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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Дзюба Сергій Володимирович

УДК [622.012:532.542:005.2]:519.863(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

Розвиток наукових основ технологій логістики в геотехнічних системах

05.15.09 – Геотехнічна і гірнича механіка
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

С.В. Дзюба

Науковий консультант: Блюсс Борис Олександрович
доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2021

Read-only

АНОТАЦІЯ

Дзюба С.В. Розвиток наукових основ логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.09 «Геотехнічна і гірнича механіка» - Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпро, 2021.

У дисертаційній роботі розроблені наукові основи 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, яка має важливе значення для підвищення ефективності гірничих технологій та забезпечення сталого розвитку промислових регіонів.

На підставі проведених досліджень розроблено моделі елементів технологій логістики в гідротехнічних системах, які вперше враховують умови поділу потоків гідросуміші і твердого матеріалу з урахуванням технологічних характеристик апаратів, гранулометричного і щільнісного складів мінеральної сировини.

Визначено розташування перерізу прямокутного каналу після якого, в процесі розшарування, нижній шар складається з частинок, що випали з потоку, а верхній представлено гідросумішею з концентрацією, яка знижується. Встановлено, що визначальним фактором в процесі розшарування гідросуміші є здатність потоку зважувати частинки різного типу на різну висоту.

Вперше для течії гідросуміші по похилому прямокутному каналу визначається початковий переріз розшарування безнапірного потоку гідросуміші, в якому потік являє собою двошарову течію, нижній шар якого складається з потоку в якому частинки осаджуються, а верхній представлений гідросумішшю з концентрацією, яка знижується. Це дозволяє визначати

Read-Only

необхідну довжину каналу в залежності від щільності і крупності частинок, в'язкості рідини, товщини потоку і витрати гідросуміші у вхідному перетині.

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 відповідних реагентів.

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 узгоджені параметрів та режимів роботи гідротехнічних систем.

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.

Результати науков-практичних досліджень вперше дозволяє розрахувати тривалість підвищення тиску під стрічкою за рахунок просочування повітря крізь пористий шар матеріалу в залежності від його початкового значення, узагальнених коефіцієнтів фільтрації й пористість шару матеріалу та стрічки, співвідношення площі щілин та стрічки, що дозволяє розрахувати швидкість руху стрічки, яка забезпечить узгодженість логістичних вузлів та дотримання обмежень на коливання параметрів матеріалу, що транспортується.

На основі результатів досліджень при виконанні дисертаційної роботи встановлено, що при безнапірній течії рідини по прямокутному каналу з примусовим масообміном залежність співвідношення критичної глибини потоку в довільному поперечному перерізі до критичної глибині на вході в канал від відстані до цього перетину визначається лінійною функцією, що спадає, в ступені 2/3.

Read-only

Визначено розташування перерізу прямокутного каналу після якого, в процесі розшарування, нижній шар складається з частинок, що випали з потоку, а верхній представлено пульпою з концентрацією, яка знижується. Встановлено, що визначальним фактором в процесі розшарування гідросуміші є здатність потоку зважувати частинки різного типу на різну висоту.

Поточна глибина потоку течії пульпи вздовж похилої поверхні при відсутності масообміну прямо пропорційна його критичній глибині з коефіцієнтом, що є функцією співвідношення сил гідравлічного тертя і тяжіння.

Досліджено основні причини втрати стійкості режимів роботи взлів логістики в гідравлічних мережах технологій переробки мінеральної сировини та обґрунтовані межі допустимих діапазонів зміни параметрів матеріалу, що транспортується і потоків гідросуміші, а також технічних характеристик елементів мереж, в межах яких дотримуються вимоги, що пред'являються до процесу перерозподілу матеріально-сировинних потоків та параметрів готової продукції.

Розглянуті елементи двоетапної логістичної системи, як взаємопов'язані, для досягнення ефективності функціонування гідротехнічної системи. Коректно поставлена і вирішена задача безперервного оптимального розбиття, що дозволяє управляти матеріальними потоками гірничих підприємств.

Встановлено, що для течії пульпи вздовж похилої поверхні при наявності масообміну через дно поточна відносна глибина потоку прямо пропорційна його поточній відносній глибині потоку для випадку відсутності масообміну, причому коефіцієнт пропорційності є ступеневою функцією з негативним показником 2/3 від відносної площі отворів в днищі і коефіцієнту витрати цих отворів.

В роботі встановлено, що частка довжини похилого прямокутного каналу на якій потік гідросуміші з частинками відносної щільності від 2,4 до 5,1 та діаметром від 100 мкм до 1 мм є двошаровою течією, нижній шар якого складається з потоку частинок, а верхній представлено гідросумішшю з концентрацією, яка знижується, обернено пропорційно числу Рейнольда потоку

Read-Only

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.

На основі проведеного аналізу режимів течії потоків визначено, що питома витрата води або гідросуміші з об’ємною концентрацією меншою ніж 5 % при течії по прямокутному каналу пропорційна добутку довжини каналу на уклін його дна в степені 3/2.

На підставі розроблених моделей режимів роботи вузлів логістики гідротехнічних систем для технологій переробки мінеральної сировини проведена оцінка тривалості нестаціонарних режимів роботи з урахуванням початкового обурення подачі, концентрації гідросуміші, витратно-напірних характеристик насоса і трубопроводів. Показано, що для всіх видів гідросуміші тривалість нестаціонарного режиму залежить від подачі при стаціонарному режимі роботи, від величини початкового обурення подачі, від параметрів трубопроводу, насоса і матеріалу, що транспортується. Нестаціонарна течія гідросуміші в гідравлічних мережах характеризується відсутністю резонансних частот, однак існують такі стаціонарні режими течії, при яких будь-які коливання переводять течію в критичний режим.

Обґрунтовані типи з'єднань елементів технологій логістики, для яких розроблено методи розрахунків, що вперше включають розгалужену і діагональну схеми з'єднань. Для кожного виду розглянутих з'єднань елементів технологій логістики апробовані методи визначення об'ємних витрат гідросуміші, масових концентрацій і щільності твердої фази для потоків, що перерозподіляються.

При виконанні дисертаційної роботи розроблені та впроваджені методики і рекомендації, які використовуються проектними інститутами і на виробництві:

„Методика розрахунку параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі”; „Методика розрахунку параметрів течії пульпи у трубопроводі при раптовій зміні площі перерізу”; „Методики розрахунку параметрів і режимів течії

Read-only

пульпи по внутрішній поверхні конусу і циліндру”; „Рекомендації з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі”; „Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах”.

Результати досліджень враховані при розробці методик і рекомендацій для розрахунку параметрів режимів течії гідросуміші, а також технологічного устаткування з метою підвищення ефективності процесів переробки мінеральної сировини та зменшення навантаження на навколишнє середовище прилеглих територій, науково-практичних розробок на гірничих підприємствах Криворізького залізорудного басейну, методик і рекомендацій на етапах реконструкції і технологічного переобладнання процесів видобутку і збагачення вугілля для досягнення оптимальних транспортних і супутніх витрат, механізму управління системою просування матеріально-сировинних потоків в гірничих технологіях на кар'єрах, підземних родовищах, збагачувальних фабриках, складах готової продукції, “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” які впроваджені в ДП «Державний науково-дослідний, проектно-конструкторський і проектний інститут вугільної промисловості» ДП Інститут «УКРНДІПРОЕКТ», ДП «ДПІ «Кривбаспроект», ТОВ «Донбассшахтопроект», ТОВ «Южгіпроруда», ПРАТ «Донецьксталь» – Металургійний завод, ТОВ «Шахтостроймонтаж». Реальний річний економічний ефект складає 324 тис. 700 грн.

Ключові слова: гідротехнічні системи, логістика, перерозподіл матеріальних потоків, безнапірний і напірний потік гідросуміші, фільтраційні потоки рідини, пористий сипкий матеріал, критична швидкість, оптимальне розбиття, двоетапна неперервна задача.

Read-only

Список публікацій здобувача

Статті у закордонних періодичних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз

1 Bulat A.F., Dzyuba S.V., Sokil A.M. Metodology of determining the boundaries of area of stable of aspiration systems at the mining and metallurgical enterprises. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn*. 2003. № 1. P. 89 – 92.

2 Bulat A., Blyuss B., Dreus A., Liu Baochang, Dziuba S. Modeling of deep wells thermal modes. *Mining of Mineral Deposits*. 2019. № 1, P. 27 – 35. https://doi.org/10.33271/mining13.01.058

3 Bulat A., Dziuba S., Minieiev S., Koriashkina L., Us S. Solution of the problem to optimize two-stage allocation of the material flows // Mining of Mineral Deposits. 2020. № 1. P. 58 – 65.https://doi.org/10.33271/mining14.01.027

4 Dziuba S., Dyakun I., Kyrychko S., Tatarko L. Ground waters disposal modeling during the infrastructural geotechnical systems development. *Modern Scientific Researches*. 2020. №. 3. P. 50 – 57.DOI: 10.30888/2410-6615.2020-03-02-013

5 Dziuba S., Kyrychko S., Blyuss K., M.A. Yau Analytical and numerical analysis of Turing structures. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 2, P. 134-139. https://DOI: 10.30890/2567-5273.2020-11-01-033.

6 Дзюба С.В., Дякун И.Л., Киричко С.М. Визначення фільтраційних властивостей ґрунтів техногенних родовищ. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 4, P. 12 – 20. https://DOI: 10.30889/2523-4692.2020-11-04-014.

7 Sudakov A., Dreus A., Ratov B., Sudakova O., Khomenko O., Dziuba S., Sudakova D., Muratova S., Ayazbay M. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes. *News of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. 2020. ISSN 2224-5278, V. 2, № 440. P. 63 – 71. https://doi.org/ 10.32014/2020.2518-170X.32

8 Siasiev A., Dreus A., Horbonos S., Balanenko I., Dziuba S. The stressed-strained state of a rod at crystallization considering the mutual influence of temperature and mechanical fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 3/5 (105). P. 38 – 48. https://doi.org/ 10.15587/1729-4061.2020.203330

Read-only

Статті у наукових фахових виданнях

9 Дзюба С.В. Визначення раціональних параметрів процесів розвитку підприємств гірничої галузі. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2007. № 68. С. 278 – 285.

10 Дзюба С.В. Специфика анализа и прогноза эффективности технологий переработки минерального сырья. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 94 – 99.

11 Дзюба С.В., Киричко С.М. Визначення життєвого циклу гірничо-переробних підприємств з урахуванням нечітких вихідних даних. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 226 – 233.

12 Дзюба С.В., Шмелев Н.А., Коваль Н.В. Анализ технологий подземной разработки месторождений полезных ископаемых при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. № 101. С. 284 – 291.

13 Витушко О.В., Дзюба С.В. Значение гидротехнических сооружений для эффективной работы угольных предприятий. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. № 104. С. 263 – 267.

14 Дзюба С.В. Согласование систем управления горных предприятий на основе закономерностей технического анализа. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. - № 107. - С. 92 – 98.

15 Витушко О.В., Дзюба С.В., Коваль Н.В. Разработка методов расчета параметров процессов гидротранспортирования в подземных гидротехнических системах. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2014. № 119. С. 186 – 197.

16 Дзюба С.В., Медведева О.А., Киричко С.Н. Особенности использования напорного гидротранспорта при разработке техногенных месторождений. *Вибрация в технике и технологиях*. Винница, 2015. № 4(80). С. 136 – 142.

17 Фісуненко П.А., Лаже М.В., Дзюба С.В. Аналіз системи показників

Read-only

економічної безпеки будівельних підприємств. *Будівельне будівництво*. 2016. № 61 / 2. С. 59 – 63.

18 Дреус А.Ю., Сясев В.О., Дзюба С.В., Киричко С.М. Дослідження впливу концентрації метану на режим течії повітряно-метанової суміші у мікроканалі. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2017. № 136. С. 51 – 59.

19 Лапшин Е.С., Блюсс Б.А., Дзюба С.В. Определение рациональных параметров динамического гасителя низкочастотных колебаний. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 139. С. 23 – 30

20 Дзюба С.В., Дреус А.Ю., Лисенко К.В. Моделювання процесів у гравійних фільтрах, які використовуються в технологіях розробки родовищ. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 140. С. 188 – 197.

21 Блюсс Б.О., Лук'янов П.В., Дзюба С.В. Динаміка вихрових структур в напірних течіях гідросумішей при переробці мінеральної сировини. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 141. С. 86 – 98.

22 Дзюба С.В. Аналіз сучасних систем прийняття рішень для технологій переробки мінеральної сировини. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 142. С. 51 – 59.

23 Блюсс Б.О., Дзюба С.В., Семененко Є.В. Обґрунтування параметрів ефективності гідротехнічних систем у технологіях переробки мінеральної сировини. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 4 (313). С. 58 – 64.

24 Блюсс Б.О., Дзюба С.В., Семененко Є.В., Лях М.М. Оцінка методів підвищення ефективності функціонування гідротехнічних систем гірничо-металургійних комбінатів. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 5 (314). С. 38 – 45.

25 Семененко Є.В., Лапшин Є.С., Дзюба С.В., Лях М.М. Особливості технологічного розрахунку трубопроводів при транспортуванні неньютонівських рідин з високою в'язкістю. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 6 (315). С. 38 – 45.

26 Блюсс Б.О., Лук'янов П.В., Дзюба С.В. Моделювання квазіточкового

Read-only

турбулентного вихору в закручених течіях рідини в збагачувальному устаткуванні. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 143. С. 49 – 59.

27 Дреус А.Ю., Хамініч О.В., Коваль Н.В., Дзюба С.В. Моделирование многофазного потока при гидроподъеме твердых частиц. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2019. № 1 – 2 (316). С. 38 – 45.

28 Дырда В.И., Лисица Н.И., Козуб Г.О., Толстенко О.В., Ахалтсов Г.М., Новикова А.В., Филипенко О.Н., Дзюба С.В. Охрана труда при работе машин, работающих при длительных циклических нагрузках. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2019. № 144. С. 83 – 90.

29 Кісельова О.М., Притоманова О.М., Дзюба С.В., Падалко В.Г. Розв'язання двоетапної неперервно-дискретної задачі оптимального розбиття-розподілу з нечіткими параметрами. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпро, 2019. №. 19. С. 106 –116.

30 Судаков А.К., Дреус А.Ю. , Лысенко К.Е., Дзюба С.В. Моделирование процесса замораживания гравийных фильтров используемых в горных технологиях. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2019. № 3 – 4 (316). С. 42 – 47.

31 Кісельова О.М., Притоманова О.М., Дзюба С.В., Падалко В.Г. Побудова мультиплікативно зваженої діаграми Вороного з нечіткими параметрами. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпро, 2019. №. 19. С.117 – 126.

32 Кирия Р.В., Дзюба С.В., Мостовой В.Ф. Оптимальный объем аккумулирующих бункеров, работающих в системе конвейерного транспорта угольных шахт. *Системні технології*. 2020. № 1(126). С. 161 – 170.

Статті та тези докладів в виданнях конференцій:

33 Дзюба С.В., Мищенко Т.Ф., Семененко Е.В. Обеспечение надежности технологий обогащения по показателям качества. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях*: материалы Третьей Промышленной международ. научно-техн. конф., 12-14.2003 г., п. Славское, 2003. С. 19 – 20. (заочна участь)

Read-only

34 Дзюба І.М., Дзюба С.В., Семененко Е.В. Економічне обґрунтування надійності й ефективності збагачувального виробництва. *Актуальні проблеми фінансового менеджменту на підприємствах*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф. молодих наук, 18-19.04.2003 р., м. Донецьк, 2003 р. С. 182 – 189. (очна участь)

35 Дзюба С.В. Основные методы управления режимом течения аэросмеси в системах трубопроводного транспорта. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали регіон. наук. конф., присвяченої пам'яті проф. М.М. Бєляєва, 16-17.11.2006 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2006. С. 90 – 91. (очна участь)

36 Дзюба С.В. Моделирование потоков аэросмеси в системах трубопроводного транспорта для нестационарных режимов течения. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали II міжнарод. наук. конф. на честь 90-річчя Дніпропетровського університету та до 80-річчя зі дня народження професора М.М. Бєляєва, 13-15.11.2008р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2008. С. 101 – 103. (очна участь)

37 Дзюба С.В., Киричко С.М. Обґрунтування нечіткої експертної системи з урахуванням неповних вихідних даних для визначення стадії життєвого циклу підприємств гірничої галузі. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях*: материалы Десятой Юбилейной Промышленной международ. научно-техн. конф., 18-22.02.2010 п. Славское, 2010 г. С. 131 – 142. (заочна участь)

38 Дзюба С.В. Определение основных соотношений движения аэросмеси в системах трубопроводного транспорта с учетом изменения технологических параметров. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали III міжнарод. наук. конф., 4-6.11.2010 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2010. С. 153 – 155. (очна участь)

39 Дзюба И.М., Дзюба С.В. Управление повышением конкурентоспособности продукции горных предприятий с учетом оценки состояния фондового рынка Украины. *Аналіз сучасних економічних процесів та*

Read-only

інформаційні технології: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., 24-25.11.2011 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2011. С. 30 – 32. (очна участь)

40 Дзюба С.В. Совершенствование основных методов управления функционирования систем трубопроводного транспорта, перемещающих аэросмеси. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали IV міжнарод. наук. конф., 1-3.11.2012 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2012. С. 196 – 199. (очна участь)

41 Витушко О.В., Дзюба С.В., Никифорова Н.А. Определение электровязкостного эффекта при фильтрации подземных вод в пористом горном массиве. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали V міжнарод. наук. конф., 6-8.11.2014 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2014. С. 124 – 127. (очна участь)

42 Дзюба С.В., Медведева О.А., Киричко С.Н. Основные особенности режимов работы напорного гидротранспорта при разработке месторождений минерального сырья. *Вібрація в техніці та технологіях*: матеріали XIV міжнарод. наук.-техн. конф., 21-25.09.2015 р. м. Дніпропетровськ: НТУ Дніпровська політехніка, 2015. С. 63 – 64. (очна участь)

43 Дзюба С.В Адаптація методів промислової інженерії до управління інноваційними проектами в транспортних системах. *Проблеми економіки транспорту*: матеріали XIV міжнарод. наук.-практ. конф., 21-22.04.2016 р. м. Дніпропетровськ: ДДУЗТ. С. 146 – 147. (очна участь)

44 Дзюба С.В. Фактори впливу на інвестиційну привабливість підприємств залізничного транспорту. *Проблеми економіки транспорту*: матеріали XV міжнарод. наук.-практ. конф., 20-21.04.2017р. м. Дніпропетровськ: ДДУЗТ. 2017. С. 20 – 23. (очна участь)

45 Maksym Mishchenko, Serhii Dziuba Modelling of logistics system management processes based on neuro-fuzzy technologies. Symposium TP’2017, Poland, Katowice, Faculty of Transport, 27.06.2017. (заочна участь)

46 Дзюба С.В., Медведєва О.О., Киричко С.М., Коваль Н.В. Аналіз

Read-Only

сучасних методів моделювання логістичних систем гірничих підприємств в умовах невизначеності вихідних параметрів. *Потураївські читання*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., 18-19.01.2018 р. м. Дніпро: НТУ Дніпровська політехніка. 2018. С. 189 – 196. (очна участь)

47 Дзюба С.В., Фісуненко П.А. Обґрунтування інструментів планування соціально-економічного розвитку промислових регіонів України з урахуванням закордонного досвіду. *Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем*: матеріали Х міжнарод. наук.-практ. інтернет-конф. 22-25.04.2018 р. м. Харків. 2018. С. 46 – 48. (заочна участь)

48 Дзюба С.В., Фісуненко П.А. Аналіз маркетингових стратегій ведення переговорів при плануванні розвитку нафтогазової системи України. *Сучасні управлінські технології в умовах трансформації соціально-економічних відносин*: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., 19-20.04.2018 р. м. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2018. С. 294 – 296. (заочна участь)

49 Булат Є.А., Дзюба С.В. Деякі аспекти удосконалення правової охорони інтелектуальної власності в Україні. *Наука та освіта в контексті сучасних глобалізаційних процесів*: матеріали Всеукраїн. наук.-практ. конф., 01.06.2018р. м. Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського. 2018. С. 97 – 99. (заочна участь)

50 Дзюба С.В. Аналіз сучасних систем прийняття рішень для технологій переробки мінерального сировини. *Геотехнічні проблеми розробки родовищ*: матеріали XVI конф. молодих вчених, 25.10.2018р. м. Дніпро: ІГТМ НАН України. 2018. С. 2. (очна участь)

51 Дзюба С.В. Анализ параметров эффективности функционирования аспирационных систем для технологий переработки минерального сырья. *Потураївські читання*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., 25.01.2019 р. м. Дніпро: НТУ Дніпровська політехніка. 2019. С. 17 – 18. (очна участь)

52 Міщенко М.І., Коряшкіна Л.С., Ус С.А., Дзюба С.В. Оптимізація логістичних зв’язків в системі двоетапного транспортування ресурсу, неперервно розподіленого на заданій території. *Транспортний комплекс*

Read-only

України: Умови ефективного розвитку: матеріали VII Всеукраїнської наук.-практ. конф., 2-3.052019 р. м. Одеса. 2019. С. 31 – 33. (заочна участь)

53 Borys Blyuss An optimal two-stage distribution of material flow at the fuel and energy complex enterprises/ Borys Blyuss, Larysa Koriashkina, Svitlana Us, Serhii Minieiev, Serhii Dziuba // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019 https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900008. (заочна участь)

54 Yevgenii Semenenko Determination of the critical rate of hydrotransport based on measurements in supercritical flow conditions / Yevgenii Semenenko, Serhii Dziuba, Larysa Tatarko, Zinaida Yakubovska // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019 https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900082. (заочна участь)

55 The Economic Guarantee of Logistic Connections Optimization at Railway Transport / Vasyl Kopytko, Sergei Dziuba, Maxym Mìshchenko and Tetyana Shargun // Matec Web Conferences 294, 04016(2019) *EOT 2019,* Lviv, Ukraine, September, 2019, https://doi.org/10.1051/mateccomf/201929404016. (заочна участь)

56 Дзюба С.В., Лук'янов П.В., Осадчук В.Б., Хільченко А.А. Витратна характеристика трубопроводу з дифузорним насадком. *Промислова гідравліка та пневматика*: матеріали XIX міжнарод. наук.-техніч. конф., 21-23.10.2019 р. м. Київ: АС ПГП. 2019. С. 24–25. (очна участь)

57 Дзюба С.В., Лук'янов П.В., Осадчук В.Б., Хільченко А.А. Вплив просторової геометрії трубопроводу на його витратну характеристику *Промислова гідравліка та пневматика*: матеріали XIX міжнарод. наук.-техніч. конф., 21-23.10.2019 р. м. Київ: АС ПГП. 2019. С. 26 – 28. (очна участь)

58 Осадча Н.В., Дзюба С.В. Оптимізація ризиків при обранні ринків збуту в рамках здійснення торгівельних відносин. *Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2019)*: матеріали XVII міжнарод. наук.-практ. конф., 20-22.11.2019 р. м. Дніпро: ДНУ імені Олеся Гончара. 2019. С. 196 – 197. (очна участь)

Read-only

59 Дзюба С.В., Коряшкіна Л.С. Обґрунтування механізму управління логістичними потоками промислових підприємств. *Потураївські читання*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., 24.01.2020 р. м. Дніпро: НТУ Дніпровська політехніка. 2020. С. 18. (очна участь)

60 Yevhen Lapshin The choice of mining development strategy based on the improved Bayes criterion / Yevhen Lapshin, Borys Blyuss, Serhii Dziuba, Larysa Tatarko // E3S Web of Conferences, Volume 168 (2020), II International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, May 06, 2020, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800053. (заочна участь)

Read-Only

SUMMARY

Dzyuba S.V. Logistics scientific foundations development in the hydraulic systems of mining enterprises. - Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences. Specialty 05.15.09 - "Geotechnical and Mining Mechanics"- Institute of Geotechnical Mechanics named by N.S. Polyakov under the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, 2021.

In the dissertation the scientific bases of logistics technologies in mining enterprises hydraulic systems are developed by establishing regularities that determine the parameters of pressureless flows of hydraulic mixture from the properties of the environment, filtration flows of liquid in porous bulk material under the influence of external factors, which characterize characterizing the material flows redistribution processes, taking into account the indicators and modes of logistics technologies operation elements, which is important for improving the efficiency of mining technologies and ensuring sustainable development of industrial regions.

Based on the conducted researches, the logistics technologies elements models in hydraulic systems are developed, which for the first time take into account the conditions of hydraulic mixture separation and solid material flows and taking into account technological characteristics of devices, granulometric and density compositions of mineral raw materials.

The location of the rectangular channel cross section, after which, in the process of stratification, the lower layer consists of particles falling out of the stream, and the upper is represented by a hydraulic mixture with a decreasing concentration, is determined. It is established that in the hydraulic mixture stratification process, the determining factor is the ability of the flow to weigh particles of different types at different heights.

For the first time for the hydraulic mixture flow along an inclined rectangular channel, the initial cross section of the strainless flow of the hydraulic mixture is determined, in which the flow is a two-layer flow: the lower layer consists of a stream in which particles precipitate and the upper is represented by a hydraulic mixture with a decreasing concentration. This allows you to determine the required

Read-only

length of the channel depending on the density and size of the particles, the viscosity of the liquid, the thickness of the flow and the flow rate of the hydraulic mixture in the inlet section.

For the first time, the flow criterion parameters are determined taking into account the minimum specific energy and the ratio of forces acting in the cross section, which allow to take into account the influence of the channel bottom surface on hydraulic flow characteristics and substantiate methods of friction force change.

For the first time, the dependence of the flow rate of the hydraulic mixture with a volume concentration of less than 5% in the inclined channel of rectangular cross-section on the required transport distance was obtained. This allows taking into account the influence of the length of logistics connections when agreeing on the parameters and modes of operation of hydraulic systems.

For the first time, the influence of pressure less flow critical depth mass transfer in a rectangular channel was established, which allows to take into account the parameters of cracks in the channel bottom when determining the hydraulic characteristics of flow and justify mass transfer intensity to ensure the required flow rate.

For the first time, the results of scientific and practical research allows to calculate the duration of pressure increase under the belt due to air infiltration through the porous layer of material depending on its initial value, generalized filtration coefficients and porosity of the material and tape layer, the ratio of cracks, which will ensure the consistency of logistics nodes and compliance with restrictions on fluctuations in the parameters of the transported material.

Based on the dissertation research results it is established that in the case of pressureless fluid flow through a rectangular channel with forced mass transfer, the dependence of the critical flow depth ratio in arbitrary cross section to critical depth at the entrance to the channel from the distance to this section is determined by degree 2/3.

The location of the rectangular channel cross section is determined in the stratification process: the lower layer consists of particles falling out of the stream,

Read-only

and the upper is represented by the pulp with a decreasing concentration. It is established that the determining factor in the hydraulic mixture stratification process is the ability of the flow to weigh particles of different types at different heights.

The current flow depth of the pulp along the inclined surface in the absence of mass transfer is directly proportional to its critical depth with a coefficient that is a function of hydraulic friction and gravity ratio.

The main reasons for the loss of logistics modes stability in hydraulic networks of mineral processing technologies are investigated and the limits of transported material permissible ranges parameters changes and hydraulic mixture flows, as well as technical characteristics of network elements within which the process requirements are met. Redistribution of material flows and parameters of finished products, which are presented to the material flows redistribution process and parameters of finished products.

The elements of the two-stage logistics system are considered as interconnected to achieve the efficiency of the hydraulic system. The problem of continuous optimal partitioning, which allows to manage the material flows of mining enterprises, is correctly set and solved.

It is established that for the pulp flow along the inclined surface in the presence of mass transfer through the bottom the current relative flow depth is directly proportional to its current relative flow depth in the absence of mass transfer, and the proportionality coefficient is a power function with a negative ratio of 2/3 from the relative area of the holes in the bottom and the flow rate of these holes.

It is established that the fraction of the length of an inclined rectangular channel on which the flow of hydraulic mixture with particles of relative density from 2.4 to 5.1 and a diameter of 100 μm to 1 mm is a two-layer flow: the lower layer consists of particle flow, and the upper with a decreasing concentration inversely proportional to the Reynolds number of the flow to a power with a positive small exponent that varies from 2 to 4, and the proportionality factor is a polynomial of the second degree of the velocity distribution characteristic over the flow height.

Read-only

Based on the analysis of flow regimes, it is determined that the specific hydraulic mixture water flow rate or with a volume concentration of less than 5% when flowing through a rectangular channel is proportional to the product of the length of the channel to the slope of its bottom in 3/2.

On the basis of the developed models of logistics units operation modes of hydraulic systems for technologies of mineral raw materials processing the estimation of nonstationary modes work duration is carried out taking into account initial perturbation of giving, concentration of a hydraulic mix, expense and pressure characteristics of the pump and pipelines. It is shown that for all types of hydraulic mixture the duration of the non-stationary mode depends on the supply in the stationary mode of operation, on the value of the initial perturbation of the supply, on the parameters of the pipeline, pump and transported material. Non-stationary flow of the hydraulic mixture in hydraulic networks is characterized by the absence of resonant frequencies, but there are stationary flow regimes in which any oscillations translate the flow into a critical mode.

The logistics technologies elements connection types are substantiated, for which calculation methods have been developed, which for the first time include branched and diagonal connection schemes. For each type of the considered logistics technologies elements connections the methods of definition of volume expenses of a hydraulic mix, mass concentrations and density of a firm phase for the redistributed streams are tested.

During the dissertation work, developed and implemented methods and recommendations used by design institutes and in production:

"Methods for calculating the parameters of the pulp flow in the near-surface layer"; "Method for calculating the parameters of the pulp flow in the pipeline with a sudden change in cross-sectional area"; "Methods for calculating the parameters and modes of flow of the pulp on the inner surface of the cone and cylinder"; "Recommendations for evaluating the efficiency of deposition of mineral particles during overflow in gravity apparatuses, taking into account the process of separation

Read-only

of the hydraulic mixture during flow in the near-surface layer"; "Recommendations for the optimization of logistics technologies in multilevel mining enterprises."

The research results are taken into account in the development of methods and recommendations for calculating the parameters of the flow of the hydraulic mixture, as well as technological equipment in order to increase the efficiency of mineral processing and reduce the load on the environment of the surrounding areas, scientific and practical developments at the mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin, methods and recommendations at the stages of reconstruction and technological re-equipment of coal mining and beneficiation processes to achieve optimal transport and associated costs, the promotion system management mechanism of material and raw material flows in mining technologies at quarries, underground deposits, concentrators, warehouses of finished products, "Recommendations for evaluating the efficiency of deposition of mineral particles during overflow in gravity apparatuses, taking into account the process of separation of the hydraulic mixture during flow in the near-surface layer" and "Recommendations for the optimization of logistics technologies in multilevel mining enterprises." which are implemented in SE "State Research, Design and Design Institute of Coal Industry" SE Institute "UKRNDIPROEKT", SE "DPI" Kryvbasproekt ", LLC" Donbass Shakhtoproekt ", LLC" Yuzhgiproruda ", PJSC" Donetskstal "- Metalur Shakhtostroymontazh ». The real annual economic effect is 324,700 UAH.

Keywords: hydroengineering systems, logistics, material flows redistribution, gravity and pressure flow of slurry, filtration fluid flows, porous bulk material, critical speed, optimal partition, two-stage continuous problem

The main provision of the thesis are presented in such publications

Articles in periodicals of other states and in publication, which are included in international scientometric databases

1. Bulat A.F., Dzyuba S.V., Sokil A.M. Metodology of determining the boundaries of area of stable of aspiration systems at the mining and metallurgical enterprises. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn.*, 2003. № 1. P. 89 – 92.

Read-only

2. Bulat A., Blyuss B., Dreus A., Liu Baochang, Dziuba S. Modeling of deep wells thermal modes. *Mining of Mineral Deposits*, 2019. № 1, P. 27 – 35. https://doi.org/10.33271/mining13.01.058

3. Bulat A., Dziuba S., Minieiev S., Koriashkina L., Us S. Solution of the problem to optimize two-stage allocation of the material flows // Mining of Mineral Deposits. 2020. № 1. P. 58 – 65. https://doi.org/10.33271/mining14.01.027

4. Dziuba S., Dyakun I., Kyrychko S., Tatarko L. Ground waters disposal modeling during the infrastructural geotechnical systems development. *Modern Scientific Researches*. 2020. №. 3. P. 34 – 45. DOI: 10.30888/2410-6615.2020-03-02-013

5. Dziuba S., Kyrychko S., Blyuss K., M.A. Yau Analytical and numerical analysis of Turing structures. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 2, P. 134-139. https://DOI: 10.30890/2567-5273.2020-11-01-033.

6. Dziuba S.V, Diakun I.L., Kirichko S.M. Viznachennya fIltratsIynih vlastivostey GruntIv tehnogennih rodovisch. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 4, P. 12 – 20. https://DOI: 10.30889/2523-4692.2020-11-04-014.

7. Sudakov A., Dreus A., Ratov B., Sudakova O., Khomenko O., Dziuba S., Sudakova D., Muratova S., Ayazbay M. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes. *News of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*, 2020. ISSN 2224-5278, V. 2, № 440. P. 63 – 71. https://doi.org/ 10.32014/2020.2518-170X.32

8. Siasiev A., Dreus A., Horbonos S., Balanenko I., Dziuba S. The stressed-strained state of a rod at crystallization considering the mutual influence of temperature and mechanical fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. № 3/5 (105). P. 38 – 48. https://doi.org/ 10.15587/1729-4061.2020.203330

Articles in scientific professional publications

14. Dziuba S.V. Viznachennya ratsionalnih parametriv protsesiv rozvitku pidpriemstv girnichoyi galuzi. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnepropetrovsk, 2007, 68, 278 - 285.

15. Dziuba S.V. Specifika analiza i prognoza effektivnosti tekhnologij

Read-only

pererabotki mineral'nogo syr'ya. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnepropetrovsk, 2010, 85, 94 - 99.

16. Dziuba S.V, Kirichko S.M. Viznachennya zhittevogo tsiklu girnicho-pererobnih pidpriemstv z urahuvannyam nechitkih vihidnih danih. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnepropetrovsk, 2010, 85, 226 - 233.

17. Dziuba S.V., Shmelev N.A., Koval N.V. Analiz tekhnologij podzemnoj razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh pri vedenii gornyh rabot v slozhnyh gorno-geologicheskih usloviyah. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnepropetrovsk, 2012, 101, 284 – 291.

18. Vitushko O.V, Dziuba S.V. Znachenie gidrotekhnicheskih sooruzhenij dlya effektivnoj raboty ugol'nyh predpriyatij. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnepropetrovsk, 2012, 104, 263 – 267.

19. Dziuba S.V. Soglasovanie sistem upravleniya gornyh predpriyatij na osnove zakonomernostej tekhnicheskogo analiza. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnepropetrovsk, 2012, 107, C. 92 – 98.

20. Vitushko O.V, Dziuba S.V., Koval N.V. Razrabotka metodov rascheta parametrov processov gidrotransportirovaniya v podzemnyh gidrotekhnicheskih sistemah. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnepropetrovsk, 2014, 119, 186 - 197.

21. Dziuba S.V., Medvedeva O.A., Kirichko S.M. Osobennosti ispol'zovaniya napornogo gidrotransporta pri razrabotke tekhnogennyh mestorozhdenij. *Vibraciya v tekhnike i tekhnologiyah*. Vinnytsia, 2015, 4(80), 136 – 142.

22. Fisunenko P.A., Lage M.V., Dziuba S.V. Analiz sistemi pokaznikiv ekonomichnoyi bezpeki budivelnih pidpriemstv. BudIvelne budIvnitstvo. Odessa, 2016, 61(2), 59 – 63.

18 Dreus A.Yu., Siasev V.O., Dziuba S.V., Kirichko S.M. Doslidzhennya vplivu kontsentratsiyi metanu na rezhim techiyi povitryano-metanovoyi sumishi u mikrokanali. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnipro, 2017, 136, 51 - 59.

19 Lapshin E.S., Blyuss B.A., Dziuba S.V. Opredelenie racional'nyh parametrov dinamicheskogo gasitelya nizkochastotnyh kolebanij. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnipro, 2018, 139, C. 23 – 30.

Read-only

20 Dziuba S.V., Dreus A.Yu., Lisenko K.Ye. Modelyuvannya protsesIv u gravIynih fIltrah, yakI vikoristovuyutsya v tehnologIyah rozrobki rodovisch. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnipro, 2018, 140, 188 - 197.

21 Blyuss B.O., Lukyianov P.A., Dziuba S.V. DinamIka vihrovih struktur v napIrnih techIyah gidrosumishey pri pererobtsi mineralnoyi sirovini. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnipro, 2018, 141, 86 - 98.

22 Dziuba S.V. Analiz suchasnih sistem priynyattya rishen dlya tehnologiy pererobki mineralnoyi sirovini. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnipro, 2018, 142, 51 - 59.

23. Blyuss B.A., Dziuba S.V., Semenenko E.V. Obgruntuvannya parametriv efektivnosti gidrotehnichnih sistem u tehnologiyah pererobki mineralnoyi sirovini. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn*., 2018.-№ 4 (313). – С. 58 – 64.

24 Blyuss B.A., Dziuba S.V., Semenenko E.V., Liah M.M. Otsinka metodiv pidvischennya efektivnosti funktsIonuvannya gidrotehnichnih sistem girnicho-metalurgiynih kombinati. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn*., 2018. – № 5 (314). – С. 38 – 45.

25 Semenenko E.V., Lapshin E.S., Dziuba S.V., Liah M.M. Osoblivosti tehnologichnogo rozrahunku truboprovodiv pri transportuvanni nenyutonivskih ridin z visokoyu v'yazkistyu. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn.*, 2018. – № 6 (315). – С. 38 – 45.

26. Blyuss B.O., Lukyianov P.A., Dziuba S.V. Modelyuvannya kvazitochkovogo turbulentnogo vihoru v zakruchenih techiyah ridini v zbagachuvalnomu ustatkuvanni. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnipro, 2018, 143, 49 - 59.

27 Dreus A.Yu., Hamінich A.V., Koval N.V., Dziuba S.V. Modelyuvannya bagatofaznogo potoku pri gidropidyomi tverdih chastok. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn.*, 2019. № 1 – 2 (316). С. 38 – 45.

28. Dirda V.I., Lisicsa N.I., Kozub O.V., Tolstenko O.V., Ahaltsov G.M., Novikova A.V., Filipenko O.N., Dziuba S.V. Ohrana truda pri rabote mashin, rabotayushchih pri dlitel'nyh ciklicheskih nagruzkah. *Geotehnicheskaya mehanika*. Dnipro, 2019, 144, 83 – 90.

Read-only

29. Kiseliova O.M., Pritomanova O.M., Dziuba S.V. Rozv'yazannya dvoetapnoYi neperervno-diskretnoYi zadachI optimalnogo rozbittya-rozpodIlu z nechItkimi parametrami. *Pitannya prikladnoYi matematiki i matematichnogo modelyuvannya.* Dnipro, 2019, 19, 106 –116.

30 Sudakov A..K., Dreus A.Yu., Lisenko K.Ye., Dziuba S.V. Modelyuvannya protsesu zamorozhuvannya gravievih filtriv vikoristovuvanih v girskih tehnologIyah. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn.*, 2019. № 3 – 4 (316). С. 42 – 47.

31. Kiseliova O.M., Pritomanova O.M., Dziuba S.V., Padalko V.G. Pobudova multiplIkativno zvazhenoYi dIagrami Voronogo z nechItkimi parametrami. *Pitannya prikladnoYi matematiki i matematichnogo modelyuvannya.* Dnipro, 2019. – Вип. 19. – С.117 – 126.

32. Kiria R.V., Dziuba S.V., Mostovoy V.F. Optimal'nyj ob"em akkumuliruyushchih bunkerov, rabotayushchih v sisteme konvejernogo transporta ugol'nyh shaht. *System technologies*. Dnipro, 1(126) 20, 161 – 170.

Articles and abstracts in conference publications

33. Dziuba S.V., Mishchenko T.F., Semenenko E.V. Obespechenie nadezhnosti tekhnologij obogashcheniya po pokazatelyam kachestva. *Effektivnost' realizacii nauchnogo, resursnogo i promyshlennogo potenciala v sovremennyh usloviyah:* materialy Tret'ej Promyshlennoj mezhdunarod. nauchno-tekhn. konf. p. Slavskoe, 2003, 19 – 20.

34. Dziuba I.M., Dziuba S.V., Semenenko E.V. Ekonomichne obgruntuvannya nadiynosti y efektivnosti zbagachuvalnogo virobnitstva. *Aktualni problemi fInansovogo menedzhmentu na pidpriemstvah*: materiali mizhnarod. nauk.-prakt. konf. molodih nauk. Donetsk, 2003, 182 – 189.

35. Dziuba S.V. Osnovnye metody upravleniya rezhimom techeniya aerosmesi v sistemah truboprovodnogo transporta. *Prikladni problemi aerogidromehaniki ta teplomasoperenosu:* materiali regIon. nauk. konf., prisvyachenoyi pam'yati prof. M.M. Belyaeva. Dnepropetrovsk, DNU, 2006, 90 – 91.

36. Dziuba S.V. Modelirovanie potokov aerosmesi v sistemah truboprovodnogo transporta dlya nestacionarnyh rezhimov techeniya. *Prikladni problemi*

Read-only

aerogidromehaniki ta teplomasoperenosu: materiali II mizhnarod. nauk. konf. na chest 90-richchya Dnipropetrovskogo universitetu ta do 80-richchya zi dnya narodzhennya profesora M.M. Belyaeva. Dnepropetrovsk, DNU, 2008, 101 – 103.

37. Dziuba S.V., Kirichko S.M. Obgruntuvannya nechitkoyi ekspertnoyi sistemi z urahuvannyam nepovnih vihidnih danih dlya viznachennya stadiyi zhittevogo tsiklu pidpriemstv girnichoyi galuzI. *Effektivnost' realizacii nauchnogo, resursnogo i promyshlennogo potenciala v sovremennyh usloviyah*: materialy Desyatoj Yubilejnoj Promyshlennoj mezhdunarod. nauchno-tekhn. konf. p. Slavskoe, 2010, 131 – 142.

38. Dziuba S.V. Opredelenie osnovnyh sootnoshenij dvizheniya aerosmesi v sistemah truboprovodnogo transporta s uchetom izmeneniya tekhnologicheskih parametrov. *Prikladni problemi aerogidromehaniki ta teplomasoperenosu*: materialy III mizhnarod. nauk. konf. Dnepropetrovsk, DNU, 2010, 153 – 155.

39. Dziuba I.M., Dziuba S.V. Upravlenie povysheniem konkurentosposobnosti produkcii gornyh predpriyatij s uchetom ocenki sostoyaniya fondovogo rynka Ukrainy. Analiz suchasnih ekonomIchnih protsesiv ta Informatsiyni tehnologiyi: materIali mIzhnarod. nauk.-prakt. konf. Dnepropetrovsk, DNU, 2011, 30 – 32.

40. Dziuba S.V. Sovershenstvovanie osnovnyh metodov upravleniya funkcionirovaniya sistem truboprovodnogo transporta, peremeshchayushchih aerosmesi. *Prikladni problemi aerogidromehaniki ta teplomasoperenosu*: materialy IV mizhnarod. nauk. konf. Dnepropetrovsk, DNU, 2012, 196 – 199.

41. Vitushko O.V., Dziuba S.V., Nikiforova N.A. Opredelenie elektrovyazkostnogo effekta pri fil'tracii podzemnyh vod v poristom gornom massive. *Prikladni problemi aerogidromehaniki ta teplomasoperenosu*: materialy V mizhnarod. nauk. konf. Dnepropetrovsk, DNU, 2014, 124 – 127.

42. Dziuba S.V., Medvedeva O.A., Kirichko S.M. Osnovnye osobennosti rezhimov raboty napornogo gidrotransporta pri razrabotke mestorozhdenij mineral'nogo syr'ya. *VIbratsIya v tehnItsI ta tehnologIyah:* materialy XIV mizhnarod. nauk.-tehn. konf. Dnipropetrovs`k: NTU Dniprovs`ka politexnika, 2015, 63 – 64.

43. Dziuba S.V. Adaptatsiya metodiv promislovoyi inzheneriyi do upravlinnya innovatsiynimi proektami v transportnih sistemah. *Problemi ekonomIki transportu*:

Read-only

materialy XIV mizhnarod. nauk.-prakt. konf. Dnipropetrovs`k: : DDUZT, 2016, 146 – 147.

44. Dziuba S.V. Faktori vplivu na InvestitsIynu privablivIst pIdpriEmstv zalIznichnogo transportu. *Problemi ekonomIki transportu:* materialy XV mizhnarod. nauk.-prakt. konf. Dnipro: DDUZT, 2017, 20 – 23.

45. Maksym Mishchenko, Serhii Dziuba Modelling of logistics system management processes based on neuro-fuzzy technologies. Symposium TP'2017, Poland, Katowice, Faculty of Transport, June 2017

46. Dziuba S.V., Medvedeva O.A., Kirichko S.M., Koval N.V. Analiz suchasnih metodiv modelyuvannya logistichnih sistem girnichih pidpriemstv v umovah neviznachenosti vihIdnih parametrIv. *Poturayivs`ki chy`tannya*: materialy` mizhnarod. nauk.-prakt. konf., m. Dnipro, 2018. NTU Dniprovs`ka politexnika, 189-196.

47. Dziuba S.V., Fisunenko P.A. Obgruntuvannya instrumentiv planuvannya sotsialno-ekonomichnogo rozvitku promislovih regioniv Ukrayini z urahuvannyam zakordonnogo dosvidu. *SuchasnI problemi modelyuvannya sotsIalno-ekonomIchnih sistem*: materialy X mizhnarod. nauk.-prakt. internet-konf. HarkIv, 2018, 46 – 48.

48. Dziuba S.V., Fisunenko P.A. Analiz marketingovih strategiy vedennya peregovoriv pri planuvanni rozvitku naftogazovoyi sistemi Ukrayini. Suchasni upravlinski tehnologiyi v umovah transformatsiyi sotsIalno-ekonomIchnih vIdnosin: materialy Vseukrayinskoyi nauk.-prakt. konf. Ivano-FrankIvsk: IFNTUNGF, 2018, 294 – 296.

49. Bulat Ye.A., Dziuba S.V. Deyaki aspekti udoskonalennya pravovoyi ohoroni intelektualnoyi vlasnosti v UkraYinI. Nauka ta osvIta v kontekstI suchasnih globalizatsiynih protsesiv: materialy VseukraYin. nauk.-prakt. konf. . Ky`yiv: TNU, 2018, 97 – 99.

50. Dziuba S.V. Analsz suchasnih sistem priynyattya rishen dlya tehnologiy pererobki mineralnogo sirovini. Geotehnichni problemi rozrobki rodovisch: materiali XVI konf. molodih vchenih. m. Dnipro, 2018, Dnipro, IGTM NAN UkraYinI, 2

51. Dziuba S.V. Analiz parametrov effektivnosti funkcionirovaniya aspiracionnyh sistem dlya tekhnologij pererabotki mineral'nogo syr'ya. *Poturayivs`ki*

Read-only

*chy`tannya*: materialy` mizhnarod. nauk.-prakt. konf., m. Dnipro, 2019, Dnipro NTU Dniprovs`ka politexnika, 17-18.

52. Міщенко М.І., Коряшкіна Л.С., Ус С.А., Дзюба С.В. Optimizatsiya logistichnih zv'yazkIv v sistemi dvoetapnogo transportuvannya resursu, neperervno rozpodilenogo na zadaniy teritoriyi. Transportniy kompleks Ukrayini*:* Umovi efektivnogo rozvitku: materialy VII VseukraYin. nauk.-prakt. konf. m. Odesa, 2019, 31 – 33.

53. Borys Blyuss An optimal two-stage distribution of material flow at the fuel and energy complex enterprises/ Borys Blyuss, Larysa Koriashkina, Svitlana Us, Serhii Minieiev, Serhii Dziuba // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019 https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900008.

54. Yevgenii Semenenko Determination of the critical rate of hydrotransport based on measurements in supercritical flow conditions / Yevgenii Semenenko, Serhii Dziuba, Larysa Tatarko, Zinaida Yakubovska // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019 https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900082

55. The Economic Guarantee of Logistic Connections Optimization at Railway Transport / Vasyl Kopytko, Sergei Dziuba, Maxym Mìshchenko and Tetyana Shargun // Matec Web Conferences 294, 04016(2019) *EOT 2019,* Lviv, Ukraine, September, 2019, https://doi.org/10.1051/matecconf/201929404016

56. Dziuba S.V., Lukyianov P.A., Osadchuk V.B., Hilchenko A.A. Vitratna harakteristika truboprovodu z difuzornim nasadkom. *Promislova gidravlika ta pnevmatik*: materialy XIX mizhnarod. nauk.-tehnich. konf. Ky`yiv: AS PGP, 2019, 24–25

57. Dziuba S.V., Lukyianov P.A., Osadchuk V.B., Hilchenko A.A. Vpliv prostorovoyi geometriyi truboprovodu na yogo vitratnu harakteristiku. *Promislova gidravlika ta pnevmatik*: materialy XIX mizhnarod. nauk.-tehnich. konf. Ky`yiv: AS PGP, 2019, 26 – 28

58. Osadcha N.V., Dziuba S.V. OptimIzatsIya rizikIv pri obrannI rinkIv zbutu v ramkah zdIysnennya torgIvelnih vIdnosin. Matematichne ta programne

Read-only

zabezpechennya Intelektualnih sistem *(MZIC-2019)*: materialy` XVII mizhnarod. nauk.-prakt. konf. Dnipro, DNU, 2019, 196 – 197.

59. Dziuba S.V., Koriashkina L.S. Obgruntuvannya mehanizmu upravlinnya logistichnimi potokami promislovih pidpriemstv. *Poturayivs`ki chy`tannya*: materialy` mizhnarod. nauk.-prakt. konf., m. Dnipro, 2020, Dnipro NTU Dniprovs`ka politexnika, 18.

