

Національна академія наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

ТАТАРКО ЛАРИСА ГАВРИЛІВНА



УДК 622.648.23.3:661.185.1 (043.3)

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ГІДРОТРАНСПОРТУВАННЯ
МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ПО МАГІСТРАЛЯХ ІЗ СТАЛЕВИХ І
ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ

05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національної академії наук України (ІГТМ НАН України)

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Семененко Євген Володимирович,
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національної академії наук України,
завідувач відділу проблем шахтних
енергетичних комплексів
(м. Дніпро).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Садovenko Іван Олександрович,
Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри гідрогеології та інженерної геології
(м. Дніпро);

кандидат технічних наук, доцент,
Корнієнко Валерій Ярославович,
Державний ВНЗ «Національний університет водного
господарства та природокористування»
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри розробки родовищ та видобування
корисних копалин
(м. Рівне).

Захист дисертації відбудеться «16» грудня 2016 р. о 13³⁰ годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при Інституті геотехнічної
механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро,
вул. Сімферопольська, 2а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геотехнічної
механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро,
вул. Сімферопольська, 2а.

Автореферат розісланий «16» листопада 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук



В.Г. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В даний час зниження енергетичних витрат на процес гідротранспортування мінеральної сировини багато в чому визначає конкурентоспроможність вітчизняних гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК). Враховуючи широке застосування в технологіях переробки мінеральної сировини гравітаційних методів збагачення, напірного і безнапірного гідротранспорту, систем складування відходів збагачення шляхом намиву карт найбільш перспективним напрямом зменшення енергоємності є удосконалення систем гідротранспорту за рахунок скорочення експлуатаційних витрат і водоспоживання. Вітчизняний і зарубіжний досвід реконструкції трубопровідних систем підтверджує можливість зниження енергетичних витрат в процесах гідротранспорту при повній або частковій заміні сталевих на полімерні труби. Гідравлічний опір і вага таких труб значно менше, ніж у сталевих, а зносостійкість – вище, що дозволяє скоротити енергоємність процесів транспортування і продовжити термін служби трубопроводу. Однак використання полімерних труб для удосконалення існуючих і проектування нових трубопровідних систем гірничих підприємств стримується відсутністю методів розрахунку гідравлічних ухилів і критичних швидкостей гідротранспортування для них, а також методів обґрунтування місць розміщення насосів на магістралях, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб.

Таким чином, *встановлення залежностей гідравлічного ухилу і критичної швидкості гідротранспортування по трубах з полімерних матеріалів від гранулометричного складу, концентрації і щільності твердих частинок з обґрунтуванням місць розміщення насосів на магістралях, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб, в гідротранспортних комплексах технологій видобутку і переробки корисних копалин є актуальною науковою задачею, що має важливе значення для підвищення ефективності гідротранспортування мінеральної сировини.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках державних бюджетних тем НАН України: III-55-10 «Розробка наукових основ нових ресурсозберігаючих технологій функціонування та моніторингу нестійких геотехнологічних систем» (№ ДР 0110U002634), III-63-12 «Фізико-хімічна механіка геотехнологічних систем: ідентифікація параметрів і управління» (№ ДР 0112U000493), III-65-15 «Розвиток теорії та методів управління станом геотехнологічних систем для забезпечення інтенсифікації робіт гірничодобувних підприємств» (№ ДР 0115U002534), в яких автор був виконавцем.

Ідея роботи полягає у використанні встановлених залежностей гідравлічного ухилу і критичної швидкості гідротранспортування полідисперсних матеріалів по полімерним трубам від концентрації, крупності і щільності твердих частинок, а також від діаметра і довжини ділянки труб в магістралі для зниження енергоємності та водоспоживання процесу гідротранспортування мінеральної сировини.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є встановлення залежностей гідравлічного ухилу і критичної швидкості для полімерних труб від гранулометричного складу, концентрації і щільності твердих частинок та обґрунтування параметрів процесу гідротранспортування мінеральної сировини по магістралях з ділянками із сталевих

і полімерних труб для зниження енергоємності та водоспоживання гідротранспортних комплексів гірничих підприємств.

Для досягнення поставленої мети сформульовано і вирішено наступні завдання:

1. Дослідити особливості транспортування полідисперсної мінеральної сировини по трубопроводах з полімерного матеріалу і виділити фактори, що впливають на параметри гідротранспорту.

2. Експериментально дослідити процес руху твердих частинок мінеральної сировини по внутрішній поверхні сталевих і полімерних трубопроводів і встановити залежність коефіцієнта тертя від крупності, концентрації твердих частинок і матеріалу труби.

3. Розробити для полімерних труб метод розрахунку гідравлічного ухилу і критичної швидкості з урахуванням щільності та гранулометричного складу матеріалу, що транспортується, а також метод обґрунтування довжин ділянок магістралі зі сталевих і полімерних труб в залежності від витратно-напірних характеристик насосів і подачі гідросуміші.

4. Розробити і впровадити методичні рекомендації з вибору й обґрунтування параметрів поліетиленових труб, які передбачають проектувальний і перевірочний розрахунки гідротранспортних комплексів, магістралі яких містять ділянки з сталевих і полімерних труб.

Об'єкт дослідження - процеси течії гідросуміші з полідисперсним матеріалом, що транспортується по магістралі з ділянками із сталевих і полімерних труб.

Предмет дослідження – залежності параметрів напірного потоку гідросуміші в полімерному трубопроводі від гранулометричного складу, концентрації і щільності твердих частинок.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний метод, який включає аналіз і узагальнення результатів відомих теоретичних і експериментальних досліджень і математичного моделювання. При розробці методів розрахунку гідравлічного ухилу і продуктивності гідротранспортного комплексу використані методики О.Є. Смолдирьова і С.І. Кріля, стандарти ISO TR 10501 і СНиП 2.04.02-85; для розрахунку коефіцієнта тертя твердих частинок об стінку поліетиленових труб – апробовані лабораторні методики.

Наукові положення, що виносяться автором на захист:

1. Граничне значення параметру Архімеда, вище якого частинки розміром до 0,2 мм при визначенні втрат напору та критичних швидкостей подібні до частинок розміром від 0,2 до 2,0 мм, прямо пропорційно подвоєному квадрату кінематичного коефіцієнта в'язкості рідкої фази й обернено пропорційно кубу діаметру частинок, та змінюється в інтервалі від 0,55 до 5,43.

2. Критична швидкість гідротранспортування частинок розміром від 0,2 до 2,0 мм в поліетиленових трубах перевищує відповідне значення для сталевих труб на величину від 23 до 58 % за рахунок ступеневої залежності коефіцієнту гідравлічного тертя від числа Рейнольдса.

3. При використанні поліетиленових труб для гідротранспорту полідисперсних частинок розміром від 0,2 до 2,0 мм залежність додаткового гідравлічного ухилу від основного описується ступеневою функцією з негативним дробовим показником рівним 0,55.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Удосконалено модель процесу гідротранспорту мінеральної сировини по полімерним трубам, яка відрізняється тим, що вперше враховує гідравлічну крупність частинок по тонкій та дрібної фракції і дозволяє підвищити точність визначення гідравлічного ухилу та критичної швидкості гідротранспортування полідисперсних матеріалів з частинками різної щільності.

2. Вперше розроблено метод оцінки гідравлічних характеристик поліетиленових труб на основі математичної моделі розрахунку параметрів гідротранспорту, який дозволяє визначити константи залежності коефіцієнта тертя від критерію Рейнольдса.

3. Отримали подальший розвиток методи розрахунків режимів роботи гідротранспортних комплексів ГЗК з обґрунтуванням розміщення насосів, які поширені на випадок магістралей, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб, за рахунок використання залежності додаткового гідравлічного ухилу від коефіцієнту гідравлічного тертя.

Наукове значення роботи полягає у встановленні залежностей гідравлічного ухилу і критичної швидкості гідротранспортування полідисперсного матеріалу в полімерних трубопроводах від діаметра трубопроводу і властивостей матеріалу, що транспортується, а також в розробці методів оцінки гідравлічних характеристик поліетиленових труб і обґрунтування місць розміщення насосів на магістралях, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено «Методичні рекомендації з вибору й обґрунтування параметрів поліетиленових труб для гідротранспортних комплексів», які містять:

- розрахунок гідравлічного ухилу і критичної швидкості з урахуванням щільності та гранулометричного складу матеріалу, що транспортується;
- оцінку гідравлічних характеристик поліетиленових труб;
- розрахунки режимів роботи гідротранспортних комплексів ГЗК з обґрунтуванням розміщення насосів на магістралях, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб;
- обґрунтування довжин ділянок магістралі зі сталевих і полімерних труб в залежності від витратно-напірних характеристик насосів і подачі гідросуміші.

