

## **В І Д Г У К**

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Біляєва Миколи Миколайовича**  
на дисертаційну роботу **Дзюби Сергія Володимировича** на тему: «Розвиток наукових основ логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «**Геотехнічна і гірнична механіка**»

**Актуальність теми дисертації.** Гідротранспортні магістралі широко використовуються при вирішенні чисельних задач геотехнічної механіки. На багатьох підприємствах гірничої і енергетичної галузі вони входять до складу шламосховищ і систем циркуляції технічної води. На збагачувальних фабриках до цього комплексу додається гідравлічне збагачувальне обладнання, додаткові потоки від фільтрації і зневоднення, а гідротранспортні магістралі підрозділяють на водні та шламіві. Проблема раціональної організації і ефективного управління такими складними комплексами гідротехнічних систем є актуальною і поки що остається не достатньо вирішеною. Між тим науково обгрунтована логістика гідротехнічних систем є запорукою надійної та безаварійної роботи гірничого підприємства в цілому.

В основу алгоритмів логістики гідротехнічних систем повинні бути закладені методи достовірного визначення параметрів для оперативного управління потоками в умовах зміни властивостей сировини і зовнішніх факторів. Але для багатьох окремих елементів гідротехнічних системах питання оптимізації руху безнапірних потоків гідросуміші не вирішені в повному обсязі. Традиційне використання напівемпіричних формул для обчислення гідравлічних потоків має обмежені можливості, а використання сучасних методів, наприклад, штучного інтелекту з нейроподібними зв'язками в умовах невизначеності параметрів, потребують досвідчених операторів і зазвичай мають обмежене використання, виявляються придатними лише для конкретного геотехнічного об'єкту. Зважаючи на це, тема дисертаційної роботи, яка присвячена розвитку наукових основ логістики в гідротехнічних системах, шляхом встановлення закономірностей, які 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 окремих елементів технологій логістики геотехнічних систем є актуальною.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку з 247 найменувань використаних джерел, 3 додатків. Вона містить 406 сторінок машинописного тексту (основна частина на 307 сторінках), в тому числі 70 рисунків, 7 таблиць, 23 сторінки додатків.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках державних бюджетних тем Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України і Придніпровського наукового центру НАН України і МОН України:

- III-24-06 «Розробка інформаційної системи управління якістю для технологій видобутку та переробки мінеральної сировини» (№ ДР 0106U003278);

- III-52-09 «Розробка наукових основ системного аналізу і прогнозу ефективності технологій переробки мінеральної сировини» (№ ДР 0109U001724);

- III-63-12 «Фізико-хімічна механіка геотехнологічних систем: ідентифікація параметрів і управління» (№ ДР 0112U000493);

- III-01-17 «Інноваційні технології управління логістичними системами» (№ ДР 0116U005359), за якими автор є керівником і відповідальним виконавцем, а також:

- III-44-10 «Розробка моделей і алгоритмів розрахунків параметрів гідравлічних процесів при збагаченні мінеральної сировини» (№ ДР 0108U000218);

- III-32-15 «Науково-технічні основи розрахунків параметрів процесів та машин, які забезпечують надійність, екологічну безпеку та ресурсозбереження технологій видобутку, транспортування та переробки мінеральної сировини» (№ ДР 0107U001266), за якими автор є виконавцем.

**Аналіз основного змісту, наукової новизни, практичної значимості, достовірності та обґрунтованості отриманих результатів.**

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, наведено мету та ідею роботи, відбито наукову новизну та практичну цінність результатів досліджень, сформульовано наукові положення, наведено дані щодо апробації роботи й публікацій.

В першому розділі проведено аналіз гідротехнічних систем гірничих підприємств, як логістичної мережі з активними елементами, що функціонує в умовах інфраструктури геотехнічних об'єктів. Розглянута їх роль при плануванні, сталому розвитку, екологічній безпеці об'єктів для забезпечення сталого розвитку регіонів і впровадження інноваційних розробок. Запропонована структурна класифікація технологічних потоків в гідротехнічних системах згідно кількості вузлових точок логістики. Виконано аналіз сучасних моделей безнапірної течії в каналах і трубах, при фільтрації рідини крізь шар сипкої маси, методів оцінки впливу гідродинамічно-активних речовин. Це дозволило визначити актуальність, сформулювати мету і поставити завдання досліджень.

В другому розділі викладені результати досліджень кількох елементів логістичного ланцюга в гідротехнічних системах, а саме - течії в прямокутному каналі незмінного перерізу, вздовж похилої поверхні, по внутрішній поверхні конуса і внутрішній поверхні циліндра. Розроблені математичні моделі, визначені закономірності, запропоновані методи розрахунку параметрів та режимів для таких елементів в умовах наявності і відсутності масообміну через тверду

поверхню за рахунок перфорації, а також при введенні в гідросуміш розчинів гідродинамічно активних і поверхнево активних речовин. Зокрема встановлені співвідношення гідравлічних параметрів та інтенсивності масообміну при яких починається зміна режиму течії, співвідношення для глибини і швидкості потоку при зменшенні коефіцієнту гідроопору на певну величину за рахунок введення в гідросуміш поверхнево активних і гідродинамічно активних речовин.

