

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

ЄВТЄЄВ ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК [622.693.1](043.3)

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЛИБОКОВОДНИХ ЕРЛІФТІВ
З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК
В СНАРЯДНОМУ ПОТОЦІ

Спеціальність 05.05.06 – гірничі машини

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кириченко Євген Олексійович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ)
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
професор кафедри гірничої механіки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Семененко Євген Володимирович,
Інститут геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ),
завідувач відділу проблем шахтних
енергетичних комплексів;

кандидат технічних наук
Кухар Віктор Юрійович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ)
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
доцент кафедри гірничих машин та інжинірингу.

Захист відбудеться 19 грудня 2012 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.06 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий 16 листопада 2012 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради, к.т.н.

О.В. Анциферов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ресурси Світового океану представляють значний інтерес в плані забезпечення сировиною виробництв нікелю, вольфраму, кобальту, міді та ін. кольорових металів у довгостроковій перспективі. В Україні зараз спостерігається зростання інтересу до ресурсів Чорноморського басейну.

Великі глибини розташування родовищ обумовлюють високу енергоємність доставки гірської маси до надводної частини морського гірничовидобувного підприємства. В ерліфтах основне електромеханічне обладнання розташоване на поверхні водного басейну, що дозволяє вважати ці установки найбільш перспективним варіантом гідропідйому мінеральної сировини з великих глибин. До основних напрямів зниження енергоємності ерліфта відноситься зменшення опору руху багатоконпонентної суміші шляхом використання підйомного трубопроводу ступінчастої конструкції, тобто який складається з ділянок різного діаметра (ступенів).

Однією із специфічних особливостей глибоководного ерліфтного гідропідйому (ГЕГ) є багатократне розширення повітря в транспортуючому потоці, що призводить до виникнення різних структур течії гетерогенної суміші. Газові снаряди (пузирі повітря, що перекривають внутрішній переріз трубопроводу) та розташовані між ними рідинні пробки утворюють снарядну структуру течії (ССТ), яка поширюється на 65...75 % від усієї довжини підйомного трубопроводу ГЕГ. Тому в ГЕГ транспортування корисних копалин відбувається при значному збільшенні розмірів газових снарядів. Уповільнення підйому крупних та важких твердих частинок в газових снарядах, окрім впливу на параметри суміші, може викликати зрив транспортування твердого матеріалу з наступною забутовкою транспортного трубопроводу гірською масою, що зупиняє технологічний процес морського гірничовидобувного підприємства. Наряду з цим в існуючих методах розрахунку параметрів ерліфтів не розглядаються силова взаємодія частинок з газовими снарядами (динаміка частинок), а також вплив зміни розмірів газових снарядів та рідинних пробок (морфології снарядного потоку) вздовж гетерогенної течії на стійкість підйому твердого матеріалу. Так, наприклад, у НДПІ «Океанмаш» при визначенні розмірів ступенів підйомного трубопроводу ГЕГ основний акцент робився на забезпечення міцності та функціональності конструкції. Розроблена в ДонНТУ для проектування шахтних ерліфтів емпірична методика розрахунку параметрів ступенів підйомної труби ґрунтується на забезпеченні еквівалентності робіт розширення повітря в ступенях при розгляді багатоконпонентного потоку без урахування структур течії суміші.

На формування структур течії впливає конструкція змішувача, вдосконалення якої повинно враховувати специфіку процесів в підйомному трубопроводі.

Результати досліджень транспортування твердих частинок газорідинним потоком також представляють інтерес для шахтних ерліфтів.

Тому встановлення закономірності зміни швидкості транспортування твердих частинок за довжиною снарядного потоку з урахуванням силової взаємодії частинок з газовими снарядами, а також змін розмірів газових снарядів та рідинних пробок для обґрунтування раціональних величин витратних параметрів глибоководних ерліфтів, довжин та діаметрів ступенів підйомного трубопроводу, що підвищують ефективність установок, є **актуальною науковою задачею**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана згідно з «Національною програмою досліджень і використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну, інших районів Світового океану на 2009–2034 роки» та держбюджетною тематикою НГУ ГП–404 «Встановлення закономірностей процесів формування та транспортування гетерогенних сумішей при підводному видобутку» (№ДР 0107U000374), по якій здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні параметрів глибоководних ерліфтів, які підвищують ефективність роботи гідропідйому, з використанням встановленої закономірності зміни швидкості транспортування твердих частинок газовими снарядами та рідинними пробками вздовж снарядного потоку.

Відповідно до поставленої мети вирішувались наступні задачі:

1) експериментально дослідити параметри дво- та трикомпонентного вертикального потоку при снарядній структурі течії;

2) розробити математичний опис руху твердих частинок в газових снарядах та рідинних пробках, а також метод розрахунку параметрів снарядного потоку, який враховує уповільнення підйому частинок в газових снарядах та зміну розмірів газових снарядів і рідинних пробок вздовж потоку;

3) розробити метод визначення конструктивних та витратних параметрів ГЕГ зі ступінчастою конструкцією підйомного трубопроводу, який передбачає урахування динаміки твердих частинок при ССТ та отримання мінімальної енергоємності гідропідйому;

4) для глибоководного ерліфта з урахуванням специфіки транспортування частинок в снарядному потоці визначити раціональні довжини і діаметри ступенів підйомного трубопроводу, витрату повітря та об'ємну витратну концентрацію твердого компонента пульпи, що мінімізують енергоємність установки;

5) розробити способи ерліфтного гідропідйому твердого матеріалу, а також технічні засоби для їх реалізації і раціональну конструкцію змішувача, що підвищують транспортуючу здатність багатокомпонентного потоку в підйомному трубопроводі та к.к.д. установок.

Ідея роботи полягає в забезпеченні стійкості підйому твердого матеріалу на ділянці снарядного потоку підйомного трубопроводу ГЕГ шляхом регулювання швидкості суміші за довжиною ССТ.

Об'єкт дослідження – процес транспортування твердих частинок в підйомному трубопроводі ГЕГ при снарядній структурі течії.

Предмет дослідження – геометричні параметри ступенів підйомного трубопроводу ГЕГ, витрата повітря, а також швидкість транспортування твердого матеріалу снарядним потоком.

Методи дослідження. В роботі використовувалися експерименти на лабораторному обладнанні, аналіз результатів досліджень, порівняння та узагальнення, емпіричний метод, основні принципи класичної механіки та гідродинаміки при розробці математичного забезпечення, чисельне інтегрування та метод послідовних ітерацій при розрахунку параметрів глибоководного ерліфта з урахуванням динаміки твердих частинок в снарядному потоці.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукове положення, яке виносить на захист:

В глибоководному ерліфтному гідропідйомі внаслідок уповільнення підйому твердих частинок в повітряних снарядах середня швидкість транспортування частинок газовими снарядами та рідинними пробками вздовж снарядного потоку змінюється за параболічною залежністю, мінімальна при екстремумі кривої в області газових снарядів з довжиною $3,1...3,3$ діаметра трубопроводу і тому забезпечення заданої продуктивності гідропідйому може бути досягнуто шляхом регулювання швидкості снарядного потоку.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що для підйомного трубопроводу ГЕГ збільшення довжин газових снарядів та зменшення довжин рідинних пробок, які виконують основну роботу з підйому твердих частинок, від об'ємного газозмісту суміші із задовільною для інженерних розрахунків точністю можуть бути описані відповідно логарифмічною та гіперболічною залежностями.

2. Розроблено чисельно-аналітичний метод для розрахунку параметрів висхідного трикомпонентного потоку, що дозволяє підвищити точність результатів обчислень та прогнозування зриву стійкого підйому твердого матеріалу внаслідок урахування силової взаємодії твердих частинок з газовими снарядами і зміни морфології снарядного потоку, а також метод визначення величин конструктивних та витратних параметрів ГЕГ зі ступінчастою конструкцією підйомного трубопроводу, які забезпечують задану витрату твердого матеріалу за всією довжиною підйомного трубопроводу при мінімальній енергоємності гідропідйому.

3. В снарядному потоці крупні та важкі частинки здійснюють циклічні рухи внаслідок опускання (протитечійного руху) в газових снарядах, що призводить до акумуляції твердого матеріалу на ділянці ССТ, тому у разі гідропідйому таких поліметалевих конкрецій для досягнення заданої продуктивності ГЕГ в області максимальних к.к.д. потрібно забезпечити раціональні розміри ступенів підйомного трубопроводу та витрату повітря.