Вдосконалено «Методику розрахунку параметрів напірної та безнапірної течії пульпи з концентрацією пасти».

Реалізація результатів роботи. Результати дисертаційної роботи у вигляді методичних рекомендацій впроваджено в Національному гірничому університеті (довідка від 26.01.2016 р.), Інституті фізики гірничих процесів НАН України (довідка від 19.11.2015 р.), використовувались фахівцями ВАТ „ВЕЛТА” (довідка від 27.11.2014 р.) та ТОВ „ПОЛБУД” (довідка від 20.08.2014 р.), а також у складі «Методики розрахунку параметрів напірної та безнапірної течії пульпи з концентрацією пасти» у "ДП "УкрНДІВуглезбагачення" (акт від 18.10.2013 р.) з очікуваним річним економічним ефектом від застосування методичних рекомендацій у розмірі 350 тис. грн. (розрахунок економічного ефекту від 23.10.2015 р.).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій визначається коректністю постановок завдань, що вирішуються; використанням апробованих методів вирішення завдань і досліджень для визначення залежності гідравлічного ухилу і критичної швидкості гідротранспортування в полімерних трубах від основних параметрів матеріалу, що транспортується, і концентрації гідросуміші з відносною похибкою, що не перевищує 18 %, і підтверджується результатами випробувань в промислових умовах процесів напірного гідротранспортування поліметалічних розсипів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень доповідалися на наукових семінарах і конференціях молодих вчених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ, листопад 2012 – 2015 рр.), на Міжнародній конференції «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности, (Росія, м. Єкатеринбург, 2013, 2014 рр.), на Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеродинаміка в інженерній практиці» (м. Київ, 2013, 2015, 2016 рр., м. Кіровоград, 2014 р.), на Міжнародній науковій конференції «Проблеми математичного моделювання» (м. Дніпродзержинськ, 2013, 2014 рр.), на Міжнародній конференції «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2013, 2014 рр., 2015 р.), на Міжнародній конференції «Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении» (Росія, Санкт-Петербург, 2014 р), 15th International Freight Pipeline Society Symposium (Czech Republic, Prague, 2014), на Міжнародній конференції «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.), 17th International Conference on Transport and Sedimentation of solid particles (Netherlands, Delft, 2015), на Міжнародній науково-технічній конференції АС ППГ «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Суми, 2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Автором дисертації визначені мета, ідея роботи, поставлені завдання досліджень, встановлені залежності гідравлічного ухилу та критичної швидкості гідротранспортування полідисперсного матеріалу в полімерних трубопроводах; узагальнено та проаналізовано результати теоретичних й експериментальних робіт шляхом статистичної обробки отриманих даних, на основі яких сформульовані наукові положення та висновки. Автор брав безпосередню участь в експериментальних дослідженнях. Автором розроблено методичні рекомендації з вибору й обґрунтуванню параметрів полімерних труб для гідротранспортних комплексів. Текст дисертації написано особисто автором.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковані в 25 наукових роботах, з яких 8 статей у спеціалізованих виданнях (в т.ч. 1 в зарубіжному виданні) і 17 – матеріали конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, 5 додатків на 79 сторінках і списку використаних джерел із 126 найменувань на 13 сторінках. Основний текст роботи викладено на 172 сторінках, містить 55 малюнків, 68 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 264 сторінки машинописного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі досліджено особливості транспортування полідисперсної мінеральної сировини по трубопроводах з полімерного матеріалу та встановлено фактори, що впливають на параметри гідротранспорту. Проведено огляд літератури щодо застосування трубопроводів з полімерних матеріалів для технологій гідромеханізації при видобутку первинних і техногенних розсипів, а також при складуванні відходів збагачення. Проаналізовано характерні для них технічні засоби і методи розрахунків. Відзначено особливості експлуатації гідротранспортних установок в умовах ГЗК, виділені їх основні структурні елементи. При розгляді особливостей застосування технологій гідромеханізації з використанням трубопроводів з полімерних матеріалів, на прикладі поліетилену, і досвіду експлуатації відповідних гідротранспортних систем, а також ґрунтуючись на працях фахівців ІГМ НАН України: Н.О. Силіна, С.Г. Коберника, В.І. Войтенка, С.І. Кріля, фахівців ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України: В.М. Потураєва, О.І. Волошина, Б.О. Блюсса, Є.В. Семененка виділено фактори, які впливають на ефективність і надійність розглянутих технологій при формуванні та розробці техногенних родовищ. Для обґрунтування методів розрахунків параметрів технологій гідромеханізації при використанні полімерних трубопроводів, з урахуванням виділених факторів, були проаналізовані методи розрахунку гідравлічних ухилів при напірному і безнапірному перебігу пульп, запропоновані відомими вченими - О.Є. Смолдирьовим, Г.П. Дмитрієвим, М.І. Ніколаєвим, В.Б. Малєєвим, а також фахівцями провідних інститутів в галузі гірничої механіки і технологій гідромеханізації – І.О. Садовенком, В.Я. Корнієнком, С.З. Поліщуком, З.Р. Маланчуком. Проведений аналіз показав, що дані методики використовують для визначення критичних швидкостей і гідравлічних ухилів залежності, що містять емпіричні константи, отримані для сталевих труб, і не розглядають можливість монтажу магістралі з ділянок труб різного матеріалу. Крім цього зазначено, що дані методики не враховують особливості взаємодії твердих частинок з внутрішньою стінкою трубопроводу і вплив внутрішніх зварних швів, а також залежність коефіцієнта гідравлічного тертя від числа Рейнольдса для полімерних труб.

На підставі проведеного аналізу сформульовано мету і завдання досліджень.

У другому розділі наведено результати теоретичних досліджень процесу гідротранспортування мінеральної сировини по поліетиленових трубах з метою розробки методу розрахунку гідравлічного ухилу і критичної швидкості з урахуванням щільності та гранулометричного складу матеріалу, що транспортується, для полімерних труб. Для адаптації відомих методів були обрані дві найбільш поширені методики розрахунку, розроблені О.Є. Смолдирьовим і С.Г. Коберником - В.І. Войтенко. Для визначення додаткового гідравлічного ухилу запропонована вдосконалена фахівцями ІГТМ НАН України методика О.Є. Смолдирьова з урахуванням стандартів ISO TR 10501 і СНиП 2.04.02-85 (табл. 1):

$$Fr_{kp} = \sqrt[3]{qc' \sqrt[3]{\Theta a_2 SR_2 \psi_2}} + \sqrt{qc'' \sqrt{\sigma f a_3 SR_3}}, \quad i = i_0(1 + a_1 SR_1) + \frac{a_2 SR_2 \psi_2 \Theta}{2\sqrt{i_0}} + \sigma f a_3 SR_3,$$

$$Fr_{kp} = \frac{V'_{kp}}{\sqrt{gD}}, \quad a_j = \frac{Ar_j(1 - SR_1)}{1 + Ar_1 SR_1}, \quad i_0 = \frac{\lambda' V^2}{2gD}, \quad q = \frac{\lambda}{\lambda'}, \quad \lambda' = \frac{A}{Re^B},$$

$$\sigma = \frac{f'}{f}, \quad \Theta = 1 + \delta \frac{R_1}{R_2} \frac{\psi'}{\psi_2} \left(\frac{Ar'}{Ar_2} \right)^2, \quad Ar_j = \frac{\rho_j - \rho_0}{\rho_0}, \quad \delta = \frac{R'}{R_1}, \quad Re = \frac{VD}{v_0},$$

де V'_{kp} – критична швидкість в поліетиленових трубах, м/с; q – режимне співвідношення, що враховує зміну величини коефіцієнта гідравлічного тертя в поліетиленових трубах в порівнянні зі сталевими; c' і c'' – константи в методиці О.Є. Смолдирьова, що враховують умову настання критичного режиму гідротранспортування; Θ – коефіцієнт, що враховує вплив частинок гідравлічно дрібних фракцій; S – об'ємна концентрація гідросуміші, д. од.; ψ_2 – коефіцієнт транспортабельності частинок дрібних фракцій; σ – емпіричний коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнта тертя кускових частинок об стінку поліетиленової труби в порівнянні зі сталевією; f, f' – коефіцієнт тертя частинок об стінку сталевієї і поліетиленової труби, відповідно; λ, λ' – гідравлічний ухил, який обумовлено перебігом гідросуміші і води, відповідно, м вод.ст./м; D – внутрішній діаметр трубопроводу, м; V – середня швидкість води, м/с; λ', λ – коефіцієнт гідравлічного тертя в поліетиленових і сталевих трубах, відповідно; A, B – коефіцієнт і показник ступеня (табл.1); v_0 – кінематичний коефіцієнт в'язкості води, м²/с; ψ' – коефіцієнт транспортабельності частинок гідравлічно дрібних фракцій; ρ_0 – щільність води, кг/м³; ρ_j – щільність частинок j -й фракції матеріалу, що транспортується, кг/м³; R_1 – масова частка частинок тонких фракцій, діаметром менше 0,15 мм; R_2 – масова частка частинок дрібних фракцій, діаметром від 0,15 до 2,0 мм, д. од.; R_3 – масова частка частинок кускових фракцій, діаметром більше 2,0 мм, д. од.; R' – масова частка частинок гідравлічно дрібних фракцій, до якої також належать частинки тонкої фракції за умови $Ar \geq Ar'$, $Ar' = 18v_0^2 / gd^3$ (рис. 1), д. од.