**В третьому розділі** досліджувався такий елемент логістики гідротехнічних систем, як безнапірний потік гідросуміші по каналу що звужується, при умові наявності або відсутності масообміну через отвори в дні каналу. Для випадку розшарування потоку вперше отримані закономірності зміни параметрів течії з урахуванням місця розташування точки початку сепарації. Встановлено залежність відстані початкового перерізу розшарування безнапірного потоку гідросуміші від параметрів течії (в'язкості, товщини потоку, витрати гідросуміші у вхідному перетині, крупності та щільності частинок твердої фази). Розроблений метод і алгоритм визначення параметрів течії і сепарації частинок пульпи в каналах що звужуються, якій апробовано для умов переробки титан-цирконової сировини при різних режимах руху гідросуміші. Отримані дані є основою для керування безнапірними потоками у каналах що звужуються, як елементами логістики гідротехнічних систем в галузі геотехнічної і гірничої механіки

**В четвертому розділі** розроблені математичні моделі, методи і алгоритми розрахунку параметрів фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі, що пересувається на конвеєрі, під впливом перепаду тиску повітря. Ці дослідження завершують магістральну лінію логістики геотехнічних систем: від видобутку сировини - до фільтрації і зневоднення готового продукту переробки. Встановлені закономірності зміни параметрів фільтрації, що дозволяють визначити таку швидкість руху стрічки конвеєра, яка забезпечує узгодженість логістичних вузлів та дотримання обмежень на параметри матеріалу, що транспортується. Також удосконалені методи розрахунку параметрів і режимів роботи трубопровідних систем при використанні труб марок ПВХ та ПЕ і добавок гідродинамічно-активних і поверхнево-активних речовин. Отримані співвідношення дозволяють визначати швидкість і концентрацію гідросуміші за умови подачі регламентованого вантажопотоку, що дозволяє мінімізувати експлуатаційні витрати на ремонт і технічне обслуговування.

**В п'ятому розділі** наведено результати використання методів оптимізації процесів в логістиці, які забезпечують сталий розвиток і ефективне функціонування гідротехнічних систем. На основі коректного формулювання і рішення неперервних задач оптимального розбиття множин, розроблено модель оптимізації обсягів поставок і запасів, а також модель оптимізації координат розташування логістичних вузлів гідротехнічних систем. Ці завдання являють собою неперервні двоетапні задачі оптимізації з додатковими взаємозв'язками. Для елементів логістики гідравлічних систем всередині збагачувальних фабрик виділені кілька видів з'єднань вузлів логістики. Розрахунок матеріальних потоків

в таких з'єднаннях виконується на підставі загальних законів збереження з урахуванням структурної схеми ланцюга апаратів і дозволяє визначити вантажопотоки, характеристики і витрати пульпи для кожного виду визначених з'єднань елементів гідротехнічної системи.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше для течії гідросуміші по похилому прямокутному каналу визначається початковий переріз розшарування безнапірного потоку гідросуміші, в якому потік являє собою двошарову течію, де нижній шар складається з висококонцентрованого потоку, а верхній представлений гідросумішшю з концентрацією, яка знижується. Це дозволяє визначити необхідну довжину каналу в залежності від щільності і крупності частинок, в'язкості рідини, товщини потоку і витрати гідросуміші у вхідному перетині.

2. Вперше критеріальні параметри потоку визначаються з урахуванням мінімуму питомої енергії та співвідношення діючих в перерізі сил, що дозволяють врахувати вплив поверхні дна каналу на гідравлічні характеристики течії та обґрунтувати методи змінення сили тертя за рахунок введення в потік гідродинамічно активних речовин.

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

4. Вперше встановлено вплив масообміну на критичну глибину безнапірного потоку в прямокутному каналі, що дозволяє враховувати параметри щілин у дні каналу при визначенні гідравлічних характеристик течії та обґрунтувати інтенсивність масообміну для забезпечення необхідної витрати потоку.

5. Вперше розрахована 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, що дозволяє визначити швидкість руху стрічки, яка забезпечить узгодженість логістичних вузлів та дотримання обмежень на параметри матеріалу, що транспортується.

У дисертаційній роботі захищаються наступні **наукові положення**, які логічно випливають з результатів досліджень автора.