4. Для базового варіанта ГЕГ визначено, що у разі гідропідйому поліметалевих конкрецій підйомний трубопровід містить 5 ступіней, а визначені з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ раціональні значення довжин та діаметрів ступіней при порядку їх нумерації у напрямку від змішувача до повітровідділювача складають відповідно $L_1 = 1286$ м і $D_1 = 0,204$ м, $L_2 = 293$ м і $D_2 = 0,221$ м, $L_3 = 185$ м і $D_3 = 0,256$ м, $L_4 = 97$ м і $D_4 = 0,312$ м, $L_5 = 59$ м і $D_5 = 0,369$ м, а також забезпечують підвищення к.к.д. гідропідйому на $4...5$ %.

Наукове значення роботи полягає в розробці нового математичного опису руху твердих частинок в снарядному потоці, який не входить ні в один з відомих на теперішній час клас аналітичних моделей гетерогенних сумішей; встановленні нового явища зменшення швидкості транспортування частинок на ділянці снарядного потоку при зростанні швидкостей газових снарядів та рідинних пробок, що підтверджено Дипломом № 413 від 21 травня 2011 р. на Наукове відкриття; отриманні закономірностей змін довжин газових снарядів та рідинних пробок, а також швидкості частинок за довжиною ССТ; розробці нового чисельно-аналітичного методу розрахунку параметрів висхідного трикомпонентного потоку,

який відрізняється від відомих урахуванням уповільнення підйому частинок в газових снарядах та зміни морфології снарядного потоку.

Практичне значення роботи полягає в розробці методик розрахунку параметрів ерліфта зі ступінчастою конструкцією підйомного трубопроводу з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ, а також змішувача ерліфтного гідропідйому гірської маси та їх програмно-алгоритмічного забезпечення, способу керування ерліфтным гідропідйомом гірської маси, конструкцій ступінчастого підйомного трубопроводу та змішувача ГЕГ (патенти України № 86436, 89861, 85116), що виключають порушення стійкого підйому твердого матеріалу на ділянці ССТ при підвищенні ефективності установок. У разі підйому крупних та важких частинок урахування уповільнення їх транспортування в газових снарядах підвищує к.к.д. глибоководного ерліфта на 4...5 %.

Реалізація результатів. Розроблені методики розрахунку параметрів ерліфта з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ і змішувача ерліфтного гідропідйому гірської маси, а також відповідні програми для ЕОМ використовуються в ДП «Дніпродіпрошахт» (м. Дніпропетровськ), а також в навчальному процесі Державного ВНЗ «НГУ» при викладанні дисциплін «Гідромеханіка», «Гідравліка та гідропривід» та «Гідротранспорт на гірничих підприємствах».

Обґрунтованість і достовірність наукового положення, висновків і рекомендацій обумовлені використанням апробованих методів теоретичних досліджень, достатньою збіжністю одержаних експериментальних та теоретичних результатів досліджень (максимальна розбіжність при визначенні швидкості транспортування частинок твердого компонента в снарядному потоці не перевищує 19 %).

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети, наукового положення і задач досліджень; розробці математичного апарата та дослідженні руху твердих частинок при ССТ; розробці методу розрахунку ерліфтного гідропідйому з урахуванням силової взаємодії частинок з газовими снарядами та зміни морфології снарядного потоку; встановленні впливу одержаних закономірностей транспортування частинок снарядним потоком на параметри ГЕГ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на Міжнародній науковій конференції «Корисні копалини і перспективи їх розвитку в морських прибережних акваторіях Азово-Чорноморського басейну» (Севастополь, 2008 р.), на VIII міжнародній науково-технічній конференції «Гірнична енергомеханіка та автоматика» (Донецьк, 2008 р.), на IV міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «Перспективні методи і технічні засоби підвищення ефективності енергоємних установок та технологічних комплексів гірничо-металургійної промисловості» (Кривий Ріг, 2008 р.), на Міжнародних науково-практичних конференціях «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2008–2010 рр.).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 11 наукових працях, з яких одне Наукове відкриття, одна монографія, 6 публікацій у фахових виданнях та 3 патенти України на винаходи.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 175 найменувань на 21 сторінці. Загальний обсяг роботи 150 сторінок, у тому числі 28 рисунків, 4 таблиці, а також 14 додатків на 145 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, визначені об'єкт і предмет досліджень, сформульовані мета, наукове положення й новизна, а також наведені характеристика та загальна структура роботи.

Перший розділ висвітлює загальні тенденції в сфері освоєння сировинної бази Світового океану. З урахуванням сучасного рівня техніки встановлено, що ерліфт за рахунок високого рівня надійності залишається найбільш перспективним засобом реалізації гідропідйому гірської маси з великих глибин.

Значний внесок у розробку і вдосконалення теорії багатокомпонентних потоків, а також ерліфтних гідропідйомів зробили такі вчені, як В.Г. Гейер, М.Г. Логвінов, Б.І. Адамов, О.І. Волошин, М.Й. Скоринін, В.Б. Малєєв, А.Є. Смолдирєв, А.В. Ігнатов, Л.Н. Козиряцький, В.Є. Давідсон, Є.О. Кириченко, Ю. Полярський, Є.В. Семененко, В.Ю. Кухар, Г. Уолліс, Г. Хазітеодороу, М. Вебер та ін.

Відомі методи розрахунку параметрів висхідного трикомпонентного потоку суміші газу, рідини та твердих частинок базуються на припущенні, що незалежно від структури течії швидкість частинок зростає зі збільшенням швидкості транспортуючого їх середовища. У даних моделях роль твердого компонента суміші зводиться лише до впливу на щільність пульпи. Критичний аналіз відомих методик розрахунку параметрів ерліфта виявив, що визначення розмірів ступенів підйомного трубопроводу ґрунтується на еквівалентності робіт розширення в них повітря без урахування впливу механізмів транспортування твердих частинок при різних структурах течії на швидкість підйому твердого матеріалу.

Таким чином, відомі методи не дають об'єктивної інформації щодо зміни швидкості та концентрації твердого компонента за довжиною ССТ, а також можливого зриву стійкого підйому частинок, що свідчить про необхідність подальшого вдосконалення існуючої теоретичної бази. Зрив стійкого підйому твердого матеріалу, в свою чергу, може призвести до забутовки проточних частин ерліфта, що паралізує роботу морського гірничовидобувного підприємства в цілому.

Наприкінці розділу сформульовані мета та задачі досліджень.

У **другому розділі** описані експериментальні дослідження швидкості транспортування твердих частинок при ССТ, а також розмірів газових снарядів та рідинних пробок в водоповітряному потоці. Дані дослідження виконувалися на базі розробленого та змонтованого в лабораторії кафедри гірничої механіки Державного ВНЗ «НГУ» комплексного експериментального гідравлічного стенда (рис. 1), який дозволяє здійснювати фізичне моделювання одно-, дво- і трикомпонентних течій в проточних частинах насосної, ерліфтної та насосно-ерліфтної установок. Основними елементами стенда є насос 1 з нагнітальним трубопроводом 2, компресорна установка 3 з пневмопроводом 4, підвідна 5 і підйомна 6 труби, змішувач 7, патрубок 8 для подачі твердих частинок, резервуар 9 для забезпечення стабільності заданої величини відносного геометричного занурення змішувача, зливний трубопровід 10 та резервуар 11 для вимірювання витрати води в ерліфті.

У процесі експериментальних досліджень підйому частинок твердого матеріалу водоповітряним потоком при різних структурах течії вперше було встановлено, що снарядна структура містить аномальну область, яка характеризується зниженням швидкості підйому частинок при збільшенні витрати транспортуючого їх середовища. Деякі результати експериментальних досліджень швидкості транспортування частинок при ССТ разом з результатами відповідних теоретичних досліджень наведено в розділі 3. Виконані експерименти визначили необхідність поглибленого дослідження снарядної структури течії водоповітряної суміші.