Таблиця 1 – Значення параметрів в залежності для розрахунку коефіцієнта гідравлічного тертя в поліетиленових трубах за різними методиками

Методика	A	B
СНиП 2.04.02-85	0,226	0,271
ISO TR 10501	0,240	0,273
ІГТМ НАНУ	0,250	0,316

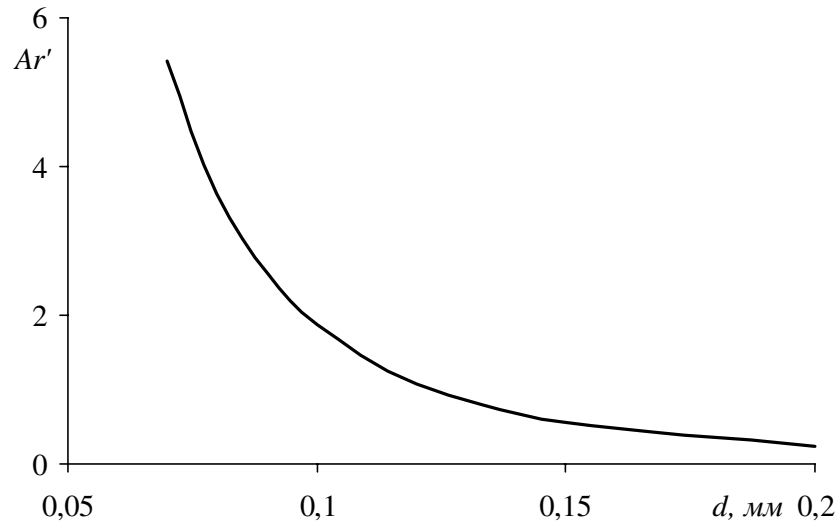


Рисунок 1 – Залежність критичного значення числа Архімеда (Ar') від діаметра частинок тонкої фракції

Порівняння залежності для розрахунку критичної швидкості за методикою С.Г. Коберника – В.І. Войтенко з аналогічними виразами подібних методик А.П. Юфіна, ІГМ НАН України, ВНДІГ дозволило уточнити розглянуті залежності щодо параметру шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу (Δ). Наявні і отримані розрахункові залежності для критичної швидкості представлені в таблиці 2, де w – гідравлічна крупність твердих частинок, м/с; d – середньозважений діаметр частинок, м.

Таблиця 2 – Розрахункові залежності критичної швидкості за різними методиками

Автор	Сталеві труби	Поліетиленові труби
А.П. Юфін	$V_{kp} = 9,8 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{w} \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 0,4 \right)$	$V'_{kp} = 10,1 \sqrt[3]{g v} \sqrt[4]{\frac{w}{\sqrt{g d}}} \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 0,4 \right) \sqrt[3]{\frac{D}{\Delta}}$
НДІБП	$V_{kp} = 15 \sqrt[3]{D} \sqrt[4]{w} \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 0,4 \right)$	
ІГМ НАНУ	$V_{kp} = 9 \sqrt[3]{a g v} \sqrt[6]{\frac{w S}{\sqrt{g d}}} \sqrt[3]{\frac{D}{\Delta}}$	$V'_{kp} = 10,1 \sqrt[3]{a g v} \sqrt[6]{\frac{w S}{\sqrt{g d}}} \sqrt[3]{\frac{D}{\Delta}}$

Це дозволило запропонувати для визначення параметрів гідротранспорту по поліетиленових трубопроводах наступні залежності

$$V'_{kp} = V_{kp} \sqrt[3]{\frac{\Delta}{\Delta'}}, \quad i = i_0 \left(1 + q' \sigma \frac{V_{kp}^3}{V^3} \right), \quad \sigma = \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1,5} \left(1 + 150 \frac{d}{D} \right) - 1,$$

$$q' = \frac{1,384}{m^{1,18}} \ln(0,987 k_V), \quad \rho = \left(\frac{1-C}{\rho_0} + \frac{C}{\rho_S} \right)^{-1},$$

де $V_{кр}$ – критична швидкість в сталевій трубі, м/с; Δ, Δ' – абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні сталеві і поліетиленові труби, відповідно, м; q' – коефіцієнт (рис. 2), що враховує зміну величини коефіцієнта гідравлічного тертя в поліетиленових трубах при фактичній швидкості в порівнянні з критичною; k_V – параметр гідротранспортування, що показує у скільки раз фактична швидкість перевищує критичну; m – порядок критичного числа Рейнольдса; C – масова концентрація, д. од.

З використанням результатів, отриманих у другому розділі, були розроблені алгоритми проектувального і перевірконого розрахунків гідротранспортних комплексів, магістралі яких містять ділянки труб з різних матеріалів.

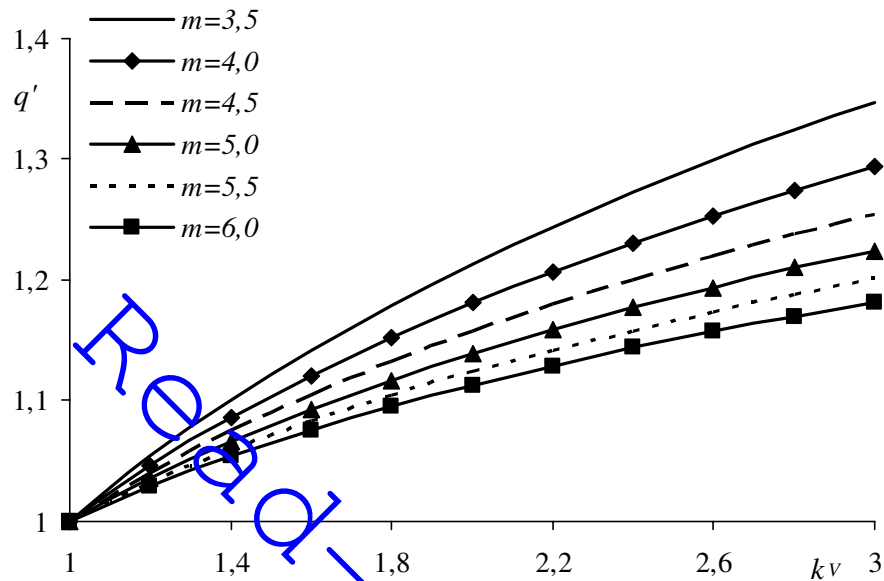


Рисунок 2 – Залежність величини q' від параметру гідротранспортування k_V при різному порядку критичного числа Рейнольдса m

У третьому розділі експериментально досліджено процес руху твердих частинок мінеральної сировини по внутрішній поверхні сталевих і полімерних трубопроводів для встановлення залежності коефіцієнта тертя від крупності, концентрації твердих частинок і матеріалу труби. Використовувалися три методи експериментальних досліджень коефіцієнта тертя частинок: метод волочіння поверхні трубопроводу по шару досліджуваних частинок; метод скочування твердих частинок по похилій площині; метод зісковзування досліджуваних твердих частинок в трубопроводі (рис. 3). Проведені випробування дозволили оцінити коефіцієнт тертя взаємодії часток кварцового піску, щебеню, відходів збагачення руд, а також концентратів вугілля і ільменіту при гідротранспортуванні по сталевих і поліетиленових трубах. Встановлено, що величина коефіцієнта тертя суттєво залежить від параметрів матеріалу трубопроводу і менш суттєво від виду сировини в процесі гідротранспортування. Так в разі заміни сталевих труб на поліетиленові значення коефіцієнтів тертя при гідротранспорті вугільного концентрату зростають на 12,98 %, кварцового піску і ільменітового концентрату зменшуються на 4,54 і 2,56 % відповідно, вугілля зростають в середньому на 55 %, щебеню зменшуються на 18 %.