60. Yevhen Lapshin The choice of mining development strategy based on the improved Bayes criterion / Yevhen Lapshin, Borys Blyuss, Serhii Dziuba, Larysa Tatarko // E3S Web of Conferences, Volume 168 (2020), II International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, May 06, 2020, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800053

Read-Only

ЗМІСТ

ВСТУП. 34
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ І АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНОСТІ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФРАСТРУКТУРНИХ ГЕОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ПАРАМЕТРІВ ШТУЧНИХ ВОДОНАСИЧЕНИХ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ В ГІРНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ 43
1.1 Аналіз основних елементів логістики гідротехнічних систем гірничих підприємств. 43
1.2 Аналіз основних чинників сталого розвитку підземних інфраструктурних об'єктів. 50
1.3 Аналіз механізмів та інструментів планування ефективного розвитку інфраструктурних геотехнічних систем. 59
1.3.1 Аналіз основних факторів, які визначають умови сталого розвитку гірничих піжприємств та прилеглих територій. 60
1.3.2 Аналіз стратегічних напрямів плануванні розробки родовищ корисних копалин та розвитку інфраструктурних геотехнічних проектів. . . 61
1.3.3 Деякі аспекти удосконалення правової охорони інтелектуальної власності в Україні при впровадженні інноваційних розробок в систему управління логістикою промислових підприємств. 64
1.3.4 Аналіз і обґрунтування сучасних систем прийняття рішень щодо удосконалення технологій переробки мінерального сировини. 67
1.4 Штучні водонасичені ґрунтові масиви як елемент гідротехнічних споруд при функціонуванні інфраструктурних геотехнічних систем. . . 72
1.5 Дослідження сучасних способів забезпечення допустимих режимів функціонування технологій гірничо-металургійного виробництва та способів управління параметрами процесів переробки мінеральної сировини. 80
1.5.1 Дослідження фільтраційних процесів при веденні гірничих робіт 80

Read-only

1.5.2 Аналіз процесів течії рідини тонким шаром та гідросуміші по внутрішній поверхні технологічного устаткування. 82
1.5.3 Аналіз сучасних моделей щодо течії гідросуміші і однорідної рідини в технологіях переробки мінеральної сировини та методів оцінки впливу гідродинамічно активних речовин на параметри режимів роботи гідравлічних систем. 91
1.6. Висновки за розділом. Мета, задачі та методи досліджень. 98
1.7. Список використаних джерел за розділом 1. 100
РОЗДІЛ 2 НАУКОВІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ТІЕЧІЇ БЕЗНАПІРНИХ ПОТОКІВ РІДИНИ В КАНАЛІ ПОСТІЙНОГО ПЕРЕТИНУ ЯК З'ЕДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЙ ЛОГІСТИКИ. 112
2.1 Дослідження методів керування гідравлічними процесами при течії гідросуміші уздовж похилої поверхні 112
2.1.1 Параметри течії уздовж похилої поверхні при відсутності масообміну через дно потоку. 112
2.1.2 Особливості течії при наявності масообміну через дно потоку 121
2.2 Керування гідравлічними процесами при течії гідросуміші по внутрішній поверхні циліндру. 130
2.2.1 Моделі течії без урахування масообміну через дно потоку. 130
2.2.2 Дослідження течії при наявності максообміну через дно потоку. 135
2.2.3 Дослідження можливості управління параметрами та режимами безнапірної течії шляхом додавання розчинів реагентів. 147
2.3 Розрахунок параметрів течії гідросуміші в трубопроводах при раптовій зміні площі перерізу. 154
2.3.1 Теоретичне обґрунтування розрахункового методу. 155
2.3.2 Алгоритм розрахунку параметрів течії при раптовому звуженні трубопроводу. 160

Read-only

2.3.3. Алгоритм розрахунку параметрів течії при раптовому збільшені трубопровод. 163
2.4 Висновки за другим розділом 2. 166
2.4 Список використаних джерел за розділом 2.... 169
РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВИХ ОСНОВ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ БЕЗНАПІРНИХ ПОТОКІВ РІДИНИ В КАНАЛАХ, ЩО ЗВУЖУЮТЬСЯ ЯК З'ЄДНУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ ТЕХНОЛОГІЙ ЛОГИСТИКИ. 173
3.1 Дослідження особливостей течії в каналі, що звужується. 173
3.1.1. Моделі течії гідросуміші без масообміну через дно потоку 173
3.1.2. Течія при наявності масообміну крізь дно потоку. 177
3.2 Запобігання критичних режимів течії. 185
3.2.1. Моделювання течії гідросуміші по каналу, що звужується. 185
3.2.2. Моделювання течії гідросуміші по неперфоровану каналу, що звужується. 191
3.3 Моделювання режимів течії гідросуміші по каналу, що звужується з відбором маси. 206
3.3.1. Побудова моделі течії з відбором маси. 206
3.3.2. Алгоритм розрахунку параметрів течії 218
3.4 Висновки за розділом 3. 224
3.5 Список використаних джерел за розділом 3. 226
РОЗДІЛ 4 РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ ВУЗЛІВ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ В ЛОГІСТИЦІ ГЕОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ. 231
4.1 Математичні моделі вузлів техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем 231
4.2 Розрахунки показників надійності вузлів техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем. 250
4.2.1 Характеристика вузлів техногенного впливу та магістральних

Read-only

напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем як об'єктів теорії надійності. 250
4.2.2 Критерії забезпечення надійності елементів вузлів техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем. 254
4.2.3 Оцінка надійності систем. 263
4.3 Моделювання режимів роботи конвеєрного стрічкового транспорту, що з’єднує вузли техногенного впливу 270
4.3.1. Дослідження процесу стабілізації роботи стрічкового вакуум-фільтру. 270
4.3.2. Стабілізація тиску при постійній витраті повітря, що відсмоктується. 273
4.3.3. Стабілізації тиску при постійному тиску повітря в колекторі. 278
4.3.4. Стабілізації тиску при роботі вакуумного насоса в області змінної подачі. 283
4.3.5. Стабілізації тиску з урахуванням не стаціонарності розміру області пропускання повітря під стрічку. 286
4.3.6. Визначення тривалості нестаціонарних режимів при просочуванні повітря під стрічку. 291
4.4 Висновки за розділом 4. 300
4.5 Список використаних джерел за розділом 4. 301
РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ТА МЕХАНІЗМІВ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ ЛОГІСТИКИ В ГІДРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ 307
5.1 Обґрунтування методів оптимізації двоетапного розподілу матеріально-сировинних потоків на підприємствах гірничої галузі. 307
5.2 Оптимізація логістичних зв'язків в системі двоетапного транспортування ресурсу, який неперервно розподіллено на заданій території. 322
5.3 Моделювання роботи елементів логістики гидравлічних систем

Read-only

всередині збагачувальних фабрик. 341
5.3.1 Характеристика элементів гідравлічних мереж всередині збагачувальних фабрик. 341
5.3.2 Види з'єднань елементів гідравлічних мереж всередині збагачувальних фабрик. 350
5.4 Висновки за розділом 5. 360
5.5 Список використаних джерел за розділом 5…….. 364
ВИСНОВКИ…….. 371
Додаток А. Методики розрахунку і рекомендації, які розроблені в дисертації. 374
Додаток Б. Документи про впровадження результатів роботи. 385
Додаток В. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію дисертації…… 397

Read-Only

ВСТУП

Актуальність роботи. Більшість промислових регіонів України маючи вікову історію, виникли на місцях біля родовищ корисних копалин та забезпечували сталий розвиток за рахунок кооперації та взаємодії між собою. Унікальне поєднання залізорудних родовищ, які розташовані поряд з родовищами кам'яного вугілля, великих річок й морських портів, створили умови для розвитку гірничої, металургійної, хімічної, будівельної, машинобудівної промисловості та забезпечили зростання обсягів доставки залізничним, автомобільним, трубопровідним та річковим видами транспорту. В подальшому виникли не тільки нові міста та селища, але й геотехнічні системи, техногенні об'єкти та технологічні споруди, що утворили систему, існування якої залежить від злагодженості взаємодії кожного з її елементів. В цих умовах сталий розвиток та подальше існування промислових регіонів все більше визначається параметрами систем і технологій логістики, що їх утворюють. Враховуючи особливості геотехнічних систем промислових регіонів, елементи та технології логістики не обмежуються використанням автомобільного та залізничного видів транспорту. Широке використання отримали гідравлічні види транспорту, такі як напірний і безнапірний, та різноманітні види безперервного транспорту, наприклад конвеєрний. На відміну від автомобільного та залізничного видів транспорту параметри гідравлічних та безперервних видів транспорту суттєво залежать від властивостей середовища, що транспортується, а режими роботи змінюються досить швидко. Для таких технологій логістики недостатньо досліджено залежності показників та режимів безнапірних і фільтраційних потоків гідросуміші від процесів перерозподілу матеріальних потоків та впливу зовнішніх факторів.

Таким чином, *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 гідротехнічних систем, є актуальною науковою проблемою, яка має*

Read-only

важливе значення для підвищення ефективності гірничих технологій та забезпечення сталого розвитку промислових регіонів.

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.

Ідея роботи полягає у використанні закономірностей процесів перерозподілу матеріально-сировинних потоків і параметрів безнапірних потоків гідросуміші, фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі для визначення показників, режимів роботи та управління елементами технологій логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств.

Мета дисертаційної роботи полягає у встановленні закономірностей процесів логістики в гідротехнічних системах, що дозволить розробити методи управління системами перерозподілу матеріально-сировинних потоків в технологіях видобутку та переробки мінеральної сировини для забезпечення сталого розвитку промислових регіонів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні **задачі:**

1. Дослідити особливості структури, показників та режимів роботи елементів технологій логістики в гідротехнічних системах і розробити моделі їх функціонування.

Read-only

2. Визначити найбільш поширені для технологій логістики в гідротехнічних системах способи з’єднання їх елементів то розробити методи розрахунку технологічних показників при різних типах з’єднання.

3. Вдосконалити методи розрахунків параметрів та режимів роботи елементів логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств, які з’єднуються безнапірним потоком гідросуміші, та дослідити методи їх керування.

4. Встановити закономірності гідродинамічних процесів та залежності параметрів розшарування при течії гідросумішей в каналах і трубопроводах зі змінними площинами перерізу та по внутрішній поверхні обертання з урахуванням масообміну, який регулюється.

5. Обґрунтувати методи та алгоритми розрахунків параметрів фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі з урахуванням зовнішніх факторів, що характеризують вплив процесів перерозподілу матеріальних потоків на показники та режими роботи елементів технологій логістики в гідротехнічних системах.

6. Розробити та впровадити методики розрахунків параметрів і режимів роботи гідротехнічних систем, рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах.

Об'єкт досліджень – процеси функціонування та управління елементами технологій логістики в гідротехнічних системах, які використовують гідравлічний та конвеєрний види транспорту.

Предмет досліджень – закономірності, режими та параметри процесів при безнапірній течії гідросуміші й фільтрації рідини в пористому сипкому матеріалі.

Методи досліджень. В дисертаційній роботі використовувалися методи системного аналізу та узагальнення результатів відомих досліджень, а також методи чисельного рішення нелінійних рівнянь, математичного та фізичного моделювання. При розробці методики розрахунку параметрів перерозподілу гідросумішей використано рішення системи рівнянь для нестаціонарного руху. При розрахунках параметрів процесу фільтрації в пористому сипкому матеріалі використовували систему рівнянь лінійної теорії фільтрації на основі закону Дарсі, а для визначення діючого перепаду тиску диференційне рівняння, що

Read-only

враховує закони збереження, та формулу Сен-Венана – Венцеля.

Основні наукові положення і результати, які виносяться на захист.

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 Рейнольдса 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 в степені 3/2 описується спадаючою лінійною функцією від відстані.

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.

Наукова новизна роботи:

1. Вперше для течії гідросуміші по похилому прямокутному каналу визначається початковий переріз розшарування безнапірного потоку

Read-only

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 узгоджені 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.

Наукове значення роботи полягає в установленні для течії гідросуміші по похилому каналу прямокутного перетину залежності розташування початкового перерізу розшарування безнапірного потоку гідросуміші від кута нахилу каналу, щільності та крупності частинок, в'язкості рідини, товщини потоку, витрати гідросуміші у вхідному перетині та залежності критичної глибини безнапірного потоку в прямокутному каналі від параметрів масообміну та перфорації дна

Read-only

потоку.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій 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%.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична значимість 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. На основі результатів, які отримано при виконані дисертаційного дослідження, розроблено наступні методики та рекомендації:

- “Методика розрахунку параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі”, яка дозволяє проводити оцінку характеристикам течії гідросуміші при її розшаруванні та подальшим поділом 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

Read-only

обґрунтування вибору управлінських дій в задачах розподілу матеріально-сировинних потоків при функціонуванні гірничих підприємств.

Реалізація результатів роботи.

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 ДП «ДПІ «Кривбаспроект» (Довідка про використання від 12.11.2020 р.); рекомендації у ТОВ «Донбаснахто-проект» (Акт впровадження від 22.05.2019 р.); практичні рекомендації у ТОВ «Южгіпроруда» для підвищення ефективності використання покладів залізної руди на гірничих підприємствах Кривбасу (Довідка про використання від 02.03.2020 р.); використання 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.); за рахунок реалізації "Рекомендації з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі" і "Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах" у ТОВ «Шахтостроймонтаж» дозволило отримати фактичний річний економічний ефект, який складає 324 тис. 700 грн. (Акт впровадження від 25.04.2018 р.)

Особистий внесок здобувача полягає в теоретичному узагальненні і розв'язанні важливої наукової проблеми розвитку наукових основ логістики в гідротехнічних систем гірничих підприємств, у вдосконалені методів розрахунків параметрів та режимів роботи елементів логістики в гідротехнічних системах, які з'єднуються безнапірним потоком гідросуміші, у встановлені закономірності гідродинамічних процесів при течії гідросумішей по каналам змінного перетину та масообміном, який регулюється, в обґрунтуванні методів та алгоритмів розрахунків параметрів фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі з урахуванням зовнішніх факторів, а також в

Read-only

розробці алгоритму рішення безперервних задач оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками, що дозволило отримати розбиття площі родовища на зони, за якими закріплюються гірничо-збагачувальні підприємства. Автор брав безпосередню участь у постановці задач досліджень, обґрунтуванні методів, проведенні експериментальних досліджень, випробуванні й упровадженні технічних засобів і технологій. Мету, ідею роботи та завдання дослідження, основні наукові положення, висновки та рекомендації сформульовано автором самостійно. Зміст дисертації викладено автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень доповідалися на міжнародних науково-практичних конференціях: Третьей Промышленной Международной научно-технической конференции “Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях” (с. Славське, лютий 2003 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих науковців «Актуальні проблеми фінансового менеджменту на підприємствах» (м. Донецьк, квітень 2003 р.); Регіональній науковій конференції, присвяченої пам’яті професора М.М. Бєляєва «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу» (м. Дніпропетровськ, листопад 2006 р.); II міжнародній науковій конференції на честь 90-річчя Дніпропетровського університету та до 80-річчя зі дня народження професора М.М. Бєляєва «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу» (м. Дніпропетровськ, листопад 2008 р.); Десятой Юбилейной Промышленной международной научно-технической конференции “Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях” (с. Славське, лютий 2010 р.); III, IV, V Міжнародній науковій конференції «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу» (м. Дніпропетровськ, листопад 2010 р., 2011 р., 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Аналіз сучасних економічних процесів та інформаційні технології» (м. Дніпропетровськ, листопад 2011 р.); XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрація в техніці та технологіях» (м. Дніпропетровськ, вересень 2015 р.); XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки транспорту» (м. Дніпропетровськ, квітень 2016 р.); XV Міжнародній

Read-only

науково-практичній конференції «Проблеми економіки транспорту» (м. Дніпропетровськ, квітень 2017 р.); Symposium TP'2017, Poland, Katowice, Faculty of Transport (June 2017); Міжнародній науково-практичній конференції «Потураївські читання» (м. Дніпро, січень 2018 р., 2019 р., 2020 р.); X Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем» (м. Харків, квітень 2018 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні управлінські технології в умовах трансформації соціально-економічних відносин» (м. Івано-Франківськ, квітень 2018 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Наука та освіта в контексті сучасних глобалізаційних процесів» (м. Київ, червень 2018 р.); XVI конференції молодих вчених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (м. Дніпро, жовтень 2018 р.); VII Всеукраїнській науково-практичної конференції «Транспортний комплекс України: Умови ефективного розвитку» (м. Одеса, травень 2019 р.); International Conference Essays of Mining Science and Practice (E3S Web of Conferences), Dnipro, Ukraine, (June 25-27 2019; May 06, 2020); Matec Web Conferences 294, 04016(2019) EOT 2019, Lviv, Ukraine (September, 2019); XIX Міжнародній науково-технічній конференції АС ПГП "Промислова гідравліка та пневматика" (м. Київ, жовтень 2019 р.); XVII Міжнародної науково-практичної конференції "Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2019)" (м. Дніпро, листопад 2019 р.); II International Conference Essays of Mining Science and Practice (E3S Web of Conferences), Dnipro, Ukraine, (May 06, 2020).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 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.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел зі 247 найменувань, містить 406 сторінок машинописного тексту (основна частина на 307 сторінках), в тому числі 70 рисунків, 7таблиці, 23 сторінок додатків.

Read-only

РОЗДІЛ 1
ДОСЛІДЖЕННЯ І АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНОСТІ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФРАСТРУКТУРНИХ ГЕОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ПАРАМЕТРІВ ШТУЧНИХ ВОДОНАСИЧЕНИХ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ В ГІРНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

1.1 Аналіз основних елементів логістики гідротехнічних систем гірничих підприємств

В промислових районах України, а саме в регіонах з розвинутою гірничо-металургійною галуззю, а також за наявності родовищ корисних копалин і мінеральної сировини у минулому столітті відбувалось масштабне гідротехнічне будівництво. Наразі для ефективної роботи гірничої промисловості відбуваються процеси підтримки експлуатаційних параметрів та інноваційної модернізації гідротехнічних систем, які представляють собою розвинуті інфраструктурні геотехнічні системи. Стале функціонування та розвиток даних систем супроводжуються значними змінами у водних екосистемах, що призводить до перетворення природних типів водойм у природотехнічні водойми. Наслідками цих перетворень, в першу чергу, є порушення істотних площ земель сільськогосподарського призначення, а також незаперечним фактором значних змін у водних екосистемах [1]. В свою чергу, це сприяло суттєвим змінам природних типів водойм і їх екосистем за рахунок супроводження зарегулюванного стоку річок, утворення великих і малих каналів, водосховищ, ставів, водойм охолоджувачів ТЕС, АЕС, шламосховищ, відстійників, зрошувальних і осушувальних каналів [2-4].

На сьогоднішній день на території України розвідано близько 3 тис. родовищ корисних копалин, з яких понад 400 родовищ розробляються відкритим способом [3]. Такі родовища характеризуються інтенсивним фактором техногенного перетворення навколишнього середовища в результаті відчуження і порушення земель на великих площах зі збільшенням

Read-only

екологічного навантаження на прилеглі території. В даний час рекультивації земель приділяється особлива увага, оскільки щорічно відбувається значне скорочення земель сільськогосподарського призначення. Одним з найбільших об'єктів, в практиці рекультивації земель, є відвал гірничо-збагачувального переділу, який складений породами з різко вираженими токсичними властивостями. Проблема рекультивації таких відвалів актуальна для багатьох країн світу. Найбільш ефективним способом рекультивації таких техногенних родовищ є технологія розкривних робіт, а саме, закладка токсичних порід в основи відвалів або перекриття їх шаром потенційно родючих ґрунтів.

Ефективність відновлення порушених гірничими роботами територій поблизу родовищ мінеральної сировини залежить від гідрогеологічних умов, що пов'язано зі складною структурно-геологічною будовою ґрунтів і гірських порід. Проведення цільових робіт по відновленню порушених гірничими роботами територій залежить від попередньої оцінки ступеня гідрогеологічної обстановки в ґрунтах техногенних родовищ. При класифікації ділянок техногенних родовищ однією з головних умов є аналіз гідрогеологічної обстановки з урахуванням умов обводненості (див. рис. 1.1) [5, 6].

Read-only

Рисунок 1.1 – Сучасний стан русла р. Саксагань

Показники умов обводненості залежать від ряду основних природних і технологічних параметрів: коефіцієнта фільтрації водовміщуючої товщі, коефіцієнтів гравітаційної і пружної водовіддачі ґрунтів; геометричних розмірів гірничої виробки, часу проходки або відпрацювання ділянок; глибин зон регіональної тріщинуватості, глибини залягання гірничої виробки; початкового напору; умов на зовнішніх межах і т.і.

Формування техногенного режиму підземних вод і підвищення водоприпливів при відновленні територій, що порушені веденням гірничих робіт, а також поблизу відвалів і шламовідстійників обумовлено переважно наявністю піскових шарів, які гідравлічно пов'язані з водоносними горизонтами [7]. Для оцінки параметрів технологій розробки техногенних родовищ піскові шари з урахуванням їх фільтраційних властивостей і значної потужності впливають на неоднозначність при визначенні вихідних даних. З гідродинамічної точки зору, дані піскові шари можна описати як граничну умову першого роду, та відповідає припущенням, що за рахунок вугільних ціликів, які примикають до пісковиків, відбувається істотне зменшення водоприпливу до гірничих виробок і зниження навантаження на гідросферу (рис. 1.2).

Рисунок 1.2 – Сучасний стан р. Саксагань

На аналіз закономірностей режимів водонасичення ґрунтів, пісковиків,

Read-only

ґрунтових вод і водоносних горизонтів, а також на формування їх режимів в основному впливають геофільтраційні властивості. Для класифікації схем фільтраційних властивостей ґрунтів визначальні фактори залежать від основних елементів зони активного водообміну. Як правило, при розгляді фільтраційних властивостей виділяють три зони. Перша зона насичення - зона, в межах якої порова рідина утворює безперервну фазу. В даній зоні спостерігається безперервна передача гідростатичного тиску у всіх точках, а ґрунти містять великий об'єм повітря, який не утворює безперервної фази. До другої зони відносять зону аерації, в якій повітря пов'язане з атмосферою і утворює самостійну фазу, а характер зміни статичного тиску порової рідини визначається ступенем водонасичення ґрунтів і гірських порід. Між двома цими зонами розташовується капілярна зона, в якій рідина утворює безперервну фазу з гідростатичним тиском менше атмосферного.

Для оцінки параметрів фільтраційних властивостей ґрунтів прийнято, що верхньою межею зони насичення є вільна поверхня рівнів ґрунтового водоносного горизонту - депресійна поверхня, на якій гідростатичний тиск дорівнює нулю. Критеріями в даному випадку виступають характер водонасичення і гідростатичний тиск. В межах зони насичення виділяють водоносні горизонти, що відрізняються від контактуючих з ними водотривких комплексів більшою проникністю, в межах якої також виділяють водоносні пласти, що представляють собою основний елемент гідродинамічного розподілу по щільності в розрахунковій геофільтраційній схемі.

Етапи розробки родовищ мінеральної сировини включають в себе обґрунтований облік взаємовпливу функціонуючих гідротехнічних систем в технологіях переробки мінеральної сировини на екосистему поблизу підприємств гірничо-металургійного комплексу. Оцінка даної взаємозалежності має значення для розуміння стійкості розвитку гірничих підприємств, оскільки є одним із основних факторів забезпечення як підвищення економічної ефективності технологій переробки, так і соціальної складової життєзабезпечення промислових районів. Реалізація ефективного виробництва

Read-only

товарного концентрату на гірничо-металургійних комбінатах починається з забезпечення прийняття обґрунтованих управлінських рішень на всіх основних його етапах: планування, проектування ланок технологічного ланцюга устаткування, транспортування сировини на збагачувальний переділ і відходів технологій переробки в хвостосховища.

Підвищення економічної ефективності і розвиток соціальних показників при розробці родовищ мінеральної сировини за рахунок порушення екологічної обстановки, таких як виснаження і забруднення ґрунтових вод, погіршення якості повітря і води в річках, не є виправданням при реалізації необґрунтованих проектувальних рішень. Економічна ефективність технологій на підприємствах гірничого виробництва, а також оцінка стійкості і надійності експлуатації гідротехнічних систем, збагачувального обладнання і шламосховищ повинна бути виправдана раціональними екологічними показниками, а також збереженням навколишнього середовища.

Як приклад великої кількості експлуатаційних та екологічних чинників діючих гідротехнічних систем на необхідність вдосконалення систем прийняття рішень в реальному часі розглянемо процес поповнення оборотних систем водопостачання на гірничо-металургійних підприємствах Криворізького залізорудного басейну [8]. На сьогоднішній день в Кривбасі одночасно експлуатується 18 родовищ, що розробляються відкритим і підземним способами. У басейні діє 8 шахт з підземного видобутку залізорудної сировини, що ведуть гірничі роботи в особливо небезпечних підземних умовах на глибинах 800 - 1500 м.

У 90-х роках минулого століття, в період економічного спаду, була зупинена виробнича діяльність 6 шахт. Для недопущення затоплення виробничого простору діючих шахт і втрати доступу до запасів залізних руд, державою, було прийнято низку рішень про переведення 3 шахт (Гігант, Саксагань, Першотравнева) в режим «сухий» консервації з підтримкою постійного режиму гідрозахисту (відкачування підземних вод з надр) . Ще 3 окремі шахти (ГПУ, Південна, Північна ім. Валявка), які не мали гідравлічного

Read-only

зв'язку з іншими шахтами і відпрацювали запаси залізних руд, були закриті і ліквідовані. Відповідно відкачка підземних вод з них була припинена.

Паралельно з шахтами в Кривбасі функціонує 5 великих гірничозбагачувальних комбінатів, які ведуть видобуток руди в 10 кар'єрах на глибинах 250 - 450 м і здійснюють її переробку на гірничо-збагачувальних фабриках (рис 1.3).

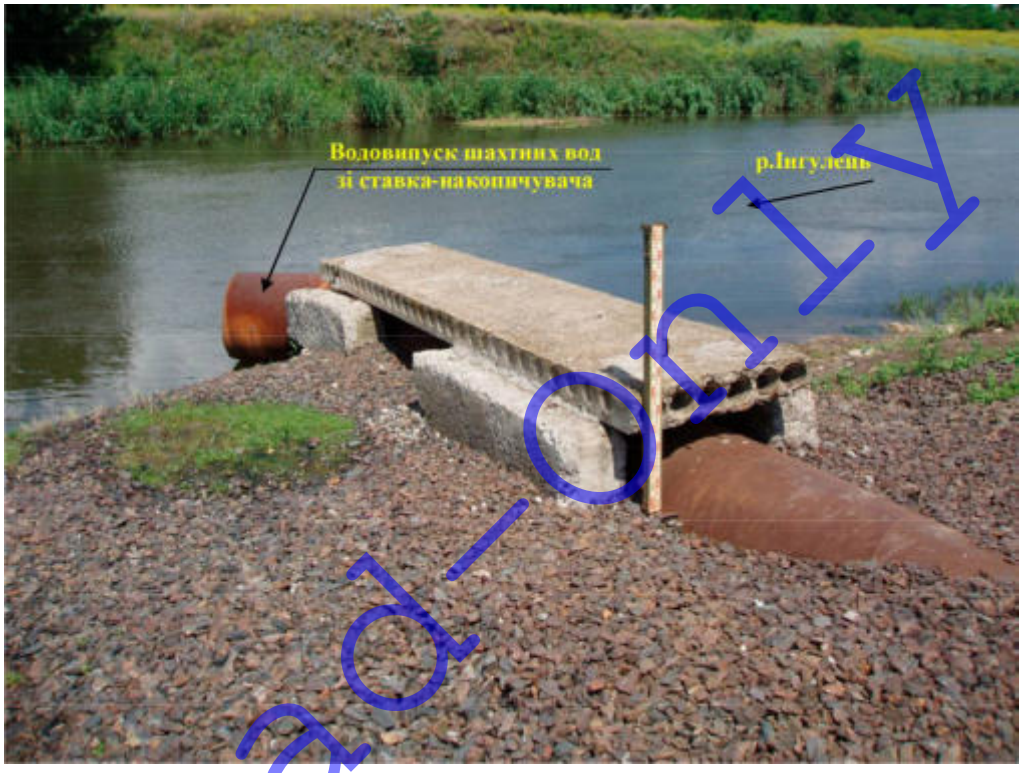


Рисунок 1.3 – Водовипуск шахтних вод зі ставка накопичувача у р. Інгулець

Read-only

Шахтні і кар'єрні води використовуються для поповнення оборотних систем водопостачання на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривбасу, при цьому, надлишки шахтної води накопичуються в ставку-накопичувачі шахтних вод в балці Свистунова. Впродовж останнього десятиріччя діючі гірничорудні підприємства Кривбасу працюють в режимі гідрозахисту та щорічно відкачують на поверхню близько 40 млн. м^3 підземних вод (шахтні, кар'єрні), серед яких 21 – 22 млн. м^3 кар'єрних вод і 16 -17 млн.м^3 високомінералізованих шахтних вод . В основному це хлорид сульфатні води з високим вмістом іон-

хлору, сульфату, натрію, калію, магнію і кальцію з підвищеним рівнем загальної мінералізації від 5 до 96 г/л, усереднена мінералізація до 40 г/л.

Максимальні можливості по використанню підземних вод в зворотних циклах гірничорудних підприємств Кривбасу межують на рівні 28 - 30 млн.м^3 на рік. Решта 11-12 млн.м^3 є надлишком стічних вод і щорічно акумулюються та тимчасово містяться в ставку-накопичувачі шахтних вод.

Також шахтні води відкачуються з 8 діючих шахт (Тернівська, Гвардійська, Жовтнева, Родіна, Ювілейна, шахти ім. Фрунзе і їм. Орджонікідзе, ШУ ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг) і з 2 шахт (Першотравнева- Дренажна, Гігант-Дренажна), які реструктуризовані та працюють виключно в режимі гідрозахисту. Шахти ГПУ, Південна, Північна ім. Валявка ліквідовані і знаходяться на "мокрій" консервації, відкачка з них не здійснюється (рис. 1.4).

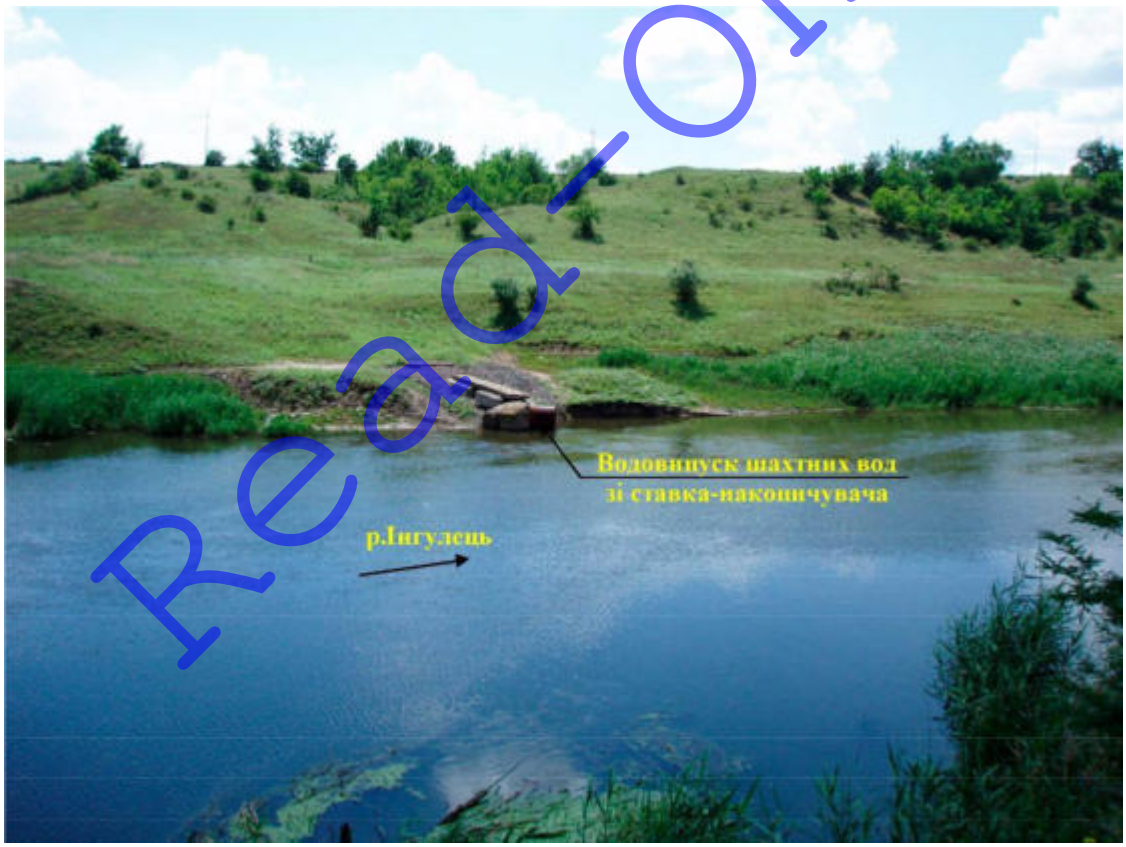


Рисунок 1.4 – Водовипуск шахтних вод зі ставка накопичувача у р. Інгулець

Перекачування шахтних вод до накопичувачів здійснюється по магістральним трубопроводам трьома насосними станціями шахтних вод

Read-only

(Руднична, Шахтарська і насосна станція № 8).

Від південної групи шахт насосними станціями Руднична і Шахтарська шахтні води відкачуються на південь (12-13 млн $м^3$/рік), які потім перекачуються виключно в ставок-накопичувач шахтних вод балки Свистунова для їх тимчасової акумуляції та подальшого скидання в межвегетаційний період в річку Інгулець. Після скидання надлишку шахтних вод русло річки Інгулець промивається водою з Карачунівського водосховища дніпровською водою по каналу «Дніпро-Інгулець».

Від північної групи шахт насосною станцією №8 шахтні води відкачуються на північ (3,0 – 4,0 млн. $м^3$/рік) в хвостосховище "Північний ГЗК", де вона використовується в циклах оборотного водопостачання комбінату. Шахта "Першотравнева-Дренажна" самостійно здійснює відкачку і транспортування шахтних вод (близько 600000 $м^3$/рік) в хвостосховище "Північний ГЗК".

Періодично, в разі утворення надлишку стічних вод у хвостосховищі «Північний ГЗК», надлишок стічних вод, виключно в міжвегетаційний період, скидається в річку Саксагань. Після скидання надлишку стічних вод в річку Саксагань, русло річки промивається дніпровською водою з Південного водосховища по каналу №33.

Для підтримки функціональності процесів роботи даних гідротехнічних систем в реальному часі необхідні системи прийняття рішень. Прийняття рішень є процесом, що складається з обґрунтованої оцінки альтернатив і вибору найбільш сприятливої з них. Для осіб, які приймають рішення, а саме «доцільне» рішення, необхідно вибрати такий варіант з набору можливих шляхів вирішення проблеми, в якому з урахуванням різних факторів і суперечливих вимог оптимізується і досягається поставлена мета. Обраний варіант найбільшою мірою повинен забезпечувати найкращий можливий соціально-екологічний сценарій для реалізації сталого розвитку гірничо-металургійних комбінатів [8, 9].

1.2 Аналіз основних чинників сталого розвитку підземних інфраструктурних об'єктів

Read-only

До основних елементів інвестиційної привабливості об'єктів відносять інфраструктуру геотехнічних систем та інституційну основу, які стимулюють інтерес і інвестиційну привабливість для бізнесу в масштабні проекти. Розробляти і доводити ці проекти у великих містах України необхідно з урахуванням раціонального використання підземного простору, геомеханічних і гідрогеологічних властивостей верхньої частини геологічного розрізу масиву гірських порід. При плануванні таких проектів необхідно враховувати архітектурну цілісність міст.

Підземні інфраструктурні об'єкти (ПІО) функціонують як динамічний термінал, через який геотехнічні системи і екосистема взаємодіють і впливають один на одного. Оцінка впливу даної взаємозалежності має важливе значення для стійкості інфраструктурних геотехнічних систем, оскільки це є основою прийняття рішення про їх реалізацію.

Гірничо-металургійна промисловість має великий досвід будівництва та довготривалої експлуатації підземного простору. Одним з факторів, що гальмують широке освоєння підземного простору, є недостатня надійність несучих конструкцій підземних споруд. Незважаючи на великі досягнення в проектуванні і технології будівництва таких об'єктів, є обмеження, які відповідають вимогам тривалого використання [10].

Обґрунтовані вимоги до надійності, довговічності і безпеки ПІО зумовлюють необхідність розробки надійного геомеханічного забезпечення взаємодії підземних споруд або підземних частин інфраструктурних об'єктів з утворюючим масивом. Дана вимога є обов’язковим елементом процесів проектування, будівництва і експлуатації ПІО, а масштабні завдання, що стоять перед підземними комплексами показують його необхідність і доцільність.

Геомеханічне забезпечення ПІО вирішує наступні завдання: створення довготривалої стійкості підземних об'єктів; геоконтроль напружено-деформованого стану порід; визначення впливу підземних об'єктів на навколишнє середовище і інженерні споруди, як в період будівництва та

Read-only

експлуатації, так і в період реконструкції і особливо ліквідації. Основна мета геомеханічного забезпечення ПІО - запобігання аварійним ситуаціям при освоєнні підземного простору, підвищення безпеки та ефективності гірничих робіт, забезпечення безпеки і стандартної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж, які потрапляють в зону їх геомеханічного впливу, а також охорона навколишнього середовища.

Геомеханічне забезпечення будь-якого ПІО включає наступні етапи:

а) побудова геоінформаційної системи - моделі ділянки підземного простору на базі виконаних інженерно-геологічних дій, схем районування території міста за складністю освоєння підземного простору. Необхідність даної деталізації геологічної будови обумовлена наступними основними чинниками: геофізичним станом, гідрогеологічним режимом, фізико-механічними властивостями масиву для подальшого вибору способів освоєння підземного простору з урахуванням впливу на навколишнє середовище. Комплекс методів включає як нормативні методи, застосування яких регламентовано нормативними актами, так і сучасні технології детального вивчення властивостей, будови і стану масиву;

б) прогноз зміни напружено-деформованого стану ґрунтового масиву і масиву гірських порід і навколишньої забудови на підставі інформації першого етапу геомеханічного забезпечення для вибору профілактичних і захисних заходів, що забезпечують стійкість підземної споруди і збереження навколишньої забудови;

в) геомоніторинг об'єкту і масиву, що вміщує породи і ґрунти, які представляють собою систему періодичних і безперервних спостережень в процесі будівництва і експлуатації об'єкту. Геомоніторинг повинен забезпечувати своєчасне прогнозування і виявлення ризиків виникнення аварійних ситуацій для завчасного визначення та проведення необхідних профілактичних і захисних заходів. При формуванні проекту використовуються дані першого етапу, що дозволяє обґрунтувати місця закладки спостережних пунктів, їх географічну мережу, періодичність і точність визначення параметрів геомоніторингу;

г) аналіз даних геомоніторингу для інтегральної оцінки якості як

Read-only

проектних, так і будівельних робіт та управління деформаційними процесами, наприклад, способами водозниження, інжектування, цементації, хімічного закріплення та інших спеціальних технологій. Даний етап реалізує також функцію зворотного зв'язку, а саме, при виявленні відхилень даних моніторингу від їх проектних значень проводиться оперативне коректування проекту споруджуваного об'єкта або усунення недоліків будівництва [11].

ПІО визначаються, як простір під міськими районами, які надають прямі послуги місту (наприклад, відведення стічних вод, подачу підземних вод, транспортні послуги, а також використання геотермальної енергії). ПІО охоплюють геологічно сформовані породи і ґрунти, а також штучні споруди різного походження та включають чотири основних ресурсів: простір, мінеральну сировину, воду і енергію. Ці ресурси мають різну ступінь відновлення, в залежності від їх використання та швидкості витягання.

ПІО розглядається як значний ресурс для майбутніх рішень в розвиток промислових районів, що розташовані поблизу родовищ мінеральної сировини, та сприяють поліпшенню соціально-екологічних умов життєдіяльності населення.

Однією з проблем для будівництва ПІО є вже існуючі міські райони зі своєю розвиненою інфраструктурою. Основними причинами яких є дефіцит землі для зведення нових об'єктів, складна будова і властивості гірських порід, існування великої щільності населення і граничне навантаження на основні міські мережі (електропостачання, газопостачання, подача води і відведення каналізаційних стоків).

Однак існує необхідність в розвитку сучасних міст, головним чином в тих регіонах, де вперше здійснюються глобальні підземні інфраструктурні проекти. При цьому необхідно враховувати систему планування, проектування та оцінку політики розвитку підземної інфраструктури, а також характеристики функціонуючих транспортних мереж і об'єктів. Слід зазначити, що в Європейських країнах і США одним з інструментів формування системи міського проектування з реалізацією схем змішаного використання з високою щільністю є проектне фінансування, як перспективна форма інвестування

Read-only

капіталу в найбільш прибуткові сфери державної економіки або приватного бізнесу. Дана форма дозволяє втілювати в життя масштабні інноваційні проекти, які мають довгостроковий характер і є більш ризикованими в порівнянні з традиційною формою фінансово-господарської діяльності, надаючи новий імпульс розвитку економіки.

Досвід економічно розвинених країн і компаній показує, що ефективність їх інноваційної політики ґрунтується на застосуванні інноваційної моделі сталого розвитку, яка реалізується за допомогою цільових програм високотехнологічної модернізації і Smart спеціалізації. При цьому найвищі показники якості та ефективності реалізації будівельних інвестиційних проектів і програм розвитку промисловості в США, Японії, Китаї та країнах ЄС сьогодні досягаються за рахунок використання проектного менеджменту, фінансування та інжинірингу. Використання даних сучасних проектних рішень в економіці України методами організації дозволить знизити витрати праці і тривалість проектів на 10 - 20%, а загальну вартість - на 8 - 15% [12].

В Україні на сьогоднішній день сформовані стандарти і організаційно-економічні механізми проектного та програмно-цільового підходу до вирішення завдань розвитку промислового і будівельного комплексу за рахунок впровадження інноваційних рішень, реконструкції та технічного переозброєння існуючих підприємств, які потребують подальшого вдосконалення.

В напрямку використання ПІО аналіз досвіду економічно розвинених країн з урахуванням їх законодавчої бази показав, що в даний час обґрунтована необхідність використання підземного простору з урахуванням високої щільності поверхневого будівництва. В результаті розпочато дослідження і обґрунтування необхідності планування і проектування підземних інфраструктурних проектів в менш розвинених регіонах.

Аналіз функціонування ПІО показує, що екосистемні взаємозв'язку і мінеральні ресурси, які зосереджені в підземному просторі, для сталого розвитку промислових районів, вимагають подальших досліджень з метою розробки сучасних систем прийняття рішень адекватних методів планування коштів

Read-only

проектування для використання ПІО як цінного ресурсу.

Для поступового і ефективного відновлення вітчизняної економіки з урахуванням досвіду високорозвинених країн визначено, що значну увагу доцільно приділити новому методу фінансування великомасштабних і високо ризикованих інвестиційних проектів - проектного фінансування.

Однак, постійні зміни у вітчизняному законодавстві, фінансово-політична нестабільність в Україні зумовили необхідність пошуку нових напрямків розвитку проектного фінансування і створення умов для пільгових режимів як для вітчизняних, так і для іноземних інвесторів з метою впровадження сталого міського проектування ПІО з реалізацією схем змішаного використання з високою щільністю в Україні.

Виділяється ряд переваг проектного фінансування, що дозволить прогнозувати майбутні результати від реалізації інвестиційного проекту, залучати іноземних інвесторів до фінансування проекту, оцінювати фінансовий стан і платоспроможність позичальника.

Загальні показники, що характеризують інноваційну діяльність в Україні мають тенденцію до зростання кількості інноваційних підприємств і обсягів витрат на інноваційну діяльність, але при цьому реальних структурних зрушень і модернізації економіки не відбувається (рис. 1.5, 1.6).

Серед причин відсутності інноваційного розвитку можна виділити складні умови введення бізнесу в Україні. За рейтингом Світового банку Україна займає в світі 183 місце за показниками, що характеризують легкість введення бізнесу [13 – 16]. Найбільш проблемними складовими для України вважаються податкова система, введення міжнародної торгівлі, реєстрація майна, відкриття і закриття бізнесу на території України. [17].

Головною метою державної інноваційної політики є створення соціально-економічних, організаційних і правових умов для ефективного відтворення, розвитку та використання науково-технічного потенціалу України, забезпечення впровадження сучасних екологічно чистих, безпечних, енерго- та ресурсозберігаючих технологій, виробництва та реалізації нових видів

Read-only

конкурентоспроможної продукції.

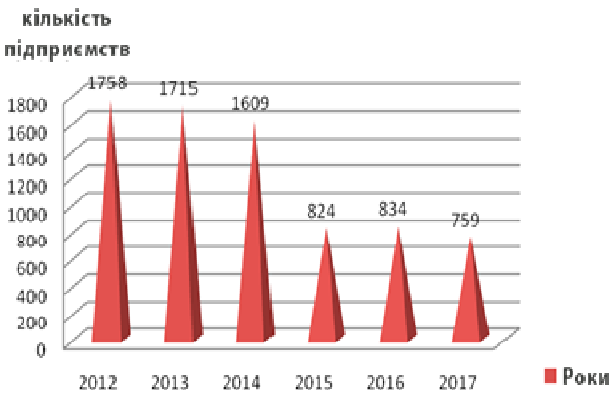


Рисунок 1.5 – Кількість підприємств, які займаються інноваційною діяльністю

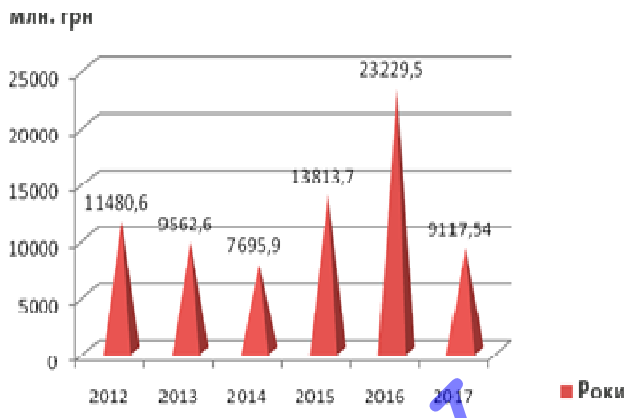


Рисунок 1.6 – Об’єм видатків промислових підприємств на інноваційну діяльність

До основних принципів державної інноваційної політики відносяться: орієнтація на інноваційний шлях розвитку економіки України; визначення державних пріоритетів інноваційного розвитку; формування нормативно-правової бази в сфері та інноваційній діяльності; створення умов для збереження, розвитку і використання вітчизняного науково-технічного та інноваційного потенціалу; забезпечення взаємодії науки, освіти, виробництва, фінансово-кредитної сфери у розвитку інноваційної діяльності; ефективне використання ринкових механізмів для сприяння інноваційній діяльності, підтримка підприємництва у науково-виробничій сфері; здійснення заходів щодо підтримки міжнародної науково-технологічної кооперації, трансферу технологій, захисту вітчизняної продукції на внутрішньому ринку та її просування на зовнішній ринок; фінансова підтримка, здійснення сприятливої кредитної, податкової і митної політики у сфері інноваційної діяльності; сприяння розвитку інноваційної інфраструктури; інформаційне забезпечення суб'єктів інноваційної діяльності; підготовка кадрів у сфері інноваційної діяльності [18].

Виходячи з вищевказаного орієнтованість інноваційної політики залежить від існуючих умов і поставлених завдань. Виділяють чотири напрямки

Read-only

інноваційної політики: «технологічного поштовху», «ринкової орієнтації», ґрунтується на тому, що держава в даній політиці відіграє другорядну роль, головним учасником є безпосередньо суб'єкти господарської діяльності, які здійснюють інноваційну діяльність за власною ініціативою; «соціальної орієнтації», націлена на залучення громадськості, як рушійної сили інноваційного розвитку; інноваційна політика, націлена на зміни економічної структури господарського механізму.

Фінансування науки за залишковим принципом, відсутність стимулів до інноваційної діяльності та державної підтримки високотехнологічних виробництв, недосконале законодавство, привели до вкрай негативних структурних змін в економіці, а саме зростання частки сировинних, низько технологічних виробництв та занепаду високотехнологічних.

Система управління інноваційною політикою в Україні охоплює велику кількість різних міністерств, агентств і комітетів, має нескоординований характер, при цьому, відсутній орган управління, який би відповідав за інноваційну політику країни в цілому. Міністерство освіти і науки відповідає за розробку і реалізацію державної політики у науковій, технологічній та інноваційній сферах, реалізацію інноваційної політики, яка включається і в завдання Міністерства економічного розвитку і торгівлі.

Національна академія наук, галузеві міністерства формують власну інноваційну політику, створюють інструменти реалізації науково-практичних результатів своїх досліджень, мають систему науково-дослідних інститутів, джерела фінансування, матеріальну базу і трудові ресурси. Необхідно скоординувати діяльність органів, що реалізують інноваційну політику в єдину стратегію, де кожне міністерство, комітети, інститути відповідають за етапи модернізації економіки, реалізацію інноваційної політики та закріпити їх функції законодавчою нормою. Для цього доцільно Міністерство економічного розвитку і торгівлі визначити координуючим органом і закріпити законодавчою нормою. У Законі України «Про інноваційну діяльність» необхідно визначити окремим розділом роль і функції міністерства з координації діяльності органів

Read-only

влади щодо реалізації інноваційної політики.

В Україні існує проблема розриву національних інноваційних програм з регіональними, що пояснюється різноманітністю інноваційних потенціалів кожного регіону і країни в цілому. Для усунення даних перешкод необхідно визначити пріоритетні цілі як для національних, так і для регіональних програм. Більшість країн ЄС почали свої реформи двадцять років тому і підтвердили той факт, що перехід від регіональної до централізованої інноваційної політики є складним процесом, особливо в регіонах, де важко перебудувати інноваційну політику в національні програми.

Після двадцяти років реформ регіональні програми ЄС відстають від національних, цей факт необхідно враховувати при формуванні інноваційної політики в Україні в процесі модернізації її економіки. У країнах ЄС не існує рішень про можливість збалансування інтересів регіонів в єдиній програмі, хоча існують компромісні рішення між відносними перевагами регіональних програм, які добре фінансовані з відсутністю дублювання, і регіональних програм, які адаптовані до вирішення регіональних питань інноваційного розвитку та враховують специфіку регіонального розвитку [16].

В Україні регіональна інноваційна політика є залежною від стану і діяльності її промисловості. У період модернізації економіки стан розвитку регіональної інноваційної політики можна охарактеризувати як зародковий. Слід зазначити, що урядом України докладено багато зусиль для визначення конкретних цілей і запуску певних проектів, зроблені кроки для розвитку інноваційної інфраструктури. Однак, інфраструктура не відповідає вимогам інвесторів, відсутні необхідні комунікації, місцезнаходження індустріальних парків є незручним для інвесторів (віддаленість від ринку збуту, транспортних шляхів, кордону). Розвиток регіональної інноваційної політики відрізняється в кожному регіоні, в західних регіонах і центрі більше уваги приділяють створенню наукових парків; на сході - мережі індустріальних парків з формуванням вільних економічних зон промислового типу. Багато регіонів зазнають труднощів із залученням інвесторів та обранням вектору інноваційного розвитку, що необхідно

Read-only

враховувати при формуванні національної інноваційної політики в умовах модернізації економіки.

Інноваційна система країни може формуватися поетапно з метою створення стійкого міського проектування з реалізацією схем змішаного використання з високою щільністю в Україні та їх подальшим впровадженням та стійким функціонуванням. Тому, на першому етапі, доцільно побудувати стійке міське проектування з реалізацією схем змішаного використання з високою щільністю. На другому етапі доцільно створити план створення пріоритетних зон реалізації програм сталого міського проектування за схемами змішаного використання з високою щільністю і надання податкових і митних пільг забудовникам.

В Україні активними темпами впроваджуються великі інфраструктурні проекти. Основні з яких це розвиток чинного метро в Києві і Дніпрі, формування основ високошвидкісного транспорту і т.і. Активність реалізації даних проектів багато в чому залежить і від інституційних основ інноваційної політики. Аналіз показує наявність значного досвіду в області геотехнічного обґрунтування можливості створення підземних інфраструктурних об'єктів. Технології створення і інженерні рішення підземного простору міст вже досягли високого рівня. В недалекому майбутньому розвинена міська підземна інфраструктура буде обов'язковою складовою великих промислових міст.

Сталий розвиток ПІО в Україні можливий за умови сумісності підземного об'єкта з масивом гірських порід і технологічними особливостями створення і експлуатації. Сумісність заснована на розробці конкретних рішень техніко-технологічної безпеки за основними стадіями технологічного циклу і на кожній стадії роботи системи «масив - технологія - ПІО». Техніко-технологічні прийоми ґрунтуються на динаміці стану технічної системи в процесі експлуатації ПІО.

Необхідна розробка нормативної бази інноваційної системи країни з метою створення стійкого міського проектування з реалізацією схем змішаного використання з високою щільністю в Україні та їх подальшим впровадженням та стійким функціонуванням.

1.3 Аналіз механізмів та інструментів планування ефективного розвитку інфраструктурних геотехнічних систем

Read-only

1.3.1 Аналіз факторів і удосконалення засобів соціально-економічного розвитку промислових регіонів з урахуванням закордонного досвіду

Аналіз зарубіжного досвіду [19-21] моделювання соціально-економічного розвитку промислових регіонів показує необхідність врахування основних взаємопов'язаних факторів: оцінки ефекту ущільнення і просторового розподілу соціально-значущої інфраструктури; практики врахування при плануванні на основі системи контролю розвитку даної інфраструктури та її впливу на ефективне функціонування житлових районів, а також різні підходи до переговорів з планування та наслідків внесених змін, що призводять до вирішення завдань логістики.

Поширеною за кордоном практикою при плануванні економічного розвитку регіонів є отримання прибутку від розвитку транспортних систем для забезпечення ефективної соціальної інфраструктури. При цьому органи місцевого самоврядування, застосовуючи стратегію даного планування, зацікавлені в отриманні прибутку з метою подальшого пошуку стимулюючих пропозицій для забезпечення розвитку проектів стратегічного значення з компенсацією тимчасових інтенсивних навантажень для існуючої інфраструктури і зі значними перспективними перевагами для суспільства.

Промислові райони використовують ці механізми як засіб для фінансування необхідних інфраструктурних об'єктів, як місцевого, так і регіонального значення. Після затвердження планів по реалізації транспортно-логістичних проектів проводяться переговори з розробниками про створення соціально-значущих об'єктів, а саме: парків, громадських центрів, бібліотек, доступного житла і т.і. Одним з основних інструментів в плануванні є переговори, які залишаються центральним засобом для реалізації значущих суспільних активів при розвитку інфраструктури, в тому числі і підземного будівництва, промислових регіонів. Тісний зв'язок з органами місцевого самоврядування при плануванні розвитку регіону визначає важливість інструменту бонусів, який все частіше впроваджується в рамках більш

Read-only

масштабного планування реорганізації міст, а також участь в переговорах з розробниками проектів і подальших можливостей для інвестицій. Переговори між розробниками і плановиками залишаються нормою в плануванні, при цьому їх функціональна ефективність у відношенні з місцевим самоврядуванням обґрунтовується при плануванні. З одного боку, існує розширення повноважень і дотримання інтересів розробника, таких як вигода від планування, тим самим, визначається велика роль планувальників в якості учасників переговорів. З іншого боку, існують труднощі в оцінці їх ролі і обґрунтованості в рамках більш широких процесів планування, в тому числі, що пов'язані зі значною кількістю суб'єктів, які залучені до фактичних переговорів. Регіони використовують переговори як інструмент планування з метою спонукати ринок, будувати сучасну транспортно-логістичну інфраструктуру для забезпечення ефективності рішень місцевого управління і економічного зростання. При цьому виконання вимог місцевої влади приводять до складних наслідків через специфічний для проектів характер переговорів. Сучасна реальність переговорів полягає в тому, що вони здійснюються професійними плановиками, які представляють інтереси регіональних влад, і виконуються в рамках визначення основних регулюючих параметрів процесу планування.

1.3.2 Аналіз маркетингових стратегій ведення переговорів при плануванні розвитку інфраструктурних геотехнічних проектів

Аналіз маркетингових стратегій ведення переговорів при плануванні розвитку логістичних систем промислових регіонів України

Планування розвитку, з урахуванням збереження ефективності економічної функціональності нафтогазової системи України включає в себе також і обов'язкове проведення переговорів зі стратегічними партнерами [22]. Аналіз стратегій ведення переговорів дозволяє виділити шість основних методів, а саме:

Read-only

1) зосередженість на інтересах, а не на позиціях;

2) сценарії «якщо-то» - і план резервного копіювання;

3) критерій креативності для досягнення своїх інтересів;

4) знання того, що важливо для сторін переговорів;

5) розуміння культурних елементів, тобто знання ділового етикету рідної країни вашого опонента для успішного проведення переговорів;

6) готовність своєї команди до проведення переговорів.