Зі збільшенням масової витрати газу в гетерогенному потоці підйомного трубопроводу рівні розташування зон формування структур течій знижуються, а при зменшенні – підвищуються. Тому дослідження морфології ССТ здійснювалося в області фіксованого поперечного перерізу підйомної труби 6 при зміні витрати повітря, що подається в змішувач 7. Снарядна структура течії в трубі 6 при моделюванні робочого процесу ерліфта з відносним геометричним зануренням змішувача 0,95 спостерігалася в діапазоні зміни об'ємного газовмісту суміші 0,365...0,731 ч. од. У результаті вивчення зміни форми газового снаряда, що розширюється в градієнтному потоці, з урахуванням впливу стінок трубопроводу встановлено, що на початку снарядного потоку, який утворюється з бульбашкової структури течії, довжина газових снарядів може бути прийнята еквівалентною діаметру трубопроводу. Отже, діаметр трубопроводу здійснює прямий вплив на довжини газових снарядів і рідинних пробок, що утворюються та рухаються в потоці. Результати експерименту описані емпіричними залежностями змін довжин газових снарядів $L_{z.c}$ та рідинних пробок L_n від об'ємного газовмісту суміші φ_z :

$$L_{z.c} = D_e \cdot (7,18 + 17,86 \cdot \lg(0,06 + \varphi_z)) , \quad (1)$$

$$L_n = D_e \cdot (1,66 / (0,032 + \varphi_z) - 2) , \quad (2)$$

де D_e – діаметр трубопроводу, м.

Уведено поняття «зв'язки», що складається з газового снаряда та розташованої за ним рідинної пробки. На рис. 2 та 3 експериментальні значення параметрів $L_{z.c}$ та L_n при різних величинах об'ємної витрати приведені до нормальних умов повітря в потоці $Q_{z.0}$ відображені у вигляді точок, а залежності $L_{z.c}$ (рис. 2), L_n (крива 1 на рис. 3) та довжини зв'язки $L_{зв}$ (крива 2 на рис. 3) від параметра $Q_{z.0}$ побудовані на основі виразів (1), (2). Результати експерименту дозволили встановити, що у висхідному снарядному потоці збільшення довжин газових снарядів і зменшення довжин рідинних пробок від об'ємного газовмісту суміші із задовільною для інженерних розрахунків точністю можуть бути описані відповідно логарифмічною та гіперболічною залежностями.

Отримані результати показують, що обтікання водою коротких повітряних снарядів відбувається більш інтенсивно, ніж довгих. Проте, при зростанні довжин повітряних снарядів більш ніж в 3,1...3,3 рази від мінімальних розмірів, що характерні для області утворення з бульбашкової структури течії снарядного потоку, приріст довжин повітряних снарядів зменшується внаслідок уповільнення відтоку води з рідинних пробок. Це пояснюється збільшенням дії газових снарядів на зосереджену між їх бічною поверхнею та стінками трубопроводу рідину.

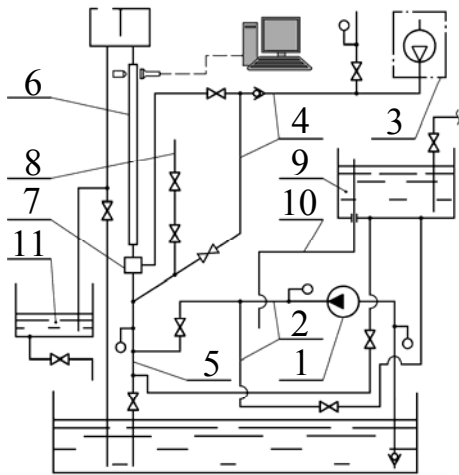


Рисунок 1 – Загальна схема комплексного експериментального гідралічного стенда

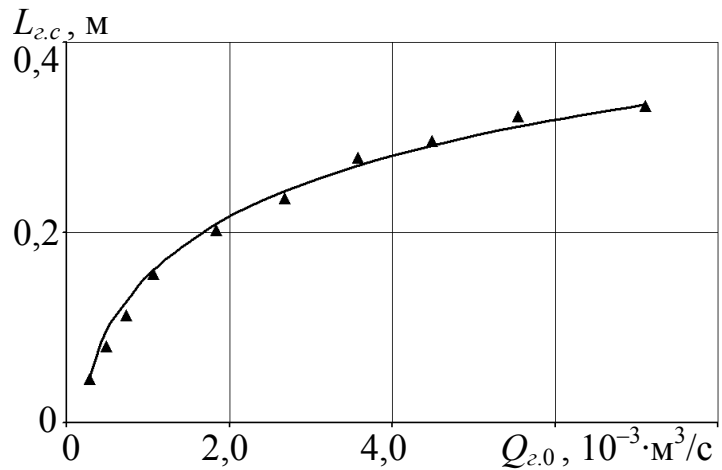


Рисунок 2 – Закономірність зміни довжини газових снарядів в області фіксованого перерізу трубопроводу

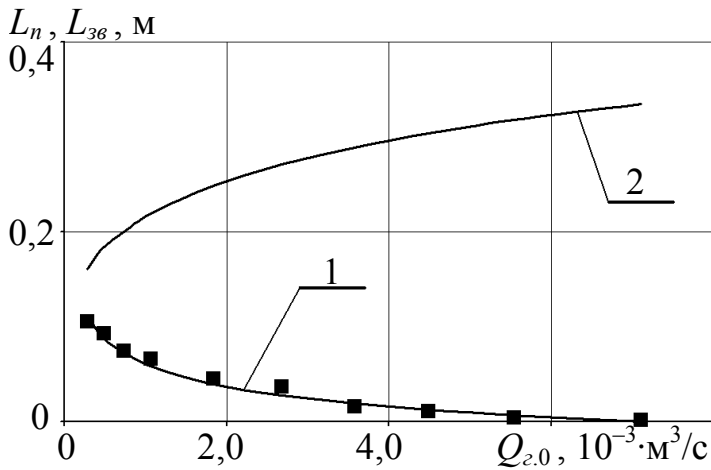


Рисунок 3 – Закономірності зміни довжин рідинних пробок та зв'язок в області фіксованого перерізу трубопроводу

Експериментальне дослідження водоповітряного снарядного потоку дозволило встановити, що на ділянці від початку ССТ до зони з діапазоном відношення довжини газового снаряда до довжини розташованої за ним рідинної пробки 1,62...1,66 спостерігаються високі інтенсивності збільшення довжин газових снарядів та зменшення довжин рідинних пробок, а за рештою довжини снарядної течії зміна розмірів газових снарядів та рідинних пробок уповільнюється.

Третій розділ присвячений розробці методу чисельного розрахунку параметрів багатокомпонентного потоку з урахуванням уповільнення підйому твердих частинок в газових снарядах та зміни морфології снарядного потоку.

Тверді частинки при бульбашковій структурі течії за рахунок низького газовмісту суміші переносяться в основному водою. Безперервний підйом твердого матеріалу при кільцевій та дисперсній структурах ерліфтної течії забезпечується високими швидкостями газоподібного компонента, що співвідносні зі швидкостями при промисловому пневмотранспорті. Отже, на ділянці снарядної структури течії переважаний вплив на забезпечення підйому твердого матеріалу переходить від щільності до швидкості суміші. Разом з цим, нерівномірності змін розмірів газових снарядів та рідинних пробок, а також фізичних параметрів суміші за довжиною потоку з урахуванням значного розширення газових снарядів в умовах ГЕГ (зважаючи на поширення ССТ на 65...75 % від усієї довжини підйомного трубопроводу ГЕГ) можуть виразитися в погіршенні умов транспортування твердих частинок.

Виходячи з вищевикладеного відомі моделі газорідинного потоку для випадків транспортування твердого матеріалу в бульбашковому, кільцевому та дисперсному потоках гетерогенної суміші можуть забезпечити достатню для інженерних розрахунків точність. Але розрахунок параметрів снарядного потоку на базі цих моделей в залежності від фізико-механічних характеристик частинок, що транспортуються, може призводити до отримання незадовільних похибок.

