

## **ВІДГУК**

*офіційного опонента, доктора технічних наук  
Садовенко Івана Олександровича на дисертаційну роботу  
Дзюби Сергія Володимировича на тему «Розвиток наукових основ  
логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств», подану на  
здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка»*

### **1. Актуальність проблеми і її зв'язок з державними і галузевими програмами**

Відомо, що основні етапи розробки родовищ корисних копалин передбачають обґрунтоване урахування в межах виробничих потужностей гірничо-збагачувальних та гірничо-металургійних комбінатів взаємовпливу гідротехнічних систем, що функціонують в технологіях переробки мінеральної сировини, на екологічну ситуацію прилеглих територій. Оцінка даної взаємозалежності має велике значення при обґрунтуванні стійкості розвитку гірничих підприємств, оскільки є одним з важливих факторів забезпечення, як підвищення економічної ефективності технологій переробки, так і соціальної складової життєзабезпечення промислових районів. Реалізація ефективного виробництва товарного концентрату на гірничо-металургійних комбінатах починається з забезпечення прийняття обґрунтованих управлінських рішень на всіх основних його етапах, таких як: планування, проектування ланок і логістичних вузлів технологічного ланцюга устаткування, перерозподілу матеріально-сировинних потоків при переробці мінеральної сировини та транспортування шахтних вод і відходів технологій переробки в сховища. Таким чином, розвиток наукових основ логістики в гідротехнічних системах для технологій переробки мінеральної сировини, який передбачає відновлення порушених гірничими роботами територій з урахуванням зміни гідрогеологічних умов, що пов'язані зі складною структурно-геологічною будовою ґрунтів і гірських порід та впливу параметрів процесів перерозподілу матеріально-сировинних потоків на характеристики та режими роботи елементів логістики, які з'єднуються безнапірним потоком гідросуміші є актуальною науковою проблемою, розв'язання якої має важливе значення для гірничої промисловості та поліпшення екологічного стану промислових регіонів.

Дисертаційна робота виконана відповідно до наукових напрямів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України та Придніпровського наукового центру НАН України і МОН України за держбюджетними темами Ш-24-06 (№ ДР 0106U003278); Ш-52-09 (№ ДР 0109U001724); Ш-63-12 (№ ДР 0112U000493); Ш-01-17 (№ ДР 0116U005359), за якими автор був керівником і відповідальним

виконавцем, а також III-44-10 (№ ДР 0108U000218), III-32-15 (№ ДР 0107U001266), за якими автор був виконавцем.

**2. Достовірність, ступінь обґрунтованості та новизна наукових положень і основних висновків дисертації.** Аналіз роботи, що рецензується, показав наступне.

Вперше для течії гідросуміші по похилому прямокутному каналу, який звужується, визначено початковий переріз розшарування безнапірного потоку гідросуміші та необхідна довжина каналу в залежності від параметрів частинок, рідини, потоку і гідросуміші у входному перетині.

Вперше критеріальні параметри безнапірного потоку рідини визначаються з урахуванням мінімуму питомої енергії та співвідношення діючих в перерізі сил, а також обґрунтовано методи змінення сили тертя за рахунок введення в потік гідродинамічно активних речовин.

Вперше отримано залежність витрати гідросуміші з об'ємною концентрацією меншою ніж 5 % в похилому каналі прямокутного перетину від необхідної відстані транспортування, що дозволяє враховувати вплив довжини логістичних зв'язків при узгодженні параметрів та режимів роботи гідротехнічних систем.

Вперше встановлено вплив масообміну на критичну глибину безнапірного потоку в прямокутному каналі, з примусовим масообміном на його дні, та обґрунтовано інтенсивність масообміну для забезпечення необхідної витрати потоку.

Вперше розрахована тривалість підвищення тиску під стрічкою за рахунок просочування повітря крізь пористий шар матеріалу в залежності від узагальнених коефіцієнтів фільтрації й пористості шару матеріалу та стрічки, співвідношення геометричних параметрів щілин і стрічки та з урахуванням забезпечення узгодженості щодо стійкої роботи логістичних вузлів.

Усі ці складові дисертації слід віднести до категорії наукової новизни.