Сутність даних методів полягає в наступному:

- в контексті переговорів існують різні підходи, з одного боку посилена увага на досягнення інтересів компанії, з іншого боку зосередження уваги на позиціях. При цьому головна мета - це інтерес в сприятливому кінцевому результаті, який приносить користь, при цьому, позиції відносяться до точки зору з конкретної проблеми. Таким чином, сторони переговорів мають різні позиції на поверхні, але переслідують досягнення одного спільного інтересу. Знання цього, призводить до організації переговорів з досягненням обопільного успіху;

- при веденні переговорів важливо мати різні сценарії і альтернативи. Наявність варіантів допомагає пом'якшити необґрунтовані страхи, що пов'язані з переговорами з уточненням основних пріоритетів;

- аналіз досліджень в області проведення переговорів показує цінність творчого підходу в створенні унікальних альтернативних рішень і можливостей затвердження порядку денного. Порядок денний у вигляді докладного списку зі строгими темами, такими як, бюджет і персонал призводить до фокусування на позиціях, а не на інтересах. При цьому увагу вимагає виконання поставлених цілей і вирішення виниклих проблем, що в свою чергу, призводить до досягнення інтересів сторін переговорів;

- розуміння пріоритетів сторін переговорів виявляє ті основні інтереси, до яких прагнуть переговірники. При цьому відбувається узгодження інтересів зацікавлених сторін і визначення взаємовигідних результатів;

- майданчик переговорів створюється на сцені для позитивного і активного обговорення з дотриманням норм поведінки учасників обговорення. При цьому,

Read-only

вивчаючи різні культури, слід звернути увагу на основні фактори ділового етикету, а саме: фізичні сигнали, пунктуальність, безмовність і т.і. Знання того, як кожна культура відноситься до своєчасності, допоможе планувати і підтримувати ефективні переговори;

- при підготовці до переговорів необхідно виконати ряд основних заходів, які допоможуть підготувати свою сторону для проведення обговорень. До них відносяться: прозорість цілей і інтересів своєї сторони, інформованість всіх учасників переговорів, обізнаність культурного і поведінкового контексту та ін.

Поряд з методами проведення переговорів для оцінки ефективності в досягненні інтересів сторін використовують моделі тестування, які засновані на результатах анкетування учасників обговорень [23]. Як приклад, розглянемо модель анкетування респондентів, які здійснили велику угоду в рамках поточної частини своєї роботи, де вони були єдиним парламентером або вели переговори від імені своїх фірм. Такий вибір обумовлений тим, що тільки коли доларовий обсяг контракту високий, тоді покупці та продавці можуть дозволити собі витратити багато часу і зусиль на переговори з метою досягнення і захисту інтересів своєї корпорації.

Анкетований запитальник включає в себе чотири розсилки: (1) лист, в якому внесено дослідження з повідомленням «відповідна листівка», (2) первісна розсилка запитальника з доданим супровідним листом, (3) нагадування і (4) друга розсилка запитальника початковим респондентам. Після обробки отриманих даних розробляється шкала і проводяться попередні випробування для підтвердження узгодженості обраної моделі.

Для кожної з адекватної областей переговорів обирається конструкція моделі зі шкалою, яку було розроблено і яка включала кілька елементів. Відповідно визначення чутливості до матеріальних витрат вимірюється як характеристика фірми-покупця, кооперативна орієнтація – як ознака покупця, яка пов'язана з постачальниками в цілому, а інші конструкції оцінюються щодо основної покупки. Статистичний аналіз отриманих даних включає аналіз дослідницьких факторів, а також розрахунок коштів, дисперсій, кореляційних матриць, скоригованих

Read-only

кореляцій між точками і коефіцієнтами моделі [24, 25].

Аналіз даних відповідно до обраної моделі показав, що заходи при веденні агресивних переговорів і готовності кожної зі сторін переговорів включають два виміри. Обробка результатів агресивних переговорів показала адекватність двох вимірювань, перше з яких є поняття «маніпулювання сприйняттям конкуренції», а друге - «жорстка тактика». Елементи підготовленості до проведення переговорів розділені на набори пов'язані з «інформацією, що має відношення до переговорів», і другі з пропозицією «мати формальний план переговорів», а також двома основними компонентами концепції готовності, які спочатку були обґрунтовані для прийняття рішення з урахуванням сталого розвитку і економічної ефективності нафтогазового сектора нашої країни.

1.3.3 Деякі аспекти удосконалення правової охорони інтелектуальної власності в Україні при впровадженні інноваційних розробок в систему управління логістикою промислових підприємств

Одним із вихідних завдань інноваційного розвитку України у сфері науково-дослідної діяльності є її інтеграція в Європейський дослідницький простір, чому сприяє активна співпраця з Європейським Союзом. 1 вересня 2017 року набула чинності Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, що обумовило, серед інших, інтеграцію України до європейського економічного простору, посилення її інноваційної спрямованості, стрімкого інноваційного розвитку, підвищення рівня її конкурентоздатності. Одним з пріоритетних напрямів Угоди про асоціацію є наближення законодавства України до норм і стандартів Європейського Союзу, що зумовлює переоцінку досвіду і знань, які пов’язані з комерціалізацією інновацій на світовому рівні, та вимагає застосування нових підходів до врегулювання їх на законодавчому рівні. Адже науково-технічний потенціал є базою для глобалізації інноваційної сфери і потребує належного правового врегулювання.

Такий шлях вимагає сьогодні також й відповідних дій, які б належним

Read-only

чином дозволили сформувати і створити необхідну правову базу для подальшого розвитку і вдосконалення відносин у сфері інтелектуальної власності. Основним напрямом охорони у цій сфері має бути забезпечення реалізації законних прав та інтересів громадян [26].

Система правової охорони інтелектуальної власності є достатньо розгалуженою і реалізується на відповідних рівнях – міжнародному і національному. Україна є учасницею багатьох міжнародних угод, конвенцій і договорів, які діють у цій сфері, де існують спеціальні закони з врегулювання правовідносин у сфері правової охорони інтелектуальної власності. Окремі категорії правовідносин регулюються відповідними нормативно-правовими актами. Дієва і прогресивна система інтелектуальної власності є запорукою економічного, соціального і культурного зростання будь-якої країни. Від того, наскільки вагомим є інтелектуальний потенціал суспільства і рівень його культурного розвитку залежить і успіх вирішення, перш за все, правових питань. Разом з тим, система інтелектуальної власності на сучасному етапі потребує удосконалення [27].

Сьогодні в Україні, по-перше, система правової охорони інтелектуальної власності потребує удосконалення; по-друге, залишаючи без достатньої уваги аспект наявності належної правової охорони відповідних об’єктів інтелектуальної власності фактично незахищеним, залишаються права творців таких об’єктів; по-третє, держава несе величезні збитки від неконтрольованого витоку цінної наукової і науково-технічної інформації за кордон, що відбивається на економіці країни. Відсутність сьогодні правової охорони деяких об’єктів інтелектуальної власності призводить до істотного зниження конкурентоздатності країни у цій сфері. При цьому обрана країною інноваційна модель розвитку вимагає сьогодні рішучих дій з боку державних органів, які покликані всебічно сприяти виявленню, оформленню і охороні об’єктів інтелектуальної власності, розробці такої удосконаленої законодавчої бази у цій сфері, що б дозволила не тільки зберегти накопичений за роки незалежності країни науковий потенціал, а і також належним чином забезпечити охорону

Read-only

прав творців об’єктів інтелектуальної власності [27].

Необхідно зазначити, що питання інновацій у всіх сферах науково-технічної діяльності, і у тому числі у сфері інтелектуальної власності, незважаючи на прагнення уряду щодо їх впровадження, на жаль так і залишилися недостатньо вивченими. Вітчизняні наукові розробки сьогодні залишаються неналежно захищеними, що, безумовно, не найкращим чином відображається на економіці країни.

Напрацьований за роки незалежності України нормативно-правовий досвід у сфері інтелектуальної власності у вигляді профільних законів, який надавав відповідні можливості для подальшого розвитку, сьогодні не виконує належного стимулюючого розвитку з урахуванням внесення змін і призупинення чинних норм законів. На сьогодні знижається попит і на прикладні розробки. Він є не високим, оскільки їх впровадження і подальша реалізація вимагають існування чіткої і дієвої нормативно-правової бази у сфері інтелектуальної власності. Певні утруднення існують також і у сфері венчурної діяльності, яка не є прозорою і чіткою системою для залучення науково-технічних розробок приватних підприємств до сфери інтелектуальної власності [27]. Численні об’єкти інтелектуальної власності, які створюються на таких підприємствах, наприклад раціоналізаторські пропозиції, залишаються поза увагою законодавця [28].

Разом з тим, наша країна, за даними фахівців, входить до вісімки країн світу, спроможних забезпечити повний цикл проектування і виробництва космічної техніки. До п’ятірки країн світу, спроможних забезпечити повний цикл виробництва броньованих машин та до десятки найбільших суднобудівних країн світу. Вже в середині 2013 року Україна увійшла до першої десятки країн Європи за кількістю інтернет-користувачів, доступ до Всесвітньої павутини мають до 15 млн. українців. Такий рівень інформатизації дозволив створити Українську національну GRID-інфраструктуру, яка інтегрована із європейською і активно працює над вирішенням надскладних завдань сучасної фізики, хімії та біології [27].

Read-only

Інноваційний шлях розвитку України на сучасному етапі має включати в себе не тільки успішне функціонування всіх складових економіки, але і також, серед інших, охоронне і законодавче закріплення на державному рівні усіх об'єктів інтелектуальної власності та їх подальшу комерціалізацію. Саме це є ключовим чинником для формування і функціонування наукового потенціалу, створення і охорони численних об'єктів інтелектуальної власності і, внаслідок цього, високої конкурентоздатності країни. Удосконалення процедури охорони результатів творчої діяльності дасть можливість зберегти вітчизняний науковий потенціал у власній країні і збагатити її новими науковими досягненнями [29, 30].

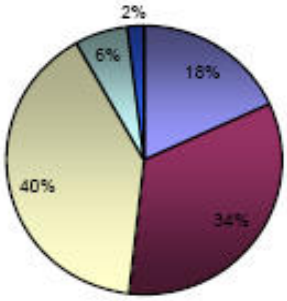
1.3.4 Аналіз і обґрунтування сучасних систем прийняття рішень щодо удосконалення технологій переробки мінерального сировини

Згідно з прогнозами, світове споживання енергоресурсів зросте з 2015 по 2030 рік на 50 %. Загальний попит на енергію в країнах, що не входять в Організацію економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), збільшиться на 85 %, а в країнах, що входять в цю організацію, – на 19 % [31].

Аналіз даних вказує на швидке збільшення споживання енергії між 2015 і 2030 роками. Висновки з доповіді «Міжнародні енергетичні перспективи» показують обґрунтованість і актуальність вирішення проблеми збільшення споживання енергії в усьому світі. Так як поточні підтверджені запаси енергії у вигляді копалин (нафта, газ, вугілля, а також атомна енергія) і поновлюваних видів палива (біомаса, гідроелектростанція і інших) не відповідають зростаючому споживанню, то виникає необхідність в забезпеченні адекватної пропозиції енергії в майбутньому (рис. 1.7) [32, 33].

Для забезпечення постійної, в майбутньому доступності, до енергії світова спільнота в енергетичній галузі постійно веде кампанію за ефективне і розумне використання наявної енергії.

Read-only



40% - газ; 34% - нафта; 18% - вугілля; 6% - електроенергія;
2% - відновлювальна енергія

Рисунок 1.7 - Джерела первинної енергії за видами палива

Наприклад, в програмному документі з енергетики 2015 року урядом Великобританії показана стратегія щодо вирішення проблем в забезпеченні безпечної, чистої і доступної енергії. В даному документі описується, як уповільнити зміни клімату шляхом скорочення викидів парникових газів («Огляд ринку енергії», 2016 рік). Енергоефективність визначається як один із засобів забезпечення того, щоб доступна мінеральна сировина у вигляді палива продовжувала задовольняти попит [32 – 35].

Етапи розробки родовищ мінеральної сировини включають в себе обґрунтований облік взаємовпливу функціонуючих гідротехнічних систем в технологіях переробки мінеральної сировини на екосистему поблизу підприємств гірничо-металургійного комплексу. Оцінка даного взаємовпливу має значення для розуміння стійкості розвитку гірничих підприємств, оскільки є одним з основних факторів забезпечення як підвищення економічної ефективності технологій переробки, так і соціальної складової життєзабезпечення промислових районів. Реалізація ефективного виробництва готового товарного концентрату на гірничо-металургійних комбінатах починається з забезпечення прийняття обґрунтованих управлінських рішень на всіх основних його етапах, таких як: планування, проектування ланок технологічного ланцюга устаткування, транспортування сировини на збагачувальний переділ і відходів технологій переробки до хвостосховища.

Read-only

Підвищення економічної ефективності і розвиток соціальних показників при розробці родовищ мінеральної сировини за рахунок порушення екологічної обстановки, а саме: виснаження рівня і забруднення ґрунтових вод, погіршення якості води в річках і повітря, не є виправданням при реалізації необґрунтованих проектувальних рішень. Економічна ефективність технологій на підприємствах гірничого виробництва, а також оцінка стійкості і надійності експлуатації гідротехнічних систем, збагачувального обладнання і шламосховищ повинна бути виправдана раціональними екологічними показниками, а також збереженням навколишнього середовища.

У минулому керівники підприємств приймали рішення з урахуванням одного або двох чинників, не звертаючи уваги на інші, які вважалися малими та нехтувались при вирішенні виникаючих проблем. При цьому, відмінності в екологічних умовах (соціальні та економічні) були невеликими і нові явища виникали по черзі, а не одночасно.

В сьогоднішній час набір факторів змінився. Значне число проблем, або, можливо, основна їх частина, носить мультикритеріальний характер, тобто враховує одночасно кілька факторів. Зіткнувшись з такими проблемами, відповідальний за прийняття рішень повинен оцінити ряд стимулів, переваг і результатів, які є типовими для альтернативних рішень.

Прагнення до об'єктивно оптимального результату керівником підприємства, а також визнання суб'єктивності при виборі і прийнятті того чи іншого варіанту вирішення проблем, що виникають, визначає необхідність постійних оперативних досліджень в системах прийняття рішення. Проте, прийняття рішень, у тому числі мультикритеріальних, вимагає, щоб об'єктивний елемент постійно існував. Як правило, цей елемент включає в себе різні види обмежень, які забезпечуються через вплив на навколишнє середовище щодо можливих рішень (доступність ресурсів, екологічні обмеження, соціальні умови, тимчасові обмеження і тощо).

Підтримка систем прийняття рішень передбачає сприяння керівнику, який приймає рішення, в процесі вибору обґрунтованого варіанта стратегії

Read-only

розвитку гірничого підприємства, а саме:

• підтримка особи, що приймає рішення, при перевірці об'єктивного елемента, а точніше, в розумінні і оцінці поточного функціонального стану окремих технологічних ланок і підприємства в цілому, а також наслідків впливу на навколишнє середовище;

• розуміння мети і завдань керівником, який приймає рішення, при виявленні і ранжируванні пріоритетів з урахуванням невизначеності на попит і пропозицію на ринку готового концентрату, а також визначення результуючої переваги;

• створення життєздатних рішень, а точніше, створення списку готових до використання альтернатив;

• оцінка можливих варіантів з урахуванням переваг і обмежень для осіб, які приймають рішення;

• вивчення і обґрунтованість результатів прийняття рішень;

• вибір оптимального варіанта, з точки зору осіб, що приймають рішення.

Беручи до уваги багатокритеріальність вихідних параметрів, які характеризують технологічні процеси при переробці мінеральної сировини для моделювання в системах прийняття рішень, вихідні критерії розрізняють за двома типами: цілями й атрибутами. Відповідно до принципів мультикритеріальності проблеми прийняття рішень поділяють на дві групи:

1) багатоцільове прийняття рішень;

2) багатоатрібутне прийняття рішень.

Основна відмінність щодо цих двох груп полягає в тому, що багатоцільове прийняття рішень фокусується на безперервних просторах рішень, а багатоатрібутне - концентрується на проблемах дискретних просторів прийняття рішень.

Критерії являють собою основу для вибору альтернативних рішень або іншими словами основні принципи для оцінки придатності того або іншого рішення.

Цілі відображають прагнення групи експертів, які приймають рішення і визначають напрямок, на якому керівництво має намір зосередитися з метою

Read-only

досягнення удосконалення технологій переробки мінеральної сировини, а також стійкого функціонування гірничо-металургійного комбінату в найближчій перспективі. Отже, багатоцільові проблеми прийняття рішень включають в себе розробку альтернатив, які оптимізують або, як мінімум, виконують завдання осіб, які приймають рішення.

Завдання - це удосконалення процесів переробки корисних копалин, переважно для осіб, які приймають рішення, та сформульовані щодо явних обставин в просторі та часі. В той час як цілі забезпечують бажаний напрямок, то завдання - кращий (або цільовий) рівень для їх реалізації.

Атрибути – це ознаки або технічні характеристики альтернатив. Невизначеність вихідних даних при функціонуванні технологічного обладнання впливає на моделювання в системах прийняття рішень, які включають в себе вибір «оптимальної» альтернативи з попередньо обраних, що відносяться за їх атрибутами. Через ці атрибути визначається багатооб'єктивне прийняття рішень, яке характерне для безперервного типу мультикритеріального прийняття рішень. Головними особливостями атрибутів є те, що особи, які приймають рішення, повинні реалізовувати безліч цілей, незважаючи на те, що дані цілі не є сумарними і стикаються одна з одною. Багатоцільова конфігурація прийняття рішень включає вектор факторів прийняття рішень, цільові функції, які визначають відповідні цілі і обмеження. Особи, які приймають рішення, прагнуть на практиці максимально використовувати або обмежити цільові функції.

Багатоатрибутне прийняття рішень визначається характеристикою, яка пов'язана з прийняттям оптимального рішення (точніше оцінки вибору ранжирування і / або упорядкування рангу) щодо представлених варіантів вибору, які є типовими для декількох часто суперечливих атрибутів. Основна унікальна особливість, яка втілена в проблемах прийняття рішень з декількома атрибутами, полягає в тому, що зазвичай існує невелика кількість попередньо обраних альтернатив, які пов'язані з метою реалізації атрибутів. Залежно від атрибутів остаточне рішення приймається керівництвом гірничого підприємства.

Read-only

Слід визнати необхідність використання результатів систем прийняття рішень на основі як багатоцільових, так і багатоатрибутних моделей з метою удосконалення технологій переробки мінеральної сировини і, як наслідок, стійкого функціонування гірничо-металургійного комплексу в цілому, що дозволить більш ефективно використовувати родовища корисних копалин.

1.4 Аналіз елементів логістики в гідротехнічних системах при функціонуванні підприємств гірничої галузі

Аналіз технологічних схем гірничо-збагачувальних (ГЗК) та гірничо-металургійних комбінатів (ГМК) дозволяє зробити наступні висновки відносно їх структурних елементів, параметрів та режимів роботи [37 - 52]:

1) обов'язковими елементами виробничого процесу є: внутрішньо фабричний гідротранспорт, гідротранспорт відходів збагачення, система складування відходів збагачення, система освітлення зворотної води і система забезпечення надійності сховищ відходів, відділень водопостачання та зворотного водопостачання. Багато з цих елементів в якості складових включають не тільки трубопроводи, а й дамби, природні та штучні укоси, системи дренажу, водозниження та водовідведення;

2) напірний і самоплинний гідротранспорт служить сполучними ланками між найбільшими елементами технологічного ланцюга, а також для переміщення концентратів, промпродуктів і відходів переробки. Цей ланцюг починається з процесу утворення гідросумішей в кар'єрі або на збагачувальній фабриці (ЗФ), потім продовжується від однієї збагачувальної операції до іншої, відведенням і складуванням відходів збагачення з подальшим висвітленням зворотної води і подачею її у вузол утворення гідросумішей;

3) ефективність, надійність і рентабельність підприємства в цілому формуються всіма зазначеними елементами. Це може здійснюватися як на різних рівнях, коли надійність окремих елементів не залежать один від одного, так і з причини суттєвої залежності надійності одних елементів від надійності

Read-only

інших. У першому випадку, ефективність сепарації гідросуміші на ЗФ не залежить від режиму роботи гідротранспорту гірничої маси та обраної системи складування відходів. В цьому випадку ЗФ забезпечує надійність технології за показниками якості та обсягу переробки, для гідротранспорту - надійність за витратами, для системи складування - екологічну безпеку. У другому випадку, ефективність сепарації гідросуміші на ЗФ жорстко залежить від обсягів гірничої маси, яка поставляється, від обсягів відходів, що відводяться, а також від обсягу освітленої зворотної води. В цьому випадку порушення режиму роботи гідротранспортних систем може не привести до відмови за екологічними критеріями, проте не будуть забезпечені якість і обсяги товарної продукції. Або ж підприємство має в наявності розсипи і виробничі потужності, але не може нарощувати обсяги виробництва, так як нікуди складувати обсяг відходів збагачення, який значно збільшується;

4) світова тенденція розвитку технологій переробки мінеральної сировини, що сформувалася в кінці минулого століття спрямована на об'єднання кількох процесів в одному технологічному елементі. Так, при гідротранспорті гірничої маси від місць видобутку до місць переробки з урахуванням вибору концентрації гідросуміші, діаметра трубопроводу і типів насосів, устаткуванням забезпечується не тільки заданий вантажопотік твердих частинок, але і необхідна в подальшому для їх збагачення об'ємна витрата води, а також досягається дезінтеграція і промивка матеріалу, що транспортується. Так, сховища відходів, крім функції акумулювання твердих частинок, все більше виконують функції освітлювачів і сховищ зворотної води, а в деяких випадках і деякого сепаратора, так як матеріал стратифіцірується при складуванні;

5) висока ступінь концентрації виробництва і сучасні екологічні вимоги обмежують споживання водних і земельних ресурсів регіонів, де розташовуються основні ГЗК і ГМК. Це робить актуальними питання модернізації систем складування відходів і освітлення зворотної води, які спрямовані на збереження існуючих обсягів і земельних відводів.

Все перераховане вище дозволяє виділити в існуючих технологіях

Read-only

переробки мінеральної сировини 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. З огляду на методи зведення і експлуатації таких систем, здебільшого запозичені з гідромеханізації відкритих гірничих робіт, технологій зведення дамб на річках і водосховищах, будемо називати такі системи гідротехнічними, оскільки основною їхньою складовою є гідротехнічна споруда, така як сховище відходів або водосховище [53, 54].

Таким чином, гідротехнічними системами технологій переробки мінеральної сировини називаються сукупності взаємопов'язаних елементів виробництва, що забезпечують процеси водопостачання, утворення гідросумішей, напірного і безнапірного гідротранспорту, складування відходів збагачення, освітлення зворотної води та акумулювання твердої і рідкої фаз відходів переробки (рис. 1.8). Гідротехнічні системи взаємодіють з технологіями видобутку та переробки мінеральної сировини, забезпечуючи першим подачу води і відведення вихідних розсипів, а другим - подачу води і вихідних розсипів з подальшим відведенням відходів збагачення (рис. 1.8).

Гідротехнічні системи складаються з сукупності елементів, які зручно розділити на вузли та гілки. У вузлах гідротехнічних систем здійснюється поділ потоків гідросумішей, води і твердої речовини, утворення гідросумішей, процеси сепарації гірничої маси і освітлення води, а також акумулювання твердих частинок і води. До вузлів гідротехнічних систем відносяться: ЗФ, сховище відходів (СВ) і кар'єр.

Read-only

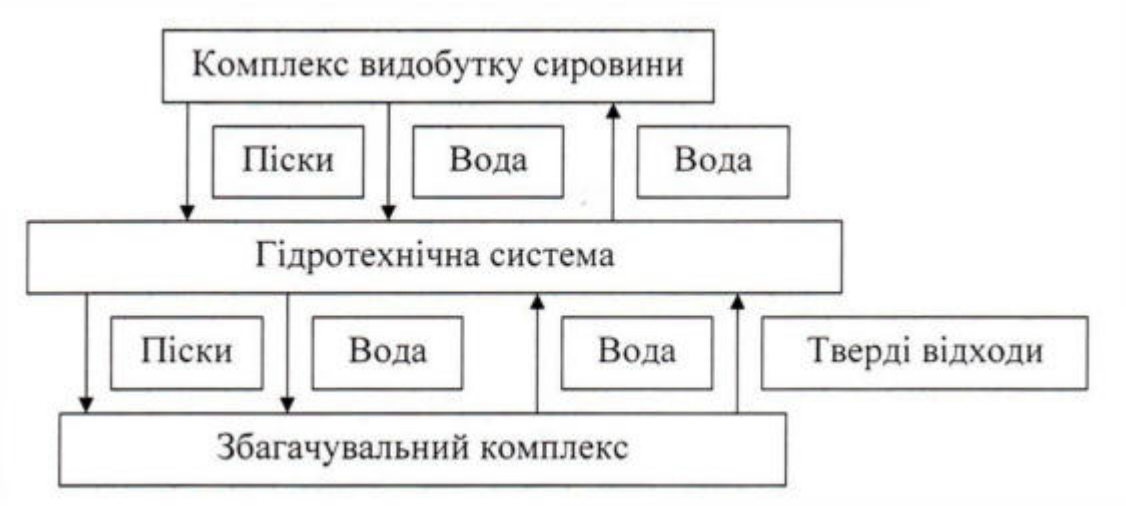


Рисунок 1.8 – Схема взаємодії гідротехнічних систем з іншими відділеннями виробництва

На ЗФ здійснюється поділ вихідної гірничої маси на продукти переробки і транспортування, а також відходи збагачення. В СВ здійснюється акумулювання твердої частини відходів збагачення, освітленої і не освітленої зворотної води. Видобуток вихідних пісків і приготування з них гідросуміші здійснюється в кар'єрі. Гілки гідротехнічних систем забезпечують переміщення гідросуміші, води і твердої речовини між вузлами. До гілок гідротехнічних систем відносяться – напірні та самопливні гідротранспортні установки, а також установки водопостачання.

Аналіз технологічних потоків на ЗФ України, дозволяє відокремити три основних типа ЗФ, як вузлів гідротехнічних систем (рис. 1.9 – 1.11) [37, 39, 55, 56, 57]: першого, другого та третього типу. ЗФ першого типу є найпростішими і характеризуються відсутністю зворотного водопостачання і засобів згущення гідросумішей (див. рис. 1.9).

Read-only

Рисунок 1.9 – Структура технологічних потоків для вузлів логістики першого типу

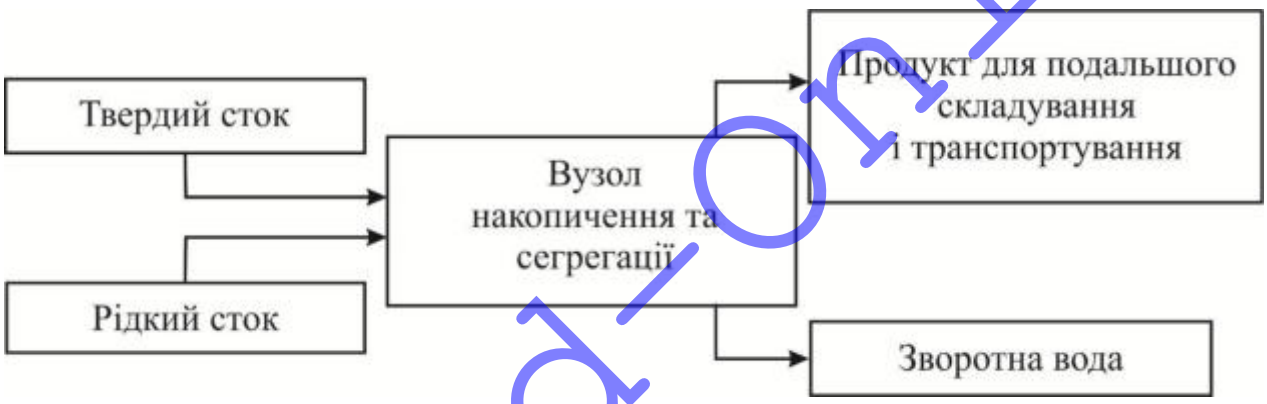


Рисунок 1.10 – Структура технологічних потоків для вузлів логістики другого типу

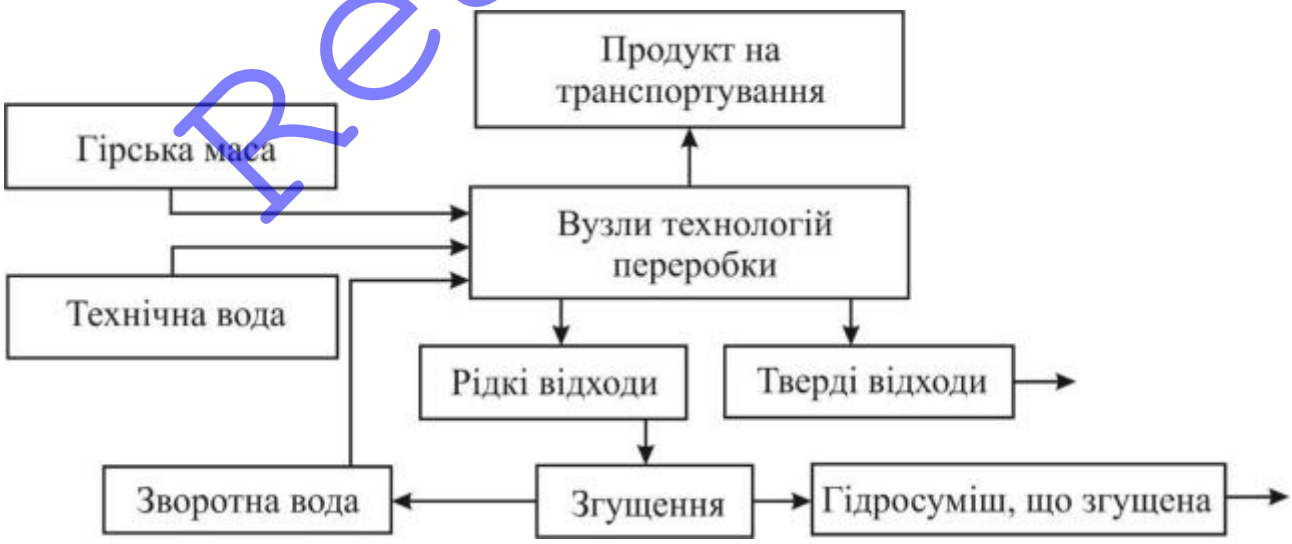


Рисунок 1.11 – Структура технологічних потоків для вузлів логістики третього типу

Read-only

ЗФ другого типу характеризуються поверненням з СВ частини рідкої фази, яка відводиться з відходів збагачення назад в збагачувальний процес (див. рис. 1.10). ЗФ третього типу відрізняються застосуванням технологій згущення гідросумішей перед відведенням в СВ, що дозволяє відразу ж повернути освітлену зворотну воду в процес збагачення без доставки її в СВ (див. рис. 1.11).

СВ, що експлуатуються на території України за структурою технологічних потоків твердого та рідкого стоку можна поділити на чотири типи (рис. 1.12 – 1.15) [38, 52, 53, 54, 56]. СВ першого типу характеризуються тільки потоками рідкого і твердого стоків, які надходять (див. рис. 1.12). Такі СВ служать виключно для акумуляції відходів збагачення. СВ другого типу, на відміну від СВ першого типу, припускають освітлення зворотної води з подальшим видаленням її з СВ (див. рис. 1.13). СВ третього типу припускають видобуток і відведення техногенних розсипів, але без освітлення зворотної води (див. рис. 1.14). СВ четвертого типу припускають як відведення освітленої зворотної води, так і відведення техногенних розсипів (див. рис. 1.15).

З точки зору гідротехнічних систем кар'єри, характерні для умов України, можна розділити на два типи, які відрізняються між собою наявністю або відсутністю дренажу ґрунтових вод у водосховище (див. рис. 1.11, 1.12) [37, 40 – 42, 59, 60]. У кар'єрах першого типу здійснюється відведення ґрунтових вод з місця ведення гірничих робіт у водосховище, з подальшою подачею їх в систему підготовки гідросумішей (див. рис. 1.16). У кар'єрах другого типу ґрунтові води не використовуються, а вода, яка необхідна для потреб підготовки гідросумішей і гідротранспорту береться з водосховища (див. рис. 1.17). При цьому водосховище кар'єра і водосховище, з якого задовольняються потреби ЗФ, можуть бути різними, а можуть бути і однією гідротехнічною спорудою. Це накладає відповідні обмеження на параметри потоків і кількість рівнянь розглянутих моделей. За цими ознаками розрізняють допустимі і критичні режими. Для напірного гідротранспорту критичні режими характеризуються випаданням твердої фази на дно потоку, а для безнапірного – зміною режиму течії зі спокійного на бурний.

Read-only

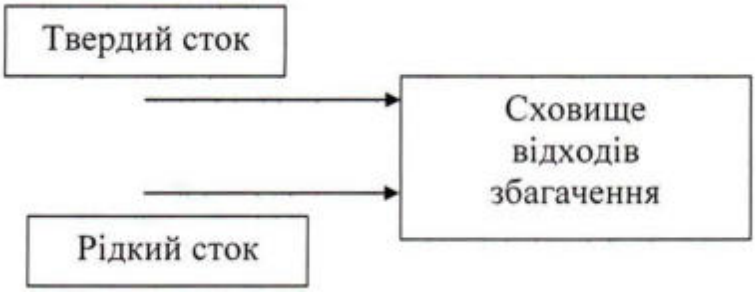


Рисунок 1.12 – Структура технологічних потоків для сховищ відходів першого типа

Рисунок 1.13 – Структура технологічних потоків для сховищ відходів другого типу

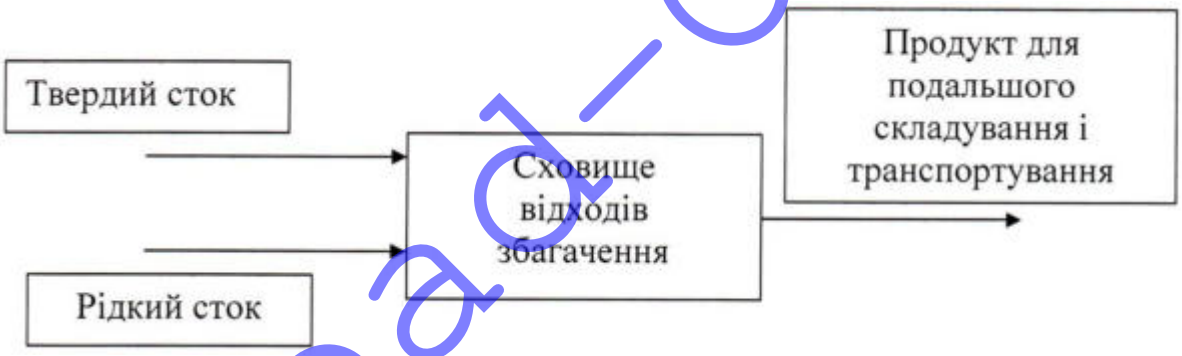


Рисунок 1.14 – Структура технологічних потоків для сховищ відходів третього типу

Рисунок 1.15 – Структура технологічних потоків для сховищ відходів четвертого типу

Read-only

Рисунок 1.16 – Структура технологічних потоків для кар’єрів першого типу

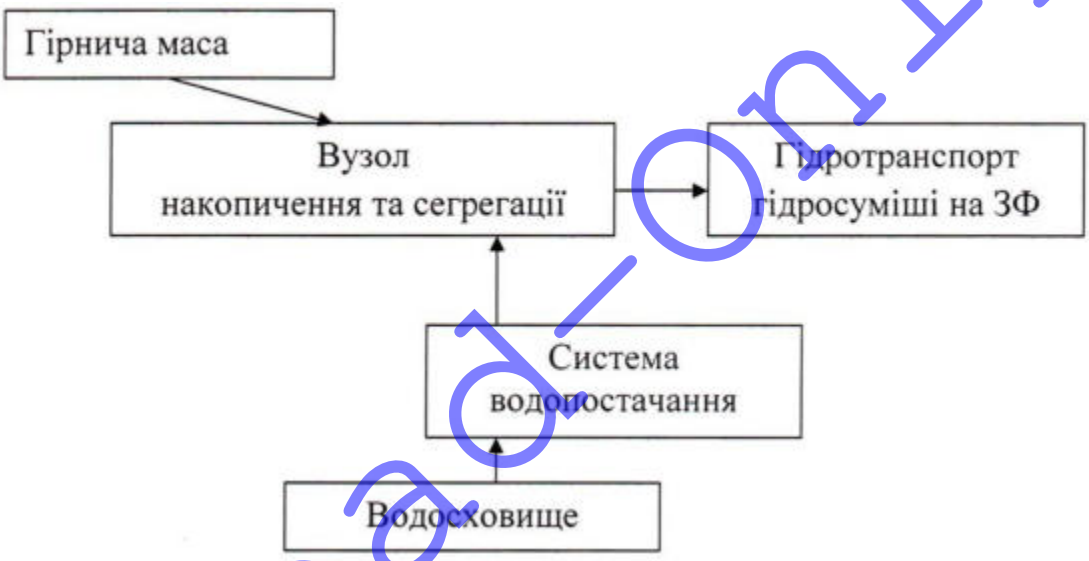


Рисунок 1.17 – Структура технологічних потоків для кар'єрів другого типу

Read-only

При цьому критичні режими вважаються неприпустимими в практиці експлуатації гідротехнічних систем, оскільки визначають граничні стани системи. За погодженням потоків між вузлами системи розрізняють узгоджені і неузгоджені режими. В узгоджених режимах витрати континуумів між вузлами системи відповідають допустимим інтервалам зміни і забезпечують безперервний процес функціонування всіх вузлів. У неузгоджених режимах роботи ряд вузлів періодично необхідно зупиняти, оскільки потоки, що відводяться від них, не встигають оброблятися вузлами гідротехнічної системи.

Елементи гідротехнічних систем характеризуються технологічними

параметрами. ЗФ, як елемент гідротехнічної системи, характеризується об'ємними секундними витратами води і твердого матеріалу, які надходять на збагачувальне виробництво і відводяться з нього. Іноді ЗФ характеризується об'ємною витратою і концентрацією пульп, що подаються на ЗФ і відводяться в СВ. Якщо на ЗФ використовуються технології згущення пульпи, що відводиться, то додатково ЗФ характеризується ступенем згущення. СВ, як елемент гідротехнічної системи, характеризується секундними витратами твердого та рідкого стоків, що надходять і відбираються з нього, а також висотами дзеркала води і рівня дна. У деяких випадках розраховують обсяг складованої твердої речовини і неосвітленої води. Кар'єр, як елемент гідротехнічної системи, характеризується секундною витратою пульпи і вантажопотоком, що подаються на ЗФ, витратою води, що відбирається з водосховища, а також тривалістю безперервної роботи одного вузлу пульпо утворення при максимальному заповненні складу вихідних пісків. Режими роботи гілок гідротехнічних систем визначаються як режими роботи відповідних установок трубопровідного транспорту [37, 45, 53, 56, 57, 61-63]. При цьому раціональними визнаються безкавітаційні режими течії без утворення шару частинок твердої фази на дні, що забезпечують регламентовані значення витрат [37, 47, 49, 65-68].

1.5 Дослідження сучасних способів забезпечення допустимих режимів функціонування технологій гірничо-металургійного виробництва та способів управління параметрами процесів переробки мінеральної сировини

1.5.1 Дослідження фільтраційних процесів при веденні гірничих робіт

При роботі вакуум-фільтру вода просочується через шар матеріалу на стрічці під дією різниці атмосферного тиску і розрідження, що створюється за рахунок видалення повітря з ємності під стрічкою. Основними параметрами стрічкового вакуум-фільтра є розрідження під стрічкою, довжина, ширина і швидкість руху стрічки, що вибирають в залежності від обсягу і вологості

Read-only

матеріалу, який подається, з розрахунком повного зневоднення шару до кінця стрічки [69 – 75]. Порушення цієї умови може призвести до підвищення собівартості переробки мінеральної сировини [38, 44, 76]. У випадку, коли гірнича маса не буде повністю зневоднена на вакуум-фільтрі, тобто межа вільної поверхні не досягне стрічки, то на сушку піде волога, що викличе істотне підвищення споживання газу або якщо гірнича маса буде повністю зневоднена до досягнення кінця стрічки, тобто межа вільної поверхні досягне стрічки не в кінцевому перетині, то наскрізь шар гірничої маси в простір під стрічкою почне надходити повітря, яке знизить розрядження і процес зневоднення буде порушено.

У загальному випадку ємність під стрічкою вакуум-фільтру являє собою обсяг, з якого щосекунди відбирається певна витрата повітря, а інша витрата повітря надходить до нього (див. рис. 1.18). Різниця цих потоків і визначає розрядження під стрічкою вакуум-фільтру [38, 44, 76, 77].

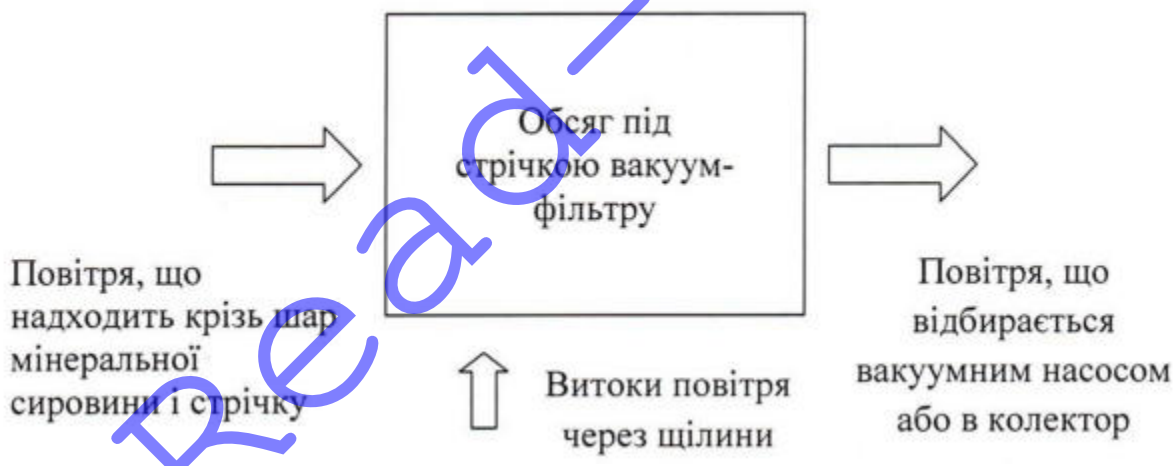


Рисунок 1.18 – Схема потоків повітря, які визначають тиск під стрічкою вакуум-фільтру

Дослідженню процесу зневоднення гірничої маси на стрічкових вакуум-фільтрах присвячено багато робіт [38, 44, 69 – 77]. Однак, всі вони розглядають стаціонарний випадок, коли розрядження під стрічкою в процесі зневоднення не змінюється. Для оцінки стабільності таких процесів при зміні проникності шару

Read-only

зневоднюваного концентрату потрібно досліджувати процес вирівнювання тиску в ємності під стрічкою вакуум-фільтра.

1.5.2 Аналіз процесів течії рідини тонким шаром та гідросуміші по внутрішній поверхні технологічного устаткування

При побудові моделі течії однорідної рідини в тонкому шарі будемо використовувати такі припущення [40, 78-82]:

– швидкість по товщині шару не змінюється;

– наявність сили тертя між рідиною і днищем враховується за допомогою формули Павловського;

– рівняння руху шару рідини уздовж каналу, що звужується, записують в сферичної системі координат так, щоб вісь 0*z* сферичної системи координат поєднувалася з віссю симетрії каналу і направлена вертикально вгору;

– рідина тече по внутрішній поверхні конуса досить тонким шаром;

– вертикальною складовою швидкості в шарі нехтуємо;

– для шару пульпи справедливі положення теорії «не глибокої води»;

– розглядається віссесиметрична течія.

З використанням цих припущень отримано відомі рівняння одношарової течії рідини [40, 78-82], які, в разі стаціонарної течії, мають вигляд:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\cos\beta - \dfrac{\tau_0}{\rho g h} - \dfrac{V_x^2}{g(L-x)}}{\sin\beta - \dfrac{V_x^2}{gh}}, \tag{1.1}$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = \frac{-\dfrac{\tau_0}{\rho h g} + \cos\beta - \dfrac{h}{L-x}\sin\beta}{\dfrac{V_x^2}{gh} - \sin\beta}\frac{V_x}{h}. \tag{1.2}$$

Read-only

де h – глибина потоку, м;

V_x – швидкість потоку вздовж утворюючої поверхні сепаратора, м/с;

t – час, с;

x – координата поточного перетину потоку;

L – повна довжина утворюючої поверхні сепаратору;

τ_0 – напруга тертя на внутрішній поверхні конуса;

β – кут напіврозхилу каналу, що звужується.

Такий запис розглянутих рівнянь дозволяє визначити критичну глибину потоку, або відповідну їй швидкість потоку [38, 78, 83, 84], які як видно з (1.1) та (1.2), не залежать від відбору пульпи через поверхню сепаратору:

$$h_{kp} = \frac{V_x^2}{g \sin\beta}; \tag{1.3}$$

$$V_x^{(kp)} = \sqrt{gh \sin\beta}, \tag{1.4}$$

де h_{kp} – критична глибина потоку, м [38, 78, 83, 84];

$V_x^{(kp)}$ – швидкість, відповідна критичній глибині потоку.

Величина h_{kp} відповідає переходу від спокійного до бурхливого режиму течії, і не характеризує процес сепарації частинок. Навпаки, в збагачувальних апаратах типу конусних або струменевих сепараторів, таких режимів намагаються уникати [38, 40, 78 – 81, 85]. Початок процесу сепарації в цьому випадку може характеризуватися критичною швидкістю гідротранспортування [37, 44, 45, 57, 62, 63, 86 – 90] або ж швидкістю потоку, яка розмиває [43, 54, 83, 84, 91 – 94]. Величини обох цих швидкостей визначаються концентрацією, гідравлічною крупністю, густиною і діаметром частинок твердої фази, що не враховує величина h_{kp}.

Read-only

Всі відомі формули для розрахунку критичної швидкості гідротранспортування визначають швидкість, при якій починається масове випадання частинок з потоку для всієї сукупності частинок [37, 44, 45, 57, 62, 63]. Тобто вони не дозволяють визначити швидкість, при якій частинки одного класу випадуть в осад, а всі інші частинки будуть залишатися зваженими. Це ж відноситься і до відомих формул для розрахунку нерозмиваючих швидкостей безнапірних потоків [43, 83, 84, 91-94]. Таким чином, критична швидкість гідротранспортування та нерозмиваюча швидкість не дозволяють визначити точку початку сепарації, що розділяє одношаровий потік від двошарового. Оскільки поділ однорідного потоку пульпи на двошаровий протягом рідин різної густини відбувається у вертикальній площині, поперек потоку, логічно припустити, що визначальним фактором у цьому процесі є здатність потоку зважувати частки різного типу на ту чи іншу висоту. У ряді робіт така здатність характеризується межею зважування частинок [37, 94 - 97]. Очевидно, що розшарування однорідного потоку пульпи на два шари почнеться в тому перетині потоку, в якому межа зважування частинок розглянутого класу стані нижче деякого значення. Після цього перетину ці частинки почнуть формувати нижній висококонцентрований шар, оскільки потік не здатний підняти їх вище.

Відомі методи розрахунку межі зважування для річок, коли наноси представлені однорідними частинками [43, 97, 98], і напірних течій в трубопроводах, коли частинки твердої фази є полідисперсними і різногустиними [37, 94 – 96]. Для потоків по внутрішній поверхні конуса методи розрахунку межі зважування розглядаються тут вперше.

Розглянемо рівняння руху одиночної частинки в безнапірному потоці рідини, що тече по каналу, що звужується. Виберемо наступну систему координат. Ось OX спрямуємо вздовж потоку, і будемо називати цей напрямок поздовжнім, вісь OY спрямуємо перпендикулярно йому, і будемо називати цей напрямок поперечним. Подібна задача розглядалась авторами [99 – 102], при цьому, як правило, враховувалися сили, що діють на частинку: сила Бассе, Магнуса, Сафмена, Архімеда, сили інерційної природи, що пов'язані з наявністю

Read-only

приєднаних мас, а також сила аеродинамічного опору і сила тяжіння. Сила Бассе враховує відмінності між прискореннями рідини і частинок, сила Магнуса виникає за рахунок обертання частинки [99, 100, 102], сила Сафмена виникає за рахунок нерівномірного обтікання частинки [99 - 102]. Підсумовуючи всі ці сили для поперечного руху частинки отримуємо наступні рівняння [101 – 103]

$$\frac{\pi}{6}d^3\left(\rho_p+0.5\rho_f\right)\frac{dv_p}{dt}+3\pi\mu dv_p+\frac{3}{2}d^2\sqrt{\pi\rho_f\mu}\int_0^t\frac{dv_p}{dt}\frac{dx}{\sqrt{t-x}}= \\ =\frac{\pi}{4}d^3\rho_f\frac{dv_f}{dt}+3\pi\mu dv_f+\frac{3}{2}d^2\sqrt{\pi\rho_f\mu}\int_0^t\frac{dv_f}{dt}\frac{dx}{\sqrt{t-x}}+F_\Sigma, \quad (1.5)$$

$$F_\Sigma=C_m d^3\rho_f\left(u_f-u_p\right)\Omega+1{,}61\cdot d^2\rho_f\left(u_f-u_p\right)\sqrt{\nu\frac{du_f}{dy}}-\frac{\pi}{4}d^3g\left(\rho_p\sin\alpha-\rho_f\right), \quad (1.6)$$

де d – діаметр частинки, м;

ρ_p – густина твердих частинок, кг/м^3;

ρ_f – густина рідини, кг/м^3;

v_p – поперечна швидкість частинки, м/с;

μ – динамічна в'язкість рідини, кг/с/м;

v_f – поперечна швидкість рідини, м/с;

F_Σ – сумарна сила, яка не залежить від параметрів поперечного руху;

C_m – коефіцієнт сили Магнуса [99 – 101];

u_f – осьова швидкість рідини, м/с;

u_p – осьова швидкість частинки, м/с;

Ω – кутова швидкість обертання частинки, яка встановилася, с$^{-1}$;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, м^2/с;

y – поточна координата від поверхні сепаратору, м.

З аналізу рівнянь (1.5) - (1.6) видно, що параметри поздовжного руху

Read-only

частинки впливають на її поперечний рух. Величина сили Сафмена залежить як від різниці швидкостей поздовжнього руху рідини і частинки, так званого ковзання швидкості, так і від градієнта поздовжньої швидкості рідини в поперечному напрямку. Величина і напрямок сили Магнуса залежать від співвідношення між поздовжніми компонентами швидкостей рідини і частинки, однак, в цьому випадку вплив поздовжного руху залежить ще і від швидкості обертання частинки. Припустимо, що пульсація рідини діє весь час від моменту $t = -\infty$ до заданого t, а поперечна пульсація рідини описується залежністю виду [101, 102, 104, 105]:

$$v_f = V_o \sin \omega t; \tag{1.7}$$

$$V_o = \chi f(\bar{y}) n' \frac{gq}{h^{0,5+m}}; \tag{1.8}$$

$$\omega = \frac{n'}{0,05} \frac{gq}{h^{1,5+m}}; \tag{1.9}$$

$$\chi = \chi_o + 0,05\sqrt{\frac{S}{Ar}}; \tag{1.10}$$

$$Ar = \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f}; \tag{1.11}$$

$$\bar{y} = \frac{y}{h_0}, \tag{1.12}$$

де q – витрата гідросуміші, м^2/с;

V_o – максимальне значення пульсацій поперечної швидкості, м/с;

ω – Лагранжева частота турбулентних пульсацій, с$^{-1}$ [102, 104];

Read-only

$f(\bar{y})$ – безрозмірна функція, яка описує розподіл усереднених пульсацій по висоті потоку [37, 86, 87, 94, 106, 107];

χ_o – коефіцієнт пропорційності для чистої води, за даними різних авторів змінюється в діапазоні від 1,05 до 2,1 [44, 45, 63, 62, 87, 90, 107];

S – об'ємна концентрація гідросуміші, д. од.;

Ar – параметр Архімеда;

$\bar{y}$ – безрозмірна поточна відстань від дна потоку;

h_0 – глибина потоку в початковому перерізі каналу, м.