Рівняння руху твердої частинки в потоці газорідинної суміші з урахуванням основних визначальних факторів – сил тяжіння і Архімеда, а також гідродинамічних сил впливу транспортуючого середовища при квазістаціонарному русі та інерції транспортуючого середовища має вигляд

$$m_T \frac{dV_T}{dt} = -m_T g \cos \theta_{mp} + m_c g \cos \theta_{mp} + \frac{1}{2} S_M C_x \rho_c |W_T| W_T + m_{np} \frac{dW_T}{dt}, \quad (3)$$

де m_T – маса твердої частинки, кг; V_T – абсолютна швидкість частинки, м/с; t – час руху частинки, с; $g = 9,81$ м/с²; θ_{mp} – кут нахилу трубопроводу до вертикалі; m_c – маса транспортуючого середовища в об'ємі частинки, кг; S_M – площа Міделя частинки, м²; C_x – коефіцієнт лобового опору частинки; ρ_c – щільність транспортуючого середовища, кг/м³; W_T – швидкість частинки відносно транспортуючого середовища, м/с; m_{np} – приєднана маса, кг,

$$m_{np} = m_c / 2, \quad C_x = A / \text{Re}^n,$$

де Re – число Рейнольдса; A та n – коефіцієнти, що мають постійні значення в діапазонах зміни Re ,

$$\text{Re} = W_T \cdot d_T / \nu_c,$$

де d_T – діаметр твердої частинки, м; ν_c – кінематичний коефіцієнт в'язкості транспортуючого середовища, м²/с.

В рівнянні не розглядаються сили Саффмена, Бусройда та Магнуса з результирующим впливом на рух частинки не більше 6...8 %, взаємодія частинки зі стінками трубопроводу, сила поверхневого натягу рідини на межах газових снарядів і рідинних пробок, а течія вважається одновимірною та ізотермічною.

Перед інтегруванням рівняння (3) було приведено до безрозмірної форми з використанням наступних безрозмірних параметрів:

$$\overline{d_T} = d_T / L_{38}, \quad \overline{V_T} = V_T / V_c, \quad \overline{x} = x / L_{38}, \quad \overline{t} = V_c \cdot t / L_{38}, \quad \overline{\rho_c} = \rho_c / \rho_T, \\ \overline{W_T} = (V_c - V_T) / V_c, \quad (4)$$

де V_c – швидкість газорідинного середовища, м/с; x – змінна вздовж руху суміші координата твердої частинки, м; ρ_T – щільність матеріалу частинки, кг/м³; $\overline{d_T}$, \overline{t} , $\overline{V_T}$, $\overline{W_T}$ та \overline{x} – приведені до безрозмірної форми діаметр, час руху,

абсолютна швидкість, відносна швидкість та координата частинки; $\overline{\rho_c}$ – безрозмірна щільність транспортуючого середовища.

Приведення рівняння (3) до безрозмірної форми дозволило проінтегрувати його в квадратурах і дати наглядну інтерпретацію отриманих в загальній формі законів змін швидкості (5) та шляху (6) частинки в часі при ССТ:

$$f_1(Z) = (\overline{t_0} - \overline{t}) / \lambda_c, \quad (5)$$

$$\overline{S} = \overline{S_0} - f_2(Z) \cdot \lambda_c \cdot \overline{W_{Tn}}, \quad (6)$$

де \overline{S} та $\overline{W_{Tn}}$ – безрозмірні шлях водоповітряного середовища відносно твердої частинки та гранична відносна швидкість частинки; $\overline{t_0}$ та $\overline{S_0}$ – початкові значення безрозмірних часу руху та шляху частинки; λ_c – постійна, що залежить від типу середовища та числа Рейнольдса,

$$\lambda_c = \frac{1 - 0,5\overline{\rho_c}}{1 - \overline{\rho_c}} \cdot E \cdot \overline{W_{Tn}}, \quad \overline{W_{Tn}} = \left(\frac{3 \alpha_c \cdot F^n}{4 A \cdot E} \overline{d_T}^{n+1} \right)^{0,5-n}, \quad Z = \overline{W_T} / \overline{W_{Tn}},$$

$$f_1(Z) = \frac{1}{3} \ln \left| \frac{1 - \sqrt{Z}}{1 - \sqrt{Z_0}} \right| - \frac{1}{6} \ln \frac{1 + \sqrt{Z} + Z}{1 + \sqrt{Z_0} + Z_0} + \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\arctg \frac{2\sqrt{Z} + 1}{\sqrt{3}} - \arctg \frac{2\sqrt{Z_0} + 1}{\sqrt{3}} \right),$$

$$f_2(Z) = 2(\sqrt{Z} - \sqrt{Z_0}) + \frac{2}{3} \ln \left| \frac{1 - \sqrt{Z}}{1 - \sqrt{Z_0}} \right| - \frac{1}{3} \ln \frac{1 + \sqrt{Z} + Z}{1 + \sqrt{Z_0} + Z} - \frac{2}{3} \left(\arctg \frac{2\sqrt{Z} + 1}{\sqrt{3}} - \arctg \frac{2\sqrt{Z_0} + 1}{\sqrt{3}} \right),$$

$$\alpha_c = (1 - \overline{\rho_c}) / \overline{\rho_c}, \quad E = V_c^2 / (L_{3\phi} \cdot g \cdot \cos \theta_{mp}), \quad F = V_c \cdot L_{3\phi} / v_c.$$

Безрозмірний шлях, який пройдений водоповітряним середовищем відносно твердої частинки в масштабі зв'язки, може бути визначений з рівняння

$$\overline{S} = (V_c \cdot t - x) / L_{3\phi}. \quad (7)$$

В залежності від руху частинки у момент часу, що розглядається, в рідинній пробці або газовому снаряді параметри з індексом «с» приймають значення, відповідні воді або повітрю. Вирази (4), (5) та (6), (7) дають параметричні залежності для відповідно швидкості $V_T(t)$ та координати $x(t)$.

На підставі теоретичного дослідження динаміки одиночної твердої частинки в газових снарядах і рідинних пробках, що підіймаються з постійною швидкістю, при $\theta_{mp} = 0^\circ$ та постійності $\overline{d_T} = 0,02$ (рис. 4) одержані якісні залежності $\overline{V_T} = f(\overline{t})$ (крива 1) та $\overline{x} = f(\overline{t})$ (крива 2). Напрямок осі x співпадає з напрямком руху транспортуючого потоку. Приведені випадки відрізняються лише значеннями відношення довжини газового снаряда до довжини рідинної пробки 0,85 та 1,75 (рис. 4 (а), (б), відповідно). Рух меж між газовими снарядами та рідинними пробками відображено

штрихпунктирними лініями 4 (рис. 4 (а)). Характер зміни швидкості частинки в зв'язках циклічно повторюється, тому миттєві величини швидкості та координати частинки не дають уявлення про результуючий напрямок її руху. Для аналізу руху частинки при ССТ введено поняття її фазової швидкості. Значення фазової швидкості частинки за модулем дорівнює результуючій швидкості цієї частинки, а плюсова або від'ємна її величина визначає підйом або опускання в потоці. Фазова швидкість частинки характеризується тангенсом кута нахилу огинаючої (пунктирні лінії 3) кривої $\bar{x}(\bar{t})$. Порушення підйому частинок снарядним потоком відбувається у випадках від'ємних (див. рис. 4 (б)) та нульового значень їх фазової швидкості.