Наукові положення, які виносяться на захист, є лаконічним відображенням досягнутих наукових результатів досліджень, а саме:

1. Частка довжини похилого прямокутного каналу на якій потік гідросуміші з частинками відносної густини від 2,4 до 5,1 та діаметром від 100 мкм до 1 мм є двошаровою течією, нижній шар якого складається з висококонцентрованого потоку, а верхній представлено гідросумішню з концентрацією, яка знижується, обернено пропорційно числу Рейнольда потоку в степені з позитивним дрібним показником, який змінюється від 2 до 4, а коефіцієнт пропорційності є поліномом другого ступеня від характеристики розподілу швидкості по висоті потоку.

2. Режим течії гідросуміші з об'ємною концентрацією меншою ніж 5 % по прямокутному каналу визначається співвідношенням критичної глибини, що

віднесена до ширини потоку, та кореня третього ступеня від уклону дна каналу, який віднесено до коефіцієнту тертя рідини, з коефіцієнтом пропорційності рівним 1,2. Питома витрата пропорційна добутку довжини каналу на уклін в ступені  $3/2$ .

3. При безнапірній течії гідросуміші по прямокутному каналу з примусовим масообміном на дні залежність відносини критичної глибини потоку в довільному поперечному перерізі до критичної глибини на вході в канал від відстані до цього перетину описується лінійною функцією, яка спадає зведеної в ступінь  $2/3$ .

4. Тривалість підвищення тиску під стрічкою за рахунок просочування повітря крізь пористий шар матеріалу обернено пропорційна показниковій функції, аргументом якої є відносний безрозмірний тиск під стрічкою, а основа залежить від початкового значення вакууму.

5. Оптимальне управління в двоетапних задачах розподілу матеріально-сировинних потоків в транспортно-логістичних системах досягається при визначеній щільності розподілу продукту, що виробляється в заданій області, якщо існують дійсні константи, при яких функції вартості доставки одиниці продукту з довільної підобласті до фіксованого центру переробки задовольняють системі лінійних нерівностей.

Наукові положення, результати й висновки є достатньо обґрунтованими та достовірними. Це визначається коректністю постановки задач, установленою експериментально відповідністю розроблених моделей реальним процесам, використанням відомих методів досліджень та розв'язання завдань і значним обсягом впровадження та апробацій результатів дисертаційного дослідження.

**3. Повнота викладення отриманих результатів в опублікованих працях та апробація роботи.** 60 наукових робіт, у тому числі 8 публікацій у закордонних періодичних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз, 24 наукових статей у фахових виданнях України, 28 матеріалів конференцій і тез доповідей. Основні положення дисертації доповідалися на міжнародних і регіональних конференціях та нарадах.

Автореферат повною мірою відображує структуру та основний зміст дисертації, основні положення й висновки й оформлений відповідно до вимог ДАК МОН України.

#### **4. Наукове і практичне значення одержаних результатів**

Наукове значення роботи полягає в установленні залежності розташування початкового перерізу розшарування безнапірного потоку гідросуміші по похилому каналу прямокутного перетину, який звужується, від характеристик частинок, рідини, витрати гідросуміші у вхідному перетині, а також від кута

нахилу каналу, залежності критичної глибини безнапірного потоку в прямокутному каналі від параметрів масообміну та перфорації дна потоку.

До практичної значимості результатів дисертаційного дослідження слід віднести розробку алгоритмів розрахунків параметрів вузлів логістики, як елементів гідравлічної мережі за основними типами їх з'єднання та з урахуванням закономірностей процесів, що відбуваються при безнапірній течії гідросуміші та фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі. З точки зору, прикладного характеру в роботі розроблено і впроваджено у проектних, науково-дослідних та на виробничих підприємствах низку методик та рекомендацій:

- розрахунку параметрів течії пульпи в трубопроводі при раптовій зміні площі перерізу;
- розрахунку параметрів і режимів течії пульпи по внутрішній поверхні конусу і циліндру;
- розрахунку параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі;
- з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі;
- щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах.

### ***5. Аналіз основного змісту дисертаційної роботи.***

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаних джерел. Дисертація містить 70 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел з 247 найменувань. Повний обсяг дисертації складає містить 406 сторінок машинописного тексту (основна частина на 307 сторінках), в тому числі, 23 сторінок додатків.

*У вступі обґрунтовано* актуальність досліджень, сформульовано мету та ідею роботи, показано елементи наукової новизни, представлено наукову та практичну цінність роботи, наведено наукові положення й дані з апробації роботи й публікацій.