Рисунок 3 – Стенд для визначення коефіцієнта тертя частинок методом зісковзування досліджуваних твердих частинок в трубопроводі

У всіх досліджуваних випадках реєструвалися три значення коефіцієнта тертя (f_0, \bar{f}, f_*), кожному з яких відповідає кут, при якому змінюється характер взаємодії твердих частинок з поверхнею труби, де: f_0 характеризує тертя спокою; \bar{f} – тертя твердих частинок в шарі між собою, і найбільш близьке до коефіцієнта внутрішнього тертя матеріалу, що транспортується; f_* – тертя твердих частинок безпосередньо об стінку трубопроводу. У досліджених діапазонах зміни товщини шару коефіцієнти тертя змінюються: f_0 на 12,72 %, в інтервалі від 0,827 до 0,932; f_* на 22,11 %, в інтервалі від 1,11 до 1,36. Таким чином, при проведенні розрахунків з інженерною точністю можна використовувати середні значення f_0 і f_* – 0,891 і 1,231 відповідно.

Полімерні труби для гідротранспорту розсипів вперше були випробувані в умовах гідротранспортного комплексу Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (ВГМК) (рис. 4). Поблизу збагачувальної фабрики на робочому трубопроводі була введена в експлуатацію експериментальна ділянка труби з поліетилену довжиною 160 м. Після двох років експлуатації і моніторингу були розроблені наукові основи технології застосування поліетиленових труб в магістралях гідротранспортних комплексів, а також обґрунтовані методи розрахунку параметрів гідротранспорту по трубопроводах, що дозволило замінити найближчі до збагачувальної фабрики 3100 м магістралі гідротранспортного комплексу на поліетиленові труби.

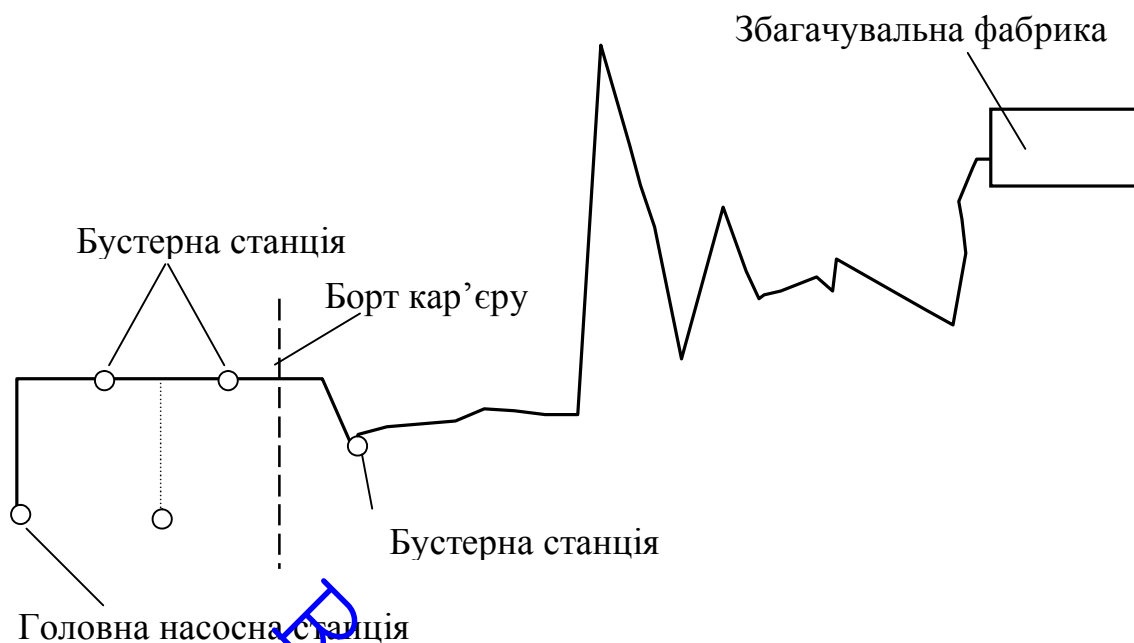


Рисунок 4 – План магістралі гідротранспортного комплексу ВГМК

Подальші дослідження режимів роботи гідротранспорту дозволили експериментальним шляхом визначити значення гідравлічного ухилу (рис. 5, 7) і критичної швидкості (рис. 6, 8) в поліетиленових трубах, а також уточнити емпіричні константи в відомих методиках О.Є. Смолдирьова (рис. 5, 6, формули (1)) і С.Г. Коберника - В.І. Войтенко (рис. 7, 8), формули (2))

$$\Delta I = \frac{0,002}{Fr'^{0,5509}}, \quad \Delta I = \frac{i' - i'_0 \left(1 + \frac{Ar(1-S_1)}{1 + ArS_1} \right)}{\frac{Ar(1-S_1)}{1 + ArS_1} S_2 \psi}, \quad Fr' = \sqrt{\lambda'} Fr, \quad (1)$$

$$\Delta I = \frac{1,8013}{\zeta^{3,7709}}, \quad \Delta I = \frac{i' - i'_0}{\sigma i'_0}, \quad \zeta = \frac{\sqrt{\lambda'} Fr}{\sqrt{\lambda'_{kp}} Fr_{kp}}, \quad (2)$$

де ΔI – уточнений додатковий гідравлічний ухил; Fr' – скориговане число Фруда; ζ – відносна швидкість тертя.

Результати промислових експериментів дозволили оцінити точність запропонованих методик розрахунку параметрів гідротранспорту в полімерних трубах (рис. 5 – 8), а також переваги застосування полімерних труб в порівнянні зі сталевими (табл. 3, 4).

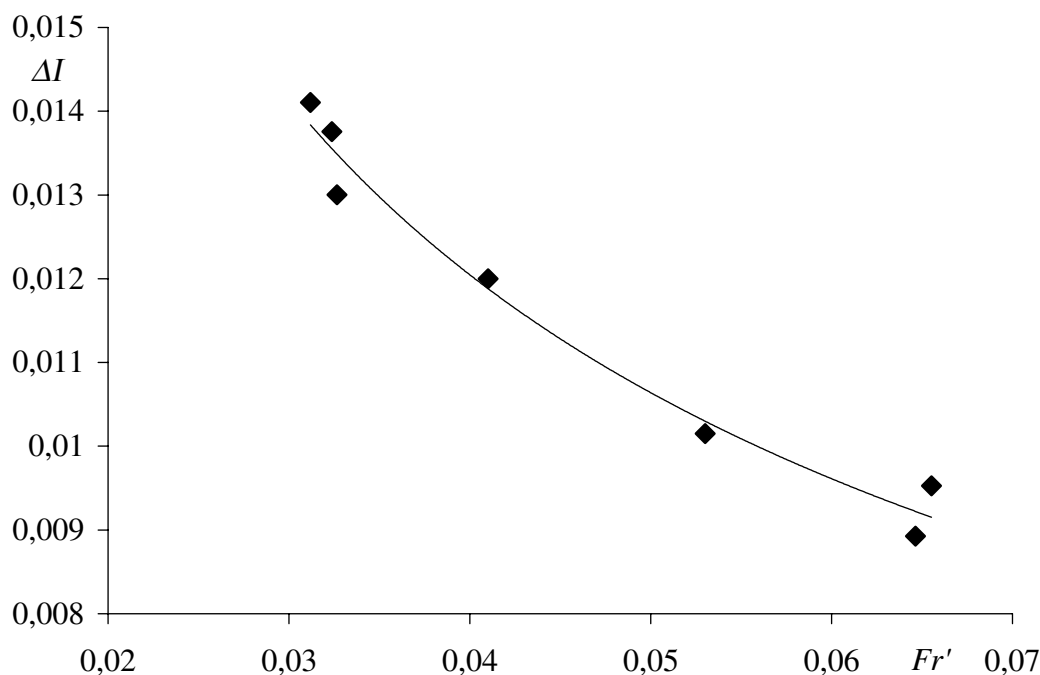


Рисунок 5 – Залежність уточненого додаткового гідравлічного ухилу від скоригованого числа Фруда $Fr' = \sqrt{\lambda'} Fr$ для первинних пісків кар'єрів ВГМК за методикою О.Є. Смолдирьова