З урахуванням прийнятих припущень інтеграли, що присутні в рівнянні руху (1.5), згідно з [102], обчислюються як інтеграли Френеля, і тоді (1.5) зводитися до інтегрально-диференціальних рівнянь. Для відповідного однорідного рівняння існує тривіальний та періодичний розв’язок [37, 94 – 96]:

$$v_p = 0, \tag{1.13}$$

$$v_p = a \sin \omega t + b \cos \omega t. \tag{1.14}$$

В даному випадку [101 – 104] розв’язок однорідного рівняння може бути рівним нулю. Таким чином, якщо збурення діють нескінченно довго, поставити початкові умови не можливо, так що спільний розв’язок однорідного рівняння (1.5) дорівнює нулю. Отже, для неоднорідного рівняння (1.5) існує тільки частковий розв'язок, який необхідно шукати у вигляді аналогічному (1.14). Після деяких перетворень шуканий частий розв'язок неоднорідного рівняння (1.14) можна представити у вигляді

$$v_p = V_o \sigma' \sin(\omega t - \varphi_o) + \frac{3}{2} w_S \Phi; \tag{1.15}$$

Read-Only

$$\sigma' = \sqrt{\frac{10\theta^2 + 9 + \sqrt{2\theta}(9 + 3\theta)}{\left(a^2 + 9\right)\theta^2 + 9 + \sqrt{2\theta}(9 + 3a\theta)}}; \tag{1.16}$$

$$\varphi_o = arctg\left[\frac{3(a-1)\theta\left(\sqrt{2} + \sqrt{\theta}\right)}{\sqrt{2}a\theta^2 + 9\sqrt{2}(1+\theta) + 6\sqrt{\theta}(3 + a\theta)}\right]; \tag{1.17}$$

$$w_S = \frac{gd^2}{\nu}\frac{Ar'}{18}; \tag{1.18}$$

$$\Phi = \frac{4}{3}\frac{u_f - u_p}{Ar'}\frac{\Omega}{g} + \frac{4}{1{,}95}\frac{u_f - u_p}{Ar'}\sqrt{\frac{\nu}{g^2 d^2}\frac{du_f}{dy}} - 1; \tag{1.19}$$

$$\theta = 5\,\mathrm{Re}\,\delta^2\frac{n' g h_0^{0{,}5-m}}{\bar{y}_0^{1{,}5+m}}; \tag{1.20}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{q}{\nu}; \tag{1.21}$$

$$\bar{y}_0 = \frac{h}{h_0}; \tag{1.22}$$

$$\delta = \frac{d}{h_0}; \tag{1.23}$$

$$a = 1 + \frac{2}{3}Ar; \tag{1.24}$$

$$Ar = \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f}, \tag{1.25}$$

Read-only

$$Ar' = \frac{\rho_p}{\rho_f}\sin\beta - 1, \qquad (1.26)$$

де σ' – зниження величини поперечної пульсації твердих частинок, в порівнянні з пульсацією рідини;

φ_o – фазовий кут відставання твердих частинок, рад.;

w_S – ефективна гідравлічна крупність твердих частинок, м/с;

Φ – здатність потоку до зважування;

θ – параметр Струхаля;

Re – параметр Рейнольдса;

δ – відносний діаметр частинок твердої фази;

$\bar{y}_0$ – відносна товщина шару гідросуміші;

Ar' – ефективний параметр Архімеду.

Аналіз залежності (1.15) показує, що поперечна швидкість частинки складається з двох доданків, один із яких не змінюється з плином часу, а другий – описує коливання по періодичному закону близько стаціонарного значення. Таким чином, зростання або спадання середньої величини v_p визначається знаком і величиною Φ, яка фактично є рівнодіючою сил, що діють на частинку з боку рідини. Для оцінки знаку величини Φ необхідно знати закон розподілу швидкості рідини по висоті потоку. Оскільки величина Φ характеризує здатність до зважування потоку на конусному сепараторі, то в областях, де з потоку будуть сепаруватись частинки, ця величина буде менше нуля. Висота, на якій величина Φ відповідає межі зважування частинок, тобто висота, яка визначається від дна потоку, вище якої частинки даної густини і крупності не можуть бути зважені. Вочевидь, що сепарація частинок класу, який розглядається, з потоку гідросуміші почнеться в тому перетині потоку, в якому межа зважування цих частинок, перестане бути більшою висоти шару щільної упаковки [37, 95, 96]. По довжині потоку ця точка відповідає точці початку сепарації, яка розділяє потік гідросуміші з частинками даної густини і крупності на дві частини. Вище цієї точки потік гідросуміші може розглядатися як одношарова течія однорідної рідини з

Read-only

підвищеною густиною. Нижче цієї точки потік гідросуміші стає двошаровою течією, нижній шар якого складається з частинок, що випали з потоку, а верхній представляє собою гідросуміш з концентрацією, яка знижується вздовж течії.

Аналіз режимів роботи збагачувальних апаратів гравітаційного типу, конструкція яких передбачає течію гідросуміші по каналу, який звужується, показує, що місце розташування точки початку сепарації справляє істотний вплив на ефективність процесу розподілу [38, 40, 55, 72, 78 109, 110]. Так, якщо точка початку сепарації розташована занадто близько до відтинаючих конструкції, ефективність збагачення буде низькою, так як матеріал, який сепарується не встигне повністю осісти в нижньому шарі. У цьому випадку, як мінімум, будуть високими втрати концентрату з відходів збагачення, а в іншому випадку колективний концентрат буде містити домішки відходів збагачення – піску і глини. У деяких випадках відбувається виключення точки початку сепарації з поверхні сепаратора, коли пульпа відразу після надходження на поверхню починає розшаровуватися на два шари. Однак це не забезпечує рівномірного розподілу потоку по поверхні сепаратора, а іноді призводить до утворення так званих «дюн». Таким чином, раціональним є розташування точки початку сепарації поблизу верхнього краю конуса на відстані, достатній для рівномірного розподілу потоку по поверхні конуса після виходу з пристрою подачі. У відомій науковій літературі, що присвячена процесам збагачення мінеральної сировини в апаратах гравітаційного типу, відсутні методи розрахунку місця розташування точки початку сепарації. Досвід застосування апаратів цього типу свідчить, що їх ефективне використання багато в чому забезпечується в процесі налагодження і налаштування в конкретних умовах для обраної сировини і місця в ланцюзі апаратів. При використанні каналів, що звужуються, для з’єднання вузлів логістичних систем місця розташування точки початку сепарації необхідно максимально наближати до виходу з каналу, якщо вирішується завдання стабільного постачання гідросуміші. Якщо в системі логістики передбачається розділення потоку на два потоки з різною густиною чи концентрацією, то місця розташування точки початку сепарації необхідно максимально наближати до

Read-only

входу в канал, або то розрахункової точці розділення потоків.

1.5.3 Аналіз сучасних моделей щодо течії гідросуміші і однорідної рідини в технологіях переробки мінеральної сировини та методів оцінки впливу гідродинамічно активних речовин на параметри режимів роботи гідравлічних систем

Аналіз літературних джерел, які опубліковані у відкритій науковій пресі вітчизняних і зарубіжних фахівців з гідравліки [38, 40, 76, 78, 110 – 119] дозволяє запропонувати для опису течії води або гідросуміші по похилій поверхні, що не деформується, з відбором або подачею рідини через дно, наступну систему рівнянь:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\sin\theta - i_f - \frac{2\alpha_k}{gb^2}\frac{Q}{h^2}\Phi(Q,h)}{1 - \frac{\alpha_k Q^2}{gb^2 h^3}}; \tag{1.27}$$

$$\frac{dQ}{ds} = \Phi(Q,h); \tag{1.28}$$

$$\Phi(Q,h) = -\wp\,\mu b\bar{s}\sqrt{\frac{2(p_B - p_A)}{\rho} + 2g(h+d) + \frac{\alpha_k Q^2}{b^2 h^2}}; \tag{1.29}$$

$$i_f = \frac{C_f}{2gb^3}\frac{[2h + b(1-\bar{s})]}{h^3}Q^2; \tag{1.30}$$

$$\wp = sign(p_B - p_A), \tag{1.31}$$

де s – поточна довжина каналу;

Read-only

θ – кут ухилу каналу до горизонту;

i_f – гідравлічний ухил потоку;

α_k – коефіцієнт Коріолиса (от 1.10 до 1.15 [120]);

Q – об'ємна витрата рідини через поточний поперечний переріз потоку;

$\Phi(Q,h)$ – функція, що враховує відбір або надходження обсягів рідини через дно потоку [120];

b – ширина каналу, м;

$\bar{s}$ – відносна площа отворів в днищі каналу [38, 120];

μ – коефіцієнт витрати через отвори в дні [38, 120];

p_B – тиск над вільною поверхнею потоку, Па;

p_A – тиск під дном каналу, Па;

ρ – густина рідини;

d – характерний геометричний розмір отворів в дні каналу;

C_f – коефіцієнт гідравлічного тертя потоку об дно каналу [78];

$\wp$ – коефіцієнт, який враховує напрямок масообміну на дні каналу, при додаванні рідини в потік $\wp = -1$, при відборі рідини – $\wp = 1$;

$sign$ – функція знаку.

Початкові умови для вирішення системи рівнянь (1.27) – (1.31) у вихідному перетині потоку при $s = 0$ є

$$h(0) = h_0, \tag{1.32}$$

$$Q(0) = Q_0; \tag{1.33}$$

де h_0 – глибина потоку в початковому перетині каналу;

Q_0 – об'ємна витрата рідини, що надходить в канал.

Крім умов (1.32) і (1.33), для коректного розв’язання рівнянь (1.27) – (1.31) на витрату рідини і глибину потоку накладаються умови, які обмежують ступінь

Read-only

заповнення каналу рідиною і детермінують режим течії [78, 120]:

$$Q_0 \geq \wp\, \mu \bar{s} b \int_0^s \sqrt{\frac{2(p_B - p_A)}{\rho} + 2g(h+d) + \frac{\alpha_k Q^2}{b^2 h^2}}\, ds\,; \qquad (1.34)$$

$$h_k \leq h \leq h_b\,; \qquad (1.35)$$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha_k Q^2}{g b^2}}\,, \qquad (1.36)$$

де h_k – критична глибина потоку в поточному перетині;

h_b – геометрична глибина каналу.

Нерівність (1.34) виражає умову наявності в каналі рідини при відборі її через дно. Перша нерівність (1.35) визначає спокійний режим течії, в іншому випадку знаменник рівняння (1.27) змінить знак, і коректний розв'язок задачі потребує формулювання умов з урахуванням гідравлічного стрибка [40, 78,118 – 120]. Друга нерівність (1.35), у випадку додавання рідини через дно каналу, враховує переповнення каналу рідиною, що є неприпустимим для умов застосування в системах логістики гірничих підприємств [38, 40, 120].

З огляду на задачі і концепції методів управління гідравлічними потоками в системах логістики гірничих підприємств система рівнянь (1.27) – (1.31), умови і обмеження (1.32) – (1.36) раціонально переписати з використанням безрозмірних змінних:

$$\frac{d\bar{h}}{dx} = \frac{\sin\theta + \wp\, \mu \bar{s} \sqrt{8\alpha_k} \sqrt{1 + \frac{\sigma}{\bar{h}} + 0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3} \left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2} - \frac{C_f}{\alpha_k}\left(\frac{\bar{h}}{\beta} + \frac{1-\bar{s}}{2}\right)\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}{1 - \left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\,; \qquad (1.37)$$

Read-only

$$\frac{d\bar{h}_k}{dx} = -\wp\,\mu\bar{s}\sqrt{\frac{8}{9}\alpha_k}\sqrt{\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}}\sqrt{1+\frac{\sigma}{\bar{h}}+0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\,; \qquad (1.38)$$

$$\sigma = \frac{p_B - p_A}{\rho g h_0} + \frac{d}{h_0}\,; \qquad (1.39)$$

$$x = \frac{s}{h_0}\,; \qquad (1.40)$$

$$\bar{h} = \frac{h}{h_0}\,; \qquad (1.41)$$

$$\bar{h}_k = \frac{h_k}{h_0}\,; \qquad (1.42)$$

$$\beta = \frac{b}{h_0}\,, \qquad (1.43)$$

де $\bar{h}$ – безрозмірна поточна глибина потоку;

x – безрозмірна координата поточного перетину;

$\bar{h}_k$ – безрозмірна критична глибина потоку в поточному перетині;

σ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив різниці тисків на вільної поверхні протоки і під дном каналу [38, 126 – 129];

β – безрозмірна геометрична характеристика потоку.

При опису нестаціонарної течії гідросуміші по каналу, що звужується, використовують спільний розгляд закону збереження маси і рівняння імпульсів для елементарного об'єму потоку, що призводить до наступних рівнянь [38, 76, 121 - 129]

Read-Only

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{1}{L-s}\frac{\partial}{\partial s}\left[Vh(L-x)\right]=-\frac{w\sigma}{\sin\beta}; \qquad (1.44)$$

$$\frac{1}{\rho g}\frac{\partial}{\partial t}(\rho hV)+\frac{1}{(L-s)\rho g}\frac{\partial}{\partial s}\left([L-s]^2V^2h\right)=-h\sin\beta\frac{\partial h}{\partial s}+\frac{\tau_0}{\rho g}+h\cos\beta+W; \qquad (1.45)$$

$$W=\alpha(-V-w\sin\beta)\frac{w\sigma}{gh}(L-s); \qquad (1.46)$$

$$w=\wp\,\varphi\sqrt{2gh}\sqrt{1+\sin\beta+\frac{\Delta p}{\rho gh}+\frac{\alpha V^2}{2gh}}; \qquad (1.47)$$

$$\wp=sign(\Delta p); \qquad (1.48)$$

$$s=L-r, \qquad (1.49)$$

де V – швидкість потоку уздовж каналу, м/с;

w – швидкість відбору гідросуміші через отвори в дні каналу, м/с;

r – радіус поточного перетину потоку в сферичній системі координат;

s – координата поточного перетину потоку;

L – повна довжина утворюючої поверхні каналу;

τ_0 – напруга тертя на дні каналу;

α – коефіцієнт Коріолиса для потоку, який відводиться або додається;

β – кут напіврозхилу каналу;

φ – коефіцієнт швидкості;

Δp – різниця між атмосферним тиском і тиском рідини під дном каналу.

Аналіз публікацій по дослідженню течії гідросуміші по внутрішній поверхні циліндру [38, 40, 76, 110], показує, що стаціонарна модель даної течії при наявності масообміну через тверду поверхню складається з системи рівнянь з відповідними початковими умовами в перетині $z=0$:

Read-only

$$\frac{d\eta}{dx} = \mathrm{ctg}^2\varphi_S \frac{\eta(2-\eta)}{2(1-\eta)} \frac{W_h}{W}; \tag{1.50}$$

$$\frac{1}{V_z}\frac{dV_z}{dx} = -\mathrm{ctg}^2\varphi_S \frac{W_V}{W}; \tag{1.51}$$

$$\frac{d\varphi_S}{dx} = \frac{(2-\eta)}{2(1-\eta)} \frac{\cos^2\varphi_S}{\mathrm{tg}\varphi_S} \frac{W_\varphi}{W}; \tag{1.52}$$

$$W = \frac{1-3\eta+\eta^2}{(1-\eta)^4} - \frac{1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S}; \tag{1.53}$$

$$W_h = Fr + \frac{C_f(1-\bar{S})}{\eta(2-\eta)\cos^2\varphi_S} b + \wp\mu\bar{S}\frac{\sqrt{1+2\eta}}{\eta(2-\eta)}\mathrm{tg}^3\varphi_S a_h; \tag{1.54}$$

$$W_V = Fr + \frac{C_f(1-\bar{S})}{\cos^2\varphi_S \eta(2-\eta)} b + \wp\mu\bar{S}\frac{\sqrt{1+2\eta}}{\eta(2-\eta)}\mathrm{tg}^3\varphi_S a_V; \tag{1.55}$$

$$W_\varphi = Fr - \frac{C_f(1-\bar{S})}{\eta(2-\eta)\cos^2\varphi_S} b_\varphi + \wp\mu\bar{S}\frac{\sqrt{1+2\eta}}{\eta(2-\eta)}\mathrm{tg}^3\varphi_S a_\varphi; \tag{1.56}$$

$$a_h = \frac{Eu+3}{\mathrm{tg}^2\varphi_S} - \frac{5-12\eta+4\eta^2}{(1-\eta)^4} - \mu^2\bar{S}^2\frac{(1+2\eta)}{\cos\varphi_S}; \tag{1.57}$$

$$b = \frac{1}{\cos\varphi_S}\frac{(2-\eta)}{(1-\eta)^3} - 1; \tag{1.58}$$

Read-only

$$a_V = \frac{Eu+1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S} - \frac{3-\eta}{(1-\eta)^4} - \mu^2\bar{S}^2(1+2\eta); \qquad (1.59)$$

$$a_\varphi = \frac{Eu-1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S} - \frac{1}{(1-\eta)^4} - \mu^2\bar{S}^2(1+2\eta); \qquad (1.60)$$

$$b_\varphi = \left[1-(1-Eu)2\cos\varphi_S - \frac{2\mathrm{tg}\varphi_S\sin\varphi_S}{(1-\eta)^4}\right]\frac{1}{4}; \qquad (1.61)$$

$$Fr = \frac{2gR}{\pi V_z^2}; \qquad (1.62)$$

$$Eu = \frac{2P_A}{\rho V_z^2}; \qquad (1.63)$$

$$\eta = \frac{h}{R}; \qquad (1.64)$$

$$x = \frac{z}{R}; \qquad (1.65)$$

$$\eta(0) = \eta_0; \qquad (1.66)$$

$$\varphi_S(0) = \varphi_S^0, \qquad (1.67)$$

де η – відносна товщина потоку;

φ_S – поточне значення кута закрутки потоку;

x – відносна осьова координата потоку;

V_z – осьова швидкість потоку, м/с;

R – внутрішній радіус циліндру, м;

Read-only

$\bar{S}$ – ступінь перфорованої поверхні дна потоку;

μ – коефіцієнт витрати щілини у дні;

P_A – атмосферний тиск, Па;

z – поточна осьова координата потоку, м;

Fr – число Фруда;

Eu – число Ейлера;

h_0 – глибина потоку в початковому перетині, м;

φ_S^0 – значення величини φ_S в початковому перерізі потоку, що визначається напрямом апарату.

Результати аналізу моделей, що наведені вище, вказують на такі методи управління гідравлічними процесами:

– масообмін на дні потоку при вільному витіканні;
– масообмін на дні потоку при примусовому витіканні;
– зміна коефіцієнту гідравлічного тертя потоку об дно каналу.

1.6. Висновки, мета, постановка задач і методи досліджень

Таким чином, встановлення закономірностей, які визначають параметри безнапірних потоків рідини та гідросуміші від властивостей середовища, що транспортується, а також фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі від впливом зовнішніх факторів, що характеризують стійкість процесів перерозподілу матеріальних потоків на показники та режими роботи елементів технологій логістики в геотехнічних системах, є актуальною науковою проблемою, яка має важливе значення для підвищення ефективності гірничих технологій та забезпечення сталого розвитку промислових регіонів України.

Виходячи із цього, автором вибрано об'єкт та предмет дослідження, обґрунтовані мета та задачі досліджень.

Мета дисертаційної роботи полягає у встановленні закономірностей

Read-only

гідродинамічних процесів для розвитку наукових основ логістики в гідротехнічних системах, що дозволить сформувати механізми управління системами перерозподілу матеріально-сировинних потоків в технологіях видобутку та переробки мінеральної сировини для забезпечення сталого розвитку промислових регіонів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні **задачі:**

1. Дослідити особливості структури, показників та режимів роботи елементів технологій логістики в гідротехнічних системах і розробити моделі їх функціонування.

2. Визначити найбільш поширені для технологій логістики в гідротехнічних системах способи з’єднання їх елементів то розробити методи розрахунку технологічних показників при різних типах з’єднання.

3. Вдосконалити методи розрахунків параметрів та режимів роботи елементів логістики в гідротехнічних системах гірничих підприємств, які з’єднуються безнапірним потоком гідросуміші, та дослідити методи їх керування.

4. Обґрунтувати методи та алгоритми розрахунків параметрів фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі з урахуванням зовнішніх факторів, що характеризують вплив процесів перерозподілу матеріальних потоків на показники та режими роботи елементів технологій логістики в гідротехнічних системах.

5. Розробити методики розрахунків параметрів і режимів течії гідросуміші в каналах та трубопроводах зі змінними площинами перерізу та по внутрішній поверхні обертання, а також рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах

Об'єкт досліджень – процеси функціонування та управління елементами технологій логістики в гідротехнічних системах, які використовують гідравлічний та конвеєрний види транспорту.

Предмет досліджень – режими та параметри процесів при безнапірній течії гідросуміші й фільтрації рідини в пористому сипкому матеріалі.

Методи досліджень. В дисертаційній роботі використовувалися методи

Read-only

системного аналізу та узагальнення результатів відомих досліджень, а також методи чисельного рішення нелінійних рівнянь, математичного та фізичного моделювання. При розробці методики розрахунку параметрів перерозподілу гідросумішей використано рішення системи рівнянь для нестаціонарного руху рідини. При розрахунках параметрів процесу фільтрації рідини в пористому сипкому матеріалі використовували систему рівнянь лінійної теорії фільтрації на основі закону Дарсі, а для визначення діючого перепаду тиску диференційне рівняння, що враховує закони збереження, та формулу Сен-Венана-Венцеля.

1.7 Список використаних джерел за розділом 1

1. Щербуха А. Я. Іхтіофауна України у ретроспективі та сучасні проблеми збереження її різноманіття. *Вестник зоологии*. 2004. Т. 38, № 3. С. 3–18.

2. Збірник показників емісії (питомих викидів) : у 3 т. Донецьк, 2004. Т. 2 : Забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. 220 с.

3. Промислова екологія : навч. посібник / С. О. Апостолюк та ін. Київ : Знання, 2005. 474 с.

4. Збірник показників емісії (питомих викидів) : у 3 т. Донецьк, 2004. Т. 1 : Забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. 184 с.

5. Плотников Н. И., Рогинец И. И. Гидрогеология рудных месторождений. Москва : Недра, 1987. 287 с.

6. Норватов А. Ю. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полез. ископаемых). Ленинград : Недра, 1988. 260 с.

7. Загриценко А. М., Демченко Ю. І., Соцков В. О., Мамайкін О. Р. Гідроекозахист вугільних шахтних полів : монографія / ред. І. О. Садовенко. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. 144 с.

8. Булат А. Ф., Витушко О. В., Семененко Е. В. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий : монография. Днепропетровск :

Read-only

Герда, 2010. 216 с.

9. Блюсс Б. О., Дзюба С. В., Семененко Є. В. Обґрунтування параметрів ефективності гідротехнічних систем в технологіях переробки мінеральної сировини. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Дніпро, 2018. Вып. 4. С. 58–65.

10. Шахтное и подземное строительство : Учебник для ВУЗов : в 2 т., 3-е изд. Ш31 перераб. и доп. / Б. А. Картозия, Б. И. Федунец и др. Москва : МГУ, 2003. Т. 2. 815 с.

11. Вартанов А. З. Физико-технический контроль и мониторинг при освоении подземного пространства городов : учебник для ВУЗов. Москва : Горная книга, 2013. 548 с.

12. Геєць В. М. Кластери і мережеві структури в економіці – тема досить цікава, але на сьогодні ще не до кінця вивчена. *Економіст*. 2008. № 10. С. 10–11.

13. Бардиш К. О. Проектне фінансування : підручник. 3-тє вид., переробл. і допов. Київ : Хай-ТЕК Прес, 2008. 464 с.

14. Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-001-2004. Руководство к своду знаний по управлению проектами (руководство PMBOK), 3-е изд. Вид. офіц. USA : Project Management Institute, 2004. 388 с.

15. Тян Р. Б., Холод Б. І., Ткаченко В. А. Управління проектами : підручник. Київ : ЦНЛ, 2003. 224 с.

16. Globale conomic prospects. January, 2017. URL: http://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects (дата звернення: 21.12.2020).

17. Про інвестиційну діяльність : Закон України від 18.09.1991 р. № 47. URL: http://www.spfu.gov.ua/ua/documents/1305.html (дата звернення: 21.12.2020).

18. Про інноваційну діяльність : Закон України від 04.07.2002 № 40-IV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/40-15#Text (дата звернення: 21.12.2020).

19. Crosby N., McAllister P., Wyatt P. Fit for planning? An evaluation of the application of development viability appraisal models in the UK planning system. *Environment and Planning B: Planning and Design* 2013. Vol. 40(1), P. 3–22.

Read-only

20. Cullingworth, J. B. The political culture of planning: American land use planning in comparative perspective. London : Routledge, 2002. 368 p.

21. Cullingworth, J. B. Urban and regional planning in Canada. New Brunswick, New Jersey : Transaction Publisher, 2015. 399 p.

22. Дзюба С. В., Фісуненко П. А. Обґрунтування інструментів планування соціально-економічного розвитку промислових регіонів України з урахуванням закордонного досвіду. *Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем* : матеріали X Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., м. Харків, 5-6 квіт. 2018 р., Братислава–Харків, 2018. С. 46–48.

23. Zantal-Wiener A. 6 Negotiation Strategies Every Marketer Should Know : веб-сайт. URL: https://blog.hubspot.com/marketing/negotiation-strategies-for-marketers (дата звернення: 21.12.2020).

24. Perdue B. C., Summers J. O. Purchasing Agents Use of Negotiation Strategies. *Journal of Marketing Research*, 1991. Vol. 28, No 2. P. 175–189.

25. Дзюба С.В., Фісуненко П.А. Аналіз маркетингових стратегій ведення переговорів при плануванні розвитку нафтогазової системи України. *Сучасні управлінські технології в умовах трансформації соціально-економічних відносин* : матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 19-20 квіт. 2018 р., м. Івано-Франківськ, 2018. С. 294–296.

26. Шишка Р. Б. Охорона права інтелектуальної власності : авторсько-правовий аспект : монографія. Харків : Нац. ун-ту внутрішніх справ, 2002. 368 с.

27. Проект. Рекомендації комітетських слухань у Комітеті Верховної Ради України з питань науки і освіти: Інтелектуальна власність в Україні. Стан та концептуальні засади розвитку. URL: http://kno.rada.gov.ua/komosviti/control/uk/publish/article?art_id=61862&cat_id=61640 (дата звернення: 21.12.2020).

28. Булат Є. А. Правові аспекти подальшого розвитку інтелектуальної власності в Україні. *Науковий вісник міжнародного гуманітарного університету*, 2015. Вип. 17. Т. 2. С. 20–22.

29. Про Рекомендації парламентських слухань на тему: "Про стан та законодавче забезпечення розвитку науки та науково-технічної сфери держави": Постанова Верховної Ради України від 11.02.2015 р. № 182-VIII. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/182-19 (дата звернення: 21.12.2020).

Read-only

30. Булат Є. А., Дзюба С. В. Деякі аспекти удосконалення правової охорони інтелектуальної власності в Україні. *Наука та освіта в контексті сучасних глобалізаційних процесів* : матеріали всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, червень 2018 р. Київ, 2018. С. 97–99

31. Energy Information Administration. EIA: International Energy Outlook 2008. URL: http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html (дата звернення: 17.01.2018).

32. British Department for Business Energy and Regulatory Reform (BERR), Energy white paper: meeting the energy challenge - BERR. URL: http://www.berr.gov.uk/energy/whitepaper/page39534.html (дата звернення: 10.05.2018).

33. British Petroleum: BP Statistical Review of World Energy 2008. URL: http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622 (дата звернення: 10.05.2018).

34. The Parliamentary office of science & technology 2004: Future of UK Gas Supplies. URL: http://www.parliament.uk/documents/upload/POSTpn230.pdf (дата звернення: 10.05.2018).

35. Семененко Е. В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей : монография. Киев : Наукова думка, 2011. 232 с.

36. Докукин В. П. Повышение эффективности эксплуатации систем трубопроводного гидротранспорта : монографія. Санкт-Петербург : СПГГИ(ТУ), 2005. 105 с.

37. Баранов Ю. Д., Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Шурыгин В. Д. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий : монография. Днепропетровск : Новая идеология, 2006. 416 с.

38. Блюсс Б. А., Головач Н. А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд : монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 126 с.

39. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Семененко Е. В. Научные основы моделирования процессов в технологиях обогащения титан-цирконовых

Read-only

россыпей. *Обогащение полезных ископаемых* : научн.-техн. сб. Днепропетровск : НГУ, 2003. № 18(59). С. 79–92.

40. Медведева О.А. Параметры глубоких железорудных карьеров при их доработке : монография. Киев : Наукова думка, 2013. 127с.

41. Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Лившиц М. Н. Методика определения параметров систем карьерного трубопроводного транспорта с учетом пульпообразования. *Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых*. 2009. № 1. С. 73–82.

42. Булат А. Ф., Сокил А. М., Семененко Е. В. Согласование параметров насоса и электродвигателя насосного агрегата. *Горн. электромеханика и автоматика* : науч.-техн. сб. 2002. Вып. 69. С. 117–122.

43. Великанов М. А. Динамика русловых потоков : учебное пособие, в 2 т. Москва : Гостехиздат, 1954. Т. I. 316 с.

44. Гуменик И.Л., Сокил А. М., Семененко Е. В., Шурыгин В. Д. Проблемы разработки россыпных месторождений : монография. Днепропетровск : Січ, 2001. 224 с.

45. Джваршеишвили А. Г. Системы трубопроводного транспорта горно-обогатительных предприятий: монография. Москва : Недра, 1986. 384 с.

46. Дмитриев Г. П., Махарадзе Л. И., Гочиташвили Т. Ш. Напорные гидротранспортные системы : справоч. пособ. Москва : Недра, 1991. 304 с.

47. Methodical and Applied Aspects of Hydrodynamic Modeling of Options of Mining Operation Curtailment / I. Sadovenko et. al. *Solid State Phenomena*. 2018. Vol. 277, P. 36–43.

48. Садовенко И. А., Тимощук В. И., Загриценко А. Н., Деревягина Н. И. Оценка гидрогеомеханических рисков ведения горных работ в зоне влияния затопленных выработок. *Геотехническая механика*. 2020. № 151. С. 190–202.

49. Гоман О. Г., Кныш Л. И. Компьютерное моделирование нестационарного течения в длинных промышленных трубопроводах. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2017, № 3(62). Т. 2. С. 99–103.

Read-only

50. Беляев Н. Н., Русакова Т. И., Гурина Е. В. Исследование процесса нейтрализации кислотных сточных вод на базе численной модели. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение.* 2017. №. 99. С. 146–152.

51. Литвяк В. Г., Шербина А. И., Пиниэлле М. М. Опыт проектирования Укргипромезом систем производственного водоснабжения предприятий черной металлургии. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. №1. С. 127–130.

52. Ялтанец И. М. Гидромеханизированные и подводные горные работы : в 2 т. Москва : Мир горной книги, 2006. Т. 1 : Разработка пород гидромониторами и землесосными снарядами. 516 с.

53. Нурок Г. А., Лутовинов А. Г., Шерстюков А. Д. Гидроотвалы на карьерах. Москва : Недра, 1977. 311 с.

54. Юфин А. П. Гидромеханизация : учебн. для студ. гидротехн. спец. вузов. Москва : Госстройиздат, 1966. 496 с.

55. Звягильский Е.Л., Блюсс Б. А., Назимко Е. И., Семененко Е. В. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения : монорграфия. Севастополь : Вебер, 2002. 247 с.

56. Нурок Г. А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ : учебник для вузов. Москва : Недра, 1985. 584 с.

57. Покровская В. Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности : монография. Москва : Недра, 1985. 192 с.

58. Семененко Е. В. Расчет параметров систем оборотного водоснабжения технологий обогащения минерального сырья. *Горная электромеханика и автоматика* : науч.-техн. сб. Дніпропетровськ. 2005. № 74. С. 79–85.

59. Семененко Е. В. Выбор и обоснование типов насосов и электродвигателя для системы водоснабжения гидротранспортного комплекса. *Гірнича електромеханіка та автоматика* : наук.-техн. зб. Дніпропетровськ. 2004. Вип. 73. С. 86–94.

60. Семененко Е. В. Обоснование рациональных параметров насосной установки с учетом характеристик сгустительной воронки. *Обогащение*

Read-only

полезных ископаемых : науч.-техн. сб. Днепропетровск : НГУ. 2004. Вып. №19(60). С. 90–97.

61. Махарадзе Л. И., Гочиташвили Т. Ш., Криль С. И., Смойловская Л. А. Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов : монография. Тбилиси : Мецниереба, 2006. 350 с.

62. Смолдырев А. Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии : 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Металлургия, 1985. 383 с.

63. Смолдырев А. Е. Трубопроводный транспорт. Москва : Недра, 1980. 293 с.

64. Животовский Л. С., Смойловская Л. А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. Москва : Машиностроение, 1986. 224 с.

65. Карелин В. Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. Москва : Машиностроение, 1975. 326 с.

66. Семененко Е. В. Особенности возникновения кавитации при перекачивании гидросмеси с пористыми частицами. *Уголь Украины*, 2000. № 12. С. 50–51.

67. Силин Н. А., Коберник С. Г. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов. Киев : АН УССР, 1962. 215 с.

68. Леванов Н. И., Ялтанец И. М., Мельников И. Т., Дятлов В. М. Рабочие параметры грунто-заборочных устройств плавучих землесосных снарядов и их конструктивные особенности: монография. Москва: МГГУ, 2005. 236 с.

69. Берт Р. О., Миллз К. Технология гравитационного обогащения / пер. с англ. Е.Д. Бачевой. Москва : Недра, 1990. 574 с.

70. Справочник по обогащению руд : справочник, в 4 т. / под ред. О. С. Богданова. Москва : Недра, 1983. Т. 3 : Специальные и вспомогательные процессы. 376 с.

71. Справочник по обогащению руд : справочник, в 4 т. / под ред. О. С. Богданова. Москва : Недра, 1984. Т.4 : Обогатительные фабрики. 358 с.

72. Бедрань Н. Г. Машины для обогащения полезных ископаемых : учеб. пособие. Киев-Донецк : Вища школа, 1980. 416 с.

Read-only

73. Разумов К. А., Перов В. А. Проектирование обогатительных фабрик : учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Недра, 1982. 518 с.

74. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик : справочник, в 2 кн. / под ред. О. Н. Тихонова. Москва : Недра, 1988. Кн. 1. 374 с.

75. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик : справочник, в 2 кн. / под ред. О. Н. Тихонова. Москва : Недра, 1988. Кн. 2. 341 с.

76. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Гоман О. Г. Проблемы гравитационного обогащения титан-цирконовых песков : монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 190 с.

77. Жужиков В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий : 2-е изд., перераб. Москва : Химия, 1968. 412с.

78. Сокил А. М. Физико-технические основы технологий переработки титан-цирконовых россыпей : дисс. … д-ра техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 2002. 399 с.

79. Потураев В. Н., Левандович А.П. Решение задачи о равномерном двухслойном течении жидкости в канале постоянной ширины. Ин-т геотехн. механики НАН Украины. Днепропетровск. 1996. 6 с. Деп. в ГНТБ Украины 28.02.96. № 661. Ук. 96. Деп.

80. Левандович А. П. Исследование гидродинамических процессов в угольных пульпах и обоснование параметров сепаратора для их обогащения : дисс. … канд. техн. наук : 05.15.08. Днепропетровск, 1996, 172 с.

81. Сокил А. М. Динамическая модель работы секции конусных сепараторов. *Обогащение полезных ископаемых* : науч.-техн. сб. Днепропетровск : НГУ. 2000. №9. С. 138–141.

82. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны : монография. Москва : Мир, 1977. 624 с.

83. Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации : справочник. Ленинград : Стройиздат, 1973. 408 с.

84. Чугаев Р. Р. Гидравлика : учеб. для вузов. 4-е изд. Ленинград : Энергоиздат,

Read-Only

1982. 672 с.

85. Фоменко Т. Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых : учебное пособие. Москва : Недра, 1966. 332 с.

86. Криль С. И. Напорные взвесенесущие потоки : учебная литература. Киев : Наукова думка, 1990. 160 с.

87. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов : монография / И. А. Асауленко и др. Киев : Наук. думка, 1981. 364 с.

88. Силин Н. А., Витошкин Ю. К., Карасик В. М., Очеретько В. Ф. Гидротранспорт (вопросы гидравлики) : монография. Киев : Наукова думка, 1971. 158 с.

89. Смолдырев А. Е. Гидравлический и пневматический транспорт на угольных предприятиях : монография. Москва : Укртехиздат, 1956. 291 с.

90. Борохович А. И., Махарадзе Л. И., Куция М. Т., Гочиташвили Т. Ш. Надежность напорных гидротранспортных систем : монография. Красноярск : Изд-во Красноярского унивеситета, 1992. 224 с.

91. Куприн А. И. Безнапорный гидротранспорт : монография. Москва : Недра, 1980. 244 с.

92. Нурок Г. А. Гидромеханизация открытых разработок : учеб. для вузов. Москва : Недра, 1970. 584 с.

93. Нурок Г. А., Бруякин Ю. В., Ляшевич В. В. Гидротранспорт горных пород : учебное пособие. Москва : МГИ, 1974. 168 с.

94. Семененко Е. В. Развитие научных основ гидромеханизации для открытой разработки россыпных месторождений : дисс. … д-ра техн. наук : 05.15.09. Днепропетровск, 2009. 504 с.

95. Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Шурыгин В. Д. Расчет областей миграции частиц полидисперсного разноплотностного материала по сечению трубопровода при напорном гидротранспорте. *Збагачення корисних копалин* : наук.-техн. зб. Днепропетровск : НГУ. 2005. Вып. 22 (63). С. 115–121.

96. Семененко Е. В. Оценка взвешивающей способности и критических параметров напорных взвесенесущих потоков. *Промышленная гидравлика и*

Read-only

пневматика. 2005. № 1 (7). С. 24–30.

97. Гиргидов А. Д. Техническая теория турбулентной диффузии и ее приложения в области гидротехники : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.14.09. Л., 1976. 26 с.

98. Маккавеев Н. И., Чалов Р. С. Русловые процессы : учебное пособие. Москва : МГУ, 1986. 264 с.

99. Шрайбер А. А., Милютин В. Н., Яценко В. П. Гидромеханика двухкомпонентных потоков с твердым полидисперсным веществом : монография. Киев : Наукова думка, 1980. 252 с.

100. Шрайбер А. А., Гавин Л. Б., Наумов В. А., Яценко В. П. Турбулентные течения газовзвеси : монография. Киев : Наукова думка, 1987. 240 с.

101. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей : монография. Москва : Недра, 1981. 175 с.

102. Хинце И. О. Турбулентность, ее механизм и теория : монография. Москва : Физматгиз, 1963. 680 с.

103. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика : учебное пособие, в 10 т. Москва : Наука., 1986. Т. VI : Гидромеханика. 736 с.

104. Конт-Белло Ж. Турбулентное течение в канале с параллельными стенками : переводное издание / пер. с фр. О. П. Шаталов. Москва : Мир, 1968. 176 с.

105. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений : справочное пособие / под. ред. Д. Д. Лаппо. Москва : Энергоатомиздат, 1988. 624 с.

106. Юфин А. П., Белова Н. Т., Корыванова В. Д., Филимонова И. В. О распределении скорости и консистенции гидросмеси по сечению горизонтального трубопровода. *Дальний трубопроводный гидротранспорт сыпучих материалов :* материалы Всесоюз. науч. конф., Тбилиси : Мецниереба, 1974. С. 42–53.

107. Силин Н. А., Пищенко И. А., Очеретько В. Ф. Влияние твердых частиц на турбулентность взвесенесущего потока. *Исследования по прикладной гидромеханике* : республ. мжвед. сб. Киев : Наукова думка, 1965. С. 195–199.

108. Полькин С. И. Обогащение руд и россыпей редких металлов :

Read-only

учебник. Москва : Недра, 1976. 616 с.

109. Полькин С. И., Адамов Э. В. Обогащение руд цветных металлов : учебник для вузов. Москва : Недра, 1983. 400 с.

110. Булава Ю. И. Моделирование гидродинамических процессов в угольной пульпе и обоснование параметров неподвижных цилиндро-конических грохотов : дисс. … канд. техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 1999. 205 с.

111. Подносов Л. Г., Комиссаров О. С. Исследования работы криволинейных сит. *Минеральное сырье*. 1970. Вып. 21. С. 53–78.

112. Черевко Н. Е., Коткин А. М. Применение цилиндро-конических сит в схемах углеобогатительных фабрик : ЭИ. Москва : ЦНИЭИуголь, 1979. 26 с.

113. Майдуков Г. Л. Криволинейные грохоты в угольной промышленности : монография. Москва : Недра, 1968. 105 с.

114. Потураев В. Н., Мельничук В. Д., Блюсс Б. А. Двухслойное неравномерное движение жидкостей различной плотности в плоском наклонном канале. *Геотехническая механика*. Днепропетровск. 1998. Вып. 2. С. 64 – 66.

115. Беринберг З. Ш., Подулях А. Д. О нецелесообразности перевода неподвижной просеивающей поверхности гидрогрохота в вибрационный режим. *Обогащение полезных ископаемых*. Киев, 1988. Вып. 38. С. 43–46.

116. Майдуков Г. Л. Исследование процесса обезвоживания угольного шлама с помощью сжатого воздуха. *Обогащение и брикетирование углей*. 1962. № 1. С. 21–27.

117. Майдуков Г. Л. Кинетика обезвоживания водо-угольной суспензии сжатым воздухом. *Уголь Украины*. 1970. № 10. С. 46–47.

118. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления : монография. Москва : Недра, 1970. 216 с.

119. Справочник по гидравлике : справочник / под ред. Б. А. Большакова. Киев : Вища школа, 1984. 343 с.

120. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: справочник. Москва : Машиностроение, 1992. 672 с.

121. Пономарев И. В. Дробление и грохочение углей : монография, справочник, 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Недра, 1970. 367 с.

Read-only

122. Housiadas K. D., Beris A. N. Direct numerical simulations of viscoelastic turbulent channel flows at high drag reduction. *Korea-Australia Rheology Journal*. 2005. Vol. 17, No 3. P. 131–140.

123. The effect of polymers on the dynamics of turbulence in a drag reduced flow / Jovanović J. et al. *Thermal Science*. 2005. Vol. 9, No 1. P. 13–41.

124. Власов С. А., Калашников В. Н. О масштабном эффекте при ламинарном течении разбавленных растворов полимеров в трубках. *Инженерно-физический журнал*. 1978. Т. XXXIV, № 4. С. 614–621.

125. Липатов Б. В. Исследование влияния полимерных добавок на турбулентное трение при резких изменениях живого сечения потока в трубах. *Изв. АН СССР*: Мех. жидкости и газа. 1972. № 2. С. 153–156.

126. Липатов Б. В. Влияние снижающих сопротивление трения полимерных добавок на течение в плавно сужающихся и расширяющихся каналах. *Изв. АН СССР*: Мех. жидкости и газа. 1974. № 2. С. 153–155.

127. О снижении гидродинамического трения углеводородов с помощью малых добавок некоторых кремнийорганических полимеров / В. С. Белоконь, Н. Б. Беспалова и др. *Инженерно-физический журнал*. 1979. Т. XXXVI, №1. С. 5–8.

128. Чащин И. П., Пьянков А. Г. Исследование влияния органических добавок на гидравлические сопротивления и теплообмен в потоке. *Инженерно-физический журнал*. 1973. Т. XXV, № 6. С. 1101–1105.

129. Virk P. S. Drag reduction fundamentals. *AlChE Journal*. 1975. Vol. 21, No 4. P. 625–656.

Read-only

РОЗДІЛ 2
НАУКОВІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ БЕЗНАПІРНИХ ПОТОКІВ РІДИНИ В КАНАЛІ ПОСТІЙНОГО ПЕРЕТИНУ ЯК З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЙ ЛОГІСТИКИ

2.1 Дослідження методів керування гідравлічними процесами при течії гідросуміші уздовж похилої поверхні

2.1.1 Параметри течії уздовж похилої поверхні при відсутності масообміну через дно потоку.

При відсутності масообміну на дні потоку, тобто у випадку коли $\bar{s} = 0$, система рівнянь (1.37) і (1.38) перетворюється в наступну систему (мал. 2.1) [1 – 6]

$$\frac{d\bar{h}}{dx} = \frac{\sin\theta - \frac{C_f}{\alpha_k}\left(\frac{1}{2} + \frac{\bar{h}}{\beta}\right)\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}{1 - \left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}; \tag{2.1}$$

$$\bar{h}_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha_k Q_0^2}{g b^2 h_0^3}}. \tag{2.2}$$

Враховуючи, що диференціальне рівняння (1.38) перетворилося у алгебраїчний вираз, з якого слідує, що для розглянутого випадку критична глибина потоку є сталою у всіх перетинах: $h_k = const$, то рівняння (2.1) є диференціальним рівнянням таким, що у ньому розділяються змінні, і розв'язок його може бути представлено наступним визначеним інтегралом:

Read-only

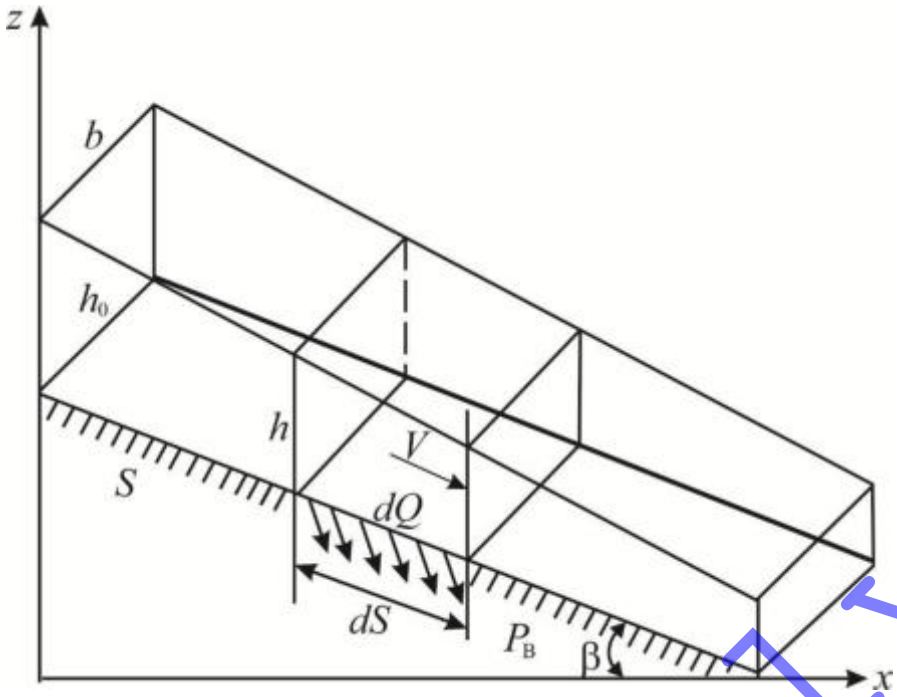


Рисунок 2.1 – Течія рідини в прямокутному каналі з примусовим масообміном на його дні [1 – 6]

$$\int_{y_0}^{y_L} \frac{y^3 - 1}{y^3 - \frac{\phi}{\overline{\beta}} y - \frac{\phi}{2}} dy = \sqrt[3]{\frac{gb^2}{\alpha_k Q_0^2}} L \sin\theta; \tag{2.3}$$

$$y = \frac{h}{h_k}; \tag{2.4}$$

$$y_0 = \frac{h_0}{h_k}; \tag{2.5}$$

$$y_L = \frac{h_L}{h_k}; \tag{2.6}$$

$$\overline{\beta} = \frac{b}{h_k}; \tag{2.7}$$

Read-only

$$\phi = \frac{C_f}{\alpha_k \sin\theta}, \tag{2.8}$$

де y – відношення поточної глибини потоку до критичної глибини;

y_0 – відношення глибини потоку в початковому перетині до критичної глибини;

y_L – відношення глибини потоку в кінцевому перетині до критичної глибини;

$\overline{\beta}$ – відношення ширини потоку до критичної глибини;

ϕ – коефіцієнт, що враховує співвідношення сили тертя й тягової сили потоку.

Враховуючи, що у чисельнику й у знаменнику підінтегральної функції перебувають многочлени одного порядку, те поділивши їх, рівняння (2.3) можна перетворити до наступного виду

$$\int_{y_0}^{y_L} \frac{\frac{\phi}{\overline{\beta}} y + \frac{\phi}{2} - 1}{y^3 - \frac{\phi}{\overline{\beta}} y - \frac{\phi}{2}} dy = k_L L \sin\theta, \tag{2.9}$$

$$k_L = 1 + \frac{y_L - y_0}{L \sin\theta} h_k, \tag{2.10}$$

де k_L – коефіцієнт, що враховує відхилення вільної поверхні від площі дна потоку.

Розв'язок рівняння (2.9) залежить від коренів тричлена в знаменнику підінтегральної функції

Read-only

$$y^3 - \frac{\phi}{\overline{\beta}} y - \frac{\phi}{2} = 0 . \qquad (2.11)$$

У загальному випадку дискримінант рівняння (2.11) може бути як більше, так і менше нуля [7 – 9]

$$D = \left(\frac{\phi}{4}\right)^2 - \left(\frac{\phi}{3\overline{\beta}}\right)^3 . \qquad (2.12)$$

Знак дискримінанта в розглянутому випадку, з урахуванням (2.2), буде позитивним якщо виконується наступна нерівність

$$\frac{h_k}{b} < 1{,}2 \sqrt[3]{\frac{\sin\theta}{C_f}} , \qquad (2.13)$$

у цьому випадку рівняння (2.11) має один дійсний та два комплексні корені:

$$y_1 = \sqrt[3]{\frac{\phi}{4}} \left(\sqrt[3]{1 + \sqrt{1 - E}} + \sqrt[3]{1 - \sqrt{1 - E}} \right); \qquad (2.14)$$

$$E = \frac{16\phi}{27\overline{\beta}^3} , \qquad (2.15)$$

де y_1 – дійсний корінь рівняння (2.11).

У цьому випадку підінтегральний вираз у формулі (2.9) може бути розкладений на прості дроби

$$\frac{A}{y - y_1} + \frac{B - Ay}{y^2 + y_1 y + y_1^2 - \frac{\phi}{\overline{\beta}}} ; \qquad (2.16)$$

Read-only

$$A = \frac{\frac{\phi}{\overline{\beta}} y_1 + \frac{\phi}{2} - 1}{2y_1^2 + y_1 - \frac{\phi}{\overline{\beta}}}; \tag{2.17}$$

$$B = \frac{y_1^2 + \left(1 - \frac{\overline{\beta}}{2} + \frac{\overline{\beta}}{\phi}\right) y_1 - \frac{\phi}{\overline{\beta}}}{2y_1^2 + y_1 - \frac{\phi}{\overline{\beta}}} \frac{\phi}{\overline{\beta}}, \tag{2.18}$$

після чого означений інтеграл у формулі (2.9) зводиться до декількох табличних інтегралів [7 – 9], а сама формула (2.9), після нескладних перетворень, може бути представлена так:

$$L \sin\theta = \frac{\Lambda}{2k_L} \sqrt[3]{\frac{\alpha_k Q_0^2}{gb^2}}; \tag{2.19}$$

$$\Lambda = A \ln|Y_1| + \frac{2B + y_1 A}{\sqrt{Y}} arctg(Y_2); \tag{2.20}$$

$$Y_1 = \frac{(y_L - y_1)\left(y_0^2 + y_1 y_0 + y_1^2 - \frac{\phi}{\overline{\beta}}\right)}{(y_0 - y_1)\left(y_L^2 + y_1 y_L + y_1^2 - \frac{\phi}{\overline{\beta}}\right)}; \tag{2.21}$$

$$Y_2 = \frac{2(y_L - y_0)\sqrt{Y}}{Y^2 + (2y_L + y_1)(2y_0 + y_1)}. \tag{2.22}$$

$$Y = 3y_1^2 - 4\frac{\phi}{\overline{\beta}}. \tag{2.23}$$

Read-only

Якщо нерівність (2.13) перетворюється в точну рівність, то дискримінант дорівнює нулю й рівняння (2.11) має два дійсні корені

$$y_1 = \sqrt[3]{2\phi}\,; \tag{2.24}$$

$$y_{2,3} = -\sqrt[3]{\phi}\,, \tag{2.25}$$

а підінтегральний вираз у формулі (2.9) може бути розкладено на прості дроби у такий спосіб

$$\frac{A}{y-\sqrt[3]{2\phi}} + \frac{B-Ay}{y^2+2\sqrt[3]{\phi}y+\sqrt[3]{\phi^2}}\,; \tag{2.26}$$

$$A = \frac{\dfrac{\sqrt[3]{2}}{\overline{\beta}}\phi + \dfrac{\sqrt[3]{\phi^2}}{2} - 1}{\left(2\sqrt[3]{2}+\sqrt[3]{4}+1\right)\sqrt[3]{\phi^2}}\,; \tag{2.27}$$

$$B = \frac{\sqrt[3]{\phi^2} - \phi\left(1+\sqrt[3]{4}+2\sqrt[3]{2}\left(1+\dfrac{1}{\overline{\beta}}\right)\right) + 4\sqrt[3]{2} + 2\sqrt[3]{4}}{2\left(2\sqrt[3]{2}+\sqrt[3]{4}+1\right)\sqrt[3]{2\phi}}\,. \tag{2.28}$$

З урахуванням (2.26) – (2.28) розглянутий означений інтеграл зводитися до декількох табличних інтегралів [7 – 9], а формула (2.9), може бути представлена за аналогією з виразом (5.20), тільки замість залежності (2.20) використовується наступний вираз:

$$\Lambda = \frac{A\left(y_0+\sqrt[3]{\phi}\right)\left(y_L+\sqrt[3]{\phi}\right)}{4\left(y_0+\sqrt[3]{\phi}\right)\left(y_L+\sqrt[3]{\phi}\right)-\left(B+A\sqrt[3]{\phi}\right)}\ln\left|\frac{\left(y_L-\sqrt[3]{2\phi}\right)\left(y_0^2+2\sqrt[3]{\phi}y_0+\sqrt[3]{\phi^2}\right)}{\left(y_0-\sqrt[3]{2\phi}\right)\left(y_L^2+2\sqrt[3]{\phi}y_L+\sqrt[3]{\phi^2}\right)}\right|. \tag{2.29}$$

Read-only

Якщо нерівність (2.29) не виконується, то знак дискримінанта буде негативним і рівняння (2.27) має три дійсні корені

$$y_1 = 2\sqrt{\frac{\phi}{3\overline{\beta}}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}\right); \tag{2.30}$$

$$y_2 = -2\sqrt{\frac{\phi}{3\overline{\beta}}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}+\frac{\pi}{3}\right); \tag{2.31}$$

$$y_3 = -2\sqrt{\frac{\phi}{3\overline{\beta}}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}-\frac{\pi}{3}\right); \tag{2.32}$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{E}}\right). \tag{2.33}$$

У цьому випадку підінтегральний вираз у формулі (2.9) може бути розкладено на прості дроби

$$\frac{A}{y-y_1}+\frac{B}{y-y_2}-\frac{A+B}{y-y_3}; \tag{2.34}$$

$$B = -\frac{1-\left(\frac{y_2}{\overline{\beta}}+\frac{1}{2}\right)\phi}{(y_3-y_2)(y_1-y_2)}; \tag{2.35}$$

$$A = \frac{1-\left(\frac{y_1}{\overline{\beta}}+\frac{1}{2}\right)\phi}{(y_3-y_1)(y_1-y_2)}, \tag{2.36}$$

Read-only

після чого означений інтеграл у формулі (2.9) зводитися до табличного інтегралу [7 – 9], а сама формула (2.9), після нескладних перетворень, може бути представлена за аналогією з виразом (2.19), тільки для визначення величини Λ використовується вираз:

$$\Lambda = A\ln\left|\frac{(y_L - y_1)(y_0 - y_3)}{(y_0 - y_1)(y_L - y_3)}\right| + B\ln\left|\frac{(y_L - y_2)(y_0 - y_3)}{(y_0 - y_2)(y_L - y_3)}\right|. \qquad (2.37)$$

З виразу формул (2.9) – (2.37) випливає, що режим течії й вид залежності величини Λ визначення умовою (2.13) (табл. 2.1):

$$\frac{Q}{b} = \sqrt{\frac{2k_L g}{\alpha_k \Lambda}}(L\sin\beta)^{1,5}, \qquad (2.38)$$

$$\Lambda(\phi, \overline{\beta}, y_0, y_L) = BF - A\ln|Y_1|. \qquad (2.39)$$

З формули (2.38) випливає, що питома витрата води або гідросуміші з об’ємною концентрацією меншою ніж 5 % при течії по прямокутному каналу пропорційна добутку довжини каналу на ухил його дна у степені 3/2. Тобто вперше отримано залежність витрати гідросуміші з об’ємною концентрацією меншою ніж 5 % у похилому каналі прямокутного перетину від необхідної відстані транспортування. Це дозволяє враховувати вплив довжини логістичних зв'язків при узгодженні параметрів та режимів роботи гідротехнічних систем.