*У першому розділі* наведено огляд сучасного стану моделювання процесів формування техногенних режимів підземних вод і підвищення водопривлівів при відновленні територій, що порушені веденням гірничих робіт, а також поблизу відвалів і шламовідстійників. Виконано аналіз закономірностей режимів водонасичення ґрунтів, пісковиків, ґрунтових вод і водоносних горизонтів, а також вплив геофільтраційних властивостей на формування основних їх режимів. Проведений аналіз функціонування підземних інфраструктурних об'єктів показує, що екосистемні взаємозв'язки і

мінеральні ресурси, які зосереджені в підземному просторі з точки зору їх корисності для сталого розвитку промислових районів, вимагають подальших досліджень з метою розробки сучасних систем прийняття рішень і адекватних методів планування та проектування великомасштабних і високо ризикованих інвестиційних проектів. Аналіз технологічних схем гірничо-збагачувальних та гірничо-металургійних комбінатів дозволяє виділити в технологіях переробки мінеральної сировини основні системи, що забезпечують транспортування гідросумішей, складування відходів та водопостачання виробництва зворотною водою за рахунок застосування методів гідромеханізації, гідравлічного трубопровідного транспорту, безнапірних потоків, з використанням дамб, відстійників, каналів та інших гідротехнічних споруд. На підставі проведеного аналізу сформульовано завдання досліджень.

*У другому розділі* проведено аналіз існуючих моделей течії води або гідросуміші по похилій, не деформованій поверхні, або прямокутному каналу та узагальнення їх на випадок масообміну на дні потоку. На основі результатів проведеного аналізу отримано аналітичне розв'язання системи рівнянь щодо співвідношень тягової сили й сили тертя о дно потоку, що дозволило визначити формули для розрахунків параметрів течії гідросуміші. Для розрахунку параметрів та режимів течії безнапірних потоків гідросуміші в каналах незмінного перерізу розроблені методи управління гідравлічними процесами з урахуванням зовнішніх факторів та особливостей, які відбуваються на границі між потоком і твердою неперфорованою поверхнею, шляхом введення розчинів гідродинамічно активних речовин. Розроблено модель течії гідросуміші по каналу, що звужується, при наявності масообміну через дно потоку, яка враховує параметри перфорації поверхні дна, діючого перепаду тиску та швидкість напору течії. Для умов систем логістики гірничих підприємств, обґрунтовано модель течії гідросуміші по внутрішній поверхні циліндру при наявності масообміну через тверду поверхню, яка відрізняється від відповідного випадку течії без масообміну додатковими доданками, величина яких прямо пропорційна перепаду тиску, а також обернено пропорційна швидкісному напору течії, а також тангенсу кута закручення потоку. На основі отриманих у другому розділі результатів розроблено „Методику розрахунків параметрів і режимів плинну пульп по внутрішній поверхні конуса й циліндра”, „Методику розрахунків параметрів течії в приповерхньому шарі”, „Методику розрахунків параметрів і режимів плинну пульпи уздовж похилої поверхні” і „Методику розрахунку параметрів течії пульпи в трубопроводі при раптовій зміні площі перерізу”.

*У третьому розділі* розглянуто особливості течії в каналі, що звужується, а також розроблені моделі течії гідросуміші без і при наявності

масообміну крізь дно потоку. Наведено результати досліджень щодо моделювання двошарової течії верхній шар якої являє собою рухому гідросуміш, з котрої в процесі її руху вздовж каналу тверді частинки безперервно осідають в нижній шар. Встановлено, що визначальним фактором в процесі розділення однорідного потоку гідросуміші на двошарову течію рідин різної щільності є здатність потоку до зависання частинок різного типу на ту чи іншу висоту, так звану границю зависання. Отримано вираз для визначення точки початку сепарації, яка знаходиться в тому перерізі потоку, в якому границя зависання частинок розглянутого класу стане нижче деякого значення далі починається процес формування нижнього висококонцентрованого шару, оскільки потік не здатний підняти частинки при течії гідросуміші вище. Доведено, що для течії гідросуміші по нахиленому прямокутному каналу, який звужується, запропоновані методи розрахунку перерізу, починаючи з якого потік являє собою двошарову течію, нижній шар якої складається з частинок, що випали з потоку, а верхній представлений пульпою з концентрацією, яка постійно знижується. На основі отриманих результатів вдосконалено методи розрахунків параметрів та режимів течії безнапірних потоків рідини по каналам зі змінною площею поперечного перерізу, як з'єднувальних елементів технологій логістики, а також досліджено особливості керування логістичними ланками такого типу. В даному розділі наведено порівняння результатів аналітичних розрахунків з експериментальними даними **при** дослідженні процесів безнапірної течії гідросуміші з різною інтенсивністю відбору рідини крізь дно, яке підтвердило адекватність розроблених моделей.