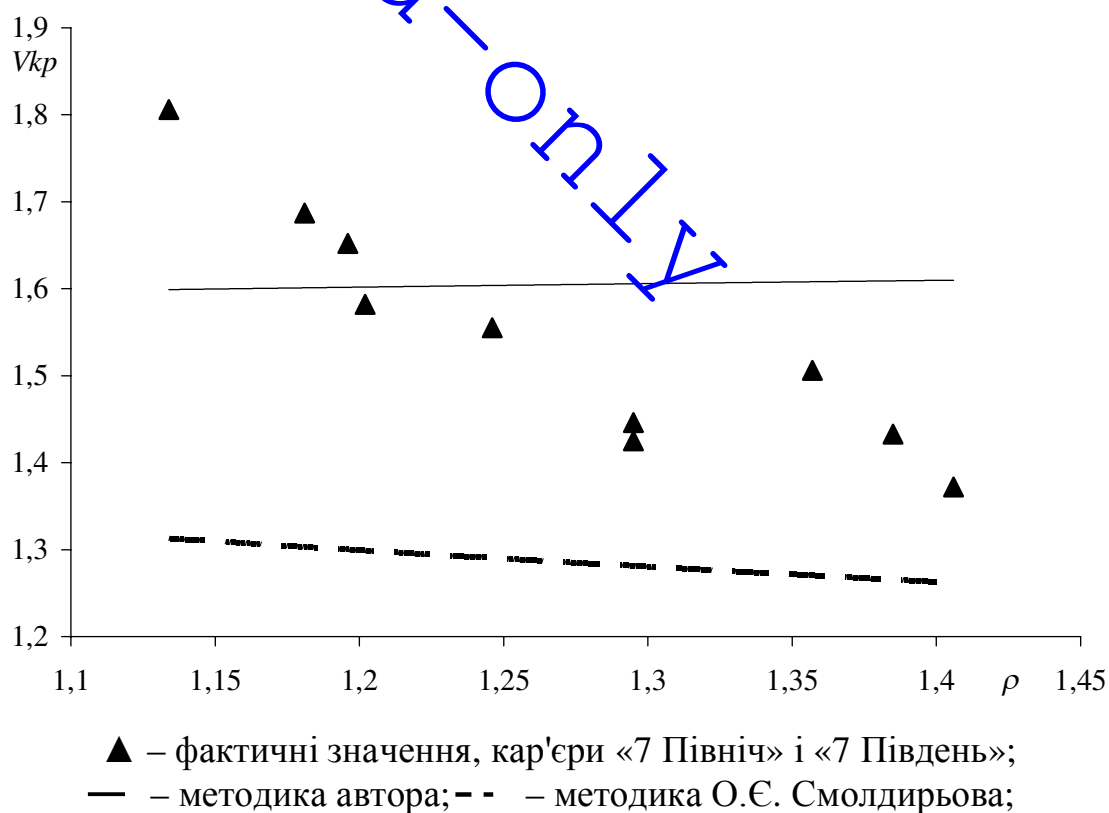


Рисунок 6 – Порівняння експериментальних і теоретичних значень критичної швидкості за методикою О.Є. Смолдирьова при гідротранспорті пісків кар'єрів ВГМК по поліетиленових трубах

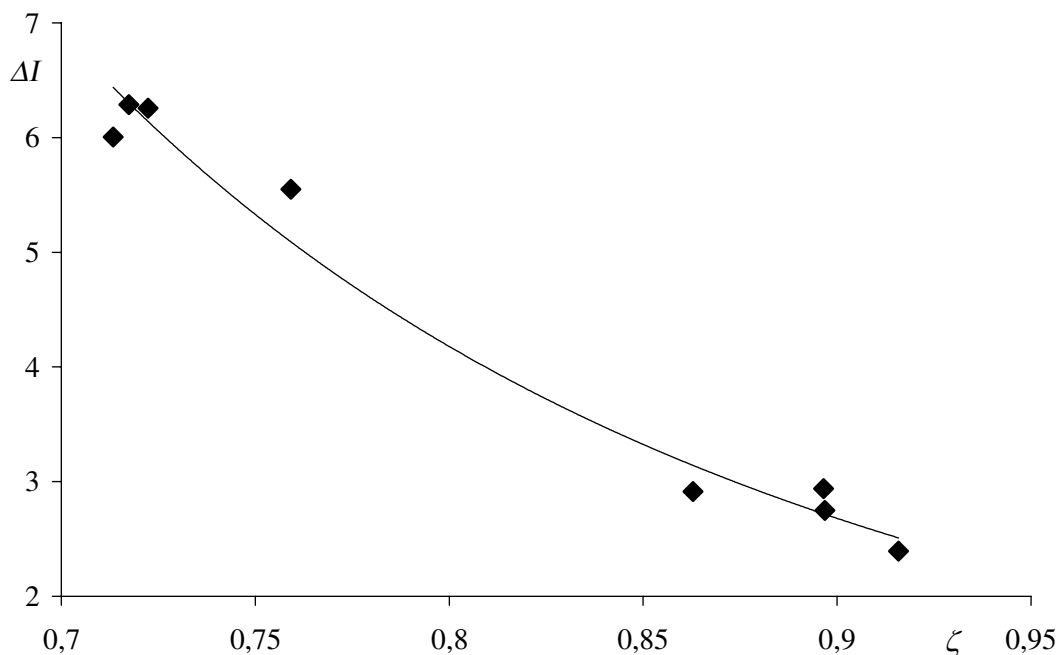
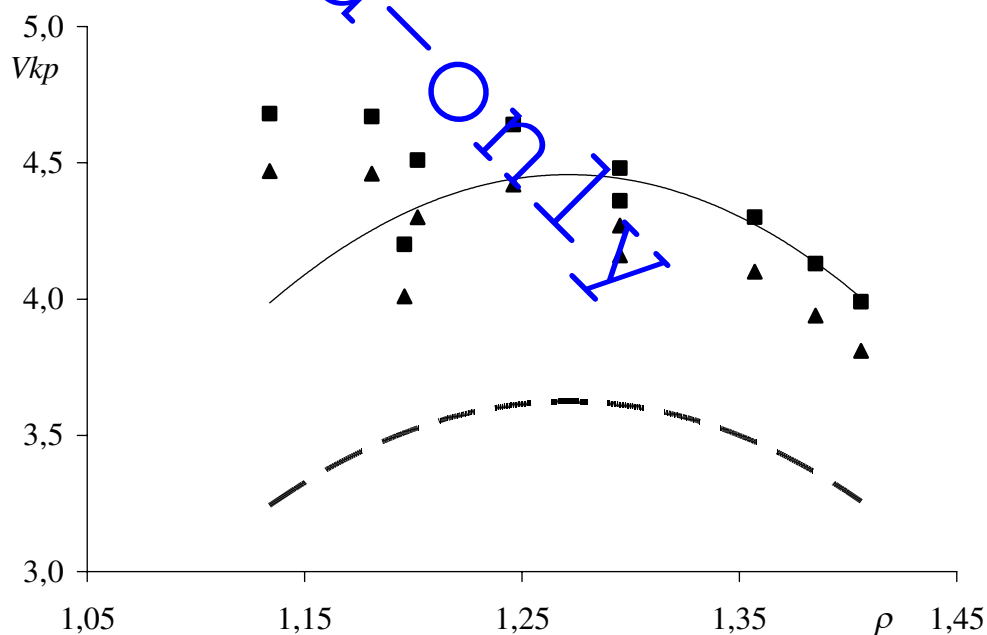


Рисунок 7 – Залежність уточненого додаткового гідравлічного ухилу ΔI за методикою С.Г. Коберника - В.І. Войтенко по поліетиленових трубах від відносної швидкості тертя ζ для кар'єрів ВГМК



фактичні значення: ■ – кар'єр «7 Північ»; ▲ – кар'єр «7 Південь»;
 — – методика автора; - - – методика С.Г. Коберника - В.І. Войтенко;

Рисунок 8 – Порівняння експериментальних і теоретичних значень критичної швидкості за методикою С.Г. Коберника - В.І. Войтенко при гідротранспорті пісків кар'єрів ВГМК по поліетиленових трубах

Таблиця 3 – Усереднені дані вимірів гідравлічних ухилів на ділянках трубопроводу із сталевих та поліетиленових матеріалів магістралі гідротранспортного комплексу ВГМК