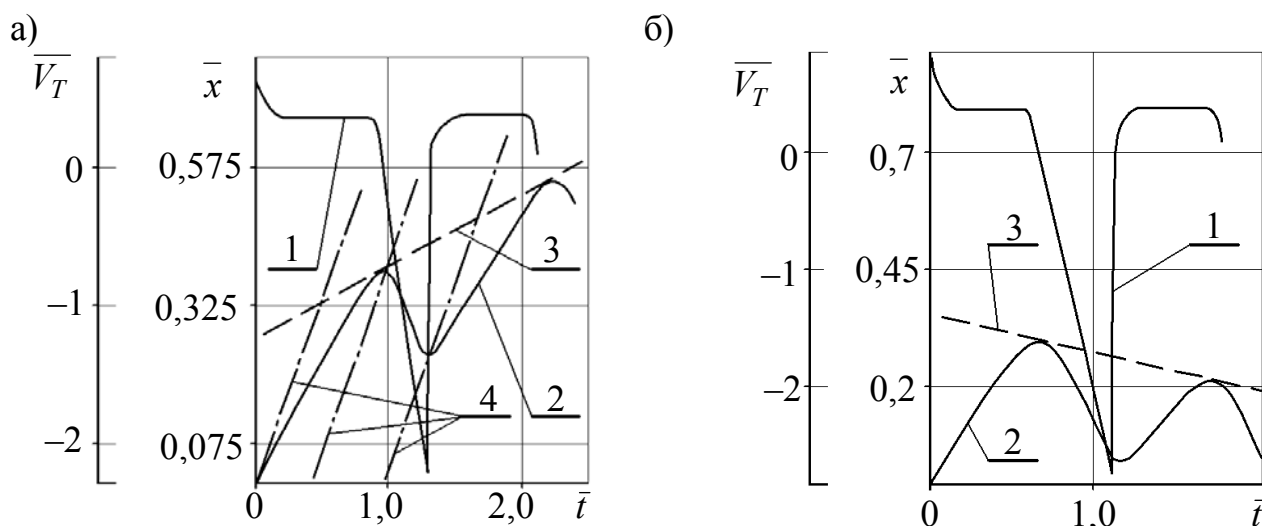


Рисунок 4 – Закономірності руху твердої частинки при ССТ

Теоретичні і експериментальні дослідження підйому твердих частинок кулеподібної форми щільністю 1200 кг/м^3 з діаметрами $0,006 \text{ м}$ (рис. 5 (а)) та $0,018 \text{ м}$ (рис. 5 (б)) на ділянці підйомної труби експериментального гідравлічного стенда показують зменшення фазової швидкості частинок $V_{Tф}$ (криві 1) на початку ССТ, незважаючи на зростання швидкості водоповітряного середовища, що транспортує частинки (зміну швидкості повітряних снарядів V_{2c} відображено кривими 2). Різниця між результатами експерименту та теоретичних досліджень не перевищує 19 %.

Таким чином, у висхідному снарядному потоці може статися зрив підйому твердого матеріалу, що призводить до забутовки трубопроводу. Встановлене явище за результатами експертизи Міжнародної академії авторів наукових відкриттів та винаходів визнано Науковим відкриттям, що підтверджено Дипломом № 413 від 21 травня 2011 р. на відкриття «Явище порушення підйому частинок твердої фази висхідним газорідинним ерліфтним потоком у вигляді газових снарядів і рідинних проміжків між ними».

Експериментально встановлено, що функція середньої швидкості транспортування твердих частинок газовими снарядами та рідинними пробками від об'ємного газозмісту суміші може бути задовільно описана степеневою залежністю та має мінімум при екстремумі кривої в області повітряних снарядів з довжиною $3,1 \dots 3,3$ діаметра трубопроводу. Зниження транспортуючої здатності снарядного потоку починається після переходу від бульбашкової структури течії до снарядної внаслідок високих інтенсивностей збільшення довжин газових снарядів та

скорочення довжин рідинних пробок разом із зниженням щільності транспортуючого середовища, незважаючи на зростання швидкості суміші.

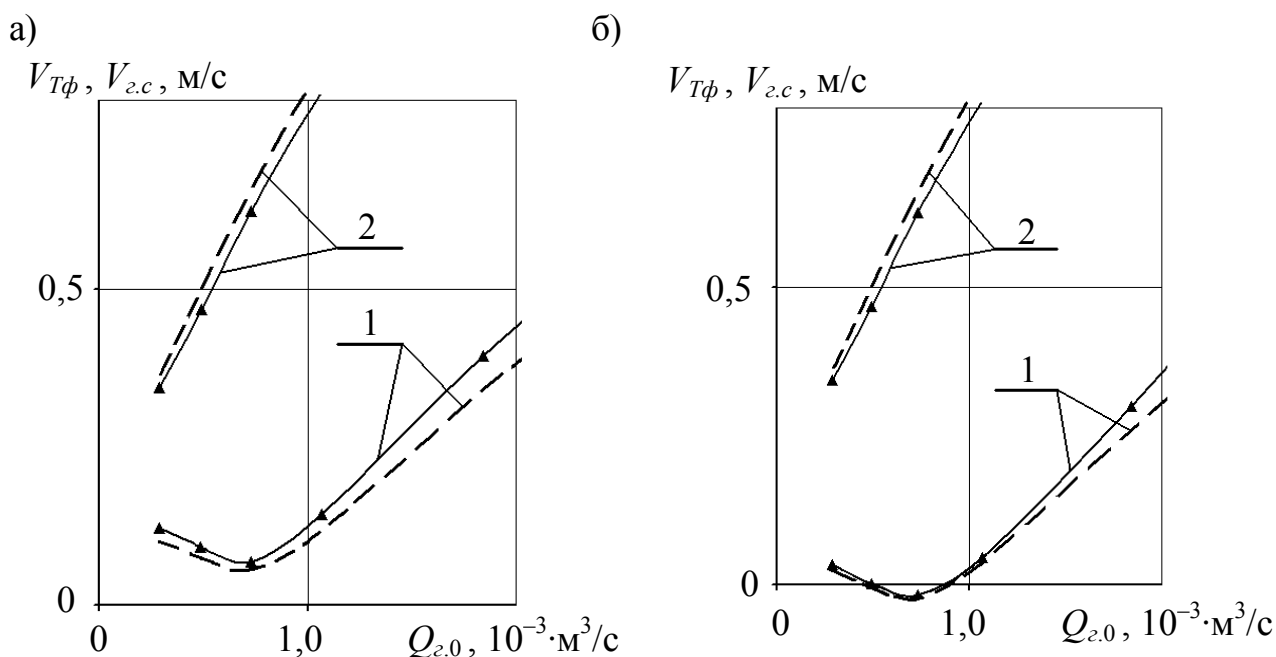


Рисунок 5 – Залежності зміни фазової швидкості твердих частинок та швидкості повітряних снарядів від об'ємної витрати повітря в потоці:

————— експериментальні дані; — — — — — результати розрахунку

Розроблений чисельно-аналітичний метод розрахунку параметрів висхідного трикомпонентного потоку з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ складається з двох блоків. Чисельний блок представлений розробленою проф. Кириченко Є.О. напівемпіричною моделлю двокомпонентного газорідинного потоку, що передбачає розрахунок чисельним методом, а в аналітичний блок входять рівняння руху частинки в газових снарядах та рідинних пробках (4) – (7). Застосований підхід розповсюджується і на групу частинок з однаковими фізико-механічними характеристиками. В загальному вигляді алгоритм чисельно-аналітичного методу для випадку монодисперсного складу твердого компонента гетерогенної суміші полягає в наступному:

1. З використанням моделі газорідинного потоку, що передбачає розрахунок чисельним методом, з кроком за довжиною багатоконцентної течії обчислюються тиск, щільність газоподібного компоненту, об'ємний газовміст та швидкості компонентів суміші.

2. На підставі обчислених в пункті 1 величин тиску та газовмісту суміші, а також одержаних закономірностей змін довжин газових снарядів та рідинних пробок з урахуванням діаметра трубопроводу визначаються довжини газових снарядів та рідинних пробок, які проходять через поточну розрахункову ділянку гетерогенного потоку.

3. У відповідності з запропонованим аналітичним описом руху твердої частинки при снарядній структурі течії (4) – (7) виконуються розрахунки швидкості та координати фіксованої частинки з кроком за часом в межах поточної розрахункової ділянки снарядного потоку.

4. Визначається концентрація твердого компонента на поточній розрахунковій ділянці снарядної структури при постійності масової витрати твердого матеріалу ($M_T = \text{const}$) та отримане значення використовується в обчисленнях параметрів суміші на наступній розрахунковій ділянці снарядного потоку по пункту 1 алгоритму.

Результатом розрахунку є розподіл основних параметрів снарядного потоку за довжиною трубопроводу. На базі чисельно-аналітичного методу розроблений алгоритм розрахунку параметрів ерліфтного гідропідйому гірської маси з підйомним трубопроводом постійного діаметра та урахуванням динаміки твердих частинок при снарядній структурі течії.

В четвертому розділі досліджено вплив динаміки твердих частинок в снарядному потоці на витратні, енергетичні та конструктивні параметри ГЕГ, а також розроблені способи та технічні засоби, що підвищують к.к.д. установок.

На базі дослідження транспортування твердого матеріалу снарядним потоком в підйомному трубопроводі ГЕГ встановлено, що при ССТ частинки в залежності від фізико-механічних характеристик можуть підніматися безперервно в рідинних пробках та газових снарядах, або рухатися скачкоподібно з уповільненням підйому аж до зупинок в газових снарядах, чи здійснювати циклічні рухи з низхідною фазою в газових снарядах. На тип руху частинок при ССТ найбільш впливають їх розміри та щільність. Частинки з наведеним останнім типом руху перед подачею в підвідний трубопровід ерліфта мають бути обов'язково подрібнені.