**У четвертому розділі** розроблено гідродинамічні моделі вузлів техногенного впливу, що ґрунтуються на співвідношеннях балансу матеріальних потоків, які надходять до вузла, та виходять з вузлу. Обґрунтовано визначення вузлів логістики, як вузлів техногенного впливу до яких відносять місця накопичення шахтних вод, відвали кар'єрів, відходи переробки мінеральної сировини, водосховища зворотної рідини. Дані вузли створюють основний магістральний напрямок матеріально-сировинних потоків завдяки послідовному зв'язку між собою. Доведено що за кількістю вузлів техногенного впливу магістральні напрямки утворюються з двох або трьох вузлів. Перший випадок характерний гірничим виробництвом, що розробляють родовища підземним способом, а другий – при відкритій розробці корисних копалин. Окремо у розділі проведено дослідження щодо динаміки зміни тиску повітря під перфорованою стрічкою, по якій транспортується сипкий матеріал, при просочуванні повітря крізь шар матеріалу і стрічки та отримано рівняння для розрахунку параметрів процесу фільтрації. Обґрунтоване застосування закону збереження маси повітря всередині ємності та рівняння стану газу дозволило розробити математичні моделі

процесу зміни тиску повітря в ємності під стрічкою вакуум-фільтра з урахуванням зміни властивостей шару зневодненого сипкого матеріалу. Це дозволило розраховувати тривалість підвищення тиску під стрічкою за рахунок просочування повітря крізь пористий шар матеріалу в залежності від його початкового значення, узагальнених коефіцієнтів фільтрації й пористості шару матеріалу та стрічки, співвідношення площі щілин та стрічки.

*У п'ятому розділі* на підставі використання математичного забезпечення, яке розроблено для вирішення безперервних багатоетапних задач оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками, при організації логістичних систем в гірничовидобувній галузі запропоновано розв'язання задач оптимізаційного пошуку на заданій території місць для відкриття нових гірничих підприємств, визначення зон їх обслуговування з видобутку корисних копалин, а також кількість сировини для сортування та подальшого транспортування для переробки і далі до кінцевого споживача. На основі цих алгоритмів вирішено актуальну науково-практичну задачу, яка пов'язана з оптимальною організацією двоступеневих процесів розподілу матеріально-сировинних потоків в транспортно-логістичній системі, структурними елементами якої є шахти, які здійснюють видобуток корисних копалин на певній території, і підприємства, які цей ресурс споживають або переробляють. Розроблено чисельний алгоритм розв'язання двоетапної задачі розподілу матеріально-сировинних ресурсів, які безперервно займаного задану область. Метод вирішення зазначених завдань заснований на ідеї зведення їх до завдань нескімчемномірного математичного програмування, для яких, в свою чергу, за допомогою застосування апарату теорії подвійності оптимального рішення вдається отримати в аналітичному вигляді. Робота алгоритму показано на прикладі рішення модельної задачі оптимізації двоетапного розподілу матеріально-сировинного потоку, яка притаманна для підприємств паливно-енергетичного комплексу. Також у розділі приділяється певна увага розробці і обґрунтуванню методичного забезпечення розрахунків параметрів режимів роботи вузлів логістики для основних схем з'єднання елементів гідравлічних систем. При цьому, крім традиційних послідовної і паралельної схем, вперше докладно описані і проаналізовані послідовно-роздільна, послідовно-спільна, паралельно-роздільна, паралельно-спільна, розгалужена і діагональна схеми з'єднань збагачувальних апаратів. Визначено методи розрахунку об'ємних витрат пульп і параметрів перерозподілу матеріально-сировинних потоків при функціонуванні збагачувальних апаратів з'єднання яких розглянуто в даному розділі.