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 гідросумішшю 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 зведеною 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.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Практичне значення результатів полягає в розробці методів і алгоритмів розрахунків параметрів технологій логістики в гідротехнічних системах з урахуванням закономірностей процесів, що відбуваються при безнапірній течії гідросуміші та фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі.

Розроблено та впроваджено:

- “Методика розрахунку параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі”, яка дозволяє проводити оцінку характеристикам течії гідросуміші при її розшаруванні та подальшому поділі на потоки з різною концентрацією твердого;
- “Методика розрахунку параметрів течії пульпи в трубопроводі при раптовій зміні площі перерізу”, яка відрізняється тим, що враховує умови зміни режимів течії гідросуміші;
- “Методика розрахунку параметрів і режимів течії пульпи по внутрішній поверхні конусу і циліндру”, що дозволяє отримати умови безвідривної течії та розшарування гідросуміші в задачах гравітаційного збагачення корисних копалин;
- “Рекомендації з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі”, використання яких дозволяє підвищити ефективність процесів переробки мінеральної сировини;
- “Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах”, які використовуються для обґрунтування вибору управлінських дій в задачах розподілу матеріально-сировинних потоків при функціонуванні гірничих підприємств.



Результати дисертаційної роботи впроваджено:

- комплект методик та рекомендацій для розрахунку параметрів режимів течії гідросуміші у ДП «Державний науково-дослідний, проектно-конструкторський і проектний інститут вугільної промисловості» ДП Інститут «УКРНДІПРОЕКТ» (Акт впровадження від 12.09.2017 р.);
- науково-практичні розробки для підвищення ефективності технологій переробки корисних копалин та збереження екологічно безпечного стану - у ДП «ДП «Кривбаспроект» (Довідка про використання від 12.11.2020 р.);
- рекомендації - у ТОВ «Донбасшахто-проект» (Акт впровадження від 22.05.2019 р.);
- «Практичні рекомендації для підвищення ефективності використання покладів залізної руди на гірничих підприємствах Кривбасу» - у ТОВ «Южгіпроруда» (Довідка про використання від 02.03.2020 р.);
- рекомендації з використанням підходу, який запропоновано в дисертаційній роботі - на ПРАТ «Донецьксталь» – Металургійний завод для вирішення проблем збереження навколишнього середовища і його відновлення (Акт впровадження від 20.11.2019 р.).

Впровадження “Рекомендацій з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі” і “Рекомендацій щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах” у ТОВ «Шахтостроймонтаж» дозволило отримати фактичний річний економічний ефект у сумі 324 тис. 700 грн. (Акт впровадження від 25.04.2018 р.)

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі** забезпечується коректністю використання апробованих методів гідродинаміки гетерогенних середовищ і відомих експериментально-аналітичних залежностей при розв'язанні задач обґрунтування параметрів процесів перерозподілу матеріально-сировинних потоків в гідротехнічних системах, методів статистичної обробки даних і моделювання процесів фільтрації рідини в пористих середовищах, відповідністю розроблених моделей результатам експериментальних досліджень з відносною похибкою, яка не перевищує 15%, позитивними результатами впровадження науково-дослідних робіт, що підтверджують акти апробації та впровадження результатів досліджень.

**Оцінка ідентичності змісту автореферату та основних положень дисертації.** Зміст та структура автореферату ідентично відображають викладені в дисертації дослідження, основні наукові результати та висновки.

**Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях.** Основні результати досліджень опубліковані в 60 наукових роботах, у тому числі 8 публікацій у закордонних періодичних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз, 24 наукові статті у фахових виданнях України, 28 матеріалів конференцій і тез доповідей, 12 публікацій без співавторів.

**Редакційний аналіз.** Робота викладена грамотно, з використанням сучасної термінології, є послідовною 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.

Докторська дисертація не містить наукові положення та результати досліджень кандидатської дисертації Дзюби С.В. "Обґрунтування параметрів режимів роботи аспіраційно-знепилюючих систем збагачувальних підприємств", яка була представлена за спеціальністю 05.15.11 "Фізичні процеси гірничого виробництва", не виносяться на захист у його докторській дисертації.

#### **Зауваження щодо змісту та оформлення роботи.**

1. При дослідженні течії вздовж каналу, що звужується в розділі 3, був зроблений аналіз відомих моделей, таких як течія однорідної рідини тонким шаром, метод кінематичних хвиль і двошарової течії. Цей матеріал треба або скоротити, або перенести в розділ 1. Також в розділі 5, огляд сучасних методів рішення задач логістики на гірничих підприємствах доцільно було б висвітлити в розділі 1.