Досліджено вплив динаміки твердих частинок при ССТ на параметри глибоководного ерліфта. Нижче наведено отримані результати для умов базового варіанта ГЕГ, що відповідають глибині розробки родовища $H_p = 6000$ м та масовій продуктивності за твердим матеріалом $M_T = 7,78$ кг/с, при гідропідйомі поліметалевих конкрецій (ПМК) з діаметром $d_T = 0,05$ м. Розрахунки виконані для випадків підйомного трубопроводу ГЕГ постійного діаметра $D_e = 0,22$ м (рис. 6), а також ступінчастої конструкції (рис. 7, 8) при глибині занурення змішувача $H_{cm} = 1900$ м. Результати розрахунків з урахуванням та без врахування динаміки твердих частинок в снарядному потоці на рисунках відображені відповідно безперервними та пунктирними лініями.

Дослідження параметрів ГЕГ при варіюванні витратою твердого матеріалу M_T (рис. 6) для різних глибин розробки $H_p = 6000$ та 4000 м (відповідні криві 1 та 2) дозволили встановити, що визначені без урахування динаміки ПМК при ССТ значення масової витрати повітря M_e є заниженими на 3...5 %.

З метою зменшення опору течії трикомпонентної суміші в ступінчастому підйомному трубопроводі запропоновано з'єднання ступенів через відповідні дифузори. Розроблений метод визначення з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ конструктивних та витратних параметрів ГЕГ зі ступінчастою конструкцією підйомного трубопроводу передбачає одержання результатів, що відповідають мінімальній енергоємності гідропідйому, і в загальному вигляді полягає у наступному:

1. Визначаються параметри ГЕГ з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ для випадку постійного діаметра підйомного трубопроводу.

2. На підставі розробленої в ДонНТУ емпіричної методики розрахунку параметрів ступенів підйомної труби ерліфта визначаються відповідні конструктивні параметри ГЕГ без урахування динаміки частинок при ССТ.

3. Шляхом уточнення з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ одержаних в пунктах 1 і 2 значень відповідно масової витрати повітря та розмірів ступенів визначаються величини цих параметрів, що забезпечують задану витрату твердого матеріалу за всією довжиною підйомного трубопроводу при мінімальних швидкостях багатоконпонентної суміші в його ступенях.

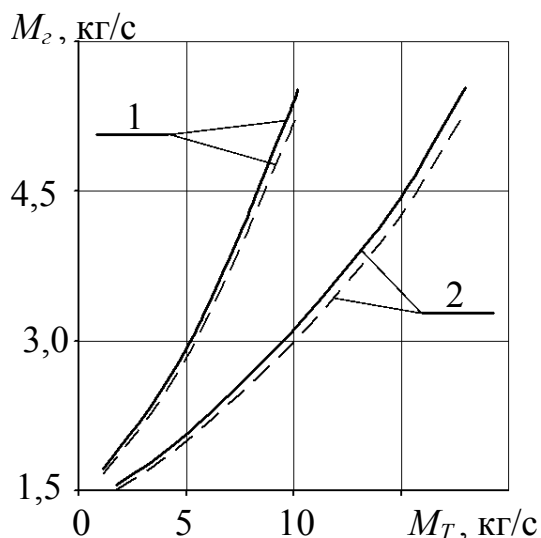


Рисунок 6 – Залежності масової витрати повітря від масової витрати твердого матеріалу

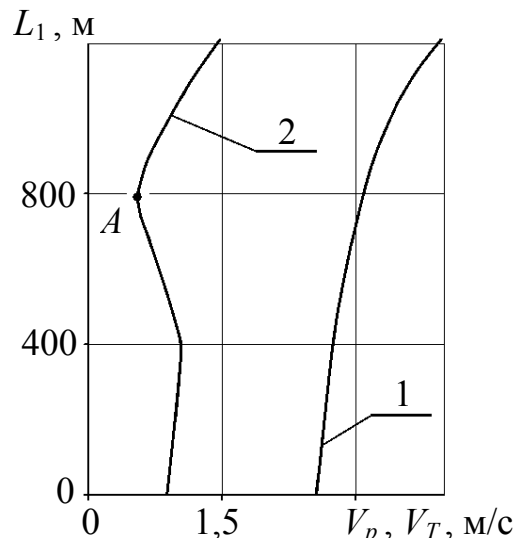


Рисунок 7 – Залежності швидкостей рідини та твердих частинок по довжині нижньої ступені підйомного трубопроводу ГЕГ

На підставі розробленого методу для базового варіанта ГЕГ визначено, що підйомний трубопровід складається з п'яти ступенів, діаметр підвідного трубопроводу 0,185 м, а масова витрата повітря і об'ємна витратна концентрація твердого компонента пульпи складають відповідно 3,563 кг/с та 5,9 %. Довжини та діаметри першої – п'ятої ступенів при порядку їх нумерації в напрямку від змішувача до повітровідділювача мають значення відповідно $L_1 = 1286$ м та $D_1 = 0,204$ м, $L_2 = 293$ м та $D_2 = 0,221$ м, $L_3 = 185$ м та $D_3 = 0,256$ м, $L_4 = 97$ м та $D_4 = 0,312$ м, $L_5 = 59$ м та $D_5 = 0,369$ м. Для отриманої конструкції підйомного трубопроводу у разі транспортування ПМК діаметром 0,05 м (рис. 7) по довжині нижньої ступені L_1 вздовж руху суміші швидкість рідинного компонента V_p безперервно зростає (крива 1), а швидкість підйому твердих частинок V_T (крива 2) в області найменшої транспортуючої здатності снарядного потоку мінімальна (точка А). Область найменшої транспортуючої здатності снарядного потоку знаходиться на рівні 792 м вище за вхідний переріз нижньої ступені підйомного трубопроводу (вертикальна координата точки А). Зміна середньої швидкості транспортування частинок газовими снарядами та рідинними пробками за довжиною ССТ може бути задовільно описана параболічною залежністю.

Досліджено зміну параметрів базового варіанта ГЕГ зі ступінчастою конструкцією підйомного трубопроводу для випадків визначених на підставі розробленого в рамках дисертації методологічного забезпечення та отриманих у НДПІ «Океанмаш» без урахування динаміки твердих частинок при ССТ конструктивних розмірів підвідного і підйомного трубопроводів. Отримані результати розрахунків

для визначених з урахуванням уповільнення підйому частинок в газових снарядах та у НДПІ «Океанмаш» конструктивних параметрів ГЕГ (рис. 8) представлені у вигляді залежностей M_2 (відповідні криві 1 та 2) та к.к.д. $\eta_{e.T}$ (криві 3 та 4) від об'ємної витратної концентрації твердого компонента φ_T в потоці пульпи підвідного трубопроводу. Визначення конструктивних параметрів ГЕГ відповідно до розробленого методологічного забезпечення дозволяє підвищити к.к.д. гідропідйому на 4...5 %.

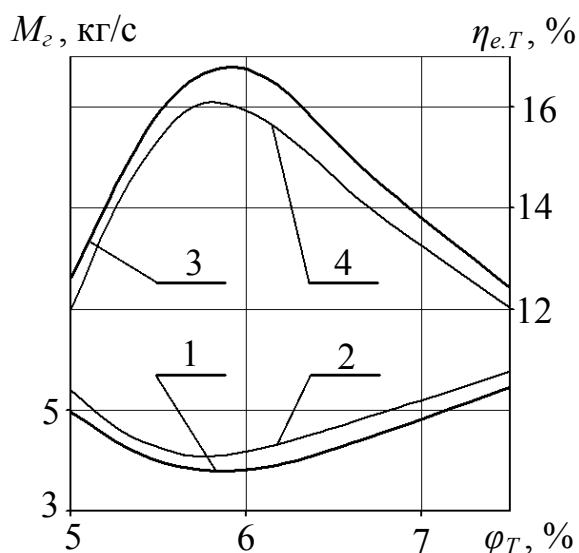


Рисунок 8 – Залежності масової витрати повітря та к.к.д. від об'ємної витратної концентрації пульпи

Визначено, що отримані з урахуванням динаміки частинок в снарядному потоці конструктивні параметри підвідного трубопроводу та ступенів підйомного трубопроводу у випадку гідропідйому ПМК в діапазоні продуктивності за твердим матеріалом 8...12 кг/с забезпечать підйом корисних копалин в області максимального к.к.д. установки при масовій витраті повітря 3,563...4,87 кг/с.