З формул (2.38) та (2.39) і табл. 2.1 випливає таке наукове положення: 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

Read-only

пропорційності рівним 1,2. Питома витрата пропорційна добутку довжини каналу на уклін в ступені 3/2.

Таблиця 2.1 – Формули для розрахунку коефіцієнта, що враховує режим течії

Параметр	Умови безнапірної течії	
	$\frac{h_{kp}}{b} \le 1{,}2\sqrt[3]{\frac{\sin\beta}{C_f}}$	$\frac{h_{kp}}{b} > 1{,}2\sqrt[3]{\frac{\sin\beta}{C_f}}$
B	$\frac{3\frac{\phi}{\bar\beta}e^2+\left(2\frac{\phi}{\bar\beta}-\frac{\phi}{2}+1\right)e-2\left(\frac{\phi}{\bar\beta}\right)^2}{\left(2e^2+e-\frac{\phi}{\bar\beta}\right)\sqrt{3e^2-4\frac{\phi}{\bar\beta}}}$	$\frac{1-\left(\frac{1}{2}-\frac{2}{\bar\beta}\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{3}\right)\right)\phi}{\frac{\phi}{\bar\beta}\left[1+\cos(2\alpha)-\sqrt{3}\sin(2\alpha)\right]}$
A	$\frac{1-\frac{\phi}{\bar\beta}e-\frac{\phi}{2}}{2e^2+e-\frac{\phi}{\bar\beta}}$	$\frac{8\bar\beta}{\phi}\,\frac{2-\left(1+\sqrt{\frac{16\phi}{3\bar\beta^3}}\cos\alpha\right)\phi}{1+2\cos 2\alpha}$
Y_1	$\frac{(y_L-e)\left(y_0^2+ey_0+e^2-\frac{\phi}{\bar\beta}\right)}{(y_0-e)\left(y_L^2+ey_L+e^2-\frac{\phi}{\bar\beta}\right)}$	$\frac{\left(\frac{y_L}{2}-\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\alpha\right)\left(\frac{y_0}{2}+\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\left(\alpha-\frac{\pi}{3}\right)\right)}{\left(\frac{y_0}{2}-\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\alpha\right)\left(\frac{y_L}{2}+\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\left(\alpha-\frac{\pi}{3}\right)\right)}$
Y_2	$\frac{2(y_L-y_0)\sqrt{3e^2-4\frac{\phi}{\bar\beta}}}{\left(3e^2-4\frac{\phi}{\bar\beta}\right)^2+(2y_L+e)(2y_0+e)}$	$\frac{\left(\frac{y_L}{2}+\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{3}\right)\right)\left(\frac{y_0}{2}+\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\left(\alpha-\frac{\pi}{3}\right)\right)}{\left(\frac{y_0}{2}+\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{3}\right)\right)\left(\frac{y_L}{2}+\sqrt{\frac{\phi}{3\bar\beta}}\cos\left(\alpha-\frac{\pi}{3}\right)\right)}$
F	$arctg(Y_2)$	$\ln\lvert Y_2\rvert$

Примітка. У таблиці використані такі позначення:

$$e=\sqrt[3]{\frac{\phi}{4}}\left(\sqrt[3]{1+\sqrt{1-\frac{16\phi}{27\bar\beta^3}}}+\sqrt[3]{1-\sqrt{1-\frac{16\phi}{27\bar\beta^3}}}\right),\qquad \alpha=\frac{1}{3}\arccos\left(\frac{3}{4}\sqrt{\frac{3\bar\beta^3}{\phi}}\right).$$

Read-only

Новизна наукового положення полягає в тому, що 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.

Обгрунтованість та достовірність цих наукових положень визначається коректністю постановки вирішуваних завдань, використанням апробованих методів гідравліки, гідромеханіки, а також постулатів, підтверджених результатами експериментальних досліджень інших авторів.

2.1.2 Особливості течії при наявності масообміну через дно потоку.

Масообмін на дні при вільному витіканні реалізується тільки для відбору рідини з потоку, при цьому тиск на вільній поверхні потоку й під дном каналу однакові, й величина коефіцієнта σ буде [1 – 6]

$$\sigma = \frac{d}{h_0}, \tag{2.40}$$

що для більшості потоків, використовуваних у якості сполучних елементів вузлів логістики в геотехнічних системах, є зневажливо малою величиною. З обліком цього, система рівнянь (1.37) і (1.38) перетворяться в наступну систему

$$\frac{d\bar{h}}{dx} = \frac{\sin\theta + \wp\,\mu\bar{s}\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{1+0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2} - \frac{C_f}{\alpha_k}\left(\frac{\bar{h}}{\beta}+\frac{1-\bar{s}}{2}\right)\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}{1-\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}; \tag{2.41}$$

Read-Only

$$\frac{d\bar{h}_k}{dx} = -\wp\,\mu\bar{s}\sqrt{\frac{8}{9}\alpha_k}\sqrt{\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}}\sqrt{1+0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\,. \qquad (2.42)$$

Таким чином, у розглянутому випадку керування масообміном через дно потоку можна винятково вибором коефіцієнта проникності дна, або співвідношення сумарної площі отворів і площі дна потоку. При цьому, виходячи з умови рівності нулю чисельника правої частини (2.41) у кожному перетині потоку, можна побудувати залежність коефіцієнта проникності дна по довжині каналу, яка забезпечує задану глибину потоку

$$\bar{s}_* = \frac{\dfrac{C_f}{\alpha_k}\left(0{,}5+\dfrac{\bar{h}}{\beta}\right)\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3 - \sin\theta}{\dfrac{C_f}{2\alpha_k}\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3 + \wp\,\mu\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{1+0{,}5\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2}}\,. \qquad (2.43)$$

Якщо виконується умова незмінності глибини потоку, то зміна критичної глибини потоку буде описуватися рівнянням

$$\frac{d\bar{h}_k}{dx} = -\wp\,\mu\sqrt{\frac{8}{9}\alpha_k}\,\frac{\left[\dfrac{C_f}{\alpha_k}\left(0{,}5+\dfrac{\bar{h}}{\beta}\right)\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3 - \sin\theta\right]\sqrt{\dfrac{\bar{h}}{\bar{h}_k}}\sqrt{1+0{,}5\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}}{\dfrac{C_f}{2\alpha_k}\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3 + \wp\,\mu\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{1+0{,}5\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\left(\dfrac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2}}\,. \qquad (2.44)$$

При примусовому масообміні, коли тиски на вільній поверхні потоку й під дном каналу не однакові, величина коефіцієнта σ буде переважати над іншими доданками під знаком радикала у формулах (1.37) і (1.38), і система розглянутих рівнянь може бути перетворена до наступного виду:

Read-only

$$\frac{d\bar{h}}{dx}=\frac{\sin\theta+\wp\,\mu\bar{s}\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{\frac{\sigma}{\bar{h}}}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2}-\frac{C_f}{\alpha_k}\left(\frac{\bar{h}}{\beta}+\frac{1-\bar{s}}{2}\right)\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}{1-\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}; \qquad (2.45)$$

$$\frac{d\bar{h}_k}{dx}=-\wp\frac{\mu\bar{s}\sqrt{\sigma\alpha_k}}{\sqrt{\bar{h}_k}}\sqrt{\frac{8}{9}}; \qquad (2.46)$$

$$\sigma=\frac{p_B-p_A}{\rho g h_0}. \qquad (2.47)$$

Після прийнятих припущень рівняння (2.46) перетвориться в диференціальне рівняння зі змінними, що розділяються, й може бути вирішене аналітично, і залежності $\bar{h}_k^{\,3/2}$ й $\bar{h}_k^{\,3}$ від x, що присутні у (2.45), можуть бути записані у вигляді:

$$\bar{h}_k^{\,3/2}=\sqrt{\frac{\alpha_k}{g}\frac{Q_0}{bh_0^{\,3/2}}}-\wp\,\mu\bar{s}\sqrt{2\sigma\alpha_k}\,x; \qquad (2.48)$$

$$\bar{h}_k^{\,3}=\frac{\alpha_k Q_0^2}{gb^2h_0^{\,3}}-2\wp\,\mu\bar{s}\sqrt{\frac{2\sigma}{g}}\frac{\alpha_k Q_0}{bh_0^{\,3/2}}x+2\sigma\alpha_k\mu^2\bar{s}^2x^2. \qquad (2.49)$$

Відзначимо, що розв'язок рівняння (2.46) після нескладних перетворень можна представити в наступному виді:

$$\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}_k^0}=\left[1-\frac{s}{s_{kp}}\right]^{\frac{2}{3}}, \qquad (2.50)$$

Read-only

$$s_{kp} = \frac{Q_0}{\mu \bar{s} b} \sqrt{\frac{0{,}5\rho}{p_B - p_A}}. \qquad (2.51)$$

З формули (2.50) і (2.51) слідує наступне наукове положення: при безнапірній течії гідросуміші по прямокутному каналу з примусовим масообміном на дні залежність відносини критичної глибини потоку в довільному поперечному перерізі до критичної глибині на вході в канал від відстані до цього перетину описується лінійною функцією, яка спадає зведеної в ступінь 2/3.

Новизна наукового положення полягає в тому, що 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 узгоджені параметрів та режимів роботи гідротехнічних систем.

Обґрунтованість та достовірність даного наукового положення визначається коректністю постановки вирішуваних завдань, використанням апробованих методів гідравліки, гідромеханіки, а також постулатів, підтверджених результатами експериментальних досліджень інших авторів.

З використанням формул (2.48) і (2.49) розв'язок рівняння (2.45) можна отримати відомими чисельними методами [9].

З використанням аналітичного розв'язку рівняння (2.45) можна визначити витрату рідини наприкінці каналу й необхідний для цього перепад тиску:

$$Q_L = Q_0 - \wp \mu \bar{s} b \sqrt{2\sigma g h_0} L; \qquad (2.52)$$

$$\sigma = \left(\frac{Q_0 - Q_L}{\mu \bar{s} b L} \right)^2 \frac{0{,}5}{g h_0}. \qquad (2.53)$$

Read-only

Керування потоком за рахунок зміни коефіцієнта гідравлічного тертя, можливе, якщо доданок у чисельнику рівняння (1.37), що містить C_f буде превалювати над доданками, що ураховує вплив масообміну на дні потоку, тобто за умови:

$$C_f < \mu\bar{s}\frac{\alpha_k}{\varepsilon}\sqrt{8\alpha_k}\frac{\sqrt{1+\frac{\sigma}{\bar{h}}+0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}}{\left(\frac{\bar{h}}{\beta}+0{,}5(1-\bar{s})\right)}\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^{3/2}, \qquad (2.54)$$

де ε – коефіцієнт впливу.

При цьому глибина потоку, відповідна до моменту домінування доданка з C_f у чисельнику рівняння (1.37), буде визначатися з розв'язку нелінійної нерівності:

$$\sqrt{\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^3+\bar{\sigma}\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^2+\frac{1}{2}} \geq \frac{\varepsilon C_f}{\mu\bar{s}\,\alpha_k\sqrt{8\alpha_k}}\left(\frac{1}{\bar{\beta}}\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}+\frac{1-\bar{s}}{2}\right). \qquad (2.55)$$

Результати аналітичного дослідження нерівності (2.55) показують, що воно має єдиний розв'язок у першому квадранті координатної площини, яке обмежує глибину потоку зверху.

Враховуючи вид рівняння (1.37) у випадку відсутності масообміну на дні потоку [10 – 12], ґрунтуючись на відомих положеннях гідравліки безнапірних потоків, для розглянутого випадку, це рівняння можна представити в наступному виді:

$$\frac{d\bar{h}}{dx}=\frac{I_0+I_S}{1-\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}; \qquad (2.56)$$

Read-Only

$$I_0 = \sin\theta - \frac{C_f}{\alpha_k}\frac{\bar{h}}{\beta}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3; \qquad (2.57)$$

$$I_s = \wp\,\mu\bar{s}\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{1+\frac{\sigma}{\bar{h}}+0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2} - \frac{C_f}{\alpha_k}\frac{1-\bar{s}}{2}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3, \qquad (2.58)$$

де I_0 – доданки, які описують течію при відсутності масообміну на дні потоку;

I_s – доданки, які враховують вплив на течію масообміну на дні потоку.

З (2.56) – (2.58) слідує, що зміною величини C_f можна змінювати чисельник правої частини рівняння (1.37) (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Характеристика нормальних глибин потоку

Позначення	Назва	Умова виникнення
h'_*	Нормальна глибина при масообміну	$I_0 + I_S = 0$;
h_*	Нормальна глибина без масообміну	$I_0 = 0$; $I_S = 0$;

Умову течії з нормальною глибиною при масообміні можна записати в наступному виді

$$\sin\theta + \wp\,\mu\bar{s}\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{1+\frac{\sigma}{\bar{h}}+0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2} - \frac{C_f}{\alpha_k}\left(\frac{\bar{h}}{\beta}+\frac{1-\bar{s}}{2}\right)\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3 = 0, \qquad (2.59)$$

і після нескладних перетворень привести це рівняння до неповного рівняння шостого ступеня, розв'язок якого можливий тільки чисельними методами [7 – 9]:

Read-only

$$\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^6 - A_4\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^4 - A_3\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^3 - A_2\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^2 + A_1\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right) + A_0 = 0; \qquad (2.60)$$

$$A_4 = \frac{2C_f\bar{h}_k}{\sin\theta\alpha_k^2\beta}\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^4; \qquad (2.61)$$

$$A_3 = \frac{8\mu^2\bar{s}^2\alpha_k}{\sin^2\theta} + \frac{C_f(1-\bar{s})}{\alpha_k^2\sin\theta}; \qquad (2.62)$$

$$A_2 = \frac{8\mu^2\bar{s}^2\alpha_k\sigma}{\bar{h}_k\sin^2\theta} - \frac{C_f^2\bar{h}_k^2}{\alpha_k^2\beta^2\sin^2\theta}; \qquad (2.63)$$

$$A_1 = \frac{(1-\bar{s})\bar{h}_k C_f^2}{\alpha_k^2\beta\sin^2\theta}; \qquad (2.64)$$

$$A_0 = \frac{(1-\bar{s})^2 C_f^2 k_q}{4\alpha_k^2\sin^2\theta}; \qquad (2.65)$$

$$k_q = 1 - 16\frac{\mu^2\alpha_k^3}{C_f^2}\left(\frac{\bar{s}}{1-\bar{s}}\right)^2. \qquad (2.66)$$

Умова течії з нормальною глибиною без масообміну припускає, що зміни величини C_f компенсуються додаткові втрати, викликані масообміном, у цьому випадку умову (2.55) можна записати в наступному виді

$$\wp\,\mu\bar{s}\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{1+\frac{\sigma}{\bar{h}}+0{,}5\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^{3/2} - \frac{C_f}{\alpha_k}\frac{1-\bar{s}}{2}\left(\frac{\bar{h}_k}{\bar{h}}\right)^3 = 0, \qquad (2.67)$$

Read-only

і після нескладних перетворень привести до неповного рівняння третього ступеня, розв'язок якого можливо аналітично [7 – 9]:

$$\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^3 + \frac{\sigma}{\bar{h}_k}\left(\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}\right)^2 - \frac{k_q C_f^2}{32\mu^2\alpha_k^3}\left(\frac{1-\bar{s}}{\bar{s}}\right)^2 = 0. \qquad (2.68)$$

Рівняння (2.68), з урахуванням кількості зміни знаків, має єдиний дійсний, позитивний корінь

$$\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k} = \sqrt[3]{\frac{C_f^2 k_q}{64\mu^2\alpha_k^3}\left(\frac{1-\bar{s}}{\bar{s}}\right)^2}\left(\sqrt[3]{1-\frac{E}{2}+8\sqrt{1-E}} + \sqrt[3]{1-\frac{E}{2}-8\sqrt{1-E}} - \sqrt[3]{\frac{E}{2}}\right); \qquad (2.69)$$

$$E = 2\frac{64}{27}\left(\frac{\sigma}{\bar{h}_k}\right)^3 \frac{\mu^2\alpha_k^3}{C_f^2 k_q}\left(\frac{\bar{s}}{1-\bar{s}}\right)^2. \qquad (2.70)$$

Перша з умов, зазначених у табл. 2.2, є рівнянням для розрахунків нормальної глибини потоку у випадку відсутності масообміну на дні потоку, яке можна записати в наступному виді:

$$\frac{\bar{h}}{\bar{h}_k} = \sqrt[3]{\frac{C_f}{2\alpha_k \sin\theta}}\left[\sqrt[3]{1+\sqrt{1-\left(\frac{\bar{h}_k}{3\beta}\right)^3 \frac{2C_f}{\alpha_k \sin\theta}}} + \sqrt[3]{1-\sqrt{1-\left(\frac{\bar{h}_k}{3\beta}\right)^3 \frac{2C_f}{\alpha_k \sin\theta}}}\right]. \qquad (2.71)$$

Спільний розгляд (2.69) і (2.71) дозволяє визначити величину коефіцієнта гідравлічного тертя, яка забезпечує розглянутий режим течії:

Read-only

$$C_f = \frac{64\mu^2 \alpha_k^3 \bar{h}_k^3}{\Lambda \beta^3 \sin^3\theta}\left(\frac{\bar{s}}{1-\bar{s}}\right)^4; \qquad (2.72)$$

$$\Lambda = k_q^2\left(\sqrt[3]{1-\frac{E}{2}+8\sqrt{1-E}}+\sqrt[3]{1-\frac{E}{2}-8\sqrt{1-E}}-\sqrt[3]{\frac{E}{2}}\right)^6. \qquad (2.73)$$

У деяких випадках при керуванні гідравлічними процесами, що забезпечують комунікацію вузлів логістики у геотехнічних системах, потрібне запобігання виникненню бурхливого режиму плину, що однозначно веде до наступного:

$$\eta = \frac{\bar{h}}{\bar{h}_k}, \qquad (2.74)$$

де η – стала величина більша одиниці.

У цьому випадку рівняння (1.37) і (1.38) перетворяться до виду

$$\eta\frac{d\bar{h}_k}{dx} = \frac{\sin\theta + \wp\mu\bar{s}\sqrt{8\alpha_k}\sqrt{1+\frac{\bar{\sigma}}{\eta}+\frac{1}{2\eta^3}}\frac{1}{\eta^{3/2}} - \frac{C_f}{\alpha_k}\left(\frac{\eta}{\bar{\beta}}+\frac{1-\bar{s}}{2}\right)\frac{1}{\eta^3}}{1-\frac{1}{\eta^3}}; \qquad (2.75)$$

$$\frac{d\bar{h}_k}{dx} = -\wp\mu\bar{s}\sqrt{\frac{8}{9}\alpha_k}\sqrt{\eta}\sqrt{1+\frac{\bar{\sigma}}{\eta}+\frac{0,5}{\eta^3}}. \qquad (2.76)$$

Спільний розгляд (2.75) і (2.76) дозволяє визначити величину коефіцієнта гідравлічного тертя, який забезпечує розглянутий режим течії:

Read-only

$$C_f = \wp\,\mu\bar{s}\sqrt{\frac{8}{9\alpha_k}}\sqrt{\eta^3+\sigma\eta^2+0{,}5}\,\frac{\eta^3+\sqrt{9}-1}{\frac{\eta}{\bar{\beta}}+\frac{1-\bar{s}}{2}}+\frac{\sin\theta}{\left(\frac{\eta}{\bar{\beta}}+\frac{1-\bar{s}}{2}\right)\alpha_k}. \qquad (2.77)$$

Формула (2.77) дозволяє, за допомогою методик, зазначених у першому розділі, підібрати таку концентрацію ГДАР або ПАР, яка забезпечить зниження коефіцієнта тертя до необхідної величини [13 – 33].

2.2 Керування гідравлічними процесами при течії гідросуміші по внутрішній поверхні циліндра з закруткою

2.2.1 Моделі течії без урахування масообміну через дно потоку.

При відсутності масообміну через тверду поверхню модель розглянутої течії пульпи складається з наступної системи рівнянь (мал. 2.2) [1 – 6, 34 – 36]:

$$\frac{d\eta}{dx}=\frac{Fr+\frac{C_f}{\eta(2-\eta)\cos^2\varphi_S}\left(\frac{1}{\cos\varphi_S}\frac{(2-\eta)}{(1-\eta)^3}-1\right)}{\frac{2(1-\eta)}{\eta(2-\eta)}\left(\frac{1-3\eta+\eta^2}{(1-\eta)^4}-\frac{1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S}\right)\mathrm{tg}^2\varphi_S}; \qquad (2.78)$$

$$\frac{1}{V_z}\frac{dV_z}{dx}=-\frac{Fr+\frac{C_f}{\cos^2\varphi_S\eta(2-\eta)}\left(\frac{1}{\cos\varphi_S}\frac{(2-\eta)}{(1-\eta)^3}-1\right)}{\left(\frac{1-3\eta+\eta^2}{(1-\eta)^4}-\frac{1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S}\right)\mathrm{tg}^2\varphi_S}; \qquad (2.79)$$

$$\frac{d\varphi_S}{dx}=\frac{Fr-\frac{0{,}25C_f}{\eta(2-\eta)\cos^2\varphi_S}\left[(Eu-1)2\cos\varphi_S+1-\frac{2\mathrm{tg}\varphi_S\sin\varphi_S}{(1-\eta)^4}\right]}{\frac{2(1-\eta)}{(2-\eta)}\left(\frac{1-3\eta+\eta^2}{(1-\eta)^4}-\frac{1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S}\right)\frac{\mathrm{tg}\varphi_S}{\cos^2\varphi_S}}. \qquad (2.80)$$

Read-only

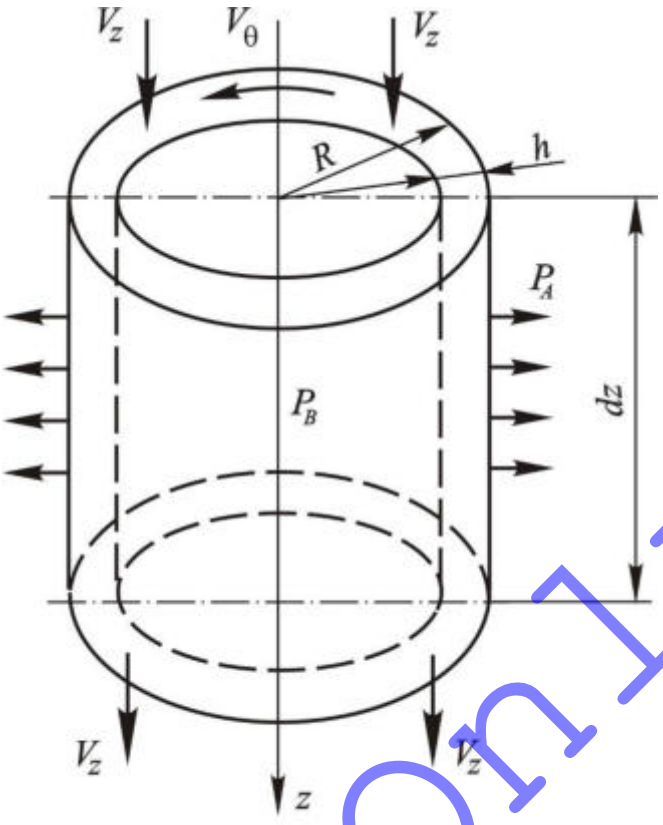


Рисунок 2.2 – Схема безнапірного потоку рідини по внутрішній поверхні циліндру з примусовим масообміном

Для системи рівнянь (2.78) – (2.80) єдиним керуючим впливом є зміна тертя на границі між потоком і внутрішньою поверхнею циліндра. Для відносної глибини потоку й швидкості в шарі зменшення значення C_f за рахунок уведення розчинів ПАР приводить до менш сильної зміни цих параметрів по довжині потоку, а збільшення значення цього коефіцієнт – до збільшення швидкості їх зміни. Вплив зміни значення C_f за рахунок уведення розчинів ПАР на величину φ_S залежить від знака параметра b_φ, який за певних умов може бути знакозмінним. З умови $b_\varphi = 0$, з використанням виразу (1.63), неважко одержати формулу для розрахунків відповідної відносної глибини потоку (рис. 2.3):

Read-only

$$\eta_* = 1 - \frac{\sqrt{\mathrm{tg}\,\varphi_S}}{\sqrt[4]{Eu + \dfrac{1 - 2\cos\varphi_S}{2\cos\varphi_S}}}, \qquad (2.81)$$

де η_* – відносна глибина потоку, при якій $b_\varphi = 0$.

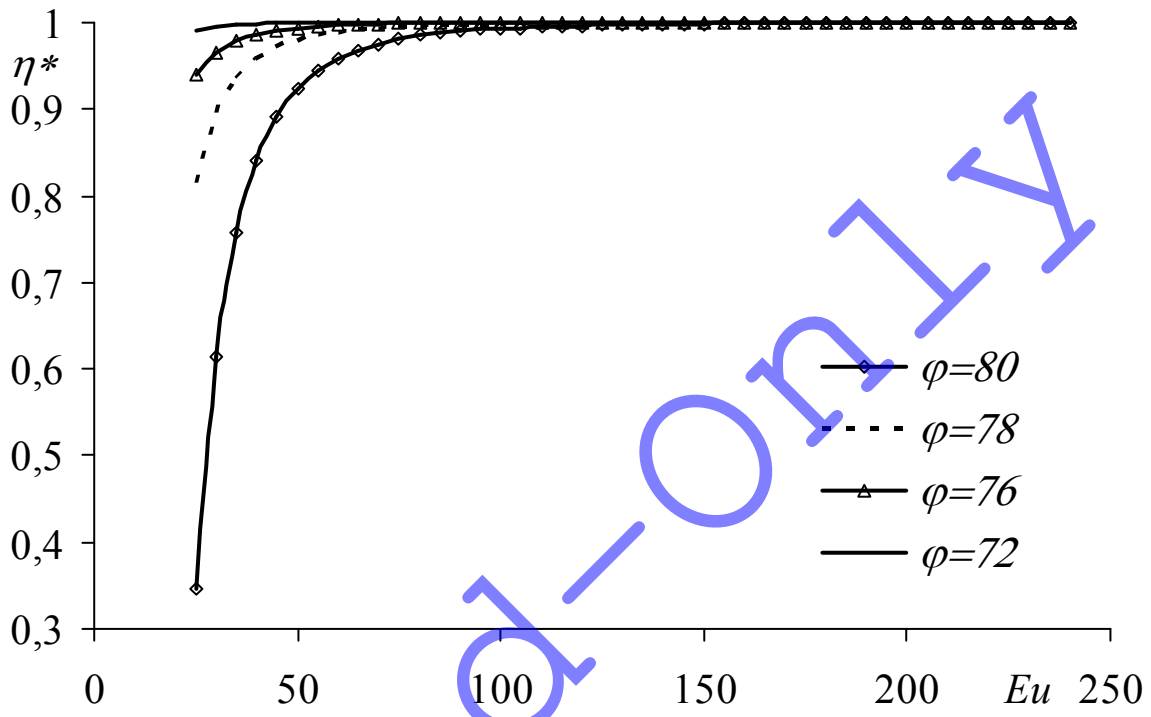


Рисунок 2.3 – Залежність відносної глибини потоку η_* від параметра Eu при різних значеннях кута закручення потоку φ_S

Величина b_φ буде позитивною, якщо поточна глибина потоку не буде перевищувати значення η_*. Цим значенням відповідає область розташована, нижче кривих на рис. 2.3. З Рис. 2.3 видно, що негативні значення b_φ можуть бути отримані при відносних глибинах потоку, суттєво перевищуючих значення, характерні для умов систем логістики. Таким чином, для розглянутих потоків значення величини b_φ у всьому діапазоні зміни відносної глибини

Read-Only

потоку буде більше нуля. З обліком цього, за рахунок зміни C_f, можлива реалізація режимів, коли чисельник рівняння (2.80) дорівнює нулю:

$$C_f = \frac{2Fr\eta(2-\eta)\cos\varphi_S}{Eu + \frac{1-2\cos\varphi_S}{2\cos\varphi_S} - \frac{\mathrm{tg}^2\varphi_S}{(1-\eta)^4}}. \qquad (2.82)$$

Критична глибина потоку визначається з умови рівності нулю знаменника рівнянь (2.78) – (2.80), що після нескладних перетворень, зводиться до розв'язку нелінійного рівняння:

$$\frac{1-3\eta+\eta^2}{(1-\eta)^4} = \frac{1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S}. \qquad (2.83)$$

Вираз (2.83) перетворюється у алгебраїчне неповне рівняння четвертого ступеня, розв'язок якого в аналітичному виді одержати неможливо. Результати чисельного розв'язку рівняння (2.83) (рис. 2.4) вказують на нелінійну залежність критичної глибини від величини φ_S.

При цьому існує неоднозначність у значенні функції на інтервалі $43 \le \varphi_S \le 45°$, коли одному значенню аргументу відповідають два значення функції, що на графіку залежності $\eta_{kp} = f(\varphi_S)$ виражається наявністю нижньої й верхньої областей, що з'єднуються при $\eta_{kp} = 0{,}15$ (рис. 2.5, 2.6).

Оскільки в системах логістики гірничих підприємств використовуються потоки з відносними глибинами, що не перевищують 0,15, то для аналізу режиму плину по внутрішній поверхні циліндра надалі будемо використовувати нижню область графіку (рис. 2.5). Таким чином, спокійний режим плину рідини по внутрішній поверхні циліндра буде реалізовуватися в області нижче кривої показаної на рис. 2.5, а бурхливий – вище цієї кривій.

Read-only

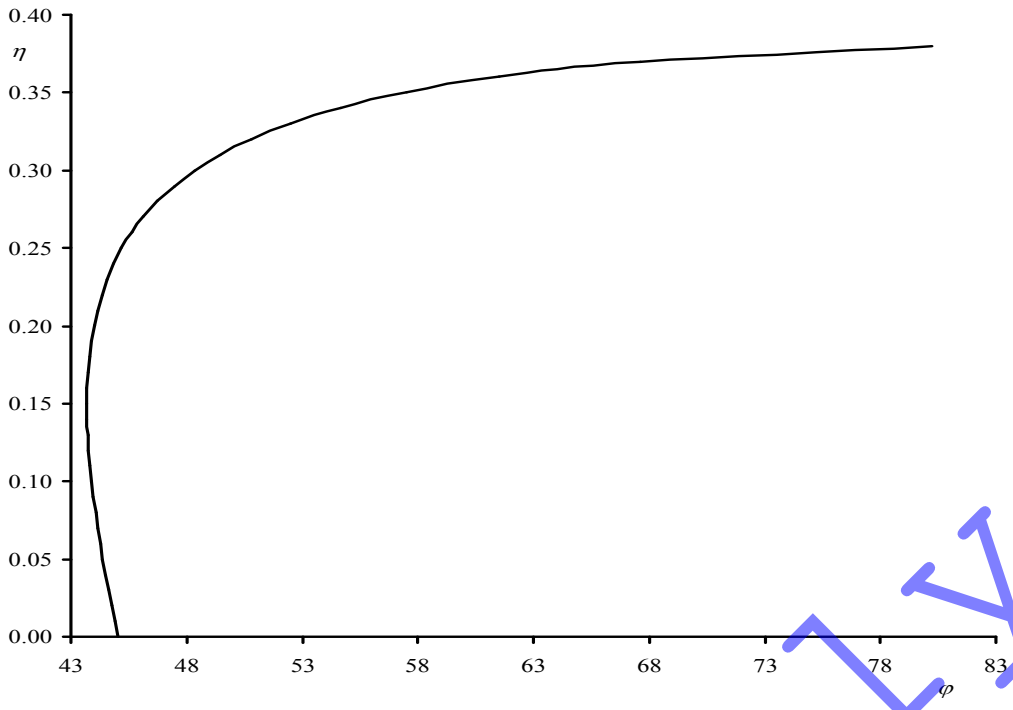


Рисунок 2.4 – Залежність відносної критичної глибини потоку η_{kp} від кута закручення потоку φ_S у всьому діапазоні його зміни

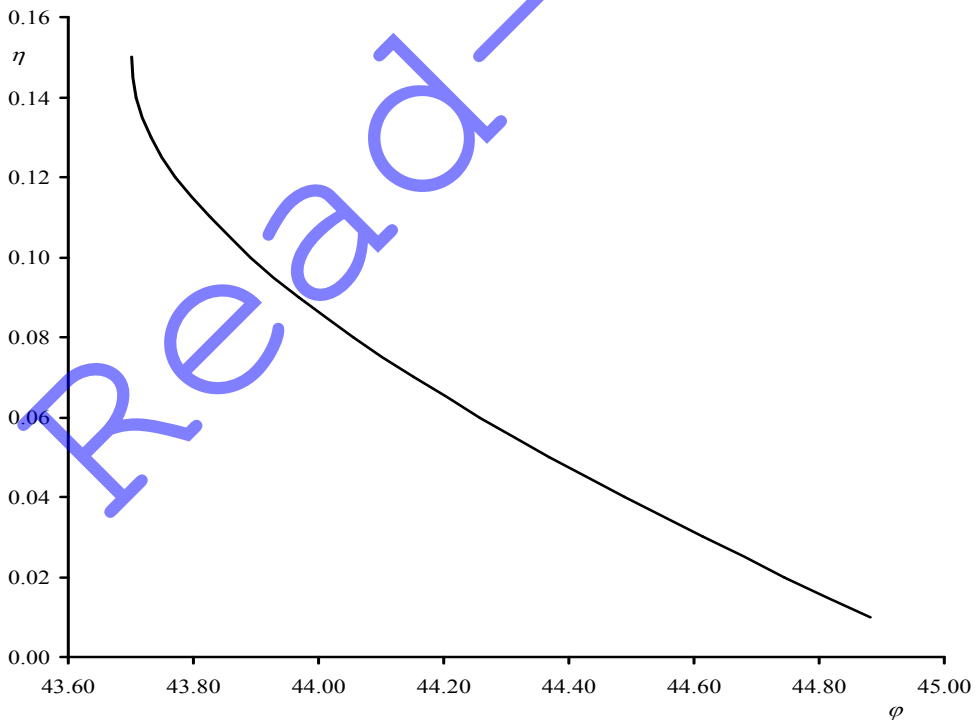


Рисунок 2.5 – Залежність відносної критичної глибини потоку η_{kp} від кута закручення потоку φ_S при $\eta_{kp} < 0{,}15$

Read-only

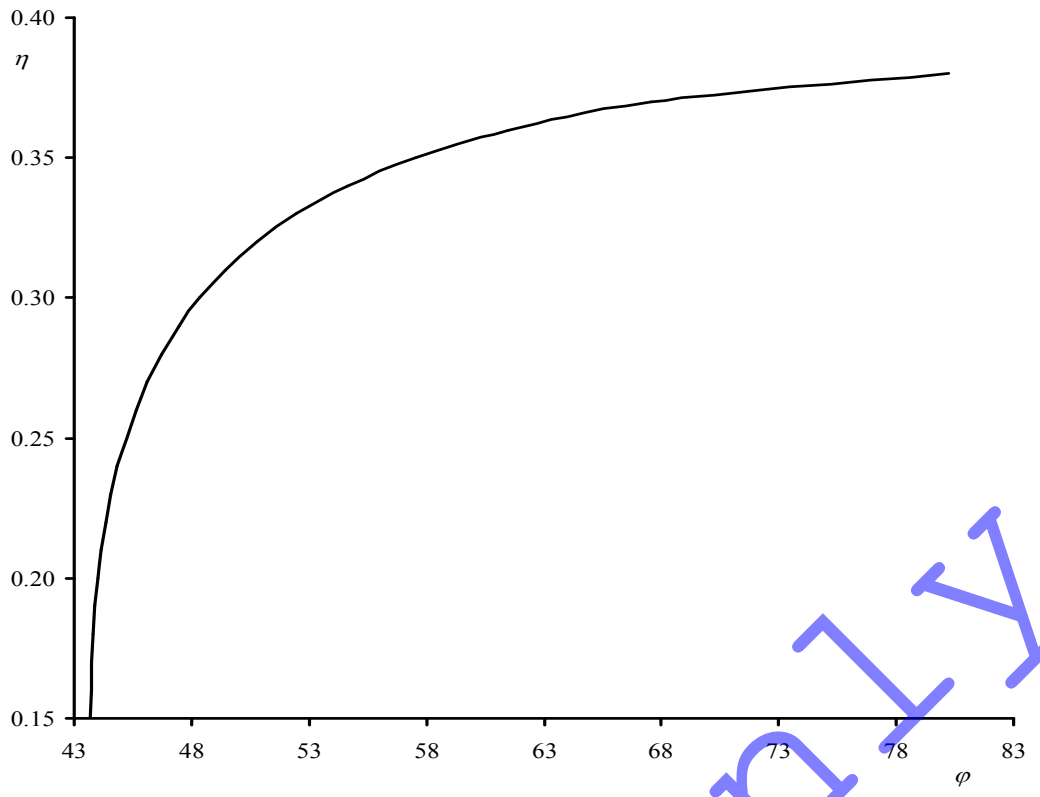


Рисунок 2.6 – Залежність відносної критичної глибини потоку η_{kp} від кута закручення потоку φ_S при $\eta_{kp} > 0{,}15$

2.2.2 Дослідження течії при наявності масообміну через дно потоку.

При здійсненні масообміну через дно потоку керування параметрами й режимами плину можливо шляхом зміни [7, 8, 11, 12]:

– витрати рідини, що відбирається або додається;

– перепаду тиску, що діє на щілині в дні;

– величини перфорування дна;

– коефіцієнта витрати через щілини.

З формул (1.53) – (1.57), (1.59) і (1.60), видно, що вплив усіх вище вказаних керуючих параметрів ураховується параметрами, які мають у своєму складі комплекси a_h, a_V і a_φ. При цьому, від розглянутих параметрів залежать як коефіцієнти, так і самі величини цих комплексів. Величини a_h, a_V і a_φ, крім зазначених керуючих параметрів, ураховують вплив кута закручення φ_S й

Read-only

відносної глибини η потоку, а також співвідношення тиску й швидкісного напору. Як показують результати чисельного аналізу доданків, що входять у комплекси a_h, a_V і a_φ, члени, що враховують різні з перерахованих факторів мають різний порядок величини. Це дозволяє моделювати параметри течії з різним ступенем точності.

Першим ступенем спрощення моделі, є зневага в комплексах a_h, a_V і a_φ членами, що враховують параметри процесу масообміну через дно потоку. Величина цього, що складається, менше суми перших двох членів у два, а то й у п'ять разів, що дозволяє замість формул (1.57), (1.59) і (1.60) використовувати наступні наближені вирази:

$$a_h \approx \frac{Eu+3}{\mathrm{tg}^2\varphi_S} - \frac{5-12\eta+4\eta^2}{(1-\eta)^4}; \tag{2.84}$$

$$a_V \approx \frac{Eu+1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S} - \frac{3-\eta}{(1-\eta)^4}; \tag{2.85}$$

$$a_\varphi \approx \frac{Eu-1}{\mathrm{tg}^2\varphi_S} - \frac{1}{(1-\eta)^4}. \tag{2.86}$$

З формул (2.84) – (2.86) видно, що при певних параметрах і режимах течії величини комплексів a_h, a_V і a_φ можуть міняти знак або обертатися в нуль. Очевидно, що в цьому випадку буде мінятися характер впливу масообміну через дно потоку.

Значення комплексу a_h обертається в нуль у коріннях неповного рівняння четвертому ступеня

$$A(1-\eta)^4 - (1-\eta)^2 - (1-\eta) + 3/4 = 0; \tag{2.87}$$

Read-only

$$A = \frac{3 + Eu}{4\mathrm{tg}^2\varphi_S}, \qquad (2.88)$$

розв'язок якого був отриманий чисельно (Рис. 2.7) та апроксимована методом найменших квадратів у вигляді

$$\eta_* = 0{,}4653A - 0{,}5812. \qquad (2.89)$$

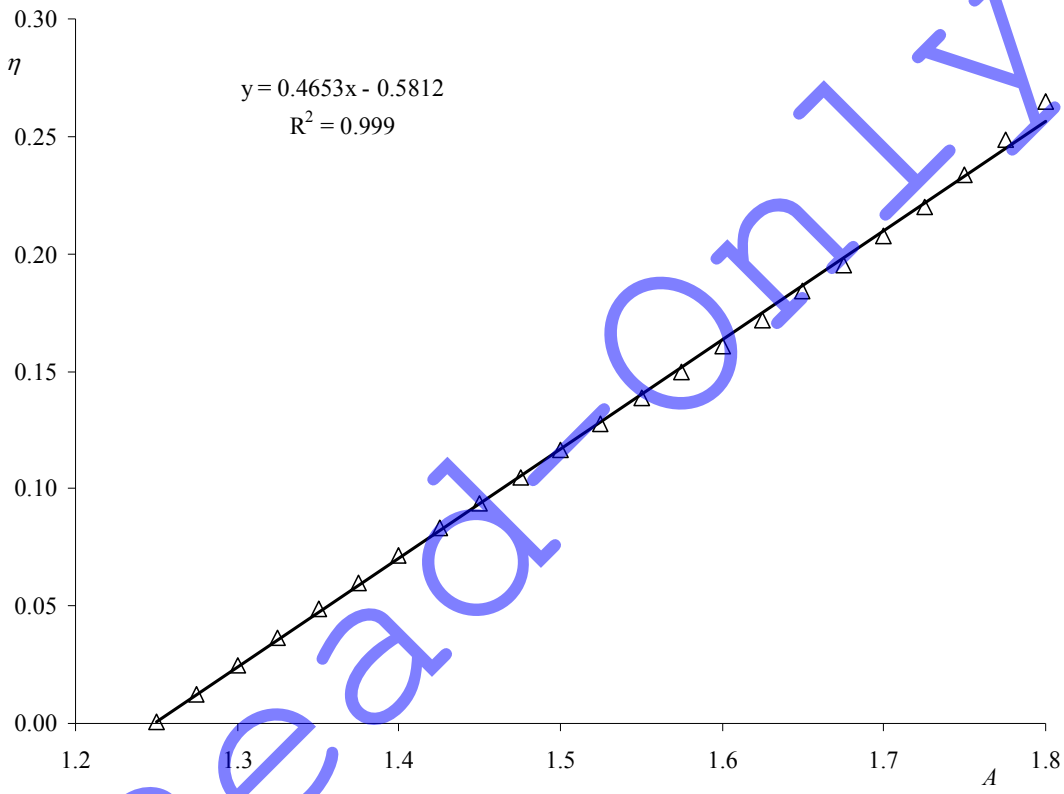


Рисунок 2.7 – Залежність відносної глибини потоку, при якій $a_h = 0$, від величини параметра A

Результати аналізу інтервалів незмінності знаків полінома (2.86) і рис. 2.7 показують, що позитивним значенням комплексу a_h відповідають позитивні значення відносної глибини потоку, що не перевищують величини η_*, що визначається по формулі (2.86). На рис. 2.7 цим значенням відповідає область, розташована нижче графіка функції. З рис. 2.7 видно, що реалізовані у вузлах

Read-only

логістики значення відносної глибини потоку, досягаються при набагато більших значеннях параметра A. Таким чином, для більшої частини розглянутих потоків величина комплексу a_h може вважатися строго позитивною.

Значення комплексу a_V обертається в нуль у коріннях неповного рівняння четвертому ступеня

$$(1-\eta)^4 - A(1-\eta) - 2A = 0; \tag{2.90}$$

$$A = \frac{\mathrm{tg}^2\varphi_S}{1+Eu}, \tag{2.91}$$

розв'язок якого в характерній для вузлів логістики області можна записати в аналітичному виді (мал. 2.8 – 2.12):

$$\eta = 1 + \frac{1}{B} - \frac{\sqrt{2}}{B}\sqrt{\sqrt{1+2B^3} - \frac{3}{2}}; \tag{2.92}$$

$$B = \frac{Eu+1}{0{,}25\mathrm{tg}^2\varphi_S}. \tag{2.93}$$

Позитивним значенням комплексу a_V відповідають значення відносної глибини потоку, що не перевершують величину η_*, обумовлену згідно (2.91); на рис. 2.8 – 2.12 їм відповідають області, розташовані нижче кривої. З рис. 2.8 – 2.12 випливає, що можливі для вузлів логістики значення відносної глибини у більшій частині розглянутого інтервалу величини B автоматично задовольняють цій умові. Таким чином, можна вважати, що комплекс a_V для розглянутих потоків є строго позитивним.