В докторській дисертації не використовуються результати наукових досліджень, наведені в кандидатській дисертації “Обґрунтування параметрів руху аерозависі в аспіраційно-знепилюючих системах збагачувальних фабрик”.

**6. Редакційний аналіз.** Робота викладена грамотно, з використанням сучасної термінології, є послідовно і логічно завершеною. Оформлення роботи відповідає вимогам ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання». Назва роботи цілком відповідає її змісту. Обсяг дисертації та автореферату відповідає встановленим нормам.

**7. Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі.**

1. В другому науковому положенні, при визначенні залежності питомої витрати від геометричних характеристик каналу, коефіцієнт пропорційності в степеневій функції без достатнього обґрунтування вважається незмінним, в той час як він складним чином залежить від довжини каналу, відносних товщини шару рідини на початку та при кінці течії, а також від критичної глибини потоку.

2. В роботі існує незрозуміла плутанина з методикою визначення коефіцієнту гідравлічного тертя. В першому та другому розділі він вважається майже сталою величиною, а в другій частині третього розділу раптово його пропонується обчислювати за допомогою закону Шезі з урахуванням формули Н.Н. Павловського та рекомендації Маннинга та Форхгеймера. При цьому автор не вказує необхідно чи ні застосовувати такий же саме підхід в попередніх розділах.

3. Умова визначення початкової точки розшарування потоку гідросуміші в каналі, який звужується, на основі зменшення висоти зависання частинок нижче висоти їх можливого висококонцентрованого шару, що запропонована автором, не враховує здатність потоку до переміщення частинок по дну за рахунок ковзання та перекочування.

4. При узагальненні методу розрахунку початкової точки розшарування потоку гідросуміші в каналі, який звужується, на випадок примусового масообміну крізь дно каналу автором роботи без достатнього обґрунтування не враховується сила, що діє на частинки твердої фази при витіканні рідини крізь шпарини в дні. Наявність масообміну такого типу призводить до зміни напрямку між лініями течії та траєкторіями руху частинок твердої фази, та ініціюють появу сил, що рухають частинки твердої фази вгору або вниз.

5. Запропоновані в роботі моделі вузлів техногенного впливу не враховують втрату рідини з поверхонь водойм та інший кліматичний вплив на рідину, яка накопичується, що потребує подальшого вдосконалення.

6. При розробці методів та алгоритмів розрахунків параметрів фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі, що транспортується конвеєрним транспортом, під впливом зовнішніх факторів, без достатнього обґрунтування не враховується змінення пористості та коефіцієнту фільтрації матеріалу при зміненні градієнту тиску повітря.



**Висновок.** Дисертаційна робота С.В. Дзюби є завершеною науково-дослідною роботою, яка виконана на актуальну тему, має наукову новизну і практичну цінність, містить достовірні результати. Зміст і реалізація результатів роботи відповідають паспорту спеціальності 05.15.09 – "Геотехнічна і гірнична механіка". Матеріали дисертації викладено логічно та послідовно, розділи закінчуються аргументованими висновками. Завдання досліджень в кожному розділі виконано та обґрунтовано достатньо повно.

Вважаю, що дисертаційна робота С.В. Дзюби відповідає вимогам ДАК МОН України, що висуваються до докторських дисертацій, полягає в розв'язанні актуальної наукової проблеми розвитку наукових основ технологій логістики в гідротехнічних системах підприємств гірничої галузі шляхом встановлення закономірностей, що визначають параметри безнапірних потоків гідросуміші від властивостей середовища, фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі під впливом зовнішніх факторів, що характеризують процеси перерозподілу матеріальних потоків з урахуванням показників та режимів роботи елементів технологій логістики геотехнічних систем, що має суттєве значення для підвищення ефективності гірничих технологій та забезпечення сталого розвитку промислових регіонів, а автор заслуговує на присудження вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – "Геотехнічна і гірнична механіка".

Офіційний опонент професор  
кафедри гідрогеології та інженерної геології  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка» МОН України,  
д-р технічних наук, професор



I.O. Садовенко

Підпис д.т.н., професора Садовенка І.О.  
засвідчую

Учений секретар  
Вченої ради Національного технічного  
університету «Дніпровська  
політехніка» МОН України



Т.М. Калюжна

28.04.2021р.

Відпущ карішмов до списарки 208.188.01 28.04.2021р.  
Учений секретар ради  
д.т.н., проф. Шевченко В.І.