Щільність розсіпу, кг/м ³	Концентрація гідросуміші, д.од.	Гідравлічний ухил в трубах, м.вод. ст./м		Відносне зменшення, %
		сталевих	поліетиленових	
2,697	0,196	0,0172	0,0146	15,28
2,880	0,206	0,0173	0,0152	11,46
3,007	0,201	0,0168	0,0142	15,64
3,285	0,192	0,0196	0,0163	16,79
3,439	0,205	0,0182	0,0152	16,26
3,607	0,185	0,0188	0,0162	13,99

Таблиця 4 – Порівняння питомих показників технології гідротранспортування в кар'єрі ВГМК до і після монтажу поліетиленових труб: в чисельнику дані по кар'єру «7 Північ», в знаменнику «7 Південь»

Показник	Використання поліетиленових труб		Величина перепаду показників	
	до	після	абсолютна	відносна
Вантажопотік, т/год	988/923	1204/1032	216/108	21,89/11,75
Енергоємність, кВт·год/т	4,33/4,61	4,24/4,42	-0,09/-0,19	-2,11/-4,19
Питома витрата води, м ³ /т	2,81/2,95	2,65/2,56	-0,16/-0,39	-5,63/-13,26

Результати експериментів на ВГМК підтвердили отримані теоретичні результати, при цьому відносні помилки при розрахунку критичної швидкості в поліетиленових трубах за адаптованими методиками С.Г. Коберника - В.І. Войтенко і О.Є. Смолдирьова не перевищують 7 % і 18 % відповідно, а відносні помилки при визначенні гідравлічного ухилу не перевищує 6 % і 7 % відповідно.

У четвертому розділі розроблено та апробовано методичні рекомендації з вибору й обґрунтування параметрів поліетиленових труб, які передбачають проектувальний і перевірочний розрахунки гідротранспортних комплексів, магістралі яких містять ділянки з сталевих і полімерних труб. Наведено основні положення методичного забезпечення для гідравлічних розрахунків параметрів технологій гідромеханізації при використанні полімерних труб, що включає: проектувальний і перевірочний розрахунки трубопровідних систем гірничих підприємств, які подають воду і гідросуміші; розрахунок діаметрів трубопроводів гідротранспортної установки; оцінку гідравлічних характеристик полімерних труб за результатами натурних експериментів.

При розробці методичного забезпечення розрахунків враховувалося, що полімерні труби мають різну шорсткість внутрішньої поверхні. Відзначено, що цей показник при виготовленні труб не нормується і не контролюється. Тому для підвищення точності проектувальних розрахунків в роботі запропонована методика оцінки гідравлічних характеристик полімерних труб на основі параметрів безнапірної

течії рідини в трубі.

Уточнення значення коефіцієнтів A і B здійснювалося шляхом апроксимації ступеневою функцією експериментально отриманої залежності коефіцієнта гідравлічного тертя від числа Рейнольдса

$$\lambda = 8i \frac{g\omega^3}{Q^2\chi}, \quad \text{Re} = \frac{4Q}{v_0\chi},$$

де i – геодезичний ухил труби, що досліджується; Q – об'ємна витрата; χ – гідравлічний радіус потоку; ω – площа живого перетину.

Наукові результати, отримані й апробовані в умовах гідротранспортного комплексу ВГМК, були використані при розробці рекомендацій при проектуванні гідротранспортних установок Бірзуловського гірничо-збагачувального комбінату (БГЗК). Отримані рекомендації дозволили визначити діаметри поліетиленових трубопроводів і обґрунтувати для розглянутих умов товщини їх стінок і номінальні робочі тиски гідросуміші, оцінити показники відцентрових насосів для гідротранспортних установок і системи оборотного водопостачання, а також розрахувати розподіл тиску по довжині магістралей.

За результатами досліджень напірного гідротранспортування мінеральної сировини в полімерних трубах і їх застосування в технологіях видобутку і переробки корисних копалин, уточнені техніко-економічні показники систем гідротранспортування. Впровадження розроблених методичних рекомендацій розрахунків параметрів режимів роботи гідротранспортних комплексів ГЗК і обґрунтування розміщення насосів по магістралі, що складаються з ділянок сталевих і поліетиленових труб, в умовах гірничих підприємств дозволило отримати очікуваний економічний ефект в розмірі 330 тис.грн. Відзначимо, що такий економічний ефект був отриманий за рахунок зниження енергоємності процесу, а також зменшення капітальних витрат на модернізацію і експлуатацію технологій гідромеханізації.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача встановлення для полімерних труб ступеневих залежностей додаткового гідравлічного ухилу від коефіцієнту гідравлічного тертя з від'ємним дробовим показником і критичної швидкості гідротранспортування від шорсткості внутрішньої поверхні труби з урахуванням гранулометричного складу, концентрації та щільності матеріалу, що транспортується, і обґрунтування параметрів процесу гідротранспортування полідисперсних матеріалів та розташування насосів по магістралях, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб, розробки на цій основі методичних рекомендацій, впровадження яких дозволило підвищити ефективність функціонування вітчизняних ГЗК та отримати очікуваний економічний ефект в розмірі 350 тис.грн.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Аналіз проведених досліджень показав, що існуючі технології гідротранспортування, які засновані на використанні сталевих труб, вичерпали подальші можливості зниження енергоємності та надійності, а використання полімерних труб в умовах трубопровідних систем гірничих підприємств стримується відсутністю методів розрахунку гідравлічних ухилів і критичних швидкостей гідротранспортування для них, а також методів обґрунтування місць розміщення насосів на магістралях, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб.

2. Вперше встановлено, що в залежності для розрахунку критичної швидкості за методикою О.Є. Смолдирьова для полімерних труб, перший доданок множиться на величину кореня третього ступеня значення режимного співвідношення, що враховує зміну величини коефіцієнта гідравлічного тертя в поліетиленових трубах в порівнянні зі сталевими, а другий, відповідно, на величину кореня другого ступеня значення режимного співвідношення.

3. Внаслідок порівняльного аналізу методик С.Г. Коберника - В.І. Войтенко, А.П. Юфіна, ІГМ НАН України уточнено залежність для розрахунку критичної швидкості гідротранспортування мінеральної сировини в полімерних трубах за рахунок співмножників: коефіцієнта пропорційності, що не залежить від властивостей матеріалу трубопроводу і рівного 10,1 та кореня кубічного ступеня співвідношення шорсткостей внутрішніх поверхонь сталевих і полімерних трубопроводу.

4. Наявність зварних швів всередині полімерної труби впливає на характер взаємодії твердих частинок з внутрішньою стінкою трубопроводу та нехтування цим впливом у надкритичних режимах при визначенні таких величин як гідравлічний ухил і значення критичної швидкості неприпустимо, так як при ламінарній течії врахування даної взаємодії в визначенні вищезгаданих величин досягає 10 %.

5. Удосконалено методику розрахунку параметрів гідротранспорту О.Є. Смолдирьова, що дозволяє підвищити точність визначення гідравлічного ухилу і критичної швидкості гідротранспортування полідисперсних матеріалів з частинками різної щільності за рахунок поділу частинок на тонкі та дрібні фракції по гідравлічній крупності, що вперше обґрунтовує осадження на дно трубопроводу частинок цінних мінералів з діаметром не більше 0,15 мм при гідротранспортуванні розсипи. При цьому граничне значення параметра Архімеда, вище якого частинки тонких фракцій при визначенні втрат напору і критичних швидкостей подібні до частинок дрібних фракцій, прямо пропорційно подвоєному квадрату кінематичного коефіцієнта в'язкості рідкої фази і обернено пропорційно кубу діаметру частинок.

6. У результаті експериментальних досліджень процесів течії сипучого матеріалу в сухому вигляді та в воді по внутрішній поверхні трубопроводу встановлено, що ефективні коефіцієнти тертя при гідротранспортуванні по поліетиленових трубопроводах у порівнянні зі сталевими зменшуються для частинок кварцового піску та ільменітового концентрату, відповідно на 4,54 % та 2,56 %, але зростають для вугілля на 55 %.

7. Вперше встановлено, що при використанні поліетиленових труб для гідротранспорту полідисперсних матеріалів узагальнений коефіцієнт тертя твердих частинок о стінку труби в залежності від їх крупності в присутності води

знижується в порівнянні зі сталевими трубами на величину від 17 до 40 %.

8. У результаті експериментальних досліджень встановлено, що при використанні поліетиленових труб для гідротранспорту полідисперсних матеріалів збільшення критичної швидкості для частинок дрібних фракцій, в порівнянні зі значеннями для сталевих труб, які визначаються за методиками С.Г. Коберника - В.І. Войтенко і О.Є. Смолдирьова не перевищує 23 % і 58 % відповідно.