2. З рисунка 2.4 дисертації, рис. 6 автореферату («Залежність відносної критичної глибини потоку від кута закрутки потоку при течії гідросуміші по внутрішній поверхні циліндру») не зрозуміло чим обумовлений розбіг наведених точок - чи експериментальним характером отриманої кривої, чи впливом якогось чинника в теоретичному розрахунку. Тоді цей чинник треба навести. Теж ж саме стосується рис. 2.12 дисертації, або рис 8 автореферату «Залежність границі зміни знаку для швидкості потоку від модернізованого параметру Ейлера».

3. В роботі отримана нелінійна залежність критичної глибини потоку від величини, на яку зменшується коефіцієнт гідравлічного опору за рахунок введення гідравлічно-активних і поверхнево активних речовин (ПАР). Дослідження зміни коефіцієнту опору внаслідок шорсткістю поверхні, або зовнішніх факторів - це окрема задача, а стосовно ваших досліджень, виникає таке питання: в якому вигляді ви задавали величину зменшення коефіцієнту опору при дії поверхнево-активних речовин? Чи перевіряли ви - на який відсоток за рахунок цього збільшиться швидкість потоку або глибина, і чи є цей відсоток суттєвим для рідких течій, наприклад, з об'ємним вмістом твердого 5 %?

4. Відомо, що зневоднення сировини, наприклад, піску з обводнених кар'єрів, зазвичай виконують на похилих грохотах. Чи можливо використати для обчислення цього процесу ваші дослідження по течії гідросуміші вздовж похилого прямокутного каналу з отворами на дні?

5. З викладених досліджень по фільтрації сировини при конвеєрному транспортуванні, не зрозуміло, чи можливо з отриманих залежностей визначити густину продукту, що просочується, тобто фільтрату.

6. Розроблені автором математичні моделі охоплюють чисельну кількість гідравлічних процесів для безнапірних течій в різних умовах, пристроях, технологіях. З цього приводу, було б доцільно в роботі проводити паралель між розробленими моделями і відповідними технологічними операціями, для яких можливе їх успішне використання.

Крім зазначених зауважень в роботі є незначні неточності і помилки, які не впливають на суть викладеного матеріалу і позитивну оцінку роботи. Так, на стор. 79 і 80 двічі повторюється одне і теж речення, на стор. 174 в четвертому абзаці замість «досвідченим шляхом» треба написати «дослідним шляхом».

#### **Загальний висновок по дисертаційній роботі.**

Дисертаційна робота Дзюби Сергія Володимировича «Розвиток наукових основ логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств» являє собою закінчене наукове дослідження, виконане автором самостійно, на актуальну тему, в якій розв'язано **актуальну наукову проблему** в галузі геотехнічної і гірничої механіки по розвитку наукових основ технологій логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств 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.

За метою, об'єктом, предметом та завданнями досліджень дисертаційна робота відповідає формулі та паспорту спеціальності 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка» (технічні науки).

Наведені результати є новими і обґрунтованими, мають наукове і практичне значення, дозволяють розробити методи управління системами перерозподілу матеріально-сировинних потоків в технологіях видобутку та переробки мінеральної сировини, на базі встановлених закономірностей розроблені методи, методичні рекомендації, структурні схеми логістики технологічних потоків, що дозволило мінімізувати транспортні та супутні витрати пов'язані з формуванням, транспортуванням і перерозподілом матеріально-сировинних потоків гідросумішей, впровадження яких дозволило отримати економічний ефект у сумі 324 тис. 700 грн., що має суттєве значення для підвищення ефективності гірничих технологій і забезпечення сталого розвитку промислових регіонів.



За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, рівнем та обсягом проведених досліджень, якістю оформлення, дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор **Дзюба Сергій Володимирович** присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка».

За вирішення актуальної наукової проблеми розвитку наукових основ технологій логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств 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, на базі яких розроблені методи, методичні рекомендації, структурні схеми логістики технологічних потоків, що дозволило мінімізувати транспортні та супутні витрати пов'язані з формуванням матеріально-сировинних потоків гідросумішей, їх транспортуванням і перерозподілом, впровадження яких дозволило отримати економічний ефект у сумі 324 тис.700 грн., що має суттєве значення для підвищення ефективності гірничих технологій та забезпечення сталого розвитку промислових регіонів України, **Дзюба Сергій Володимирович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка».

Завідувач кафедри  
гідравліки та водопостачання  
Дніпровського національного  
університету залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна МОН України  
доктор технічних наук, проф..

Підпис д.т.н., проф. Біляєва М.М.  
засвідчую:  
Вчений секретар ДНУЗТ  
ім. ак. В. Лазаряна МОН України



Освідчений підпис  
**М.М. Біляєв**

засвідчую  
Нач. загального відділу Дніпровського  
національного університету залізничного  
транспорту імені академіка В.Лазаряна

20\_\_р.

*Відгук надійшов до секретаря Д08.188.01 24.04.2021р.  
Згенер. секретар ради  
д.т.н., проф. Шевченко В.Т.*