Read-only

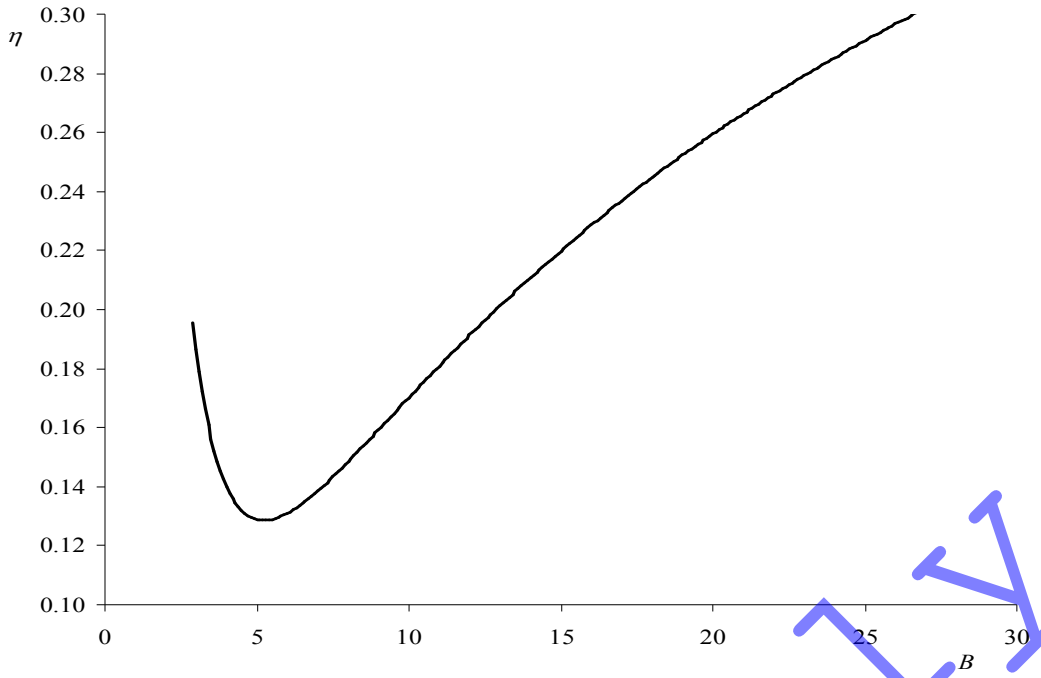


Рисунок 2.8 – Залежність відносної глибини потоку, при якій $a_V = 0$, від величини параметра B в інтервалі $0 < B < 30$

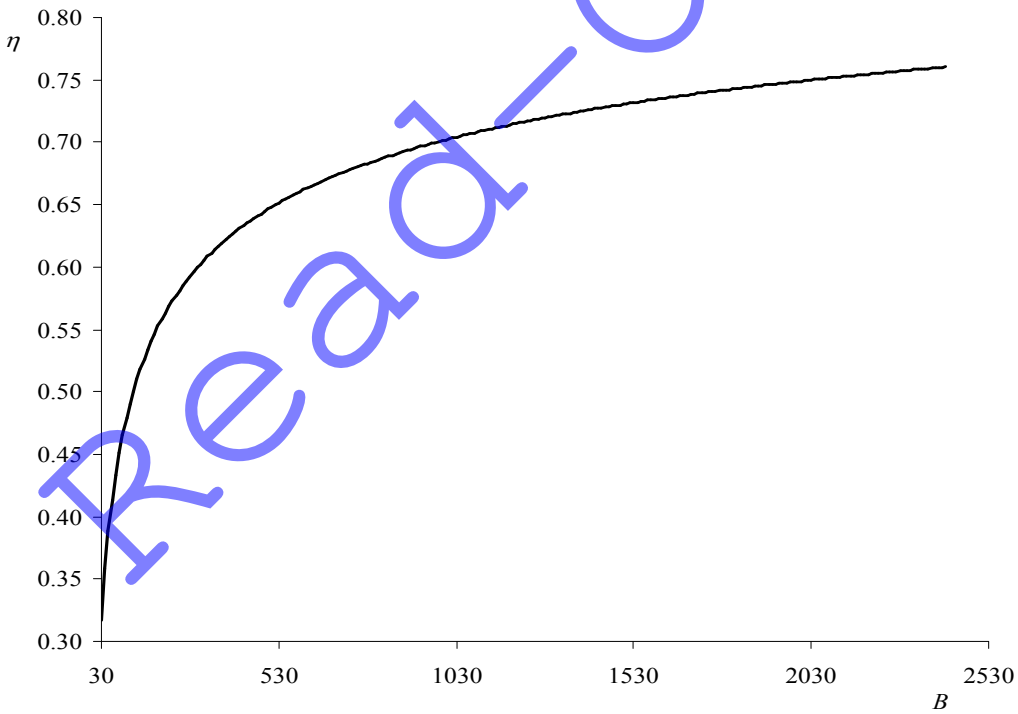


Рисунок 2.9 – Залежність відносної глибини потоку, при якій $a_V = 0$, від величини параметра B в інтервалі $30 < B < 2530$

Read-only

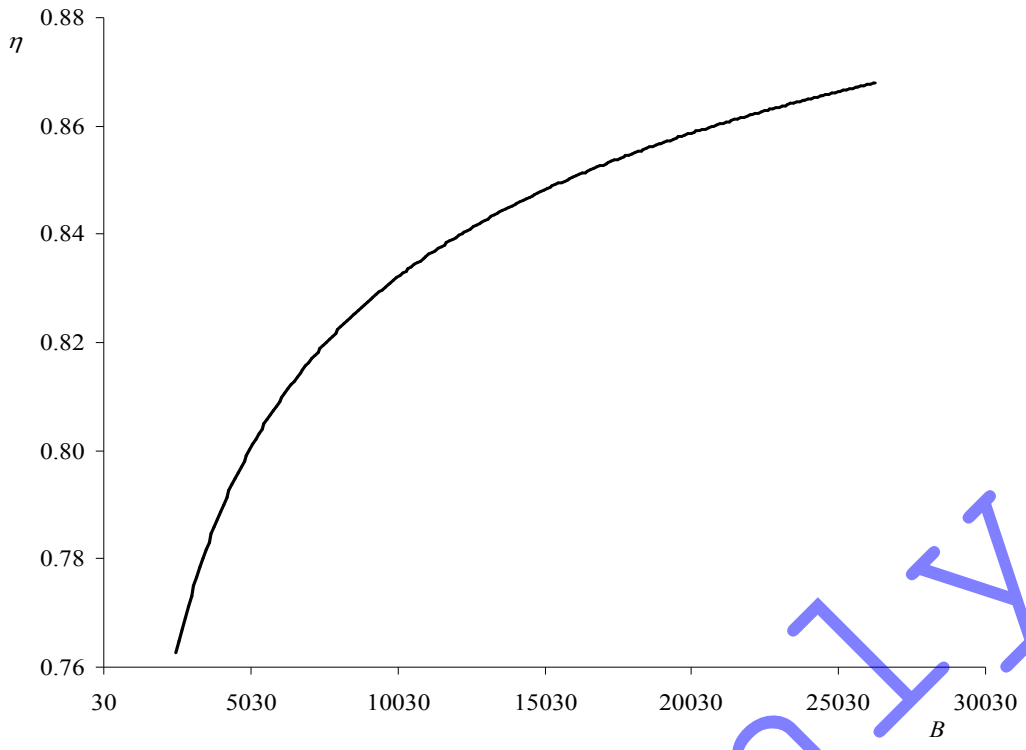


Рисунок 2.10 – Залежність відносної глибини потоку, при якій $a_V = 0$, від величини параметра B в інтервалі $30 < B < 30030$

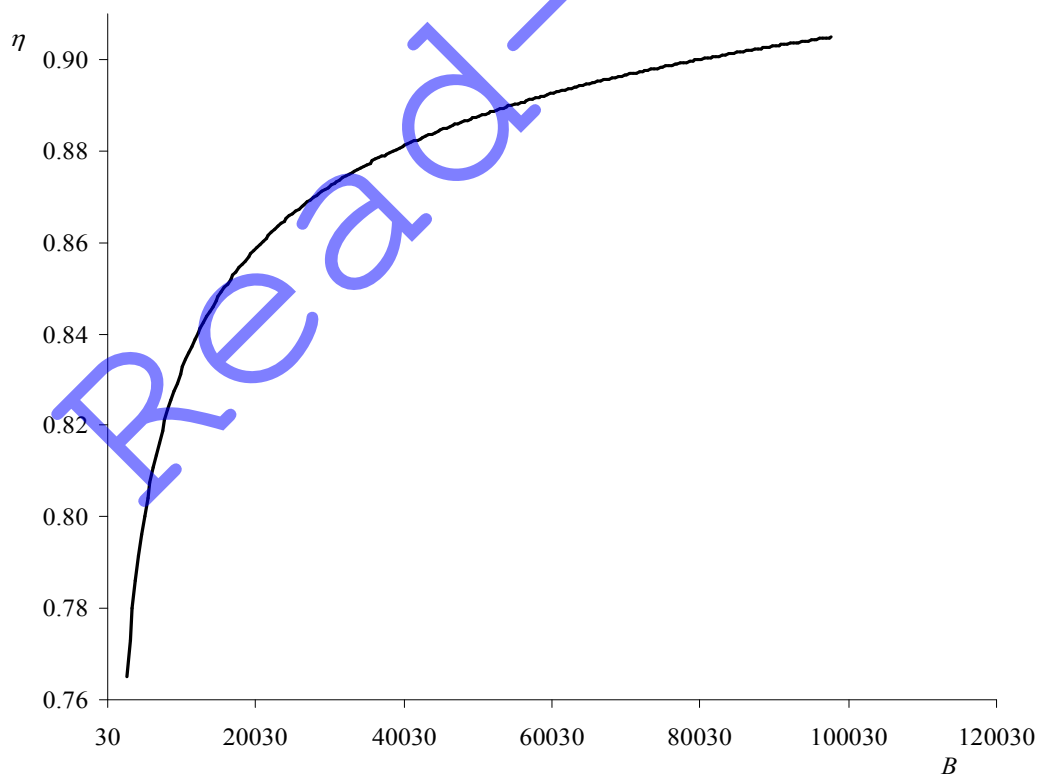


Рисунок 2.11 – Залежність відносної глибини потоку, при якій $a_V = 0$, від величини параметра B в інтервалі $30 < B < 120030$

Read-only

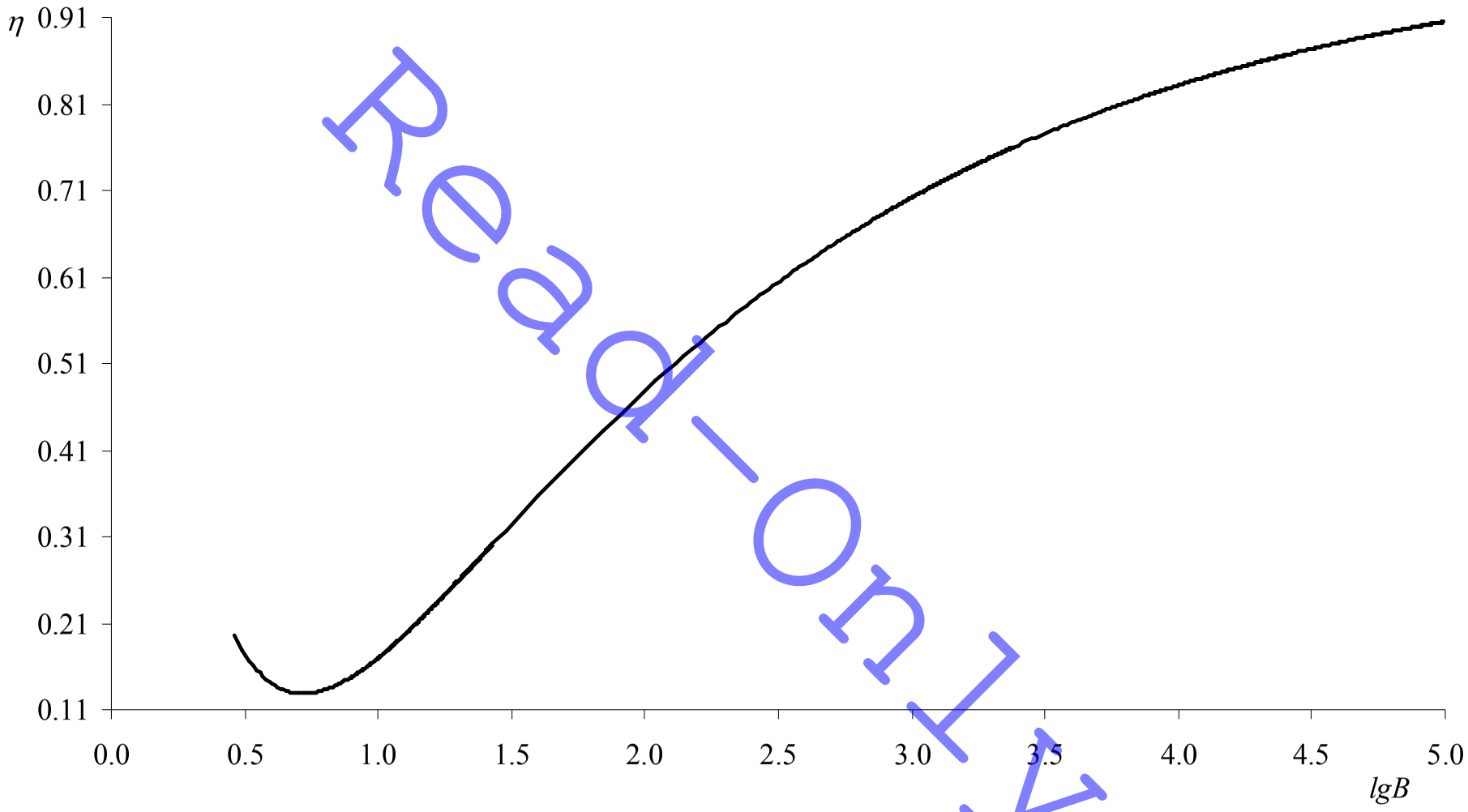


Рисунок 2.12 – Залежність відносної глибини потоку, при якій $a_V = 0$, від величини параметра B

Read-only

Значення комплексу a_φ буде більшим нуля при дотриманні однієї з наведених нижче умов (мал. 2.13, 2.14):

$$\eta < \eta_* ; \tag{2.94}$$

$$Eu > Eu_* ; \tag{2.95}$$

$$\eta_* = 1 - \sqrt[4]{\frac{\mathrm{tg}^2 \varphi_S}{Eu - 1}} ; \tag{2.96}$$

$$Eu_* = 1 + \frac{\mathrm{tg}^2 \varphi_S}{(1-\eta)^4} . \tag{2.97}$$

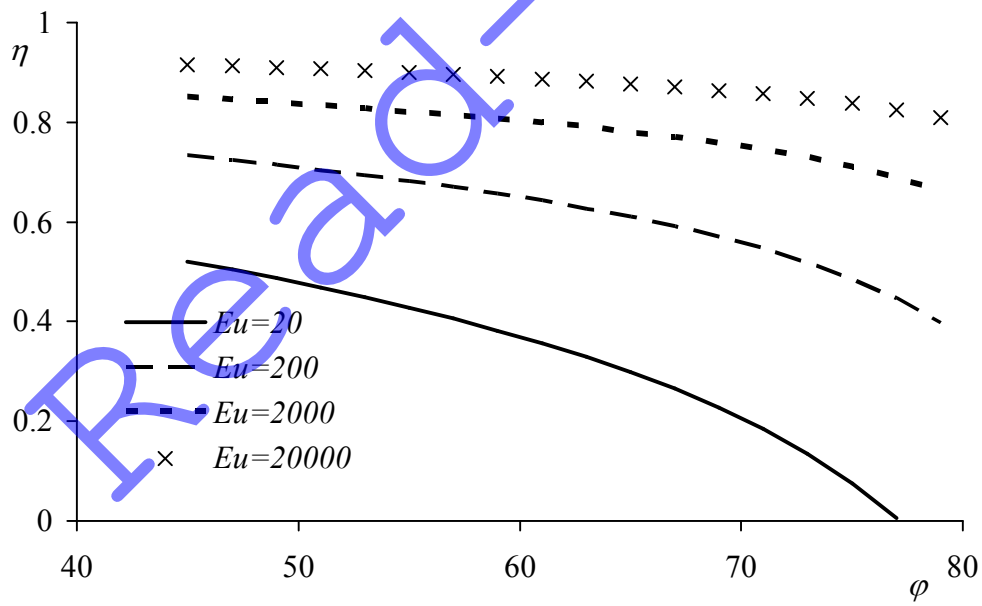


Рисунок 2.13 – Залежність відносної глибини потоку, при якій $a_\varphi = 0$, від величини кута закручення потоку φ_S при різних значеннях параметра Eu

Read-only

Діапазони значень відносної глибини потоку й числа Ейлера, в яких величина комплексу a_φ позитивна, на рис. 2.13 і 2.14 відповідають областям, розташованим відповідно нижче (рис. 2.13) і вище (рис. 2.14) графіків функцій. З рис. 2.13 і 2.14 видно, що нерівності (2.94) і (2.95) виконуються для всіх параметрів і режимів плину. Таким чином, для розглянутих розрахунків значення комплексу a_φ можна вважати строго позитивним.

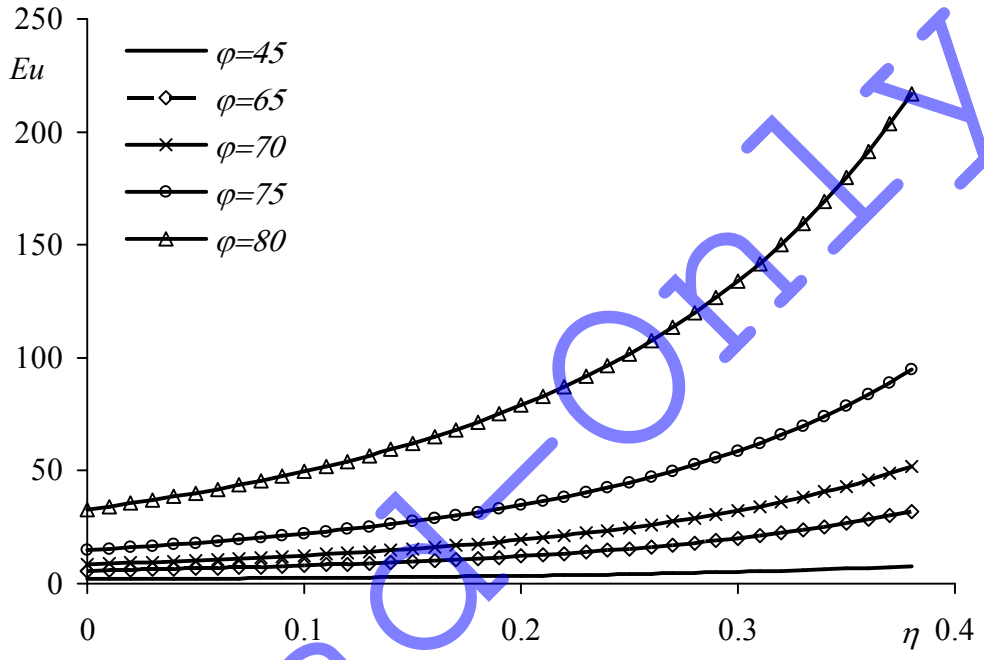


Рисунок 2.14 – Залежність параметра Eu, при якому $a_\varphi = 0$, від величини відносної глибини потоку при різних значеннях кута закручення потоку φ_S

Read-only

Враховуючи позитивність комплексів a_h, a_V і a_φ для умов розглянутих розрахунків, другим ступенем спрощення моделі, є зневага у виразах для цих величин доданками, що враховують відносну глибину потоку. З урахуванням цього припущення значення комплексів a_h, a_V і a_φ будуть однакові, будуть залежати від числа Ейлера й кута закручення потоку, а замість виразів (2.94) – (2.97) буде використовуватися формула

$$a \approx \frac{Eu}{\mathrm{tg}^2\varphi_S}. \qquad (2.98)$$

З урахуванням виразу (2.98) формули (1.54) – (1.56) можуть бути переписані у вигляді:

$$W_h = Fr + \frac{c_f(1-\bar{S})b}{\eta(2-\eta)\cos^2\varphi_S} + \wp\,\mu\bar{S}Eu\frac{\sqrt{1+2\eta}}{\eta(2-\eta)}\mathrm{tg}\varphi_S; \qquad (2.99)$$

$$W_V = Fr + \frac{c_f(1-\bar{S})b}{\cos^2\varphi_S\eta(2-\eta)} + \wp\,\mu\bar{S}Eu\frac{\sqrt{1+2\eta}}{\eta(2-\eta)}\mathrm{tg}\varphi_S; \qquad (2.100)$$

$$W_\varphi = Fr - \frac{c_f(1-\bar{S})b_\varphi}{\eta(2-\eta)cos^2\varphi_S} + \wp\,\mu\bar{S}Eu\frac{\sqrt{1+2\eta}}{\eta(2-\eta)}\mathrm{tg}\varphi_S. \qquad (2.101)$$

Керування параметрами потоку рідини за рахунок зміни ступені перфорації в розглянутих умовах буде істотним для глибини й швидкості потоку, якщо вірна нерівність (рис. 2.15):

$$\frac{\mu Eu}{c_f} \le A; \qquad (2.102)$$

$$A = 2\frac{\frac{1}{\cos\varphi_S}\frac{(2-\eta)}{(1-\eta)^3} - 1}{\sqrt{1+2\eta}\,sin2\varphi_S}. \qquad (2.103)$$

Цей же варіант керування параметрами потоку рідини в розглянутих умовах буде істотним для кута закручення потоку, якщо вірна нерівність:

Read-only

$$\frac{\wp\,\mu E u}{c_f} \le A'\,; \tag{2.104}$$

$$A' = \frac{\dfrac{1-2\cos\varphi_S}{2\cos\varphi_S} - \dfrac{\mathrm{tg}^2\varphi_S}{(1-\eta)^4}}{\sqrt{1+2\eta}\,\sin\varphi_S - \wp\dfrac{c_f}{\mu}}\,. \tag{2.105}$$

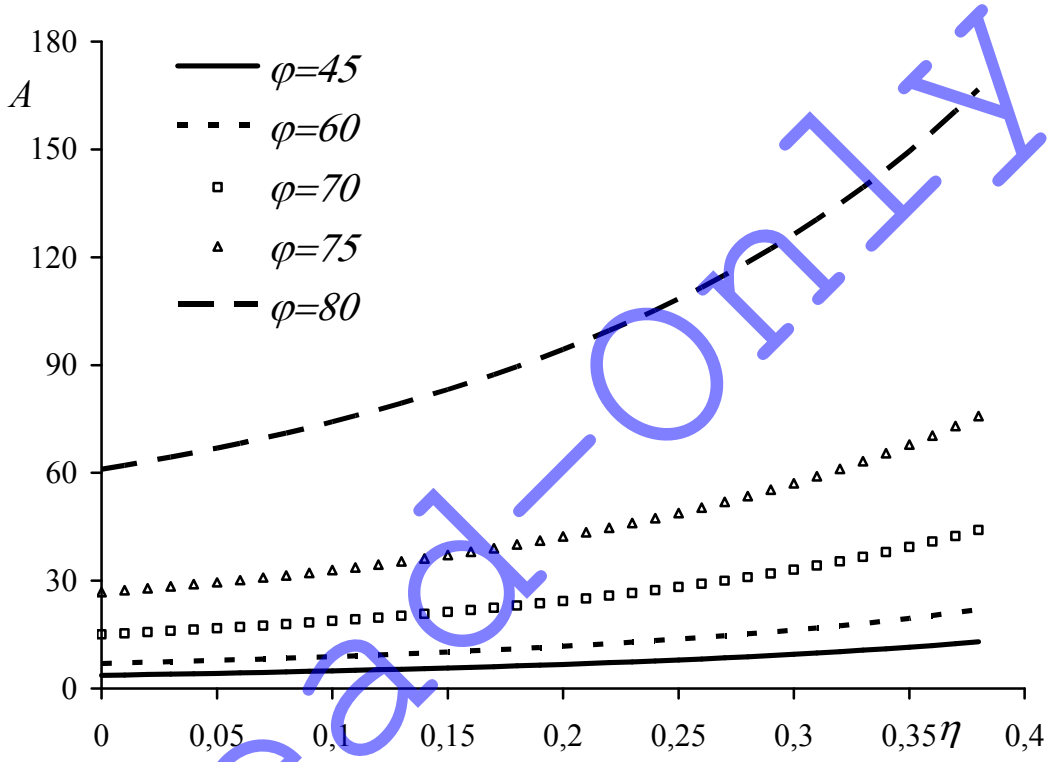


Рисунок 2.15 – Залежність параметра A від величини відносної глибини потоку при різних значеннях кута закручення потоку

Read-only

Очевидно, що керування параметрами потоку рідини за рахунок зміни ступеня перфорації має сенс доти, поки цей вплив не компенсує повністю вплив тертя потоку об стінку циліндра. Неважко показати, що для глибини й швидкості потоку, зміна ступеня перфорації стінки циліндра обмежена величиною:

$$\bar{S} \le \frac{1}{1 - \wp \dfrac{\mu Eu}{2c_f b}\sqrt{1+2\eta}\, sin2\varphi_S}, \qquad (2.106)$$

а для кута закручення потоку:

$$\bar{S} \le \frac{1}{1 + \wp \dfrac{\mu Eu}{2c_f b_\varphi}\sqrt{1+2\eta}\, sin2\varphi_S}. \qquad (2.107)$$

Формули (2.13), (2.43), (2.54), (2.56) – (2.58), (2.72), (2.77) та (2.82), що наведені в підрозділах 2.1 та 2.2, дають можливість управління параметрами та режимами безнапірної течії шляхом зміни величини коефіцієнту тертя між рідиною та твердою поверхнею, що в умовах потоків, які розглядаються, є майже єдиним шляхом керування.

2.2.3 Дослідження можливості управління параметрами та режимами безнапірної течії шляхом додавання розчинів реагентів.

Управління параметрами гідравлічного процесу в технологіях збагачення мінеральної сировини можливе за рахунок використання в якості несучого середовища водних розчинів високомолекулярних полімерів дуже малих концентрацій, або розчинів міцеллоутворюючих поверхнево-активних речовин (МПАР) [24]. Присутність цих речовин істотно знижує коефіцієнт тертя рідини об тверді стінки каналу. Цей ефект був відкритий Томсом при течії монохлорбензола з розчиненим у ньому поліметілметакрілатом [24 - 35]. Пізніше були виявлені деякі інші полімери, присутність яких призводить до зменшення гідродинамічного опору води, вуглеводнів та інших рідин [35 - 38]. Речовини, мікродобавки яких до потоку викликають цей ефект, називають гідродинамічно активними речовинами (ГДАР).

Read-only

У водних розчинах гідродинамічну активність проявляють водорозчинні полімери, що складаються з лінійних молекул, здатних витягатися в довгі нитки. Це можуть бути природні полімери (риб'яча слиз, гуарова смола) або синтетичні полімери, з яких в якості (ГДАР) найбільш вивчені поліетиленоксид (ПЕО) та поліакриламід (ПАА), хоча в літературі зустрічаються згадки про застосування в якості ГДАР натрієвої солі карбоксиметилцелюлози [36, 37], а також МПАР, до яких відносяться складні мила, зокрема, пальмітат натрію, стеарат калію та їх суміші, натрієві і калієві солі міристинової і пентадеканової кислот [38], олеат калію [39], метаупон [40], цетілпірідінійхлорід, α-нафтол [39]. Відомо [41, 42], що більшість МПАР зменшують турбулентне тертя води тільки в присутності електролітів. Крім того, необхідно, щоб концентрація поверхнево-активної речовини в розчині була більше другої критичної концентрації міцелоутворення, при якій утворюються анізометрічні міцели [42 - 44].

Поліетиленоксид і поліакриламід є карбоцепними полімерами складу $[–CH_2–CH_2–O–]_n$ (ПЕО) и $[–CH_2–CH(CONH_2)–]_n$ (ПАА). Поліетиленоксид, або поліокс, випускається у вигляді порошку білого або слабо-жовтого кольору з частинками розміром до 3 мм і молекулярною масою не менше $2·10^6$. ПЕО відноситься до неіоногенних полимерів і у водному розчині на іони не дисоціює. ПАА випускається у вигляді 6 – 8 % -го гелю, в якому молекулярна маса ПАА знаходиться в межах $(1 – 6)·10^6$ або у вигляді білого порошку з молекулярною масою $2·10^6 – 2,2·10^7$ і густиною 1,302 г/см^3 (23 °С). ПАА може бути негідролізованним і гідролізованим [45 - 47].

Негідролізований ПАА містить амідні групи $–NH_2$, які мають дуже слабкий основний характер. Деякі автори [47] відносять його до поліелектролітів, інші [45, 48, 49] вважають його неіоногенним. Частково гідролізований ПАА містить як групи $–NH_2$, що володіють слабкими основними властивостями, так і кислотні групи –COOH, тобто є амфотерним з сильним переважанням кислотних властивостей. Вплив pH розчину на гідродинамічну активність ПАА зазначався в роботах [24, 37, 50].

Read-Only

Гідродинамічний опір потоку молекул полімеру описується так званою характеристичною в'язкістю [28, 47, 48, 51 - 53]

$$[\eta] = \lim_{c \to 0} (\eta_{уд} / c); \qquad (2.108)$$

$$\eta_{уд} = (\eta - \eta_0) / \eta_0, \qquad (2.109)$$

де $[\eta]$ – характеристична в'язкість розчину;

$\eta_{уд}$ – питома в'язкість розчину [53];

c – концентрація розчину, моль мономеру/л.;

η – коефіцієнт динамічної в'язкості розчину;

η_0– коефіцієнт динамічної в'язкості розчинника.

Характеристична в'язкість пов'язана з молекулярною масою полімеру співвідношенням Марка - Куна - Хаувінка [28, 48, 52, 53]

$$[\eta] = KM^a, \qquad (2.110)$$

де K и a – постійні для даного гомологічного ряду і розчинника;

М – молекулярна маса полімеру.

Для більшості полімерів коефіцієнт a змінюється від 0,65 до 0,8, а коефіцієнт K – від 2 до $8 \cdot 10^{-4}$ [48]. Для ПАА $[\eta] = 6{,}8 \cdot 10^{-4} M^{0{,}66}$ [*47*], для ПЕО $[\eta] = 1{,}25 \cdot 10^{-2} M^{0{,}78}$ [*28*].

У роботах [27, 57 - 61, 63] пропонується наступний механізм зниження гідродинамічного опору добавками ГДАР. Зростаючі в результаті турбулентних викидів поздовжні градієнти швидкості призводять до деформації молекулярних клубків і витягуванню полімерних ланцюгів вздовж осі потоку. Це, в свою чергу, викликає перебудову структури течії таким чином, щоб поздовжні градієнти швидкості зменшилися.

Read-only

У роботах [66 - 68] на підставі експериментальних досліджень висунуто припущення, що між величинами коефіцієнта гідравлічного опору розчину і води існує прямо пропорційна залежність

$$C'_f = KC_f\,, \tag{2.111}$$

де C'_f – коефіцієнт гідравлічного опору при течії розчину ГДАР;

K – коефіцієнт пропорційності;

C_f – коефіцієнт гідравлічного опору при течії води.

Для визначення значення коефіцієнта K авторами [68] було використано теорію анізотропії гідродинамічної взаємодії, а також відомі формули для розрахунку коефіцієнтів гідравлічного опору при ламінарній та турбулентній течії води [68]

$$K = \left(1 + \left(\overline{K}_a - 1\right)\frac{202{,}276}{\mathrm{Re}^{3/4}}\right)^2 \frac{1}{\overline{K}_a^2}\,, \tag{2.112}$$

$$\overline{K}_a = \frac{1}{\dfrac{\nu_x}{\nu_y} - 1}\,, \tag{2.113}$$

де Re – число Рейнольдса;

$\overline{K}_a$ – коефіцієнт анізотропності в'язкості;

ν_x – кінематичний коефіцієнт в'язкості уздовж осі потоку;

ν_y – кінематичний коефіцієнт в'язкості поперек осі потоку.

Спираючись на результати численних експериментів, автори роботи [4, 55] пропонують визначати величину K за двома функціональними залежностями:

Read-only

$$K = 1 - f\left(\frac{C_f}{8}\rho V^2\right) S_0\left(\frac{c}{c_0}\right), \qquad (2.114)$$

де $f\left(\frac{C_f}{8}\rho V^2\right)$ – функціональна залежність відношення поточного зниження гідравлічного опору до максимального значення від величини дотичного напруження на стінці [4, 55];

$S_0\left(\frac{c}{c_0}\right)$ – функціональна залежність максимального зниження гідравлічного опору від приведеної концентрації ГДАР [4, 55];

ρ – густина розчину;

V – швидкість течії;

c – концентрація ГДАР;

c_0 – концентрація ГДАР, при якій досягається зниження λ на 60 % (ПЕО $c_0 = 0{,}27 \cdot 10^{-5}$ г/см^3, ПАА $c_0 = 2{,}7 \cdot 10^{-5}$ г/см^3, гуарова смола $c_0 = 60 \cdot 10^{-5}$ г/см^3) [4, 55].

Спираючись на дані інших авторів і на результати власних експериментів з розчинами ПЕО, автор роботи [69] запропонував формули для розрахунку граничного зниження коефіцієнта гідравлічного опору в залежності від числа Рейнольдса

$$C'_f = \left(1 - 0{,}554 arctg\left(0{,}024\sqrt{\mathrm{Re}}\right)\right) C_f, \qquad (2.115)$$

а також величини C'_f в залежності від концентрації і молекулярної маси ГДАР

$$C'_f = \left(1 - 0{,}194 arctg\left(0{,}024\sqrt{\mathrm{Re}}\right) arctg\left(a_1 c M^{0{,}85}\right)\right) C_f, \qquad (2.116)$$

де M – молекулярна маса ГДАР;

Read-only

a_1 – параметр, що залежить від умов приготування розчину ГДАР і ступеня деструкції молекул [69].

Автори роботи [70] запропонували формули для розрахунку коефіцієнта гідравлічного опору при течії водних розчинів ГДАР з урахуванням товщини буферного підшару [4, 70]:

$$\frac{1}{\sqrt{C'_f}} = 9{,}21\lg\left(\mathrm{Re}\sqrt{C'_f}\right) + C - 14{,}7 \qquad (2.117)$$

$$C = 7{,}16\lg\gamma + 1{,}7\gamma^2 - 6{,}8\gamma\,; \qquad (2.118)$$

$$\gamma = y_1/R\,, \qquad (2.119)$$

і в граничному випадку, коли $\gamma = 1$ [70],

$$\frac{1}{\sqrt{C_f}} = 9{,}21\lg\left(\mathrm{Re}\sqrt{C_f}\right) - 19{,}8\,. \qquad (2.120)$$

Відома запропонована Ю.А. Войтинською формула для розрахунку коефіцієнта гідравлічного опору при течії розчинів ГДАР, яка враховує тип і концентрацію ГДАР, а також рекомендована для використання при гідравлічних розрахунках систем водопостачання та водовідведення [71],

$$\frac{1}{\sqrt{C'_f}} = -2\lg\left\{\left[\frac{2{,}5}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda_*}} + \frac{\Delta}{7{,}4R}\right]\left[\frac{2{,}8u_*}{V\sqrt{C'_f}}\right]^{\frac{1000C}{5{,}75}}\right\}, \qquad (2.121)$$

де u_* – порогова швидкість, при досягненні якої починається зниження втрат напору;

Read-only

C – масова частка ГДАР, %;

Δ – еквівалентна шорсткість стінки каналу;

R – гідравлічний радіус потоку.

У припущенні, що при перебігу розчинів ГДАР в'язкий підшар складається з наростаючих ділянок ламінарної течії, що враховується у вигляді додаткових дотичних напружень, на основі результатів [66, 67, 72], в роботі [67] запропоновано формули для розрахунку C'_f, що враховують анізотропію в'язкості таких потоків

$$C'_f = \frac{2{,}5\ln\eta - \frac{72{,}16}{\eta} + \frac{\eta}{3} - 3{,}81\cdot 10^{-3}\eta + 3{,}5}{\frac{1}{\kappa}\ln\eta - \frac{2G}{\eta} + \frac{\eta}{3} - \frac{G_1}{6}\eta^2 + B - 2} C_f, \tag{2.122}$$

$$\eta = \frac{V_* R}{\nu}, \tag{2.123}$$

$$\overline{A}_0 = \frac{\mu_y}{\mu_x}, \tag{2.124}$$

$$G = 8{,}8\left(\frac{1}{\kappa} - 6{,}6\overline{A}_0\right)\overline{A}_0; \tag{2.125}$$

$$B = 13{,}2\overline{A}_0 - \frac{1}{\kappa}\ln 13{,}2\overline{A}_0 - \frac{1}{2\kappa}; \tag{2.126}$$

$$G_1 = \frac{0{,}0252}{\overline{A}_0} - \frac{0{,}6\cdot 10^{-4}}{\kappa\overline{A}_0^{\,2}}; \tag{2.127}$$

Read-only

$$\overline{A}_0 = 1 + \frac{12}{\pi} c[\mu]_0 \sum_{p=1}^{N} \frac{1}{p} arctg\left(\frac{u-1}{p^2+u} p \right); \qquad (2.128)$$

$$u = \left(V_* \sqrt{\frac{\rho}{\tau_l}} \right)^{1.5}, \qquad (2.129)$$

де V_* – динамічна швидкість;

κ – константа турбулентності;

c – концентрація ГДАР;

$[\mu]_0$ – характеристична в'язкість для стаціонарної течії;

N – число сегментів в молекулярному ланцюгу;

ρ – густина розчину;

τ_l – порогова напруга для ГДАР.

Таким чином, у роботах [78 - 83] вирішена актуальна наукова задача встановлення нелінійних аналітичних залежностей гідравлічного ухилу і критичної швидкості гідротранспортування мінеральної сировини з ГДАР, флокулюючими частками деяких компонентів сировини, від концентрації ГДАР, ступеня полімеризації, а також геометричних розмірів і концентрації флокул, що дозволяє за допомогою формул (2.13), (2.43), (2.54), (2.56) – (2.58), (2.72), (2.77) та (2.82), розглядаючи їх сумісно з (2.13) – (2.107) керувати параметрами та режимами безнапірної течії шляхом додавання розчинів реагентів.

Результати даного розділу, що наведені в підрозділах 2.1 та 2.2, узагальнені у вигляді „Методики розрахунків параметрів і режимів плину пульп по внутрішній поверхні конуса й циліндра” (Додаток А), яка впроваджена в Державному науково-дослідному, проектно-конструкторському й проектному інституті вугільної промисловості України „УКРНДІПРОЕКТ” (Додаток Б).

2.3 Розрахунок параметрів течії гідросуміші в трубопроводах при раптовій зміні площі перерізу

Read-only

2.3.1. Теоретичне обґрунтування розрахункового методу

При транспортуванні сипучих матеріалів напірним гідротранспортом по трубопроводах часто виникає питання, як поводиться гідросуміш при різкій зміні поперечного перерізу потоку. Такі завдання виникають, наприклад, при вимірюванні витрати гідросуміші за допомогою витратоміра труби Вентурі або з використанням діафрагм, а також, в тих випадках, коли діаметр магістрального трубопроводу не збігається з діаметрами всмоктувальних і напірних патрубків насосів [1, 2, 4 – 6, 10, 11, 13, 28, 34].

Відомі методи розрахунку, розроблені та апробовані для однорідної рідин, розглядають тільки зміну тиску потоку, і не дозволяють оцінити, як зміниться концентрація гідросуміші [1 – 6, 10, 11, 13, 24, 26]. Відомі моделі течії гідросуміші, як правило постулюють однакову швидкість рідкої і твердої фаз, а тому за визначенням не дозволяють встановити взаємозв'язок між швидкостями фаз і їх істинними об'ємними концентраціями.

Тому є необхідним розробити методику, яка заснована на двохшвідкісний моделі течії гідросуміші по трубопроводу [3, 27, 28], що дозволяє, з використанням рівнянь збереження маси і імпульсу, встановити взаємозв'язок між дійсною об'ємною концентрацією твердої фази і швидкостями фаз при раптовій зміні площі поперечного перерізу потоку, а також показати, як це позначається на місцевих втратах тиску.

При розробці такої методики за основу можна прийняти методи та рекомендації, розроблені відомими вченими [1 – 6, 10, 11, 13, 27, 28, 26].

В основу пропонованої моделі течії гідросуміші при раптовому звуженні або розширенні площі поперечного перерізу потоку покладені рівняння законів збереження маси та імпульсу окремо для несучої рідини та для твердого компонента в припущенні, що течія є одновимірною. При побудові моделі також передбачається, що [1 – 6, 10, 11, 13, 27, 28, 34]:

– взаємні зіткнення між частинками для визначення закону їх руху грають другорядну роль;

Read-only

– взаємний вплив часток один на одного відбувається тільки побічно через рідину, яка їх оточує;

– інерційна сила обумовлена наявністю прискорень, як самої частинки, так і навколишньої рідини;

– сила опору обумовлена ковзанням частинок відносно рідини;

– наявність в потоці градієнта тиску обумовлює існування підйомної сили.

Теоретичні основи розрахунків параметрів течій звісонесучих потоків, що розроблені відомими вченими [1 – 6, 10, 11, 13, 27, 28, 34], дозволяють записати рівняння Бернуллі для гідросуміші при течії в горизонтальному прямому трубопроводі в наступному вигляді:

$$(1-c_{mp})\rho_p\beta\frac{\tilde{u}_w^2}{2}+c_{mp}\rho_p\beta\frac{\tilde{u}_s^2}{2}+p=const; \qquad (2.130)$$

$$c_{mp}=\frac{\rho_s c_p}{\rho_p}; \qquad (2.131)$$

$$c_p=\frac{Q_s}{Q_{см}}; \qquad (2.132)$$

$$\rho_p=\rho_w(1-c_p)+\rho_s c_p; \qquad (2.133)$$

$$\beta_w=\frac{\int_F(1-\bar{c})\bar{u}_w^3 dF}{\tilde{u}_w^2 Q_w}; \qquad (2.134)$$

$$\beta_s=\frac{\int_F \bar{c}\bar{u}_s^3 dF}{\tilde{u}_s^2 Q_s}; \qquad (2.135)$$

Read-only

$$\tilde{u}_w = \frac{(1-c_p)}{(1-c)} u_{CP}; \qquad (2.136)$$

$$\tilde{u}_s = \frac{c_p}{c} u_{CP}; \qquad (2.137)$$

$$u_{CP} = \frac{Q_{см}}{F}, \qquad (2.138)$$

де p – тиск потоку гідросуміші;

c_{mp} – масова витратна концентрація твердої фази;

F – площа поперечного перерізу трубопроводу;

c_p – середня по перерізу об'ємна витратна концентрація твердої фази;

c - середня по перетину справжня об'ємна витратна концентрація твердої фази;

ρ_p – видаткова щільність гідросуміші;

β_w – коефіцієнт Коріолиса для рідкої фази;

β_s – коефіцієнт Коріолиса для твердої фази;

$\tilde{u}_w$ - істинна середня швидкість руху рідкої фази;

$\tilde{u}_s$ - істинна середня швидкість руху твердої фази;

Q_w – об'ємна витрата рідини;

Q_s – об'ємна витрата твердих частинок;

$Q_{см}$ – об'ємна витрата гідросуміші;

u_{CP} – средньовитратна швидкість гідросуміші.

Рівняння (2.128) після нескладних перетворень не важко привести до наступного вигляду:

Read-only

$$\rho \frac{u_{CP}^2}{2} + p = const; \qquad (2.139)$$

$$\rho = \rho_w \frac{(1-c_p)^3}{(1-c)^2} \beta_w + \rho_s \frac{c_p^3}{c^2} \beta_s, \qquad (2.140)$$

де ρ – ефективна густина гідросуміші.

З огляду на характерні значення коефіцієнтів Коріоліса для рідкої і твердої фаз, а також на традиційне представлення густини твердої фази в відносному вигляді, не важко показати, що

$$\rho = \rho_w \bar{\rho}; \qquad (2.141)$$

$$\bar{\rho} = \frac{(1-c_p)^3}{(1-c)^2} + \Delta_s \frac{c_p^3}{c^2}, \qquad (2.142)$$

$$\Delta_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}, \qquad (2.143)$$

де $\bar{\rho}$ – відносна ефективна густина гідросуміші;

Δ_s – відносна густина твердої фази.

Величина c_p, що входить до формул (2.130) – (2.143), визначається в залежності від властивостей частинок твердої фази і режиму течії гідросуміші за наступними формулами [3, 28]:

$$c_P = (1-x)c; \qquad (2.144)$$

Read-only

$$x = \frac{\sigma}{k^{1,66}}; \qquad (2.145)$$

$$\sigma = 0,45\left[1 + sign\left(\lg\left(\frac{d_S w_0}{7,59\nu_W}\right)\right) th\left(0,967\left|\lg\left(\frac{d_S w_0}{7,59\nu_W}\right)\right|^{0,6}\right)\right]\left(\frac{c_M - c}{c_M}\right)^{2,16}; \qquad (2.146)$$

$$c_M = 0,3(2 - P_{0,1}); \qquad (2.147)$$

$$k = \frac{u_{CP}}{u_{KP}}, \qquad (2.148)$$

де σ – коефіцієнт, що враховує взаємодію частинок твердої фази з несучою рідиною;

d_S – середньозважений діаметр твердих частинок;

w_0 – гідравлічна крупність твердих частинок;

ν_W – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідкої фази;

c_M – максимально можливе значення істинної об'ємної витратної концентрації;

$P_{0,1}$ – частка в твердій фазі частинок розміром менше 0,1 мм;

k – параметр гідротранспортування;

u_{KP} – критична швидкість гідротранспортування.

Величина критичної, в сенсі випадіння твердих частинок на дно трубопроводу, і середньої швидкості залежать від діаметра трубопроводу, а тому при зміні поперечного перерізу, як це видно з формул (2.143) – (2.148), буде змінюватися величина c_p, а разом з цим буде змінюватися уздовж лінії течії й значення відносної ефективної щільністі гідросуміші, що викликає додаткові втрати тиску, які не враховуються існуючими методиками розрахунку.

Read-only

2.3.2. Алгоритм розрахунку параметрів течії при раптовому звуженні трубопроводу

З використанням рівняння Бернуллі для гідросуміші (2.139), не важко показати, що додаткові втрати тиску при раптовому звуженні потоку, які обумовлені зміною відносної ефективної щільності пульпи, будуть:

$$\Delta p = \rho' \frac{u'^2_{CP}}{2} - \rho \frac{u^2_{CP}}{2}, \qquad (2.149)$$

де ρ' – ефективна густина гідросуміші в перерізі меншої площини;

u'_{CP} – средньовитратна швидкість гідросуміші в перерізі меншої площини;

ρ – ефективна густина гідросуміші в перерізі більшої площини;

u_{CP} – средньовитратна швидкість гідросуміші в перерізі більшої площини.

З огляду на те, що величини критичної та середньої швидкості змінюються при зміні перетину потоку за такими залежностями

$$\frac{u'_{KP}}{u_{KP}} = \left(\frac{D'}{D}\right)^n; \qquad (2.150)$$

$$\frac{u'_{CP}}{u_{CP}} = \left(\frac{D}{D'}\right)^2, \qquad (2.151)$$

не важко показати, що значення відповідних величин відносної ефективної густини гідросуміші в широкому і вузькому перетинах, обчислюються так

$$\overline{\rho} = \overline{\rho}_c - 3(\Delta_s - 1)cx + 3(\Delta_s + \psi)cx^2 - (\Delta_s - \psi^2)cx^3; \qquad (2.152)$$

Read-only

$$\overline{\rho'} = \overline{\rho}_c - 3(\Delta_s - 1)\delta^m cx + 3(\Delta_s + \psi)\delta^{2m} cx^2 - (\Delta_s - \psi^2)cx^3\delta^{3m}; \quad (2.153)$$

$$\overline{\rho}_c = 1 + (\Delta_s - 1)c; \quad (2.154)$$

$$\psi = \frac{c}{1-c}; \quad (2.155)$$

$$\delta = \frac{D'}{D}; \quad (2.156)$$

$$m = 1{,}66(2+n), \quad (2.157)$$

де u'_{KP} – критична швидкість гідротранспортування в перерізі меншої площини;

u_{KP} – критична швидкість гідротранспортування в перерізі більшої площини;

D' – діаметр трубопроводу в перерізі меншої площини;

D – діаметр трубопроводу в перерізі більшої площини;

n – показник степеня змінюється в інтервалі від 0,3 до 0,5 в залежності від величини d_s, [24].

З урахуванням формул (2.152) – (2.157) вираз (2.149) не важко перетворити до наступного вигляду:

$$\Delta p = \left(\frac{1}{\delta^4} - 1\right)\overline{\rho}_c \Theta \frac{\rho_w u_{CP}^2}{2}; \quad (2.158)$$

$$\Theta = 1 + \frac{\delta^4 - \delta^m}{1-\delta^4}\left[1 - \frac{\delta^4 - \delta^{2m}}{\delta^4 - \delta^m}\left(1 + \frac{\delta^4 - \delta^{3m}}{\delta^4 - \delta^{2m}}\tilde{a}_3 x\right)\tilde{a}_2 x\right]a_1 x; \quad (2.159)$$

Read-only

$$a_1 = \frac{3(\Delta_s - 1)c}{1 + (\Delta_s - 1)c}; \qquad (2.160)$$

$$\tilde{a}_2 = \frac{\Delta_s + \psi}{\Delta_s - 1}; \qquad (2.161)$$

$$\tilde{a}_3 = \frac{\Delta_s - \psi^2}{3(\Delta_s + \psi)}. \qquad (2.162)$$

У широкому перетині трубопроводу величина c_p визначається в залежності від властивостей частинок твердої фази і режиму течії гідросуміші по формулі (2.146), при цьому справжні швидкості фаз розраховують за такими залежностями:

$$\tilde{u}_w = \left(1 + \frac{\psi\sigma}{k^{1,66}}\right)u_{CP}; \qquad (2.163)$$

$$\tilde{u}_s = \left(1 - \frac{\sigma}{k^{1,66}}\right)u_{CP}. \qquad (2.164)$$

Для розрахунку цих величин у вузькому перерізі трубопроводу рекомендується використовувати такі залежності:

$$c'_P = \left(1 - \frac{\sigma\delta^m}{k^{1,66}}\right)c; \qquad (2.165)$$

$$\tilde{u}'_w = \left(1 + \psi\frac{\sigma\delta^m}{k^{1,66}}\right)\frac{u_{CP}}{\delta^2}; \qquad (2.166)$$

$$\tilde{u}'_s = \left(1 - \frac{\sigma\delta^m}{k^{1,66}}\right)\frac{u_{CP}}{\delta^2}, \qquad (2.167)$$

Read-only

де c'_p – середня по перерізу меншої площини об'ємна витратна концентрація твердої фази;

$\widetilde{u}'_w$ - істинна середня швидкість руху рідкої фази в перерізі меншої площини;

$\widetilde{u}'_s$ - істинна середня швидкість руху твердої фази в перерізі меншої площини.

Для визначення залежностей між істинними швидкостями фаз в широкому і вузькому перетинах, на підставі виразів (2.163) – (2.167), можна рекомендувати наступні формули:

$$\widetilde{u}'_w = \left(\delta^m + \frac{1-\delta^m}{1+\frac{\psi\sigma}{k^{1,66}}} \right) \frac{\widetilde{u}_w}{\delta^2}; \tag{2.168}$$

$$\widetilde{u}'_s = \left(\delta^m + \frac{1-\delta^m}{1-\frac{\sigma}{k^{1,66}}} \right) \frac{\widetilde{u}_s}{\delta^2}. \tag{2.169}$$

З формул (2.148), (2.150) і (2.151) видно, що в разі раптового звуження трубопроводу величина параметру гідротранспортування збільшується, тому перевірки виникнення критичних режимів проводити не потрібно.

2.3.3. Алгоритм розрахунку параметрів течії при раптовому збільшені трубопроводу

З використанням рівняння Бернуллі для гідросуміші (2.130), а також виразу (2.151), не важко показати, що додаткові втрати тиску при раптовому

Read-only

розширенні потоку, які обумовлені зміною відносної ефективної густини гідросуміші, будуть:

$$\Delta p = \left(\frac{\rho'}{\delta^4} - \rho \right) \frac{u_{CP}^2}{2}, \tag{2.170}$$

де ρ' – ефективна густина гідросуміші в перерізі більшої площини;

u'_{CP} – середньо витратна швидкість гідросуміші в перерізі більшої площини;

ρ – ефективна густина гідросуміші в перерізі меншої площини;

u_{CP} – середньо витратна швидкість гідросуміші в перерізі меншої площини.

З урахуванням формул (2.152) – (2.157) вираз (2.170) не важко перетворити до наступного вигляду:

$$\Delta p = \beta \overline{\rho}_c \left(1 - \frac{1}{\delta^4} \right) \Theta \frac{\rho_w u_{CP}^2}{2}; \tag{2.171}$$

$$\Theta = 1 + \frac{\delta^m - \delta^4}{\delta^4 - 1} \left[1 - \frac{\delta^{2m} - \delta^4}{\delta^m - \delta^4} \left(1 + \frac{\delta^{3m} - \delta^4}{\delta^{2m} - \delta^4} \tilde{a}_3 x \right) \tilde{a}_2 x \right] a_1 x; \tag{2.172}$$

$$a_1 = \frac{3(\Delta_s - 1)c}{1 + (\Delta_s - 1)c}; \tag{2.173}$$

$$\tilde{a}_2 = \frac{\Delta_s + \psi}{\Delta_s - 1}; \tag{2.174}$$

$$\tilde{a}_3 = \frac{\Delta_s - \psi^2}{3(\Delta_s + \psi)}, \tag{2.175}$$

Read-only

де β – коефіцієнт Коріолиса гідросуміші.

У вузькому перетині трубопроводу величина c_p і справжні швидкості фаз визначаються в залежності від властивостей частинок твердої фази і режиму течії гідросуміші за виразами (2.144), (2.151) і (2.167), а в широкому перетині ці величини розраховують за формулами (2.165) – (2.169).

З формул (2.148), (2.150) і (2.151) видно, що у разі раптового розширення трубопроводу величина параметра гідротранспортування зменшується за наступною закономірністю:

$$k' = \frac{k}{\delta^{2+n}}, \tag{2.176}$$

де k' – параметр гідротранспортування в перерізі більшої площини;

k – параметр гідротранспортування в перерізі меншої площини.

Таким чином, при раптовому розширенні трубопроводу необхідна перевірка ймовірності настання критичного режиму течії в більшому перетині трубопроводу, яка визначається з умови [3]:

$$k' > 1. \tag{2.177}$$

Після спільного розгляду умови (2.177) і виразу (2.176), не важко показати, що величина δ, при якій зберігається надкритичний режим течії в найширшій частині магістралі, обмежується наступній нерівністю:

$$\delta < \delta_{kp}; \tag{2.178}$$

$$\delta_{kp} = \sqrt[2+n]{k}, \tag{2.179}$$

Read-only

де δ_{kp} – критичне значення величини δ, при якій зберігається надкритичний режим течії в найширшій частині магістралі після раптового її розширення.

Результати даного розділу узагальнені у вигляді „Методики розрахунків параметрів і режимів плину пульп по внутрішній поверхні конуса й циліндра” та „Методики розрахунку параметрів течії пульпи в трубопроводі при раптовій зміні площі перерізу” (Додаток А), які впроваджена в Державному науково-дослідному, проектно-конструкторському й проектному інституті вугільної промисловості України „УКРНИИПРОЕКТ” (Додаток Б).

2.4 Висновки за розділом 2

У даному розділі відомі моделі течії води або гідросуміші по похилій, не деформованій поверхні, або прямокутному каналу, узагальнені на випадок масообміну на дні потоку, тобто при наявності відбору або подачі рідини через перфороване дно.

Для відомої моделі плину води або гідросуміші по похилій, не деформованій поверхні, або прямокутному каналу, досліджено вид залежності аналітичного розв'язку від співвідношення тягової сили й сили тертя об дно потоку, що дозволило запропонувати формули для розрахунків параметрів течії для трьох можливих випадків.

Установлено, що для течії води або гідросуміші по похилій, не деформованій поверхні, або прямокутному каналу, можливі види аналітичної залежності різниці висот потоку в початковому й кінцевому перетинах від витрати, довжини кута нахилу каналу критичним значенням відносної подачі, яка прямо пропорційна кореню квадратному зі співвідношення ухилу дна каналу до коефіцієнта тертя потоку, з коефіцієнтом пропорційності рівним 1,3.

Установлено, що при безнапірному плині рідини по прямокутному каналу із примусовим масообміном на дні залежність відношення критичної глибини

Read-only

потоку в довільному поперечному перерізі до критичної глибини на вході в канал від відстані до цього перетину описується функцією, яка лінійно зменшується, та зведена у ступінь 2/3.

Установлено, що для плину пульпи уздовж похилої поверхні при відсутності масообміну через дно поточна глибина потоку прямо пропорційна його критичній глибині, причому коефіцієнт пропорційності є функцією відношення коефіцієнтів сили гідравлічного тертя й тягнучої сили потоку.

Установлено, що для плину пульпи уздовж похилої поверхні при наявності масообміну через дно поточна відносна глибина потоку прямо пропорційна його поточній відносній глибині потоку для випадку відсутності масообміну, причому коефіцієнт пропорційності є степеневою функцією з негативним показником 2/3 від відносної площі отворів у днищі та коефіцієнта витрати цих отворів.

Модель плину пульпи по внутрішній поверхні конуса при наявності масообміну через дно потоку відрізняється від відповідного випадку течії без масообміну додаванням у чисельники правих частин рівнянь доданків, величини яких прямо пропорційні ступеню перфорації поверхні дна й кореню квадратному з відношення діючого перепаду тиску до швидкісного напору течії.

Для умов систем логістики гірничих підприємств, модель плину пульпи по внутрішній поверхні циліндра при наявності масообміну через тверду поверхню відрізняється від відповідного випадку течії без масообміну додаванням у чисельники правих частин рівнянь доданків, величина яких прямо пропорційна перепаду тиску, а також обернено пропорційна швидкісному напору течії та квадрату тангенса кута закручення потоку.

При плині пульпи по внутрішній поверхні циліндра без масообміну через тверду поверхню єдиним керуючим впливом є зміна тертя на границі між потоком і внутрішньою поверхнею циліндра. У цьому випадку для відносної глибини потоку й швидкості у шарі зменшення значення C_f за рахунок уведення розчинів ПАР приводить до менш сильної зміни цих параметрів по

Read-only

довжині потоку, а збільшення значення цього коефіцієнт – до збільшення швидкості їх зміни. Швидкість зміни кута закручення потоку по довжині циліндра при зменшенні значення C_f за рахунок уведення розчинів ПАР збільшується, а при збільшенні значення цього коефіцієнт – зменшується.

При плині пульпи по внутрішній поверхні циліндра залежність критичної глибини від кута закручення потоку є істотно нелінійною й неоднозначною функцією на інтервалі від 43 до 45 (рис. 2.5), коли одному значенню аргументу відповідають два значення функції, що на графіку виражається наявністю нижньої й верхньої областей, що з'єднуються при відносній критичній глибині рівній 0,15. Враховуючи, що у вузлах логістики використовуються потоки з відносними глибинами, що не перевищують 0,15, для аналізу режиму плину по внутрішній поверхні циліндра раціональним є використання нижньої області графіка.