9. Експериментально встановлено, що при використанні поліетиленових труб для гідротранспорту полідисперсних матеріалів залежність додаткового гідравлічного ухилу, при наявності частинок розміром від 0,2 до 2,0 мм, від основного гідравлічного ухилу, обумовленого тертям рідкої фази о стінки труби, описується ступеневою функцією з від'ємним дробовим показником рівним 0,55.

10. У результаті експериментальних досліджень, проведених в промислових умовах, визначено, що відносна похибка у визначенні критичної швидкості для полімерних труб за удосконаленими автором методиками С.Г. Коберника - В.І. Войтенко й О.Є. Смолдирьова не перевищує 7 % і 18 % відповідно; при визначенні гідравлічного ухилу - не перевищує 6 % і 7 %, відповідно.

11. Розроблено та впроваджено «Методичні рекомендації з вибору й обґрунтування параметрів поліетиленових труб для гідротранспортних комплексів», які передбачають проєктувальний і перевірочний розрахунки гідротранспортних комплексів і вперше розрахунковим шляхом дозволяють визначити довжину ділянки магістралі з поліетиленових труб в залежності від витратно-напірних характеристик насосів і подачі гідросуміші, а також провести оцінку коефіцієнта гідравлічного тертя від числа Рейнольдса при напірній течії води по полімерним трубам на основі натурних експериментів з безнапірною течією.

12. Результати дисертаційної роботи у вигляді методичних рекомендацій впроваджено в Національному гірничому університеті, Інституті фізики гірничих процесів НАН України, а також використовувались фахівцями ВАТ „ВЕЛТА” та ТОВ „ПОЛІБУД”, а також у складі «Методики розрахунку параметрів напірної та безнапірної течії пульпи з концентрацією пасти» у ДП "УкрНДІВуглезбагачення". Очікуваний річний економічний ефект від застосування методичних рекомендацій склав 350 тис. грн.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ

Публікації в наукових виданнях:

1 Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта при использовании полиэтиленовых трубопроводов / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины.– Днепропетровск, – 2012. – Вып. 107.– С. 233–244.

2 Нестеренко А.И. Особенности гидравлического расчета параметров полимерных труб / А.И. Нестеренко, Л.Г. Татарко, Е.В. Семененко // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. / НГУ.– Дніпропетровськ, 2013. – № 90. – С. 114–118.

3 Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта при существенном различии плотности транспортируемых частиц / Е.В. Семененко, Н.А Никифорова, Л.Г. Татарко // Вісник Дніпропетровського національного університету. Сер. Механіка.– 2013. – Т.21, № 5. – С. 105 – 112.

4 Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта в полиэтиленовых трубах при существенной неоднородности плотности и крупности транспортируемых частиц / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины.– Днепропетровск, – 2013. – Вып. 109.– С. 120–133.

5 Семененко Е.В. Методическое обеспечение расчетов параметров и режимов работы гидротранспортных комплексов, перекачивающих высококонцентрированные угольные суспензии / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко, С.Н. Киричко // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: Зб.наук.праць / ПАТ «НДІГМ ім.М.М. Федорова». – Донецьк, – 2012-2013. – Вип.106-107. – С. 174 – 180.

6 Семененко Е.В. Расчет режимов работы гидротранспортных комплексов с магистралями, состоящими из участков полиэтиленовых и стальных труб / Е.В. Семененко, Н.А Никифорова, Л.Г. Татарко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины.– Днепропетровск, – 2013. – Вып. 111.– С. 137 – 149.

7 Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта многокомпонентных твердых материалов с существенным различием в плотности частиц в присутствии гидродинамических активных веществ / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко, Н.А. Никифорова // Системні технології: Регіон. міжвуз. зб. наук. пр. / НМетАУ. – Дніпропетровськ. – 2014. – Вип. 3(92). – С. 90 – 98.

8 Семененко Е.В. Проектировочный расчет трубопроводных систем технологий гидромеханизации при замене стальных труб на полиэтиленовые / Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова, Л.Г. Татарко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины.– Днепропетровск, – 2015. – Вып. 120.– С. 152–160.

9 Semenenko E. The features of calculations of hydrotransport plans of geotechnological systems / E. Semenenko, N. Nykyforova, L. Tatarko // Theoretical and practical solutions of mineral resources mining – Pivnyak, Bondarenko & Kovalevska (eds), 2015 Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02883-8. – P. 397 – 401.

Тези доповідей і матеріали конференцій:

10 Семененко Е.В. Определение параметров гидротранспорта при использовании полимерных труб / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сб. докл. XI международ. науч.-техн. конф., апрель 2013 г. – Екатеринбург: УГГУ, 2013. – С. 360 – 363.

11 Семененко Е.В. Особенности расчета параметров гидротранспорта полидисперсных материалов по полимерным трубам / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: Матеріали ХХVІІІ міжнарод. наук.-техн. конф., травень 2013 р. – Київ, 2013. – С. 51 – 54.

12 Семененко Е.В. Особенности расчета параметров гидротранспорта полидисперсных материалов по полимерным трубам / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко, С.Н. Киричко // Проблемы математического моделирования: Материалы міжнарод. наук.-метод. конф., червень 2013 р.- Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. – С. 150 – 152.

13 Семененко Е.В. Расчет параметров гидротранспорта при существенном различии плотности транспортируемых частиц / Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова, Л.Г. Татарко // Форум гірників - 2013: Материалы міжнарод. конф., жовтень 2013 р.- Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – Т. 1. – С. 206 – 215.

14 Семененко Е.В. Оценка параметров гидротранспорта при монтаже части магистрали из полиэтиленовых труб / Е.В. Семененко, С.Н. Киричко, Л.Г. Татарко // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: Материалы XIX міжнарод. наук.-техн. конф., травень 2014 р. – Кіровоград, 2014. – С. 22 – 26.

15 Семененко Е.В. Математическое моделирование напорного течения жидкости в полимерном трубопроводе с учетом свойств труб конкретного производителя / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко // Проблемы математического моделирования: Материалы міжнарод. наук.-метод. конф., травень 2014 р.- Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. – С. 88 – 90.

16 Татарко Л.Г. Оценка параметров систем гидротранспорта при использовании труб из полиэтилена / Л.Г. Татарко // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сб. докл. XII международ. науч.-техн. конф., апрель 2014 г. – Екатеринбург: УГГУ, 2014. – С. 385 – 388.

17 Татарко Л.Г. Повышение эффективности систем гидротранспорта за счет использования труб из полиэтилена / Л.Г. Татарко // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении: Сб. докл. II международ. науч.-практ. конф., апрель 2014 г.- СПб: СПбГУ, 2014. – С. 167 – 171.

18 Semenenko E. The method of hydraulic gradient and critical velocity calculation for hydrotransportation of particles with substantially different densities / E. Semenenko, N. Nykyforova, L. Tatarko // 15th International Freight Pipeline Society Symposium, June, 24-27, 2014.- Prague, 2014. – P. 248 – 256.

19 Семененко Е.В. Оценка гидравлических характеристик полиэтиленовых труб по результатам натуральных экспериментов / Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова, Л.Г. Татарко // Форум гірників - 2014: Материалы міжнарод. конф., жовтень 2014 р.- Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – Т. 1. – С. 184 – 189.

20 Семененко Е.В. Моделирование процесса переноса твердых частиц напорным потоком в полимерных трубах / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко / Прикладные проблемы аэрогидромеханики и тепломассопереноса: Материалы V международ. научн. конф., ноябрь 2014 г.- Днепропетровск, 2014. – С. 131 – 134.

21 Семененко Е.В. Обобщенный коэффициент трения частиц твердой фазы при течении гидросмеси по трубам из полиэтилена / Е.В. Семененко, Л.Г. Татарко // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: Материалы XX міжнарод. наук.-практ. конф., травень 2015 р. - Київ, 2015. – С. 15 – 18.

22 Методика расчета режимов работы модернизированных систем напорного трубопроводного транспорта / Е.В. Семененко, С.Н. Киричко, Н.А. Никифорова, Л.Г. Татарко // Форум гірників - 2015: Материалы міжнарод. конф., жовтень 2015 р.- Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – Т. 1. – С. 235 – 241.

23 Semenenko E. An improved procedure of hydrotransport parameters' calculation for flows in polyethylene pipes and with friction reducing agents / E. Semenenko, N. Nykyforova, L. Tatarko // 17th International Conference on Transport and Sedimentation of solid particles, September, 22-25, 2015.- Delft, Netherlands, 2015. – P. 300 – 308.