На рівні винаходів розроблено спосіб керування роботою ерліфтного гідропідйому, що виключає зрив транспортування твердого матеріалу в підйомному трубопроводі, а також спосіб, який передбачає здійснення безпосереднього управління параметрами

транспортуючої здатності снарядного потоку. Розроблена конструкція змішувача ерліфта, що підвищує транспортуючу здатність багатокомпонентного потоку в підйомному трубопроводі за рахунок збільшення довжини бульбашкової структури течії внаслідок більш рівномірного розподілу стисненого повітря по об'єму підйомного трубопроводу. Розроблено методику розрахунку параметрів змішувача ГЕГ.

Отримані результати досліджень можуть бути використані при розробці родовищ Світового океану, а також в традиційній гірничій справі.

ВИСНОВКИ

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача важливого прикладного значення, що полягає у встановленні закономірності зміни швидкості транспортування твердих частинок газовими снарядами та рідинними пробками вздовж снарядної структури течії з урахуванням уповільнення підйому частинок в газових снарядах, а також змін розмірів газових снарядів та рідинних пробок для обґрунтування конструктивних та експлуатаційних параметрів глибоководних ерліфтів, що підвищують ефективність установок при забезпеченні стійкого підйому корисних копалин в підйомному трубопроводі.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи:

1. Проведений аналіз стану питання виявив, що при розрахунку параметрів ерліфтного гідропідйому твердого матеріалу не враховуються силова взаємодія ча-

стинок з газовими снарядами, а також вплив зміни розмірів газових снарядів та рідинних пробок вздовж гетерогенної течії на стійкість підйому твердого матеріалу.

2. Виконані експериментальні дослідження руху твердих частинок в снарядному потоці на розробленому гідравлічному стенді, виявлено нове явище зниження швидкості частинок на ділянці ССТ при зростанні швидкостей газу та рідини в потоці, що підтверджено Дипломом № 413 від 21 травня 2011 р. на Наукове відкриття.

3. Встановлено, що на ділянці від початку снарядної структури до зони з діапазоном відношення довжини газового снаряда до довжини розташованої за ним рідинної пробки 1,62...1,66 високі інтенсивності збільшення довжин газових снарядів та зменшення довжин рідинних пробок призводять до зниження здатності потоку транспортувати тверді частинки, а далі транспортуюча здатність зростає внаслідок уповільнення зміни розмірів газових снарядів.

4. Розроблено математичний опис руху твердих частинок в снарядному потоці, що розширює відомий клас аналітичних моделей гетерогенних сумішей та передбачає послідовний розрахунок двокомпонентних потоків: «тверде-газ», «тверде-рідина», який циклічно повторюється. Розбіжність результатів теоретичних досліджень швидкості транспортування твердих частинок в снарядному потоці з експериментальними даними не перевищує 19 %.

5. Розроблено метод визначення величин конструктивних та витратних параметрів ГЕГ зі ступінчастою конструкцією підйомного трубопроводу, які забезпечують задану витрату твердого матеріалу за всією довжиною підйомного трубопроводу при мінімальних швидкостях багатокомпонентної суміші в його ступенях.

6. Для базового варіанта ГЕГ встановлено, що у випадку гідропідйому ПМК підйомний трубопровід містить 5 ступенів, а визначені з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ раціональні значення довжин та діаметрів ступенів при порядку їх нумерації у напрямку від змішувача до повітровідділювача складають відповідно $L_1 = 1286$ м і $D_1 = 0,204$ м, $L_2 = 293$ м і $D_2 = 0,221$ м, $L_3 = 185$ м і $D_3 = 0,256$ м, $L_4 = 97$ м і $D_4 = 0,312$ м, $L_5 = 59$ м і $D_5 = 0,369$ м. Отримані конструктивні параметри в діапазоні продуктивності за твердим матеріалом 8...12 кг/с забезпечать підйом ПМК в області максимальних к.к.д. при витраті повітря 3,563...4,87 кг/с.

7. На рівні винаходів розроблено способи керування роботою ерліфта та технічні рішення для їх реалізації, що забезпечують стійкий підйом твердого компоненту суміші при снарядній структурі течії за рахунок здійснення безпосереднього управління параметрами транспортуючої здатності снарядного потоку.

8. На рівні винаходу розроблено конструкцію змішувача ерліфтного гідропідйому гірської маси, що забезпечує підвищення транспортуючої здатності багатокомпонентного потоку в підйомному трубопроводі внаслідок більш рівномірного розподілу стисненого повітря по об'єму підйомного трубопроводу.

9. Розроблені методики розрахунків параметрів ерліфтною установки з урахуванням силової взаємодії твердих частинок з газовими снарядами та змішувача ерліфтного гідропідйому твердого матеріалу використовуються в ДП «Дніпродіпрошахт» (м. Дніпропетровськ) при розробці шахтних ерліфтних установок та учбовому процесі Державного ВНЗ «НГУ» при читанні курсів «Гідромеханіка», «Гідравліка та гідропривід» та «Гідротранспорт на гірничих підприємствах».

НАУКОВЕ ПОЛОЖЕННЯ І ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЯХ

1. Динамика глубоководных гидроподъемов в морском горном деле: [монография] / Е.А. Кириченко, В.Г. Шворак, В.Е. Кириченко, В.В. Евтеев. – Д.: Национальный горный университет, 2010. – 259 с.

2. Евтеев В.В. Экспериментальное исследование параметров вертикального потока трехкомпонентной смеси в эрлифтном гидроподъеме / В.В. Евтеев, Е.А. Кириченко // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 1. – С. 47–54.

3. Самуся В.И. Экспериментальное исследование параметров вертикального двухкомпонентного потока применительно к эрлифтному течению / В.И. Самуся, В.В. Евтеев, В.Е. Кириченко // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 12. – С. 68–74.

4. Аналитическое решение циклической задачи применительно к снарядной структуре эрлифтного течения / В.Е. Давидсон, В.Д. Ламзюк, Е.А. Кириченко, В.В. Евтеев // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2008. – № 80. – С. 109–117.

5. К вопросу разработки численно-аналитического метода расчета глубоководных эрлифтов для гидроподъема твердого материала / Е.А. Кириченко, В.Д. Ламзюк, В.В. Евтеев, В.Г. Шворак // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 8. – С. 83–88.

6. Кириченко Е.А. Исследование параметров снарядной структуры течения в подъемной трубе глубоководного эрлифта / Е.А. Кириченко, В.В. Евтеев, А.В. Романюков // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 9. – С. 66–72.

7. Кириченко Е.А. Обоснование рациональных параметров глубоководных эрлифтных гидроподъемов с учетом динамики твердых частиц / Е.А. Кириченко, В.В. Евтеев, В.Г. Шворак // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 9. – С. 71–76.

8. Пат. 86436 Україна, МПК E21C45/00, F04F1/20. Морський ерліфт / Кириченко Є.О., Шворак В.Г., Євтеєв В.В., Романюков А.В.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет. – № a200703436; заявл. 29.03.07; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8.

9. Пат. 89861 Україна, МПК E21C50/00, E21C45/00, F04F1/18, F04F1/20, E02F7/00, B65G53/00. Спосіб керування роботою ерліфта / Кириченко Є.О., Євтеєв В.В., Кириченко В.Є., Романюков А.В., Татуревич А.А.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет. – № a200805542; заявл. 29.04.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.

10. Пат. 85116 Україна, МПК E21C45/00, F04F1/20. Спосіб підвищення рівня використання підйомної спроможності морського ерліфта та система для його реалізації / Кириченко Є.О., Ламзюк В.Д., Євтеєв В.В.; заявник та патентовласник Національний гірничий університет. – № a200703443; заявл. 29.03.07; опубл. 25.12.08, Бюл. № 24.

Особистий внесок здобувача у роботи, опубліковані в співавторстві: [1, 2] – аналітичний огляд та аналіз результатів; [3, 4] – обґрунтування припущень та розробка математичного забезпечення; [5–7] – постановка задач, обробка результатів досліджень; [8] – розробка конструкції; [9–10] – розробка способів роботи ерлифтного гідропідйому.