За результатами роботи розроблено „Методики розрахунків параметрів і режимів плину пульп по внутрішній поверхні конуса й циліндра”, „Методики розрахунків параметрів плину пульпи в приповерхньому шарі”, „Методики розрахунків параметрів і режимів плину пульпи уздовж похилої поверхні” і „Методики розрахунків параметрів плину пульпи в трубопроводі при раптовій зміні площі в перетині”, які впроваджені в Державному науково-дослідному, проектно-конструкторському й проектному інституті вугільної промисловості України „УКРНИИПРОЕКТ”, що дозволить для умов Донбасу за рахунок відмови від устаткування для флотації й відсадження знизити капітальні витрати на 18 %, енергоємність процесу збагачення – на 13 %, питоме споживання води – на 9 % (річний очікуваний економічний ефект становить 34 млн. грн.). Результати впровадження впливають на споживання в регіоні електричної енергії й води, знижуючи потреби промислових підприємств у розробці нових родовищ і введення нових потужностей, які генерують електроенергію. За рахунок цього в гірничо-металургійній галузі промисловості країни створюються умови для відмови від енергоємних і екологічно шкідливих технологій флотації й відсадження. Зниження споживання електроенергії й

Read-only

шкідливих випарів у атмосферу дозволяє підвищити експорт електроенергії, що підвищує прибутки у бюджет, за рахунок чого забезпечується більш високий рівень життя, соціального забезпечення населення, фінансова, енергетична й екологічна безпека країни.

2.5 Список використаних джерел за розділом 2

1. Блюсс Б. А., Головач Н. А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд : монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 126 с.

2. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Гоман О. Г. Проблемы гравитационного обогащения титан-цирконовых песков : монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 190 с.

3. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Семененко Е. В. Научные основы моделирования процессов в технологиях обогащения титан-цирконовых россыпей. *Обогащение полезных ископаемых* : научн.-техн. сб. Днепропетровск : НГУ, 2003. № 18(59). С. 79–92.

4. Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Криль С. И. Математические модели процессов гидромеханизации. *Вісник Дніпропетровського університету.* Серія : Механіка, 2010. Т. 18. Вип. 14 (1), С. 80–90.

5. Кизевальтер Б. В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения : монография. Москва : Недра, 1979. 295 с.

6. Куприн А. И. Безнапорный гидротранспорт : монография, 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Недра, 1980. 244 с.

7. Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы : справочник. Москва : Наука, 1983. 176 с.

8. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов : справочник. Москва : Наука. 1981. 718 с.

9. Краскевич В. Е., Зеленский К. Х., Гречко В. И. Численные методы в инженерных исследованиях : учебное пособие. Киев : Вища школа, 1986. 263 с.

Read-only

10. Чугаев Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов, 4-е изд. Ленинград : Энергоиздат, 1982. 672 с.

11. Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации : справочник. Ленинград : Стройиздат, 1973. 408 с.

12. Справочник по гидравлике : справочник / под ред. Б. А. Большакова. Киев : Вища школа, 1984. 343 с.

13. Никифорова Н. А. Обоснование параметров процесса гидротранспортирования минерального сырья с использованием гидродинамически активных веществ : дисс. … канд. тех. наук : 05.15.09. Днепропетровск, 2008. 306 с.

14. Хойт Д. У. Влияние добавок на сопротивление трения в жидкости. *Труды американского общества инженеров-механиков*. Серия D: Теоретические основы инженерных расчетов. 1972. № 2. С. 1–31.

15. Housiadas K. D., Beris A. N. Direct numerical simulations of viscoelastic turbulent channel flows at high drag reduction. *Korea-Australia Rheology Journal*. 2005. Vol. 17, No 3. P. 131–140.

16. Блюсс Б.О., Лук'янов П.В., Дзюба С.В. Динаміка вихрових структур в напірних течіях гідросумішей при переробці мінеральної сировини. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 141. С. 86 – 98.

17. Bulat A.F., Dzyuba S.V., Sokil A.M. Metodology of determining the boundaries of area of stable of aspiration systems at the mining and metallurgical enterprises. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn*. 2003. № 1. P. 89 – 92.

18. Siasiev A., Dreus A., Horbonos S., Balanenko I., Dziuba S. The stressed-strained state of a rod at crystallization considering the mutual influence of temperature and mechanical fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 3/5 (105). P. 38 – 48. https://doi.org/ 10.15587/1729-4061.2020.203330

19. The effect of polymers on the dynamics of turbulence in a drag reduced flow / Jovanović J. et al. *Thermal Science*. 2005. Vol. 9, No 1. P. 13–41.

20. Власов С. А., Калашников В. Н. О масштабном эффекте при

Read-only

ламинарном течении разбавленных растворов полимеров в трубках. *Инженерно-физический журнал*. 1978. Т. XXXIV, № 4. С. 614–621.

21. Грешилов Е. М. Широкова Н. Л. О влиянии полимерных добавок на пристенную турбулентность. *Инженерно-физический журнал*. 1974. Т. XXVI, № 2. С. 260–265.

22. Снижение гидродинамического сопротивления добавками поверхностно-активных веществ / И. Л. Повх и др. *Инженерно-физический журнал*. 1974. Т. XXVII, №4. С. 682–686.

23. Ступин А. Б., Асланов П. В. Турбулентная структура течения со снижающими трение добавками. *Инженерно-физический журнал*. 1981. Т. XLI, №5. С. 809–814.

24. Блюсс Б.О., Лук'янов П.В., Дзюба С.В. Моделювання квазіточкового турбулентного вихору в закручених течіях рідини в збагачувальному устаткуванні. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 143. С. 49 – 59.

25. Повх И. Л., Ступин А. Б., Бояркина Г. Г. Исследование гидродинамического сопротивления водных растворов полимеров и поверхностно-активных веществ в шероховатых трубах. *Инженерно-физический журнал*. 1979. Т. XXXVI, №1. С. 16–19.

26. Турбулентные течения растворов поверхностно-активных веществ / П. В. Асланов и др. *Изв. АН СССР*: Мех. жидкости и газа. 1980. № 1. С. 36–43.

27. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения : справочник, 3-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. А. М. Курганова. Ленинград : Стройиздат. 1986. 440 с.

28. Покровская В. Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности : монография. Москва : Недра, 1985. 192 с.

29. Блюсс Б.О., Дзюба С.В., Семененко Є.В. Обґрунтування параметрів ефективності гідротехнічних систем у технологіях переробки мінеральної сировини. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 4 (313). С. 58 – 64.

30. Чернюк В. В., Орел В. І., Гнатів Р. М. Змінювання гідравлічного опору раптових розширень труб додатками поліакриламіду. *Вісник УДУВГП* : зб.

Read-only

наук. праць. 2002. Вип. 5. (18), Ч. 5 : Гідротехнічні споруди, гідравліка, гідрологія та гідроенергетика. С. 202–209.

31. Блюсс Б.О., Дзюба С.В., Семененко Є.В., Лях М.М. Оцінка методів підвищення ефективності функціонування гідротехнічних систем гірничо-металургійних комбінатів. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 5 (314). С. 38 – 45.

32. Семененко Є.В., Лапшин Є.С., Дзюба С.В., Лях М.М. Особливості технологічного розрахунку трубопроводів при транспортуванні неньютонівських рідин з високою в'язкістю. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 6 (315). С. 38 – 45.

33. Dziuba S., Kyrychko S., Blyuss K., M.A. Yau Analytical and numerical analysis of Turing structures. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 2, P. 134-139. https://DOI: 10.30890/2567-5273.2020-11-01-033.

34. Сокил А. М. Физико-технические основы технологий переработки титан-цирконовых россыпей : дисс. … д-ра техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 2002. 399 с.

35. Фоменко Г. Г., Бутовецкий В. С., Соснов К. А. Применение конусных грохотов на углеобогатительных фабриках. *Уголь*. 1977. №2. С. 48–50.

36. Булава Ю. И. Моделирование гидродинамических процессов в угольной пульпе и обоснование параметров неподвижных цилиндро-конических грохотов : дисс. … канд. техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 1999. 205 с.

37. Булат А. Ф., Витушко О. В., Семененко Е. В. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий : монография. Днепропетровск : Герда, 2010. 216 с.

38. Баранов Ю. Д., Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Шурыгин В. Д. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий : монография. Днепропетровск : Новая идеология, 2006. 416 с.

Read-only

РОЗДІЛ 3
ВДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВИХ ОСНОВ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ БЕЗНАПІРНИХ ПОТОКІВ РІДИНИ В КАНАЛАХ, ЩО ЗВУЖУЮТЬСЯ, ЯК З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЙ ЛОГІСТИКИ

3.1 Дослідження особливостей течії в каналі, що звужується

3.1.1 Моделі течії гідросуміші без масообміну через дно потоку

При стаціонарній течії рівняння (1.44) – (1.49) можна розв'язати щодо похідних по поздовжній координаті і записати у вигляді задачі Коші:

$$\frac{\partial h}{\partial s}=\frac{-\frac{\tau_0}{g\rho h}+\cos\beta-\left[\frac{h}{L-s}-\left(\frac{1}{\sin\beta}+\alpha\left(1-\frac{w}{V}\sin\beta\right)\frac{L-s}{h}\right)\frac{w}{V}\sigma\right]\frac{V^2}{gh}}{\sin\beta-\frac{V^2}{gh}}; \qquad (3.1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial s}=\frac{-\frac{\tau_0}{g\rho h}+\cos\beta-\frac{h}{L-s}\sin\beta+\frac{w\sigma}{V}\left[1+\alpha\frac{V^2}{gh}\left(1-\frac{w}{V}\sin\beta\right)\frac{L-s}{h}\right]}{\frac{V^2}{gh}-\sin\beta}\frac{V}{h}; \qquad (3.2)$$

а також

$$\frac{\partial h}{\partial s}=\frac{\cos\beta-\frac{\tau_0}{\rho gh}-\frac{V^2}{g(L-s)}}{\sin\beta-\frac{V^2}{gh}}; \qquad (3.3)$$

Read-only

$$\frac{\partial V}{\partial s} = \frac{-\frac{\tau_0}{\rho h g} + \cos\beta - \frac{h}{L-s}\sin\beta}{\frac{V^2}{gh} - \sin\beta}\frac{V}{h}. \qquad (3.4)$$

З урахуванням формул, що отримані різними авторами для даного випадку, вираз для розрахунку напруження тертя на дні каналу може бути записано в наступному вигляді [1 – 5]:

$$\tau_0 = C_f \frac{\rho V^2}{2}, \qquad (3.5)$$

де C_f – коефіцієнт гідравлічного тертя [1 – 5].

Для гідравлічних гладких поверхонь величина C_f залежить від швидкості потоку, що виражається через число Рейнольдса, при досить шорсткуватих поверхнях, величина C_f не залежить від швидкості потоку, а визначається відносною шорсткістю поверхні, що взаємодіє з потоком [1 – 5].

З урахуванням (3.5), рівняння (3.3) і (3.4), що описують течію без масообміну на дні потоку, раціонально записати в наступному безрозмірному вигляді:

$$\frac{\partial \bar{h}}{\partial x} = \frac{ctg\beta - \left(\frac{C_f}{2} + \frac{\bar{h}}{l-x}\right)\frac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}}}{1 - \frac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}}}; \qquad (3.6)$$

$$\frac{\partial \bar{h}_{kp}}{\partial x} = 2\frac{ctg\beta - \frac{C_f}{2}\frac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}} - \frac{\bar{h}}{l-x}\frac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}}}{\frac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}} - 1}; \qquad (3.7)$$

Read-only

$$h_{kp} = \frac{V^2}{g \sin \beta}; \tag{3.8}$$

$$l = \frac{L}{h_0}; \tag{3.9}$$

$$x = \frac{s}{h_0}; \tag{3.10}$$

$$\bar{h} = \frac{h}{h_0}; \tag{3.11}$$

$$\bar{h}_k = \frac{h_k}{h_0}, \tag{3.12}$$

де h_{kp} – критична глибина потоку в поточному перерізі;

h_0 – глибина потоку в початковому перерізі каналу.

Величина критичної глибини потоку визначає перехід потоку від спокійного режиму течії, коли $h_{kp} < h$, до бурхливого режиму, при якому $h_{kp} > h$ [1 – 5]. При розрахунку параметрів течії гідросуміші по каналу, який звужується, необхідно враховувати можливість досягнення критичної глибини в будь-якому перерізі потоку, оскільки це змінює режим течії і може спровокувати процес сепарації твердих частинок по висоті [1 – 5].

Величина критичної глибини потоку (в інших джерелах критичної швидкості) визначається з умови рівності нулю знаменника правих частин рівнянь (3.6) і (3.7). Іншою умовою, що визначає точки з особливими параметрами потоку, будуть умови рівності нулю чисельників правих частин рівнянь (3.6) і (3.7), що будуть визначати параметри, при яких відносна глибина і відносна критична глибина потоку не будуть змінюватися.

Read-only

З умови рівності нулю чисельника правої частини рівняння (3.6) неважко отримати вирази для відповідних величин $\bar{h}$ і $\bar{h}_k$, при яких похідна від безрозмірної глибини потоку дорівнюватиме нулю:

$$\bar{h} = \frac{0{,}5C_f \bar{h}_{kp}}{ctg\beta - \dfrac{\bar{h}_{kp}}{l-x}}; \tag{3.13}$$

$$\bar{h}_{kp} = \frac{\bar{h}\, ctg\beta}{\dfrac{C_f}{2} + \dfrac{\bar{h}}{l-x}}. \tag{3.14}$$

Необхідно відзначити, що вирази (3.13) і (3.14), реалізуються в спокійному режимі течії і при прямому ухилі русла, якщо критична глибина потоку змінюється в наступному інтервалі:

$$(l-x)(ctg\beta - 0{,}5C_f) < \bar{h}_{kp} < (l-x)ctg\beta. \tag{3.15}$$

З умови рівності нулю чисельника правої частини рівняння (3.7) неважко отримати вирази для відповідних величин $\bar{h}$ і $\bar{h}_k$, при яких похідна від безрозмірної критичної глибини потоку дорівнюватиме нулю:

$$\bar{h} = 0{,}5(l-x)ctg\beta\left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{2C_f \bar{h}_{kp}}{(l-x)ctg^2\beta}}\right); \tag{3.16}$$

$$\bar{h}_{kp} = \frac{ctg\beta - \dfrac{\bar{h}}{l-x}}{0{,}5C_f}\bar{h}, \tag{3.17}$$

а для збереження фізичної реальності залежності потрібно:

Read-only

$$\bar{h}_{kp} < \frac{l-x}{2C_f} ctg^2\beta . \qquad (3.18)$$

Аналіз рівнянь (3.6) – (3.18) показує, що зміна величини C_f за допомогою введення розчинів поверхнево активних речовин (ПАР) буде змінювати не тільки праві частини рівнянь (3.6) і (3.7), але й буде змінювати обмеження, що накладаються на інші параметри течії. У разі максимального зниження гідравлічного тертя потоку об дно каналу система рівнянь (3.6) і (3.7) буде мати вигляд:

$$\frac{\partial \bar{h}}{\partial x} = \frac{ctg\beta - \dfrac{\bar{h}_{kp}}{l-x}}{1 - \dfrac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}}} , \qquad (3.19)$$

$$\frac{\partial \bar{h}_{kp}}{\partial x} = 2\frac{ctg\beta - \dfrac{\bar{h}}{l-x}}{\dfrac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}} - 1}\frac{\bar{h}_{kp}}{\bar{h}} . \qquad (3.20)$$

3.1.2 Течія при наявності масообміну при наявності масообміну крізь дно потоку.

При течії з масообміном через дно каналу в чисельнику правих частин рівнянь системи (3.6) і (3.7) додаються складові, що враховують витрату, що відбирається або додається, ступінь перфорованості дна і діючий перепад тиску [1 – 5]; у цьому випадку замість (3.6) і (3.7) необхідно розглядати наступну систему рівнянь:

Read-Only

$$\frac{\partial h}{\partial s}=\frac{\cos\beta-\left(\frac{C_f}{2}+\frac{h}{L-s}\right)\frac{V^2}{gh}+\sigma a_h}{\sin\beta-\frac{V^2}{gh}}; \qquad (3.21)$$

$$\frac{\partial V}{\partial s}=\frac{\cos\beta-\frac{C_f}{2}\frac{V^2}{gh}-\frac{h}{L-s}\sin\beta+\sigma a_V}{\frac{V^2}{gh}-\sin\beta}\frac{V}{h}; \qquad (3.22)$$

$$a_h=\frac{w}{V}\left(\frac{1}{\sin\beta}+\alpha\frac{V^2}{gh}\left(1-\frac{w}{V}\sin\beta\right)\frac{L-s}{h}\right); \qquad (3.23)$$

$$a_V=\frac{w}{V}\left[1+\alpha\frac{V^2}{gh}\left(1-\frac{w}{V}\sin\beta\right)\frac{L-s}{h}\right], \qquad (3.24)$$

де a_h, a_V – комплекси, що враховують вплив на параметри течії процесів масообміну через дно потоку.

Вирази (3.23) і (3.24) для визначення величин a_h і a_V неважко представити у вигляді:

$$a_h=\frac{w}{V_x}\left(\frac{gh^2}{\alpha V_x^2(L-x)\sin^2\beta}+1-\frac{w}{V_x}\right)\alpha\frac{V_x^2}{gh}\frac{L-x}{h}\sin\beta; \qquad (3.25)$$

$$a_V=\frac{w}{V_x}\left(\frac{gh^2}{\alpha V_x^2\sin\beta(L-x)}+\frac{1}{\sin\beta}-\frac{w}{V_x}\right)\alpha\frac{V_x^2}{gh}\frac{L-x}{h}\sin\beta. \qquad (3.26)$$

Read-only

З аналізу порядків доданків, що знаходяться в дужках формул (3.25) і (3.26), випливає, що для умов течії по каналу, що звужується, справедливі такі оцінки

$$\frac{w}{V_x} << 1; \tag{3.27}$$

$$\frac{gh^2}{\alpha V_x^2 (L-x)\sin^2\beta} >> 1 - \frac{w}{V_x}. \tag{3.28}$$

Таким чином, при розгляді течії по каналу, що звужується, формули (3.25) і (3.26) для визначення величин a_h і a_V можна спростити [1 – 5]:

$$a_h = \frac{\psi}{\sin\beta}\frac{w}{V}; \tag{3.29}$$

$$a_V = \psi\frac{w}{V}, \tag{3.30}$$

де ψ – коефіцієнт запасу.

Вплив факторів, що визначають процес масообміну через дно, легко оцінюється на підставі формули (1.47). Неважко показати, що для умов течії по звужуваному каналу $1 + \sin\beta << \frac{\Delta p}{\rho g h}$, і визначальними для даного процесу будуть два фактори – перепад тиску і швидкісний напір:

$$\frac{w}{V} = \wp\,\varphi\sqrt{2}\,\frac{\sqrt{gh}}{V}\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho g h} + \frac{\alpha V^2}{2gh}}. \tag{3.31}$$

Read-only

З аналізу порядків доданків, що знаходяться під радикалом у формулі (3.31), випливає, що для умов течії по звужуваному каналу раціонально розглядати два варіанти масообміну.

У першому варіанті домінуючим є фактор перепаду тиску і замість формули (3.31) можна використовувати наступний приблизний вираз

$$\frac{w}{V} \approx \wp\, \varphi \sqrt{\alpha} \sqrt{1 + \frac{2\Delta p}{\rho \alpha V^2}}, \tag{3.32}$$

а замість системи рівнянь (3.21) и (3.22) – рівняння

$$\frac{\partial h}{\partial s} = \frac{\cos\beta - \left(\frac{C_f}{2} + \frac{h}{L-s}\right)\frac{V^2}{gh} + \sigma\psi_h \wp\, \varphi \sqrt{\alpha}\left(1 + \frac{\Delta p}{\alpha \rho V^2}\right)}{\sin\beta - \frac{V^2}{gh}}; \tag{3.33}$$

$$\frac{\partial V}{\partial s} = \frac{\cos\beta - \frac{C_f}{2}\frac{V^2}{gh} - \frac{h}{L-s}\sin\beta + \sigma\psi_V \wp\, \varphi \sqrt{\alpha}\left(1 + \frac{\Delta p}{\alpha \rho V^2}\right)}{\frac{V^2}{gh} - \sin\beta}\frac{V}{h}. \tag{3.34}$$

У другому варіанті домінуючим є фактор швидкісного напору і замість формули (3.31) можна використовувати наступний приблизний вираз

$$\frac{w}{V} \approx \wp\, \varphi \sqrt{\alpha} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\alpha \rho V^2}}, \tag{3.35}$$

а замість системи рівнянь (3.21) и (3.22) – рівняння

Read-only

$$\frac{\partial h}{\partial s}=\frac{\cos\beta-\left(\frac{C_f}{2}+\frac{h}{L-s}\right)\frac{V^2}{gh}+\sigma\psi_h\wp\,\varphi\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho V^2}}}{\sin\beta-\frac{V^2}{gh}}; \qquad (3.36)$$

$$\frac{\partial V}{\partial s}=\frac{\cos\beta-\frac{C_f}{2}\frac{V^2}{gh}-\frac{h}{L-s}\sin\beta+\sigma\psi_V\wp\,\varphi\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho V^2}}}{\frac{V^2}{gh}-\sin\beta}\frac{V}{h}. \qquad (3.37)$$

У першому варіанті умова рівності нулю чисельника рівняння (3.33) визначає наступні нелінійні залежності для параметрів течії:

$$h=\frac{\frac{C_f}{2}\frac{V^2}{g}}{\cos\beta-\sigma\psi_h\wp\,\varphi\sqrt{\alpha}\left(1+\frac{\Delta p}{\alpha\rho V^2}\right)-\frac{1}{L-s}\frac{V^2}{g}}; \qquad (3.38)$$

$$\frac{V^2}{gh}=\frac{\cos\beta+\sigma\psi_h\wp\,\varphi\sqrt{\alpha}}{C_f+\frac{2h}{L-s}}\pm\sqrt{\left(\frac{\cos\beta+\sigma\psi_h\wp\,\varphi\sqrt{\alpha}}{C_f+\frac{2h}{L-s}}\right)^2+\frac{\Delta p}{\sqrt{\alpha}\rho gh}\frac{\sigma\psi_h\wp\,\varphi}{\frac{C_f}{2}+\frac{h}{L-s}}}. \qquad (3.39)$$

При цьому, виконання цієї ж умови для чисельника рівняння (3.34), так само потребує вирішення квадратних рівнянь:

$$h=0{,}5A\frac{L-s}{\sin\beta}\pm\sqrt{0{,}25A^2\left(\frac{L-s}{\sin\beta}\right)^2-\frac{C_f}{2}\frac{V^2}{g}\frac{L-s}{\sin\beta}}; \qquad (3.40)$$

Read-only

$$\frac{V^2}{gh} = B \pm \sqrt{B^2 + \sigma \frac{2\psi_V}{\sqrt{\alpha} C_f} \wp \varphi \frac{\Delta p}{\rho g h}}; \qquad (3.41)$$

$$A = \sigma \psi_V \wp \varphi \sqrt{\alpha} \left(1 + \frac{\Delta p}{\alpha \rho V^2} \right) + \cos\beta; \qquad (3.42)$$

$$B = \frac{\cos\beta}{C_f} + \sigma \frac{\psi_V}{C_f} \wp \varphi \sqrt{\alpha} - \frac{h}{L-s} \frac{\sin\beta}{C_f}. \qquad (3.43)$$

У другому варіанті умова рівності нулю чисельника рівняння (3.36) визначає наступну залежність для глибини потоку:

$$h = \frac{\frac{C_f}{2} \frac{V^2}{g}}{\cos\beta - \sigma \psi_h \wp \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho V^2}} - \frac{1}{L-s} \frac{V^2}{g}}. \qquad (3.44)$$

При цьому вид залежності для швидкості потоку визначається значенням величини

$$q = \frac{2\cos^3\beta \frac{\rho g h}{\Delta p}}{27(\sigma \psi_h \wp \varphi)^2 \left(\frac{C_f}{2} + \frac{h}{L-s} \right)}. \qquad (3.45)$$

Якщо q менше одиниці, то розглядають залежність

$$\sqrt{\frac{V^2}{gh}} = \sqrt[3]{\frac{\sigma \psi_h \wp \varphi}{\frac{C_f}{2} + \frac{h}{L-s}} \sqrt{\frac{\Delta p}{2\rho g h}}} \left(\sqrt[3]{1 + \sqrt{1-q}} + \sqrt[3]{1 - \sqrt{1-q}} \right), \qquad (3.46)$$

Read-only

в іншому випадку вибирають додатне значення з наступних величин:

$$\sqrt{\frac{V^2}{gh}} = \sqrt{\frac{4\cos\beta}{3\left(\frac{C_f}{2}+\frac{h}{L-s}\right)}}\cos\frac{\alpha}{3}; \tag{3.47}$$

$$\sqrt{\frac{V^2}{gh}} = -\sqrt{\frac{4\cos\beta}{3\left(\frac{C_f}{2}+\frac{h}{L-s}\right)}}\cos\left(\frac{\alpha}{3}\pm\frac{\pi}{3}\right); \tag{3.48}$$

$$\cos\alpha = \sigma\psi_h\wp\,\varphi\sqrt{\frac{27}{\cos^3\beta}\left(\frac{C_f}{2}+\frac{h}{L-s}\right)\frac{\Delta p}{2\rho gh}}. \tag{3.49}$$

Виконання цієї ж умови для чисельника рівняння (3.37) так само потребує вирішення квадратного і кубічного рівнянь:

$$h = A\frac{L-s}{2\sin\beta}\pm\sqrt{A^2\left(\frac{L-s}{2\sin\beta}\right)^2-\frac{C_f}{2}\frac{V^2}{g}\frac{L-s}{\sin\beta}}; \tag{3.50}$$

$$A = \cos\beta+\sigma\psi_V\wp\,\varphi\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho V^2}}. \tag{3.51}$$

При цьому, як і для рівняння (3.36), вид залежності для швидкості потоку визначається значенням величини

$$q = \frac{\left(\cos\beta-\frac{h}{L-s}\sin\beta\right)^3}{27C_f\left(\sigma\psi_V\wp\,\varphi\right)^2}\frac{4\rho gh}{\Delta p}, \tag{3.52}$$

Read-only

Якщо q менше одиниці, то розглядають залежність

$$\sqrt{\frac{V^2}{gh}} = \sqrt[3]{\frac{\sigma\psi_V \wp\, \varphi}{C_f}\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho g h}}}\left(\sqrt[3]{1+\sqrt{1-q}} + \sqrt[3]{1-\sqrt{1-q}}\right), \qquad (3.53)$$

в іншому випадку вибирають додатне значення з наступних величин:

$$\sqrt{\frac{V^2}{gh}} = \sqrt{\frac{8}{3C_f}\left(\cos\beta - \frac{h}{L-s}\sin\beta\right)}\cos\frac{\alpha}{3}; \qquad (3.54)$$

$$\sqrt{\frac{V^2}{gh}} = -\sqrt{\frac{8}{3C_f}\left(\cos\beta - \frac{h}{L-s}\sin\beta\right)}\cos\left(\frac{\alpha}{3} \pm \frac{\pi}{3}\right); \qquad (3.55)$$

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{27\Delta p}{4\rho g h}}\,\frac{\sigma\psi_V \wp\, \varphi}{\sqrt{C_f}}\left(\cos\beta - \frac{h}{L-s}\sin\beta\right)^{-3/2}. \qquad (3.56)$$

Для першого і другого варіантів домінуючих чинників, з використанням рівнянь (3.34) – (3.37), можна отримати залежність ступеня перфорації дна потоку від довжини каналу, що забезпечує збереження сталое глибини або швидкості потоку.

При домінуванні фактора перепаду тиску відповідні залежності для ступеня перфорації дна потоку мають вигляд:

$$\sigma_h = \frac{\dfrac{C_f}{2} + \dfrac{h}{L-s}}{\psi_h \varphi \sqrt{\alpha}\left(1 + \dfrac{\Delta p}{\alpha \rho V^2}\right)}\frac{V^2}{gh}; \qquad (3.57)$$

Read-only

$$\sigma_V = \frac{\frac{C_f}{2}\frac{V^2}{gh} + \frac{h}{L-s}\sin\beta}{\psi_V \wp\, \varphi \sqrt{\alpha}\left(1 + \frac{\Delta p}{\alpha \rho V^2}\right)}, \qquad (3.58)$$

де σ_h – ступінь перфорації поверхні дна каналу, що забезпечує збереження сталої глибини потоку;

σ_V – ступінь перфорації поверхні дна каналу, що забезпечує збереження сталої швидкості потоку.

У разі домінування чинника швидкісного напору відповідні залежності для ступеня перфорації дна потоку мають вигляд:

$$\sigma_h = \frac{\frac{C_f}{2} + \frac{h}{L-s}}{\psi_h \wp\, \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho g h}}}\left(\sqrt{\frac{V^2}{gh}}\right)^3; \qquad (3.59)$$

$$\sigma_V = \frac{\frac{C_f}{2}\frac{V^2}{gh} + \frac{h}{L-s}\sin\beta}{\psi_V \wp\, \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho g h}}}\sqrt{\frac{V^2}{gh}}. \qquad (3.60)$$

3.2 Запобігання критичних режимів течії

3.2.1 Моделювання течії гідросуміші по каналу, звужується

При побудові моделі течії однорідної рідини в тонкому шарі будемо використовувати зазначені в першому розділі припущення [3, 5, 6 – 11]. Спільний розгляд закону збереження маси і рівняння імпульсів для елементарного об'єму потоку призводить до наступних рівнянь [3, 5, 6 – 11]

Read-only

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{1}{L-x}\frac{\partial}{\partial x}\left[V_x h(L-x)\right]=-\frac{w\sigma}{\sin\beta}; \qquad (3.61)$$

$$\frac{1}{\rho g}\frac{\partial}{\partial t}(\rho h V_x)+\frac{1}{(L-x)\rho g}\frac{\partial}{\partial x}\left([L-x]^2 V_x^2 h\right)=-h\sin\beta\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{\tau_0}{\rho g}+h\cos\beta+W; \qquad (3.62)$$

$$W=\alpha(-V_x-w\sin\beta)\frac{w\sigma}{gh}(L-x); \qquad (3.63)$$

$$x=L-r, \qquad (3.64)$$

де w – швидкість відбору пульпи через отвори в поверхні дна каналу;

σ – відношення площі отворів до загальної площі поверхні дна каналу [1, 10, 12, 21];

r – радіус поточного перерізу потоку в сферичній системі координат;

α – коефіцієнт Коріоліса для потоку, що відводиться або подається.

Відзначимо, що в разі відсутності відбору або надходження гідросуміші через поверхню дна каналу, система рівнянь (3.61) – (3.64) перетворюється в відомі рівняння одношарової течії рідини [3, 5, 6 – 11]. А при стаціонарній течії рівняння (3.61) – (3.64), можна розв'язати щодо похідних і записати у вигляді задачі Коші:

$$\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{-\frac{\tau_0}{g\rho h}+\cos\beta-\left[\frac{h}{L-x}-\left(\frac{1}{\sin\beta}+\alpha\left(1-\frac{w}{V_x}\sin\beta\right)\frac{L-x}{h}\right)\frac{w}{V_x}\sigma\right]\frac{V_x^2}{gh}}{\sin\beta-\frac{V_x^2}{gh}}; \qquad (3.65)$$

Read-only

$$\frac{\partial V_x}{\partial x}=\frac{-\frac{\tau_0}{g\rho h}+\cos\beta-\frac{h}{L-x}\sin\beta+\frac{w\sigma}{V_x}\left[1+\alpha\frac{V_x^2}{gh}\left(1-\frac{w}{V_x}\sin\beta\right)\frac{L-x}{h}\right]}{\frac{V_x^2}{gh}-\sin\beta}\frac{V_x}{h}. \tag{3.66}$$

Крім рівнянь (3.61) – (3.64) відома також модель так званих кінематичних хвиль [9]. При розгляді течії гідросуміші в рамках квазістаціонарного наближення моделі кінематичних хвиль [9] передбачається, що скочувальна сила $g\cos\beta$ і сила тертя $\tau_0/\rho h$ в кожен момент часу і в кожній точці конічної поверхні врівноважують один одного, а похідною можна знехтувати. З урахуванням цих припущень замість рівнянь (3.61) – (3.66), потрібно розглядати відповідно наступні:

$$\frac{1}{L-x}\frac{\partial}{\partial x}\left[V_x(L-x)h\right]=-\frac{w\sigma}{\sin\beta}, \tag{3.67}$$

$$\tau_0=g\rho h\cos\beta+\alpha(V_x-w\sin\beta)\frac{w\sigma}{h^2}(L-x)\rho h, \tag{3.68}$$

$$\frac{1}{l-x}\frac{\partial}{\partial x}\left[V_x h(l-x)\right]=0 \tag{3.69}$$

$$\tau_0=\rho g h\cos\beta. \tag{3.70}$$

З огляду на особливості конструкції каналу, що звужується, а також наявність відбору маси через його поверхню, для визначення напруги тертя τ_0 застосуємо відому формулу Шезі з урахуванням формули Н.Н. Павловського [22 – 26]:

$$\tau_0=n'^2 g\frac{\rho V_x^2}{h^{2m}}, \tag{3.71}$$

Read-only

де n' – коефіцієнт шорсткості поверхні у формулі Н.Н. Павловського [22 – 26];

m – емпіричний коефіцієнт у формулі Н.Н. Павловського [22 – 26].

Величина коефіцієнта шорсткості визначається за спеціальними таблицями і змінюється від 0,009 до 0,14. Для визначення значення емпіричного коефіцієнта можуть використовуватися формули різних авторів [22, 25]. При $m = 1/6$ формула М.М. Павловського перетворюється в більш просту формулу Маннинга, а при $m = 1/5$ в формулу Форхгеймера [23, 24].

З урахуванням (3.71) система рівнянь (3.69) та (3.70) дозволяє визначити закони зміни параметрів течії гідросуміші уздовж каналу, що звужується в аналітичному вигляді (рис. 3.1 – 3.3):

$$q = \frac{q_0}{1-l}; \tag{3.72}$$

$$h = \frac{h_0}{(1-l)^{\frac{2}{3+2m}}}; \tag{3.73}$$

$$V_x = \frac{V_x^0}{(1-l)^{\frac{1+2m}{3+2m}}}; \tag{3.74}$$

$$h_0 = \left(\frac{n' q_0}{\sqrt{\cos\beta} L}\right)^{\frac{2}{3+2m}}; \tag{3.75}$$

$$V_x^0 = \left(\frac{\sqrt{\cos\beta}}{n'}\right)^{\frac{2}{3+2m}} \left(\frac{q_0}{L}\right)^{\frac{1+2m}{3+2m}}; \tag{3.76}$$

Read-Only

$$l = \frac{x}{L}, \tag{3.77}$$

де q – витрата рідини в довільному перерізі потоку;

q_0 – витрата рідини в початковому перерізі потоку;

h_0 – товщина потоку в початковому перерізі;

V_x^0 – швидкість потоку в початковому перерізі;

l – відносна координата поточного перерізу.

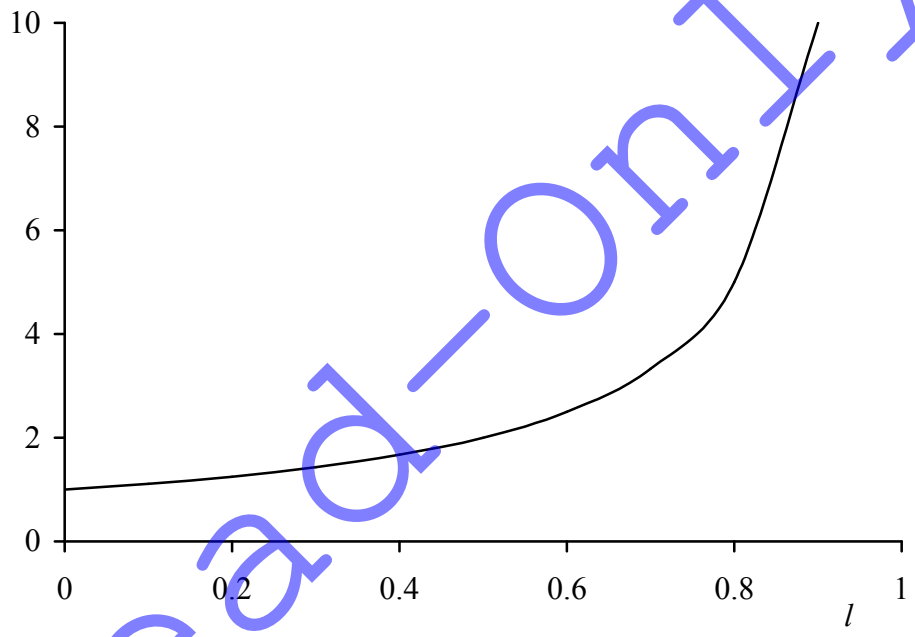


Рисунок 3.1 – Розподіл відносної витрати по довжині каналу, що звужується, при течії гідросуміші без відбору маси

Read-only

Проте система рівнянь (3.67) и (3.68), навіть з урахуванням виразу (1.47), зводиться до системи нелінійних рівнянь, розв’язок яких можливий тільки чисельними методами:

$$V_x(L-x)h = q_0 - \frac{\varphi'\sqrt{2g}\sigma}{\sin\beta}\int_0^x \sqrt{h}(L-y)dy\,; \tag{3.78}$$

$$n'^2 V_x^2 = h^{2m+1}\cos\beta + \alpha\left(1 \mp \frac{\varphi'\sqrt{2gh}}{V_x}\sin\beta\right)\frac{\varphi'\sqrt{2gh}\sigma}{V_x}(L-x)\frac{V_x^2}{g}h^{2m-1}. \qquad (3.79)$$

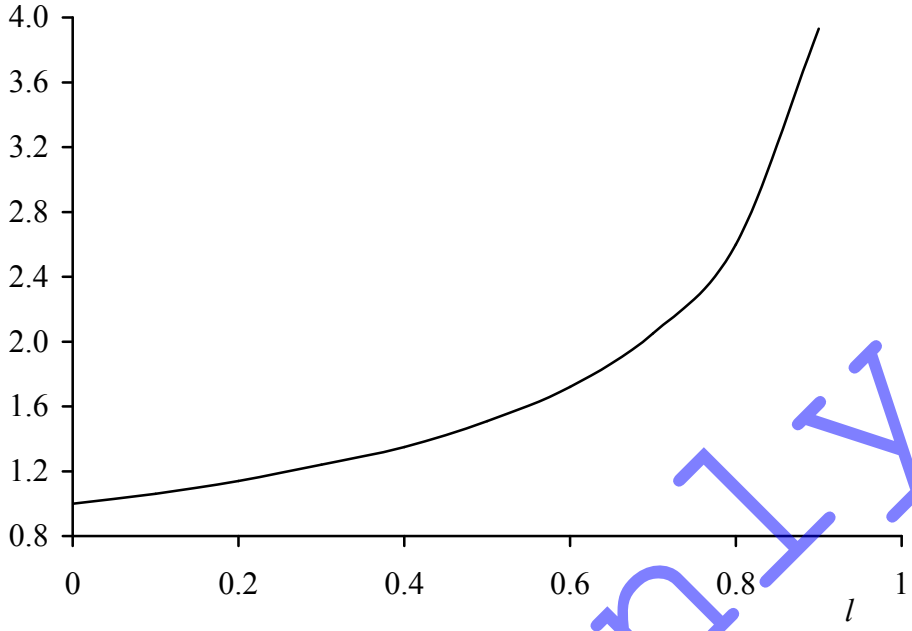


Рисунок 3.2 – Розподіл відносної глибини потоку по довжині каналу, що звужується, при течії гідросуміші без відбору маси (m=0,182)

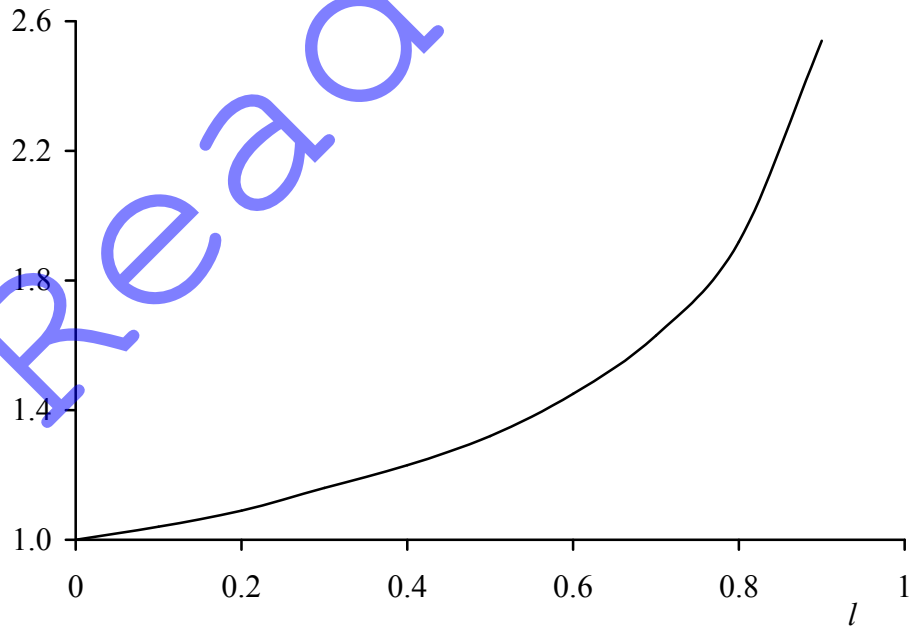


Рисунок 3.3 – Розподіл відносної швидкості потоку по довжині каналу, що звужується, при течії гідросуміші без відбору маси (m=0,182)

Read-only

При чисельному вирішенні системи рівнянь (3.78) и (3.79) деякі автори в якості початкового наближення пропонують використовувати формули (3.72) – (3.77) призначені для випадку течії без відбору маси [1, 9, 13, 27].

Крім рівнянь (3.61) – (3.64) і моделі кінематичних хвиль (3.67) – (3.70) відома також модель течії гідросуміші у вигляді двох шарів рідини з різною щільністю [6 – 8]. Ця модель заснована на осереднені по живому перерізу гідродинамічних параметрів, і з тими чи іншими видозмінами широко використовується в гідравліці відкритих русел [27].

За моделлю двошарової течії верхній шар являє собою рухому гідросуміш, з якої в процесі її руху вздовж каналу тверді частинки безперервно осідають в нижній шар. Концентрація частинок в верхньому шарі безперервно змінюється, так що його щільність розглядається як функція поздовжньої координати і часу. Нижній шар складається з твердих частинок, осаджених з верхнього шару, і являє собою максимально ущільнену суміш твердих частинок з водою. Щільність нижнього шару передбачається незмінною і максимально можливою. Вважається, що шари рухаються з різними швидкостями і між ними є межа, через яку відбувається перехід частинок з верхнього шару в нижній.

При цьому передбачається, що утворення двох шарів починається відразу після надходження гідросуміші на поверхню каналу, що на практиці не завжди дотримується. Зазвичай потрібно досвідченим шляхом підібрати навантаження по гідросуміші для того, щоб канал почав працювати. Ні в рамках двошарової моделі, ні в рамках моделі кінематичних хвиль отримати відповідь на це питання не можливо.

Read-only

3.2.2 Моделювання течії гідросуміші по неперфорованому каналу, що звужується

При аналізі рівняння руху одиночної частки в безнапірному потоці рідини, по каналу, який звужується, для оцінки знака величини Ф необхідно знати закон розподілу швидкості рідини по висоті потоку. Численні

дослідження безнапірних завислонесучих течій показують, що завислаздатність потоку в першу чергу визначається його середньомасовою швидкістю [2, 28 – 40]. Від цього параметра залежить інтенсивність турбулентності потоку в горизонтальному і вертикальному напрямках, гідравлічний ухил, сила аеродинамічного опору частинки і багато іншого. Теоретичні та експериментальні дослідження розподілу швидкості в однофазних і гетерогенних безнапірних потоках в поперечному перерізі проводилися багатьма авторами [30, 31, 40, 41]. Після проведення порівняльного аналізу цих залежностей для профілю середньої швидкості однофазного потоку була обрана формула [31, 40]

$$u_f = \frac{q}{h_0}\bar{u}_f; \tag{3.80}$$

$$\bar{u}_f = \frac{1+n}{n}\frac{\bar{y}^{\frac{1}{n}}}{\bar{y}_0^{\frac{1+n}{n}}}, \tag{3.81}$$

де $\bar{u}_f$ – безрозмірна місцева швидкість рідини (рис. 3.4 – 3.7);

n – показник степеня в законі розподілу швидкості по перерізу потоку [31, 40].

З використанням залежностей (3.80) і (3.81) можна отримати вираз для похідної від швидкості по поперечній координаті:

$$\frac{\partial u_f}{\partial y} = \frac{q}{h_0^2}\frac{\partial \bar{u}_f}{\partial \bar{y}}; \tag{3.82}$$

$$\frac{\partial \bar{u}_f}{\partial \bar{y}} = \frac{1+n}{n^2 \bar{y}_0^{\frac{3n-1}{n}}}\frac{1}{\bar{y}^{\frac{n-1}{n}}}. \tag{3.83}$$

Read-only

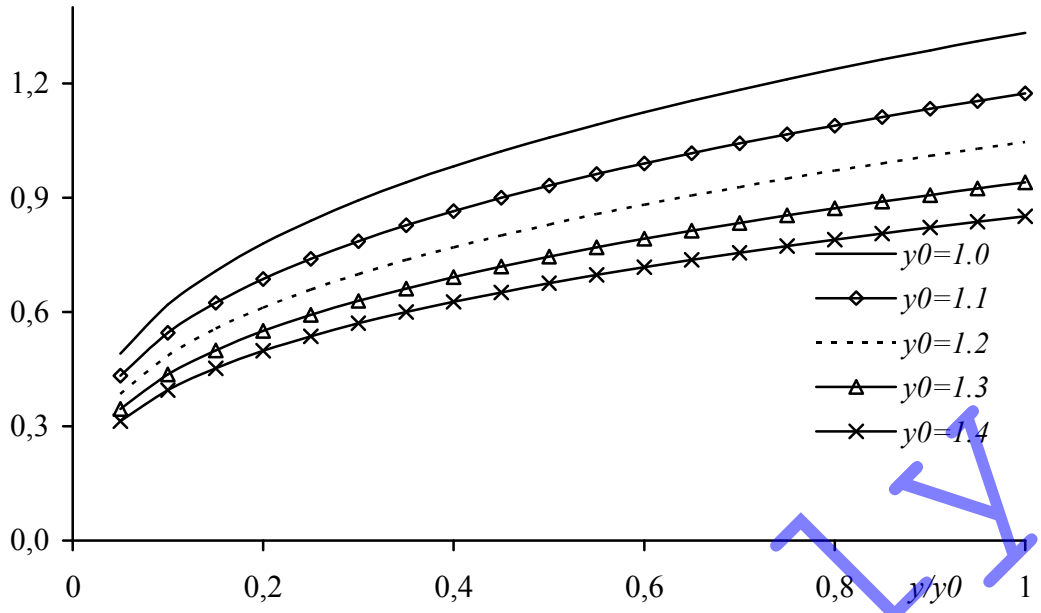


Рисунок 3.4 – Залежність величини $\bar{u}_f$ від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ для $n = 3$

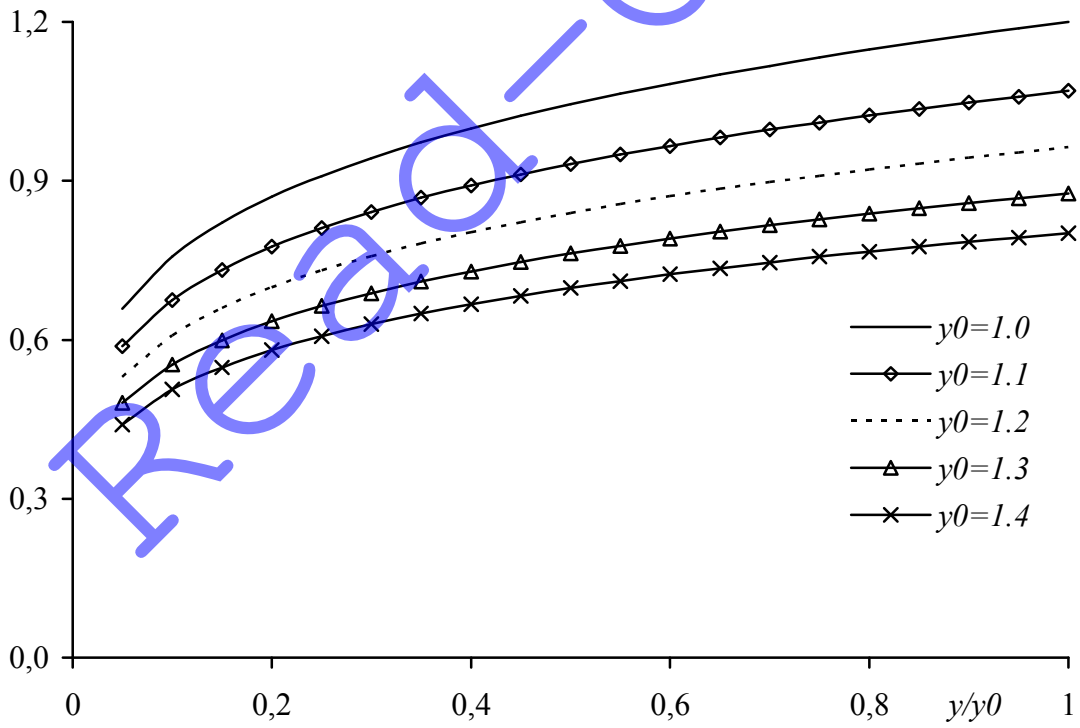


Рисунок 3.5 – Залежність величини $\bar{u}_f$ від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ для $n = 5$

Read-only

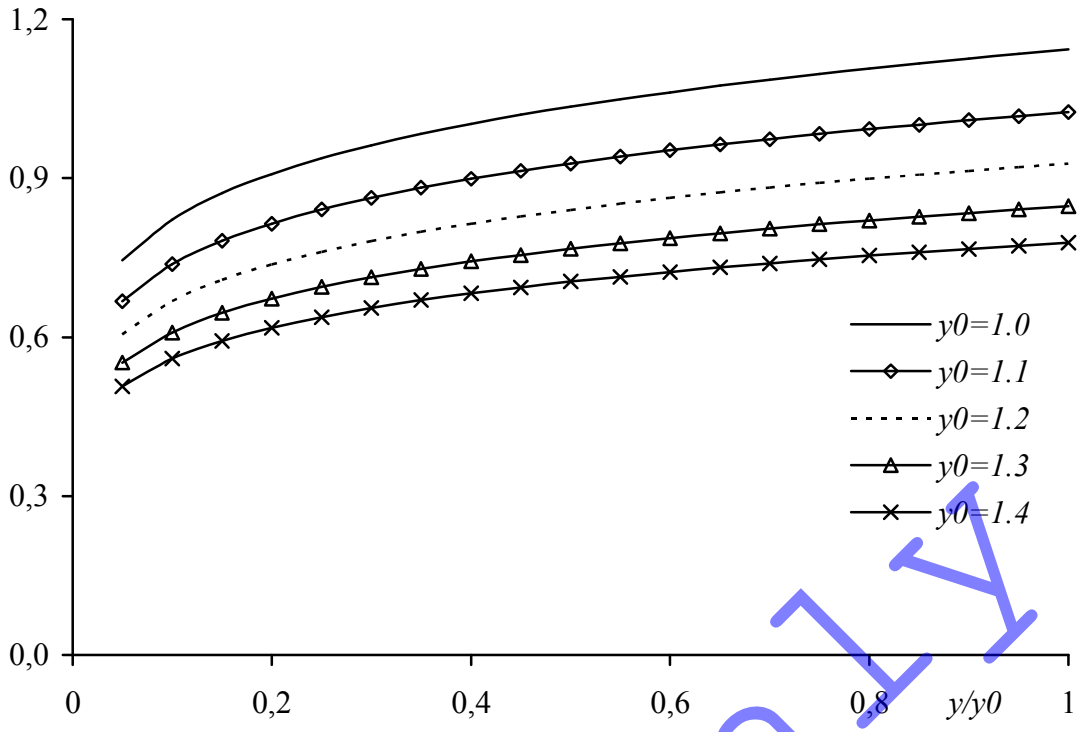


Рисунок 3.6 – Залежність величини $\bar{u}_f$ від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ для $n = 7$

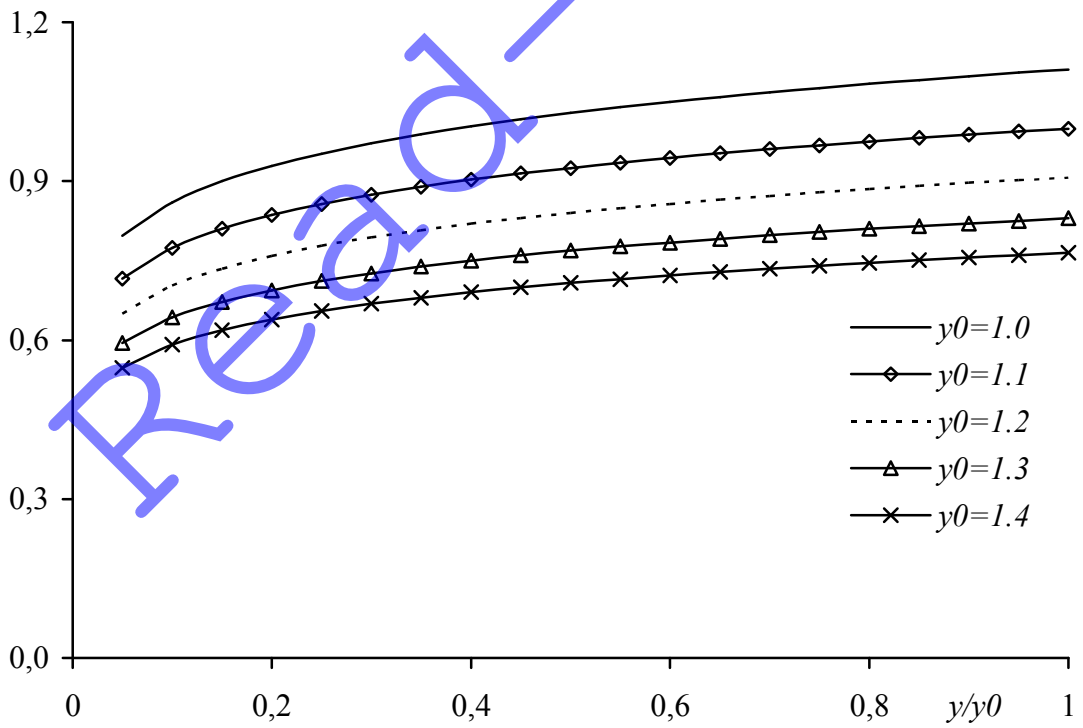


Рисунок 3.7 – Залежність величини $\bar{u}_f$ від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ для $n = 9$

Read-only

З урахуванням (3.80) – (3.83) можна визначити сили, що діють на частку в потоці рідини. В отриманих формулах при обчисленні сил використовується ковзання частинки $u_f - u_p$ і кутова швидкість її обертання Ω, які можна виразити через властивості частинки і параметри течії. У безнапірних потоках гідросуміші ковзання швидкості частинок, тобто різниця між осьовими швидкостями рідини і частинки, пропорційно гідравлічній крупності частинки, тобто швидкості її осадження в необмеженій рідини, а також деякої функції від концентрації (рис. 3.8) [28, 29, 39, 42]:

$$u_f - u_p = w_o (1 - S)^p ; \tag{3.84}$$

$$p = 4{,}1 - 2{,}1 sign\left[\lg\left(\frac{\mathrm{Re}_S}{5{,}01}\right)\right] th\left[\frac{1}{2}\left|\lg\left(\frac{\mathrm{Re}_S}{5{,}01}\right)\right|^{\frac{4}{3}}\right]; \tag{3.85}$$

$$\mathrm{Re}_S = \frac{w_0 d}{\nu}, \tag{3.86}$$

де w_o – швидкість осадження частинки в необмеженій рідини, яка розраховується по формулам Гончарова [35, 42];

Re_S – критерій Рейнольдса для частинки.