24 Семененко Е.В. Новая методика расчета режимов работы современных систем трубопроводного транспорта / Е.В. Семененко, С.Н. Киричко, Л.Г. Татарко // Промислова гідравліка і пневматика: Матеріали XVI міжнарод. наук.-техн. конф. АС ПГП, 14-16 жовтня 2015 р. – Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2015. – С. 150.

25 Семененко Е.В. Совершенствование математической модели процесса фракционирования отходов обогащения / Е.В. Семененко, О.А. Медведева, Л.Г. Татарко // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: Матеріали XXI Міжнар. наук.-практ. конф., травень 2016 р.- Київ, 2016. – С. 20 – 23.

Внесок автора в роботи, опубліковані в співавторстві:

[1, 2, 6, 8 – 11, 20, 23] – встановлено залежності гідравлічного ухилу та критичної швидкості гідротранспортування полідисперсного матеріалу в полімерних трубопроводах; [3, 4, 7, 13, 18] – при визначенні втрат напору та критичних швидкостей обґрунтовано граничне значення параметру Архімеда для частинок тонких фракцій; [5, 12, 14, 22, 24] – обґрунтовано метод розрахунку параметрів гідротранспорту в полімерних трубах, аналіз та узагальнення результатів досліджень; [15, 19] – аналітичний огляд, постановка задачі та обґрунтування методики експериментальних досліджень; [21] – участь в розробці стенду та експериментальних дослідженнях, аналіз та узагальнення результатів досліджень шляхом статистичної обробки отриманих даних; [25] – аналітичний огляд.

АНОТАЦІЯ

Татарко Л.Г. Обґрунтування параметрів процесу гідротранспортування мінеральної сировини по магістралях із сталевих і полімерних труб. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірничя механіка». – Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, 2016 р.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню параметрів процесу гідротранспортування мінеральної сировини по магістралях, що складаються з ділянок сталевих і полімерних труб з метою підвищення ефективності функціонування вітчизняних ГЗК.

У роботі проаналізовано відомі методики розрахунку параметрів процесу гідротранспортування мінеральної сировини по сталевим трубопроводам. Для апробації методичного забезпечення для розрахунків параметрів гідротранспорту з використанням полімерних труб були обрані дві найбільш поширені методики розрахунку, розроблені О.Є. Смолдирьовим та С.Г. Коберником - В.І. Войтенко.

Удосконалено модель процесу гідротранспорту мінеральної сировини по полімерним трубам, яка вперше враховує гідравлічну крупність частинок тонкої та дрібної фракцій, що дозволить підвищити точність визначення гідравлічного ухилу і критичної швидкості гідротранспортування полідисперсних матеріалів з частинками

різної щільності.

Проведені експериментальні дослідження процесу руху твердих частинок мінеральної сировини по внутрішній поверхні сталевих та полімерних трубопроводів та встановлена залежність коефіцієнта тертя від крупності, концентрації твердих частинок та матеріалу труби.

Розроблена методика розрахунку параметрів гідротранспортних комплексів, магістралі яких мають ділянки сталевих і полімерних труб, що дозволяє визначати довжину цих ділянок в залежності від витратно-напірної характеристики насосів та витрати гідросуміші.

Результати дисертаційної роботи у вигляді методичних рекомендацій впроваджено в Національному гірничому університеті, Інституті фізики гірничих процесів НАН України, використовувались фахівцями ВАТ „ВЕЛТА” та ТОВ „ПОЛБУД”, а також у складі «Методики розрахунку параметрів напірної та безнапірної течії пульпи з концентрацією пасти» впроваджено в "ДП "УкрНДІВуглезбагачення" з очікуваним річним економічним ефектом від застосування методичних рекомендацій у розмірі 350 тис. грн.

Ключові слова: гідротранспортування, сталеві, полімерні труби, гідравлічний ухил, критична швидкість, мінеральна сировина, методи, залежності.

АННОТАЦИЯ

Татарко Л.Г. Обоснование параметров процесса гидротранспортирования минерального сырья по магистральям из стальных и полимерных труб. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». – Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, 2016.

Диссертация посвящена обоснованию параметров процесса гидротранспортирования минерального сырья по магистральям из участков стальных и полимерных труб с целью повышения эффективности функционирования отечественных ГОКов.

В работе проанализированы известные методики расчета параметров процесса гидротранспортирования минерального сырья по стальным трубопроводам. Для апробации методического обеспечения для расчетов параметров гидротранспорта с использованием полимерных труб были выбраны две наиболее распространенные методики расчета, разработанные А.Е. Смолдыревым и С.Г. Коберником - В.И. Войтенко.

Усовершенствована модель процесса гидротранспорта минерального сырья по полимерным трубам, которая впервые учитывает гидравлическую крупность частиц тонкой и мелкой фракций, что позволит повысить точность определения гидравлического уклона и критической скорости гидротранспортирования полидисперсных материалов с частицами различной плотности.

Проведены экспериментальные исследования процесса движения твердых частиц минерального сырья по внутренней поверхности стального и полимерного трубопроводов и установлена зависимость коэффициента трения от крупности, концентрации твердых частиц и материала трубы.

Разработана методика расчета параметров гидротранспортных комплексов с магистралями, содержащими участки из стальных и полимерных труб, которая позволяет рассчитывать длины участков в зависимости от расходно-напорных характеристик насосов и подачи гидросмеси.

Результаты диссертационной работы в виде методических рекомендаций внедрены в Национальном горном университете, Институте физики горных процессов НАН Украины, использовались специалистами ОАО «ВЕЛТА» и ООО «ПОЛИСТРОЙ», а также в составе «Методики расчета параметров напорных и безнапорных течений пульп с концентрацией пасты» внедрены в «ГП «УкрНИИУглеобогащение» с ожидаемым годовым экономическим эффектом от применения методических рекомендаций в размере 350 тыс. грн.

Ключевые слова: гидротранспортирование, стальные, полимерные трубы, гидравлический уклон, критическая скорость, минеральное сырье, методы, зависимости.

ABSTRACT

Tatarko L.G. Substantiation of parameters of mineral raw materials hydrotransportation process through pipelines from steel and polymeric pipes. – The manuscript.

The thesis for scientific degree of technical sciences candidate on specialty 05.15.09 – “Geotechnical and Mining Mechanics”. – N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics NAS of Ukraine, Dnipro, 2016.

The thesis deals with the substantiation of parameters mineral raw materials hydrotransportation process through pipelines from sections of steel and polymeric pipes in order to improve the efficiency of local Mining processing systems (MPS).

The known methods of calculating the parameters of mineral raw materials hydrotransportation process through steel pipelines were analyzed. Two the most common methods of calculation designed by A.E. Smoldirev and S.G.Kobernik – V.I. Voitenko have been selected to test the methodical support for calculation of hydraulic transport parameters with the use of polymeric pipes.

The model of mineral raw materials hydrotransportation process through polymeric pipes that for the first time takes into account the hydraulic particle size in thin and small fraction is improved that makes it possible to improve the accuracy of the hydraulic slope and the critical speed of polydisperse materials with particles of different densities hydrotransportation.

Experimental studies of the process of movement of solid particles of mineral raw materials on the inner surface of the steel and polymeric pipes were done and the dependence of the friction coefficient on the particle size, the solid particles concentration and the pipe material was established.

The method of calculating the parameters of hydraulic transport complexes with pipelines that contain sections of steel and polymeric pipes that make it possible to calculate the length of sections depending on consumable-pressure descriptions of pumps and hydromixture supply.

The results of the thesis in the form of the methodological recommendations were inculcated in National Mining University, in Institute for Physics of Mining Processes NAS Ukraine and were used by the specialists in “VELTA” JSC and “POLYBUD” JSC, they also were implemented in State Enterprise “Ukrainian Research and Design Institute for enrichment and briquetting of coal” as a part of “Methods of calculating the parameters of pressure and free-flow current pulp with concentration pasta” with expected annual economic effect 350 thousand UAH after applying the methodological recommendations.

Keywords: hydrotransportation, steel, polymeric pipes, hydraulic slop, critical speed, raw minerals, methods, dependences.

Read-only

Read-only

Підписано до друку 11.11.2016 р. Формат 60×90/16
Гарнітура Times. Друк різнографічний.
Папір офсетний.1,08 умов.друк.арк.
Тираж 100 прим. Зам. № 2095
Друк ТОВ «Барвікс»
Свідоцтво про внесення до державного реєстру
№ 24 від 25.07.2000 р.
49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 17