{ст}$, м/с	Гідравлічна крупність частки v_0 , м/с	Коефіцієнт опору C

4. Побудувати графіки залежності гідравлічної крупності та коефіцієнта опору від розмірів часток (окремо для часток з різних матеріалів), рис. 4.

5. Зробити висновок з роботи, у якому проаналізувати характер залежності гідравлічної крупності та коефіцієнта опору від розмірів часток.

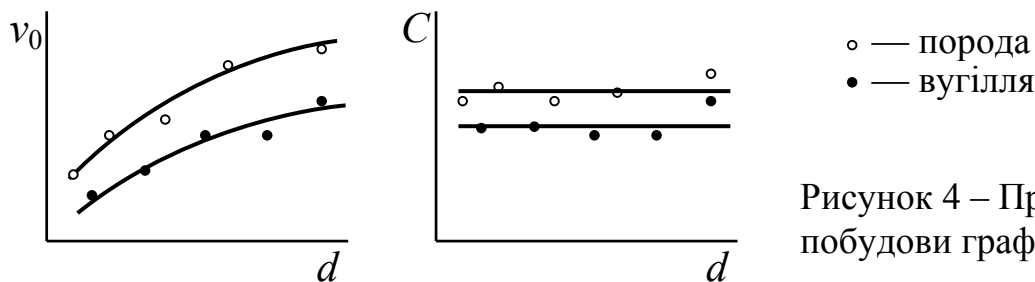


Рисунок 4 – Приклад побудови графіків

3 ПЕРЕЛІК ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидроподъем полезных ископаемых / Антонов Я. К., Козыряцкий Л. Н., Малашкина В. А. и др. – М: Недра, 1995.
2. Энциклопедия эрлифтов/ Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, А. П. Кононенко. – Донецк, 1995.
3. Бойко М. Г., Козыряцкий Л. М., Кононенко А. П. Землесосні і ерліфтно-землесосні снаряди. Навч. посібник. – Донецьк: ДонНТУ, 2005.
4. Бессонов Е.А. Технология и механизация гидромеханизированных работ: Справочное пособие для инженеров и техников. – М.: Центр, 1999.
5. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1979.

ЗМІСТ

1	Загальні відомості з гідротранспорту твердих матеріалів	3
1.1	Поняття про гідравлічну крупність часток	3
1.2	Рух гідросуміші у вертикальному трубопроводі	6
2	Вказівки щодо виконання роботи.....	8
2.1	Мета і основні задачі роботи	8
2.2	Схема і принцип дії лабораторної установки	8
2.3	Порядок виконання лабораторної роботи	9
2.4	Виконання розрахунків та оформлення звіту з роботи	10
3	Перелік додаткової літератури	11

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи
з визначення критичної швидкості гідротранспорту
та гідравлічної крупності твердих часток
(для студентів механічних та гірничих спеціальностей)

Укладач:

Олег Васильович Федоров, к.т.н., доц.