АНОТАЦІЯ

Євтеєв В.В. Обґрунтування параметрів глибоководних ерліфтів з урахуванням динаміки твердих частинок в снарядному потоці. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.06 – гірничі машини. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» МОНМС України, Дніпропетровськ, 2012.

Дисертація присвячена обґрунтуванню витратних та конструктивних параметрів глибоководних ерліфтів зі ступінчастою конструкцією підйомного трубопроводу, що мінімізують енергоємність установок, при урахуванні силової взаємодії твердих частинок з газовими снарядами.

В результаті експериментальних досліджень підйому твердих частинок водоповітряним потоком при різних структурах течії вперше було встановлено, що снарядна структура містить аномальну область, яка характеризується зниженням швидкості підйому частинок при збільшенні витрати середовища, що їх транспортує. Встановлено залежності змін довжин газових снарядів та рідинних проміжків (пробок) між ними від об'ємного газозмісту суміші.

Розроблено новий математичний апарат для розрахунку параметрів трикомпонентного снарядного потоку, який не входить в жодний з відомих на теперішній час клас аналітичних моделей гетерогенних сумішей і передбачає послідовний розрахунок двокомпонентних потоків: «тверде-газ», «тверде-рідина», що циклічно повторюється. Виявлена принципова відмінність механізмів транспортування рідинного та твердого компонентів суміші у висхідному снарядному потоці. Розроблений новий чисельно-аналітичний метод розрахунку параметрів багатокомпонентного потоку, який відрізняється від відомих урахуванням уповільнення транспортування частинок в газових снарядах та зміни морфології снарядної структури течії.

Виявлено, що уповільнення підйому або низхідний (протитечійний) рух твердих частинок, в залежності від їх фізико-механічних характеристик, в газових снарядах призводить до акумуляції частинок на ділянці снарядного потоку. Встановлено закономірності впливу динаміки твердих частинок при снарядній структурі течії на витратні, конструктивні та енергетичні параметри глибоководного ерліфта.

Розроблено алгоритми, що дозволяють прогнозувати параметри гідропідйому, які загрожують забутовкою підйомного трубопроводу, а також визначати граничні значення характеристик транспортуючого потоку та твердих частинок.

На рівні винаходів розроблені способи керування роботою глибоководного ерліфтного гідропідйому та відповідні технічні рішення, що підвищують ефективність транспортування мінеральної сировини, а також раціональна конструкція змішувача, яка забезпечує підвищення транспортуючої здатності багатокомпонентного потоку в підйомному трубопроводі. Розроблені та впроваджені методики розрахунків параметрів ерліфтів з урахуванням динаміки твердих частинок при ССТ та змішувача ГЭГ, а також програмно-алгоритмічне забезпечення для їх реалізації.

Ключові слова: глибоководний ерліфтний гідропідйом, снарядний потік, підйомний трубопровід, газові снаряди, рідинні пробки.

АННОТАЦИЯ

Евтеев В.В. Обоснование параметров глубоководных эрлифтов с учетом динамики твердых частиц в снарядном потоке. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – горные машины. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» МОНМС Украины, Днепропетровск, 2012.

Диссертация посвящена обоснованию расходных и конструктивных параметров глубоководных эрлифтов со ступенчатой конструкцией подъемного трубопровода, минимизирующих энергоемкость установок, при учете силового взаимодействия твердых частиц с газовыми снарядами.

В результате экспериментальных исследований подъема твердых частиц водовоздушным потоком при различных структурах течения впервые было установлено, что снарядная структура содержит аномальную область, характеризующуюся снижением скорости подъема частиц при увеличении расхода транспортирующей их среды. Установленное явление по результатам экспертизы Международной академии авторов научных открытий и изобретений признано Научным открытием, что подтверждено соответствующим Дипломом № 413 от 21 мая 2011 г. Полученные результаты определили необходимость углубленного изучения снарядной структуры течения (ССТ).

Установлены зависимости изменений длин газовых снарядов и жидкостных промежутков (пробок) между ними от объемного газосодержания смеси. Разработан новый математический аппарат для расчета параметров трехкомпонентного снарядного потока не входящий ни в один из известных в настоящее время класс аналитических моделей гетерогенных смесей и предусматривающий циклически повторяющийся последовательный расчет двухкомпонентных потоков: «твердое-газ», «твердое-жидкость». Выявлено принципиальное различие механизмов транспортирования жидкостного и твердого компонентов смеси в восходящем снарядном потоке.

Разработан новый численно-аналитический метод расчета параметров многокомпонентного потока, отличающийся от известных учетом замедления транспортирования частиц в газовых снарядах и изменения морфологии ССТ. На основании полученного численно-аналитического метода разработан метод определения размеров ступеней подъемного трубопровода и расходных параметров глубоководного эрлифтного гидроподъема (ГЭГ), обеспечивающих минимальную энергоемкость гидроподъема с учетом динамики твердых частиц при ССТ.

Установлено, что замедление подъема либо нисходящее (противоточное) движение твердых частиц, в зависимости от их физико-механических характеристик, в газовых снарядах приводит к аккумуляции частиц на участке ССТ. Для достижения заданной производительности ГЭГ по твердому материалу аккумуляция частиц в снарядном потоке, приводящая к увеличению давления в смесителе, должна компенсироваться рациональными размерами ступеней подъемного трубопровода или повышением требуемого расхода воздуха в случае гидроподъема с подъемным трубопроводом постоянного диаметра. Отсутствие управления параметрами транспортирующей способности снарядного потока в случае подъема

крупных и тяжелых частиц, совершающих колебательные (циклические) движения при ССТ вследствие противоточного движения в газовых снарядах, может привести к кризису (срыву) транспортирования твердого материала с последующей забутовкой трубопровода.

Установлены закономерности влияния динамики твердых частиц при ССТ на расходные, конструктивные и энергетические параметры ГЭГ.

Разработаны алгоритмы, позволяющие прогнозировать угрожающие забутовкой подъемного трубопровода параметры гидроподъема, а также определять граничные значения характеристик транспортирующего потока и твердых частиц.

На уровне изобретений разработаны способы управления работой ГЭГ и технические решения для их реализации, повышающие эффективность транспортирования минерального сырья, а также рациональная конструкция смесителя, обеспечивающая повышение транспортирующей способности многокомпонентного потока в подъемном трубопроводе. Разработаны и внедрены методики расчетов параметров эрлифтов с учетом динамики твердых частиц при ССТ и смесителя ГЭГ, а также программно-алгоритмическое обеспечение для их реализации.

Ключевые слова: глубоководный эрлифтный гидроподъем, снарядный поток, подъемный трубопровод, газовые снаряды, жидкостные пробки.

ABSTRACT

Yevteyev V.V. Substantiation of deep-water airlift parameters, with account taking of the dynamics of solid particles in the slug flow. – Manuscript.

Thesis for candidate of technical sciences degree in speciality 05.05.06 – mining machinery. – State institution of higher education, "National Mining University" MESYS Ukraine, Dnipropetrovsk, 2012.

Thesis is devoted to substantiation of consumable and design parameters of the deep-water airlifts with the stepped lift pipe that ensure minimization of plant energy intensity, taking into account force interaction of solid particles with completion assembly.

The mixture volumetric gas content dependences in length changes of completion assembly and fluid gaps (obstructions) between them are established. A new mathematical tool for calculating the parameters of three-component slug flow is developed; this tool is not included in any of the currently known class of analytic models of heterogeneous mixtures and provides a cyclically repeated sequential calculation of two-component flows: «solid-gas», «solid-liquid». A new numerical-analytical method for calculating the parameters of multicomponent flow is worked out that differs from the known methods as it considers particle transportation slow-down in completion assembly, taking into account morphology changes of the slug flow structure. The regularities of solid particle dynamics influence on the consumable, design and energy parameters of the deep-water hydraulic airlift by the slug flow structure are established.

The deep-water hydraulic airlift control methods and the technical solutions for their implementation are worked out, permitting increase of mineral transportation efficiency. The rational design of mixer is developed, providing higher transporting capacity of multicomponent flow in the lift pipe.

Key words: deep-water hydraulic airlift, slug flow, lift pipe, completion assembly, fluid obstructions.

ЄВТЄЄВ Володимир Васильович

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЛИБОКОВОДНИХ ЕРЛІФТІВ
З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК
В СНАРЯДНОМУ ПОТОЦІ**

(Автореферат)

Підп. до друку 09.11.2012. Формат 60×90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № .

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.