Сталу кутову швидкість обертання частинки в розглянутих потоках, з урахуванням (3.80) – (3.86) і формули Кривенко [31, 41], можна розраховувати на підставі рівняння обертального руху [30, 31, 41]:

$$\Omega = \frac{4{,}484}{\sqrt[3]{\delta^2 \mathrm{Re}}} \frac{(1+n)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt[3]{n}\,\bar{y}_0^{\frac{2(3n-1)}{3n}}} \frac{1}{\bar{y}^{\frac{2(n-1)}{3n}}} \frac{q}{h_0^2} . \tag{3.87}$$

Read-only

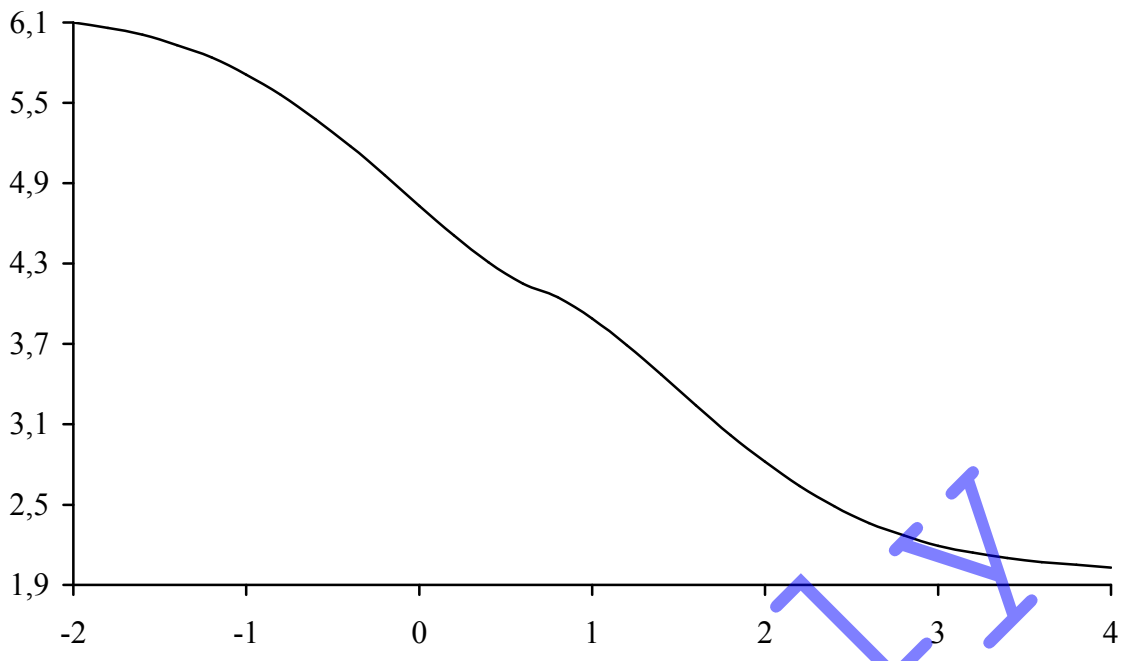


Рисунок 3.8 – Залежність величини p від Re_s [34]

На підставі формули (3.87), і з урахуванням формул (3.80) – (3.86) для величини Φ замість формули (1.19) можна записати наступний вираз:

$$\Phi = 0{,}498 \frac{(1+n)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt[3]{n\bar{y}_0^{\frac{2(3n-1)}{3n}}}} \gamma \frac{\sqrt[3]{\delta^4 \mathrm{Re}^2}}{\bar{y}^{\frac{2(n-1)}{3n}}} + 0{,}171 \frac{\sqrt{1+n}}{n\bar{y}_0^{\frac{3n-1}{2n}}} \gamma \frac{\delta\sqrt{\mathrm{Re}}}{\bar{y}^{\frac{n-1}{2n}}} - 1; \qquad (3.88)$$

$$\gamma = \frac{\frac{\rho_p}{\rho_f} - 1}{\frac{\rho_p}{\rho_f}\sin\beta - 1}, \qquad (3.89)$$

де γ – параметр, що враховує вплив кута нахилу поверхні каналу до горизонту, (рис. 3.9).

Read-only

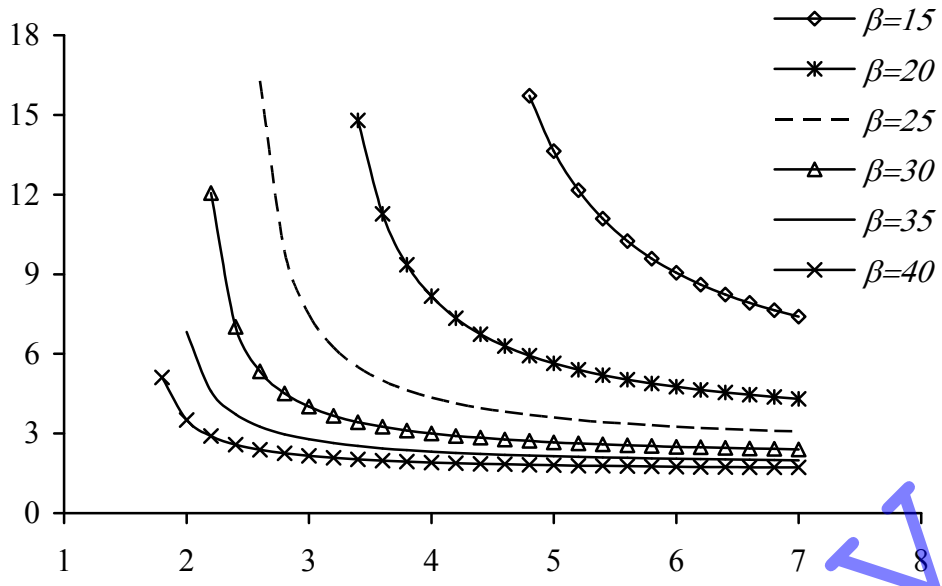


Рисунок 3.9 – Залежність параметра γ від безрозмірної густини частинок при різних кутах напіврозчину каналу

Для проведення чисельного аналізу, рівняння (3.88) раціонально переписати в наступному вигляді:

$$\Phi = \frac{M\gamma\sqrt[3]{Bl^4}}{\bar{y}^{\frac{2(n-1)}{3n}}} + \frac{N\gamma Bl}{\bar{y}^{\frac{n-1}{2n}}} - 1; \tag{3.90}$$

$$M = 0{,}498\frac{(1+n)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt[3]{n}\,\bar{y}_0^{\frac{2(3n-1)}{3n}}}; \tag{3.91}$$

$$N = 0{,}171\frac{\sqrt{1+n}}{n\bar{y}_0^{\frac{3n-1}{2n}}}; \tag{3.92}$$

$$Bl = \delta\sqrt{\mathrm{Re}}\,. \tag{3.93}$$

Read-only

Розрахунки за формулою (3.90) проводилися для умов, коли h_0 змінюється від 6 до 18 мм, V_x^0 – від 0,5 до 1,5 м/с, ρ_p=2500 кг/м^3, а d=0,15 мм. Результати цих розрахунків показують, що в залежності від гідравлічної крупності частинок і значення величини Bl, існують області значень $\bar{y}$, де Ф буде як більше, так і менше нуля (рис. 3.10 – 3.17). В областях значень, де $\bar{y}$ більше, тверді частки, що розглядаються, переміщаються в підвішеному стані, а в областях, де Ф менше нуля – осідають на дні каналу.

Оскільки величина Ф, характеризує завислу здатність потоку в звужуваному каналі, то в областях, де з потоку будуть сепаруватися частки, що розглядаються, ця величина буде менше нуля, тобто:

$$0{,}498\frac{(1+n)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt[3]{n}\,\bar{y}_0^{\frac{2(3n-1)}{3n}}}\gamma\frac{\sqrt[3]{\delta^4\,\mathrm{Re}^2}}{\bar{y}^{\frac{2(n-1)}{3n}}}+0{,}171\frac{\sqrt{1+n}}{n\bar{y}_0^{\frac{3n-1}{2n}}}\gamma\frac{\delta\sqrt{\mathrm{Re}}}{\bar{y}^{\frac{n-1}{2n}}}\le 1. \qquad (3.94)$$

Знак рівності у виразі (3.94) відповідає границі зависання частинок, тобто висоті, яка відрахована від дна потоку, вище якої частки даної густии і крупності не можуть бути завислі.

Оскільки величина Ф, характеризує завислу здатність потоку в звужуваному каналі, то в областях, де з потоку будуть сепаруватися частки, що розглядаються, ця величина буде менше нуля, тобто [34, 43,44]:

$$\bar{y}_* \le \frac{h_S}{h_0}; \qquad (3.95)$$

$$\frac{h_S}{h_0} = \frac{6\bar{y}_0^2}{\pi\delta}, \qquad (3.96)$$

де $\bar{y}_*$ – відносне значення границі зависання частинок;

Read-Only

h_S – висота шару щільної упаковки частинок.

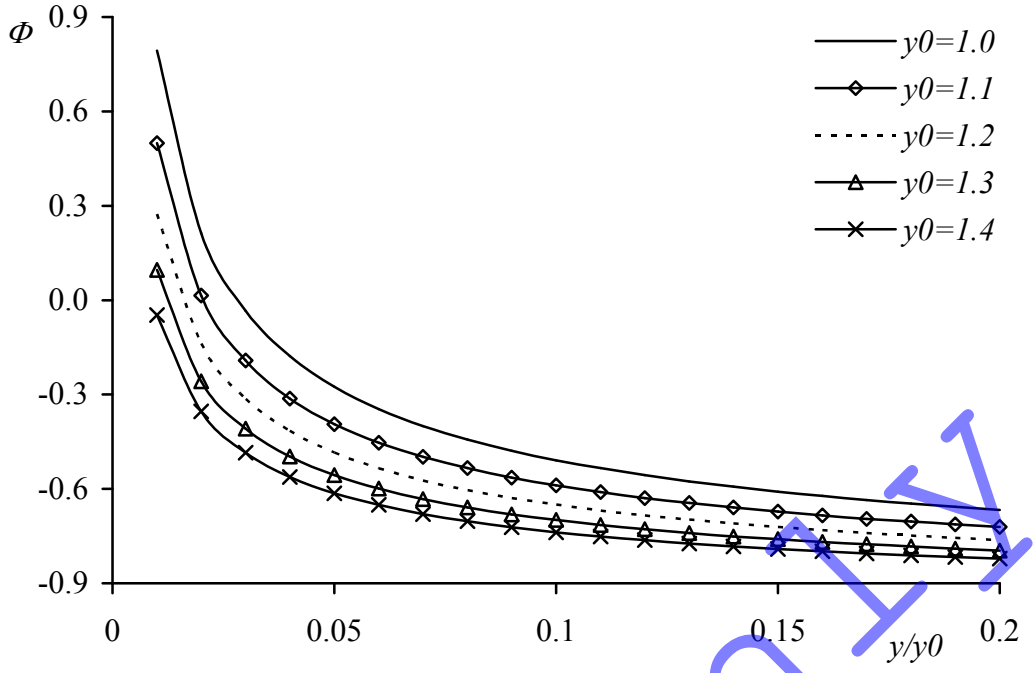


Рисунок 3.10 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}2;\ n = 7$)

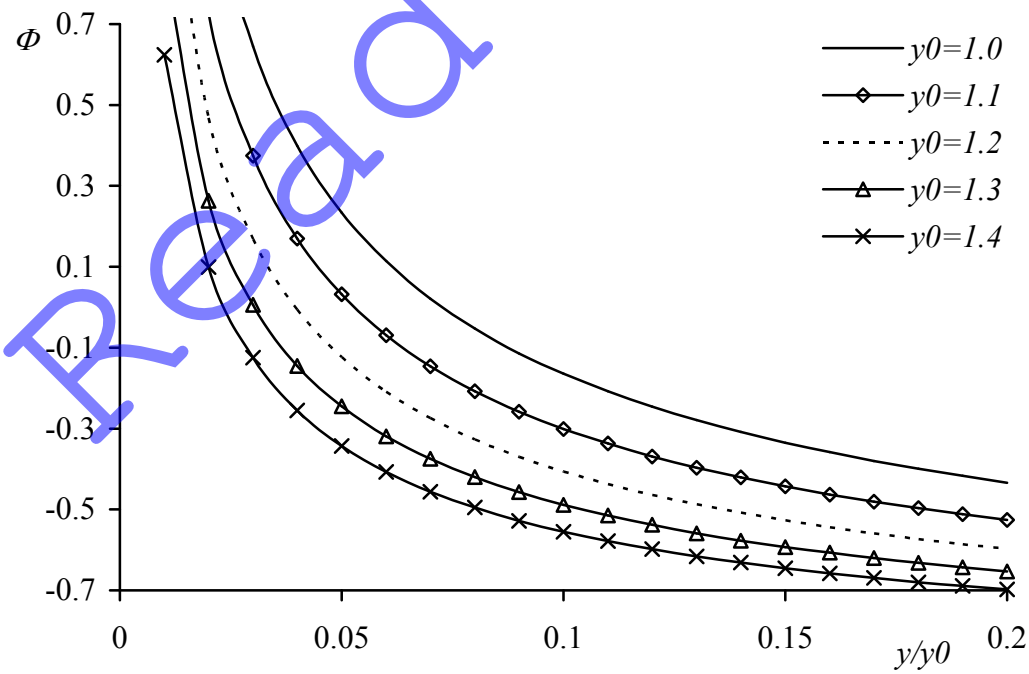


Рисунок 3.11 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}3;\ n = 7$)

Read-only

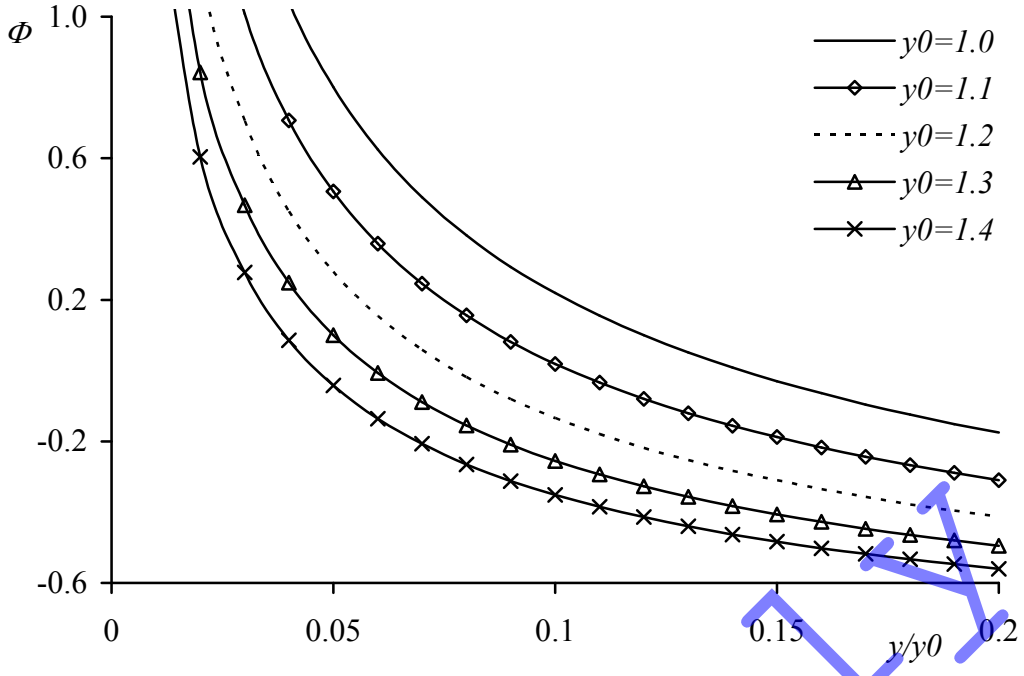


Рисунок 3.12 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}4;\ n = 7$)

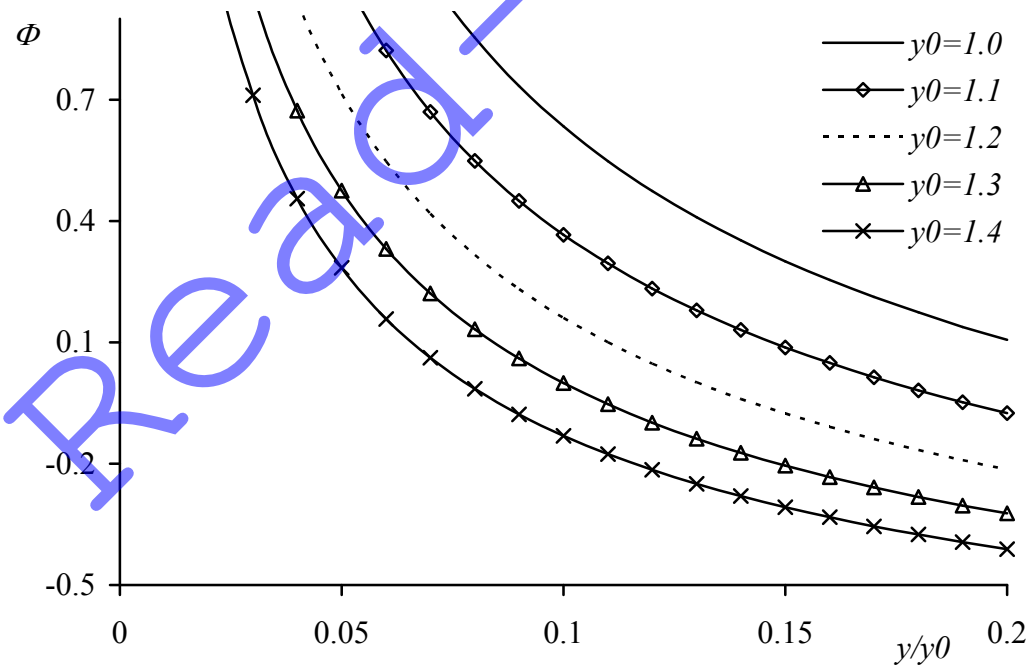


Рисунок 3.13 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}5;\ n = 7$)

Read-only

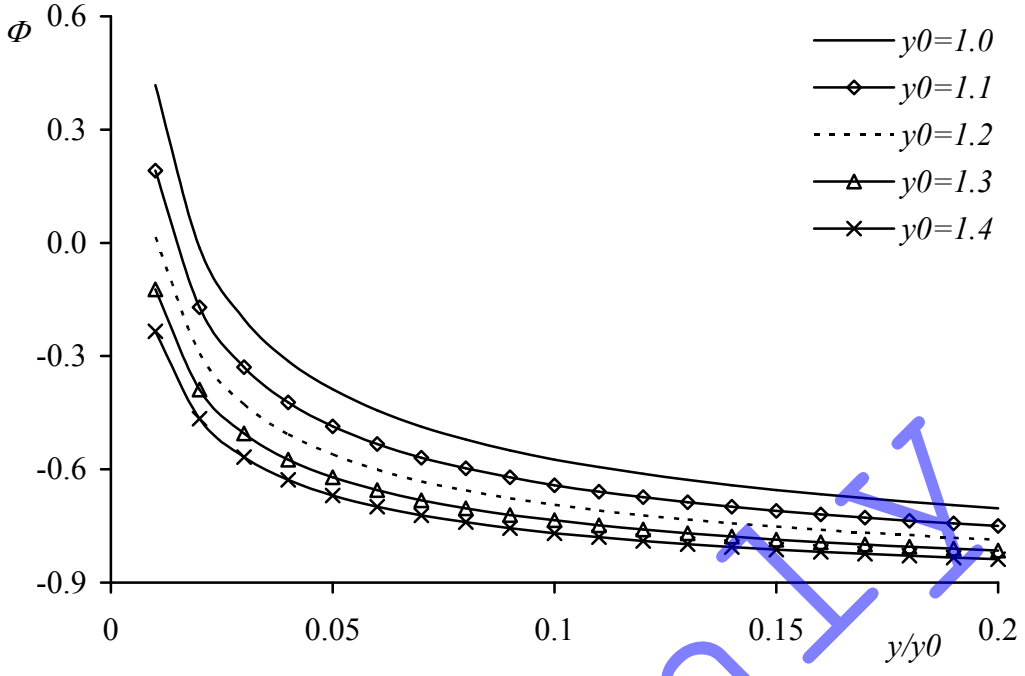


Рисунок 3.14 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}2;\ n = 5$)

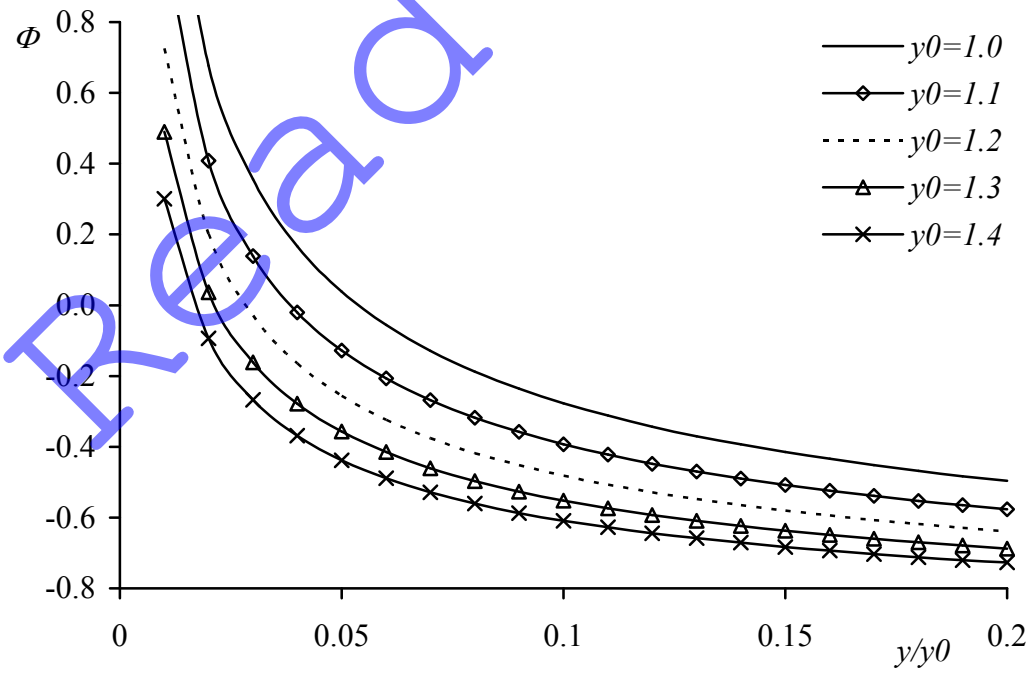


Рисунок 3.15 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}3;\ n = 5$)

Read-only

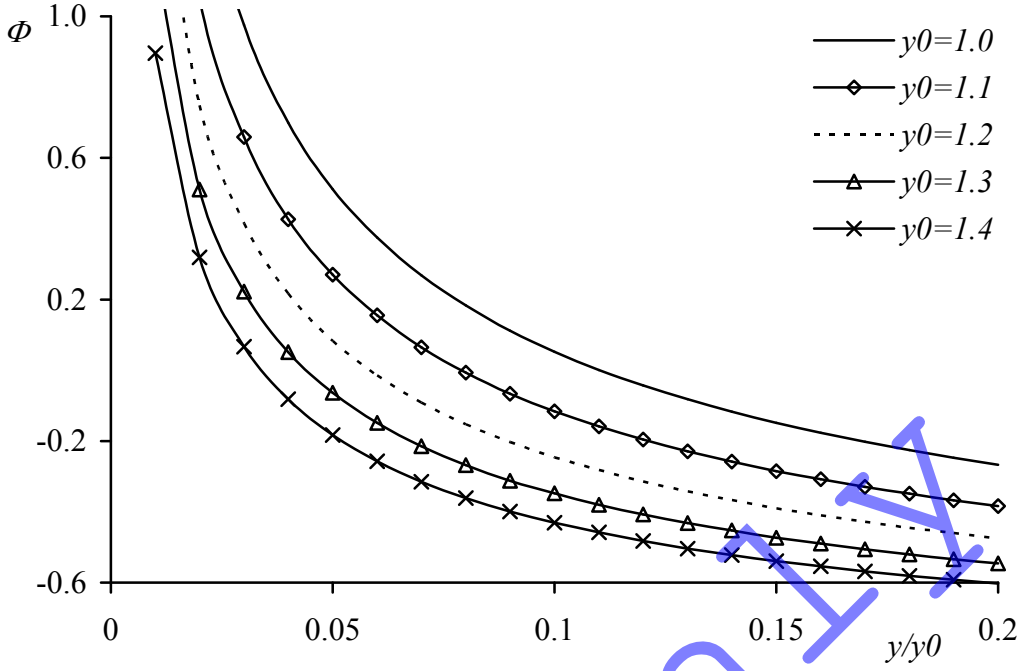


Рисунок 3.16 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}4;\ n = 5$)

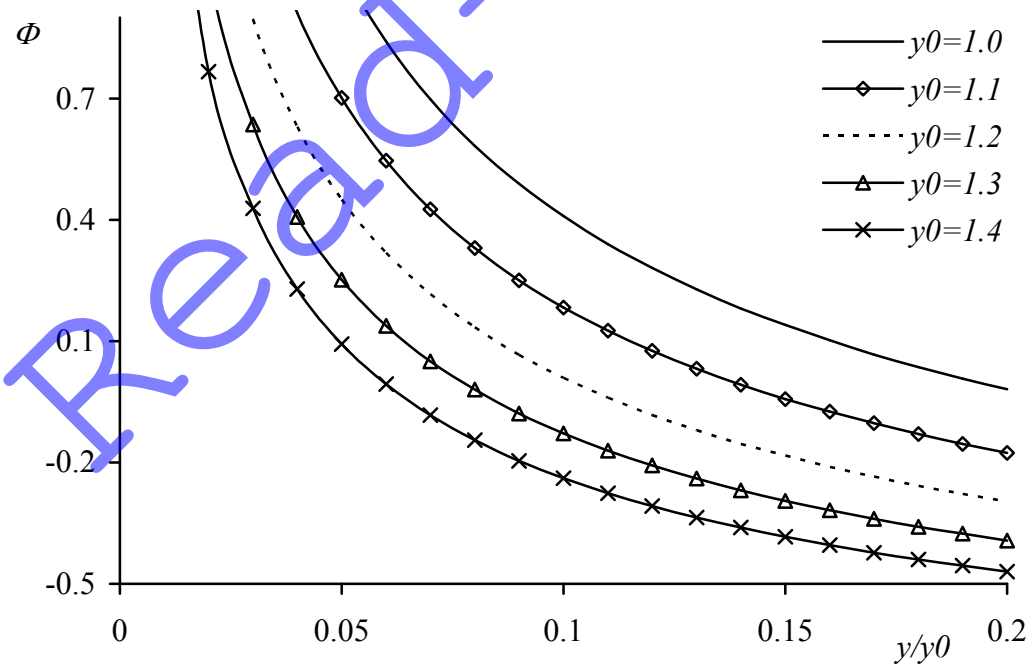


Рисунок 3.17 – Залежність величини Ф від величини $\bar{y}$ при різних значеннях відносної товщини шару гідросуміші $\bar{y}_0$ ($Bl = 0{,}5;\ n = 5$)

Read-only

Знак рівності у виразі (3.96) відповідає точці початку сепарації, яка розділяє потік пульпи з частками даної густини і крупності на дві частини. Вище цієї точки потік пульпи розглядається як одношарова течія однорідної рідини з підвищеною густиною. Нижче цієї точки потік пульпи є двошаровою течією, нижній шар якої складається з частинок, що випали з потоку, а верхній представлений пульпою з концентрацією, яка постійно знижується.

З урахуванням виразів (3.72) – (3.77) нерівність (3.94) може бути переписано в наступному вигляді (рис. 3.18, 3.19):

$$z^4 - A_1 z - A_0 \geq 0\,; \tag{3.97}$$

$$z = \sqrt[6]{\frac{\bar{y}_*^{\frac{n-1}{n}}}{(1-l)^k}}\,; \tag{3.98}$$

$$A_0 = \frac{(1+n)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt[3]{n}}\gamma\frac{\sqrt[3]{\delta^4\,\mathrm{Re}_0^2}}{2{,}008}\,; \tag{3.99}$$

$$A_1 = \frac{\sqrt{1+n}}{n}\gamma\frac{\delta\sqrt{\mathrm{Re}_0}}{5{,}848}\,; \tag{3.100}$$

$$k = \frac{n(3-2m)-2}{n(3+2m)}\,. \tag{3.101}$$

Єдиний фізично реальний позитивний корінь рівняння (3.97) перебуває в інтервалі:

$$\sqrt[3]{A_1} \leq z_* \leq \sqrt[3]{A_1 + \frac{A_0}{\sqrt[3]{A_1}}}\,, \tag{3.102}$$

Read-only

а відповідними рішеннями нерівності (3.97) є значення аргументу з інтервалу:

$$z \geq z_{*}. \tag{3.103}$$

Таким чином, якщо відомо рішення рівняння (3.97), координата точки початку стратифікації, з урахуванням (3.94) и (3.96), визначається за формулою (рис. 3.20):

$$l_{*} = 1 - \sqrt[K]{\frac{6}{\pi\delta z_{*}^{\frac{6n}{n-1}}}}; \tag{3.104}$$

$$K = \frac{n(7-2m)-6}{(n-1)(3+2m)}, \tag{3.105}$$

где l_{*} – відносна координата точки початку стратифікації.

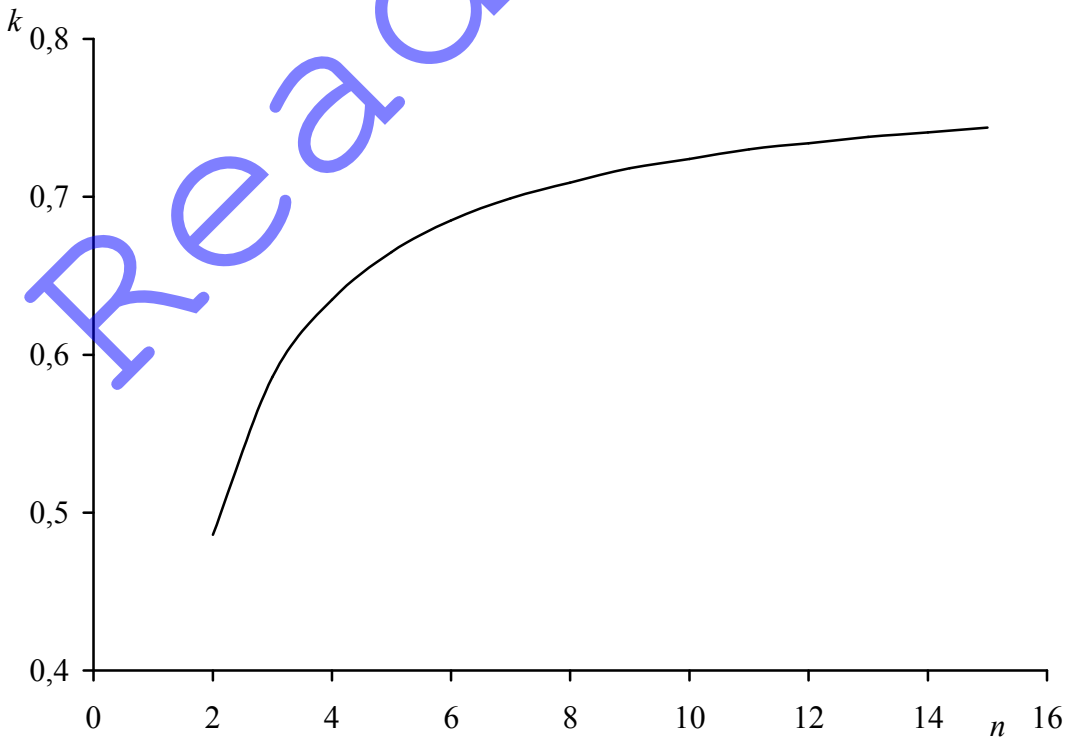


Рисунок 3.18 – Залежність величини k від n при m=0,182

Read-only

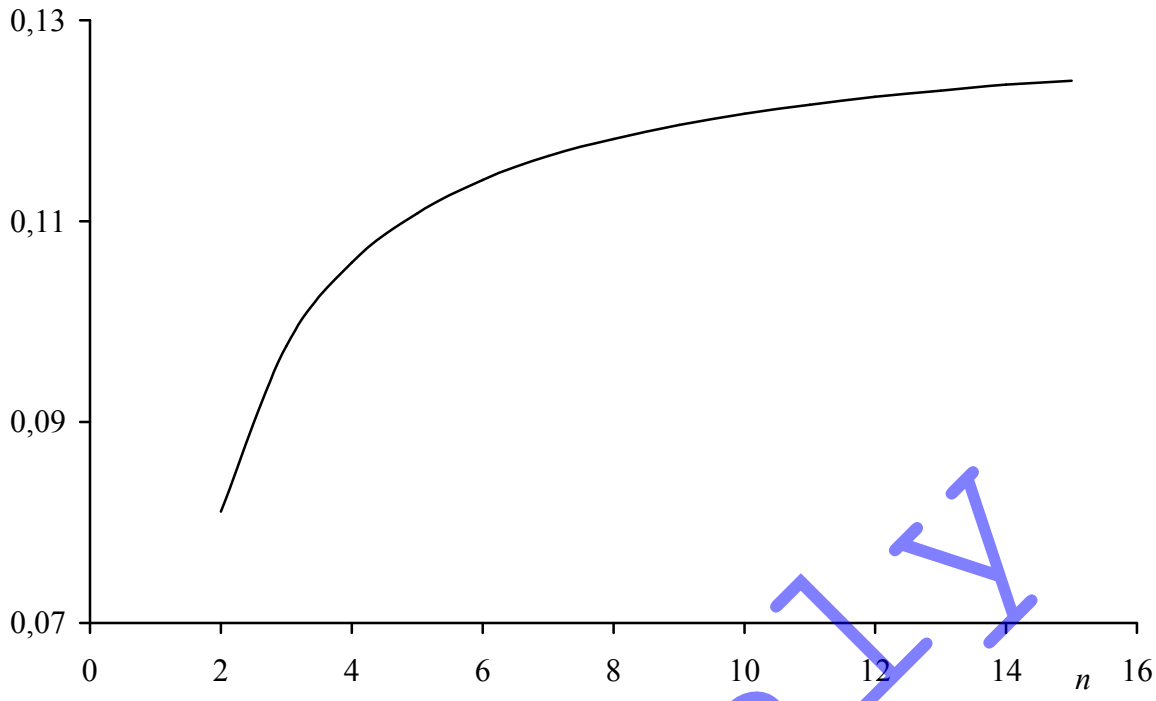


Рисунок 3.19 – Залежність величини $\frac{k}{6}$ від n при m=0,182

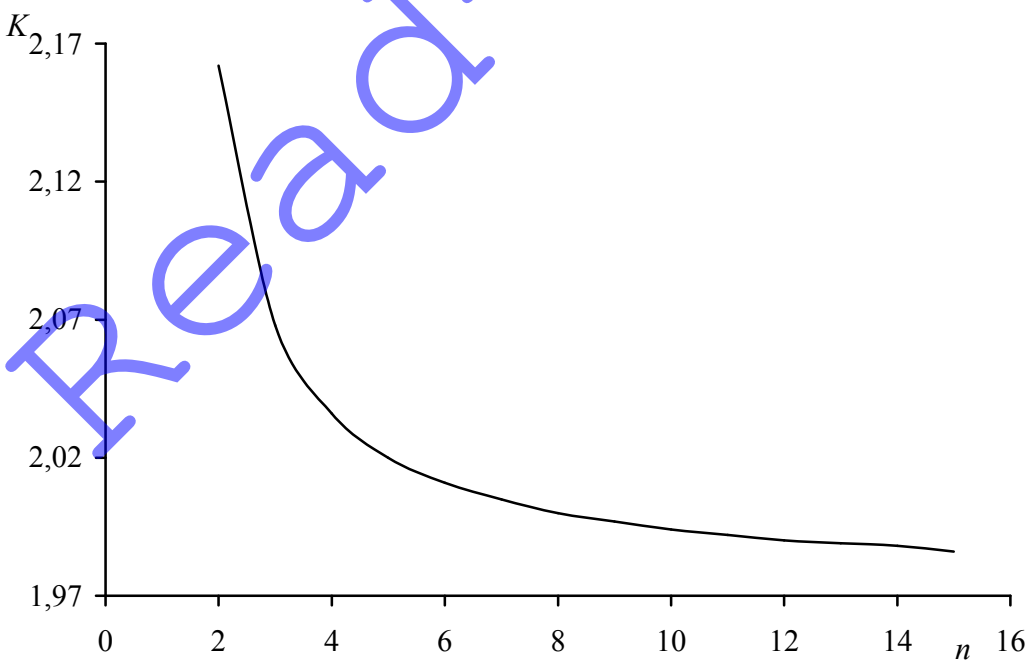


Рисунок 3.20 – Залежність величини K від n при m=0,182

Read-only

Для отримання аналітичного виразу перетворимо нерівність (3.97) до наступного рівняння четвертого степеня

$$x^4 - \theta x - 1 = 0; \tag{3.106}$$

$$x = \left(\frac{\sqrt[3]{n}}{(1+n)^{\frac{2}{3}}} \frac{2{,}008}{\sqrt[3]{\delta^4 \operatorname{Re}_0^2 \gamma}} \right)^{\frac{1}{4}} z; \tag{3.107}$$

$$\theta = 0{,}288 \sqrt[12]{n \gamma^3 \delta^8}, \tag{3.108}$$

рішення якого, згідно з даними, наведеними в роботі [45, 36], може бути представлено в наступному вигляді:

$$x = 1{,}001 \sqrt[3]{\theta}. \tag{3.109}$$

З урахуванням (3.106) – (3.109), (3.97) і (3.103), а також (1.21), (1.23) і (3.89), вираз (3.104) може бути переписано в наступному вигляді

$$1 - l_* = \sqrt{\left(\frac{n^2}{1+n}\right)^{\frac{n}{n-1}} \frac{6}{\pi} \left(\frac{\frac{\rho_p}{\rho_f} \sin\beta - 1}{\frac{\rho_p}{\rho_f} - 1} \right)^{\frac{2n}{n-1}} \left(\frac{\nu}{q}\right)^{\frac{n}{n-1}} \left(\frac{h_0}{d}\right)^{\frac{13n-3}{3(n-1)}}}. \tag{3.110}$$

3.3 Моделювання режимів течії гідросуміші по каналу, що звужується з відбором маси

3.3.1 Побудова моделі течії з відбором маси

Read-only

З урахуванням поставленого завдання визначення точки початку сепарації частинок з потоку, розглядається течія з відбором маси тільки для однорідного потоку. В цьому випадку для визначення параметрів необхідно вирішити систему нелінійних рівнянь (3.78) и (3.79).

Перше з розглянутих рівнянь після нескладних перетворень неважко представити у вигляді:

$$V_x = \frac{q_0}{(1-l)h}\left[1 - \frac{\varphi'\sqrt{2gh_0}\sigma L^2}{q_0 \sin\beta}\eta\right]; \tag{3.111}$$

$$q_x = \frac{\varphi'\sqrt{2gh_0}\sigma L^2}{q_0 \sin\beta}; \tag{3.112}$$

$$\eta = \int_0^l \sqrt{\bar{y}_0}(1-\tilde{y})d\tilde{y}; \tag{3.113}$$

$$\tilde{y} = \frac{y}{L}. \tag{3.114}$$

З урахуванням формул (3.111) – (3.114) рівняння (3.79) може бути переписано так

$$\frac{B_1}{h^{2m+0,5}} - B_2 = (h - B_3)h^{1,5}; \tag{3.115}$$

$$B_1 = \frac{n'^2 q_0^2}{\cos\beta}\left(\frac{1-q_x\eta}{1-l}\right)^2; \tag{3.116}$$

$$B_2 = \frac{\alpha\sqrt{2}\sigma\varphi'}{\cos\beta}q_0 L(1-q_x\eta); \tag{3.117}$$

Read-only

$$B_3 = 2\alpha\varphi'^2\sigma L(1-l)tg\beta. \qquad (3.118)$$

Рівняння (3.115) має один дійсний позитивний корінь, розташований в інтервалі

$$\left(B_3; \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\frac{2}{4m+1}}\right). \qquad (3.119)$$

З огляду на те, що коефіцієнти B_1, B_2 и B_3 залежать від величини h, це рішення можна використовувати для реалізації ітераційного процесу:

– по деякому значенню h, розраховують значення коефіцієнтів B_1, B_2 і B_3;

– за отриманими величинами B_1, B_2 і B_3, з чисельного рішення рівняння (3.114) отримують чергове наближення h;

– обчислюють похибку наближення і неув'язку рішення по (3.114);

– якщо похибка наближення і неув'язка суттєва, переходять до першого пункту алгоритму;

– якщо похибка наближення і неув'язка задовольняють вимогам точності, то розрахунок закінчено.

Аналіз відомих результатів досліджень подібних потоків рідин [5 – 8, 12–20, 27], а також результатів попередніх досліджень [1, 3, 10, 11], свідчить що в разі течії гідросуміші по каналу, який звужується, з відбором маси через його поверхню, залежність глибини потоку від поточної координати розглянутого перерізу може бути представлена у вигляді (рис. 3.21):

$$h = \frac{h_0}{(1-l)^E}, \qquad (3.120)$$

Read-only

де E – показник степеня, позитивне число.

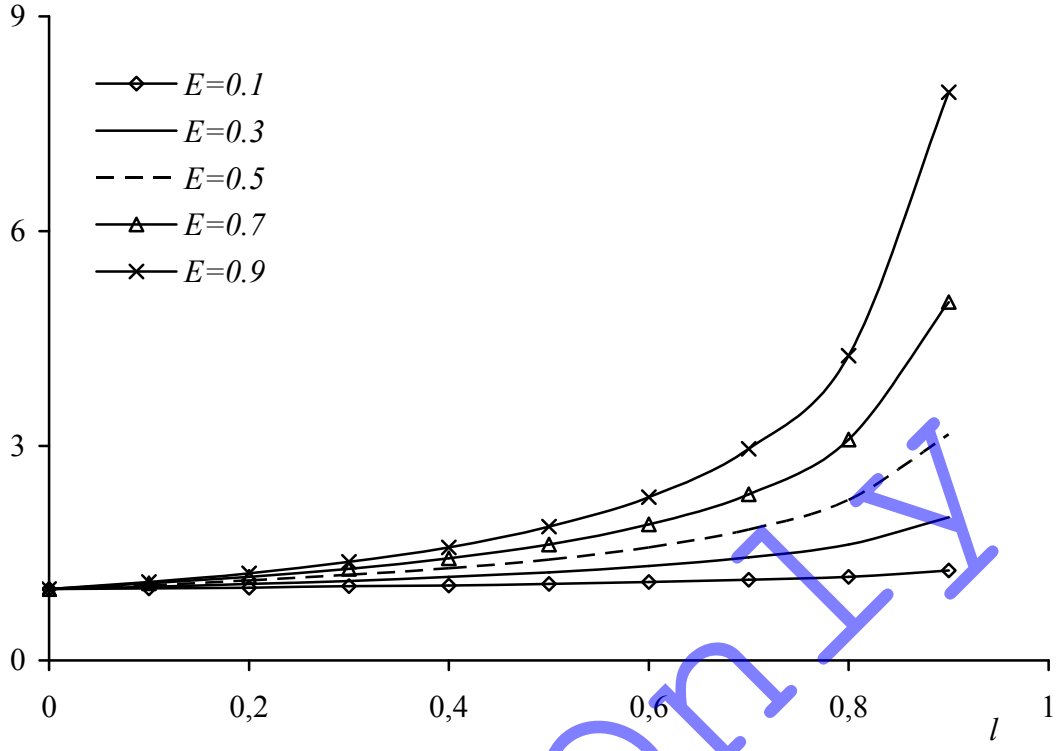


Рисунок 3.21 – Розподіл відносної глибини потоку по каналу, що звужується, при течії гідросуміші з відбором маси

Дослідження параметрів шару рідини при безнапірній течії по каналам та трубопроводам експериментально вивчалися на лабораторному стенді (рис. 3.22, 3.23), конструкція якого дозволяє змінювати кут нахилу каналу до горизонту від 0 до 90º, а вузол змішування забезпечує змінення об'ємної концентрації гідросуміші від 0 до 10%. Для реалізації течії з масообміном на дні каналу було сконструйовано канал з перфорованим дном, верхня полиця в якому встановлюється над постійним дном та може мати різну ступінь перфорації (рис. 3.23). Це дозволяє реалізувати безнапірну течію з різною інтенсивністю відбору рідини крізь дно. Ці дослідження дозволили підтвердити закономірності (3.120) для розрахунків відносної товщини шару рідини вздовж каналу зі змінною площею поперечного перерізу та з різною інтенсивністю відбору рідини крізь дно та встановити інтервал зміни показника E (рис. 3.21).

Read-only

Рисунок 3.22 – Стенд для досліджень безнапірних течій гідросуміші

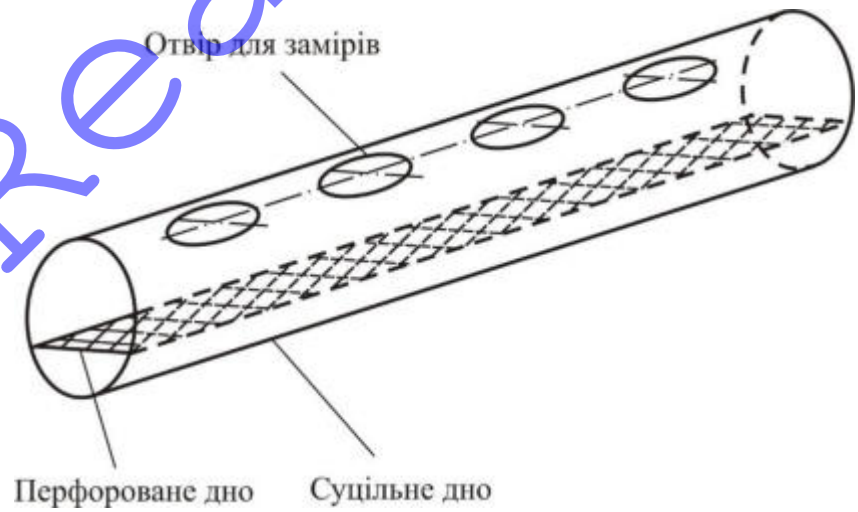


Рисунок 3.23 – Стенд для досліджень безнапірних течій гідросуміші з різною інтенсивністю відбору рідини крізь дно

Read-only

З урахуванням (3.120) інтеграл (3.112) може бути представлено в квадратурах, при цьому при значеннях $E \neq 4$ замість (3.112) маємо

$$\eta = 2\frac{1-(1-l)^{2-E/2}}{4-E}, \tag{3.121}$$

а у випадку $E = 4$

$$\eta = -\ln(1-l). \tag{3.122}$$

При цьому, враховуючи що $0 < l < 1$, якщо вирази (3.121) і (3.122) розкласти в степеневі ряди [48, 49], то отримаємо однаковий результат для всього діапазону зміни величини E:

$$\eta \approx l. \tag{3.123}$$

З урахуванням виразів (3.120) і (3.123) залежності інших параметрів потоку від поточної координати можуть бути виражені у вигляді (рис. 3.24 – 3.27)

$$q = q_0 \frac{1-q_x l}{1-l}; \tag{3.124}$$

$$V_x = \frac{q_0}{h_0}\frac{1-q_x l}{(1-l)^{1-E}}. \tag{3.125}$$

Формули (3.120), (3.124) і (3.125) дозволяють на основі моделі течії, викладеної в розділі 2, отримати оцінку точки початку сепарації при течії гідросуміші по каналу, що звужується, з відбором маси, а також розробити відповідний алгоритм розрахунку.

Read-Only

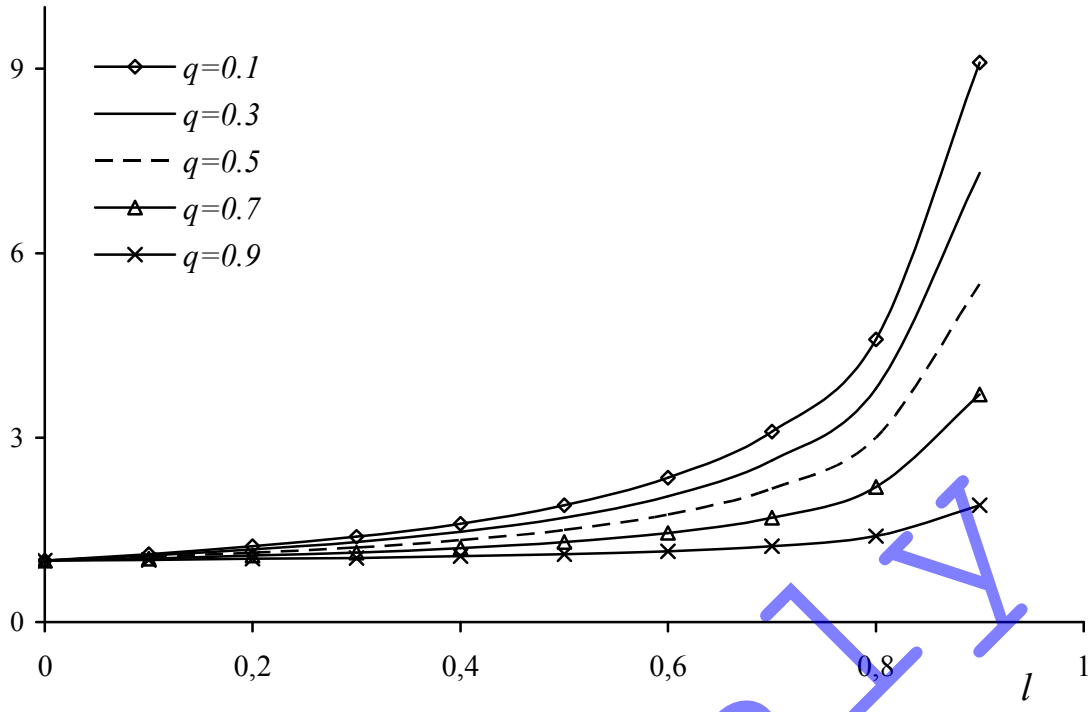


Рисунок 3.24 – Розподіл відносної витрати по каналу, що звужується, при течії гідросуміші з відбором маси

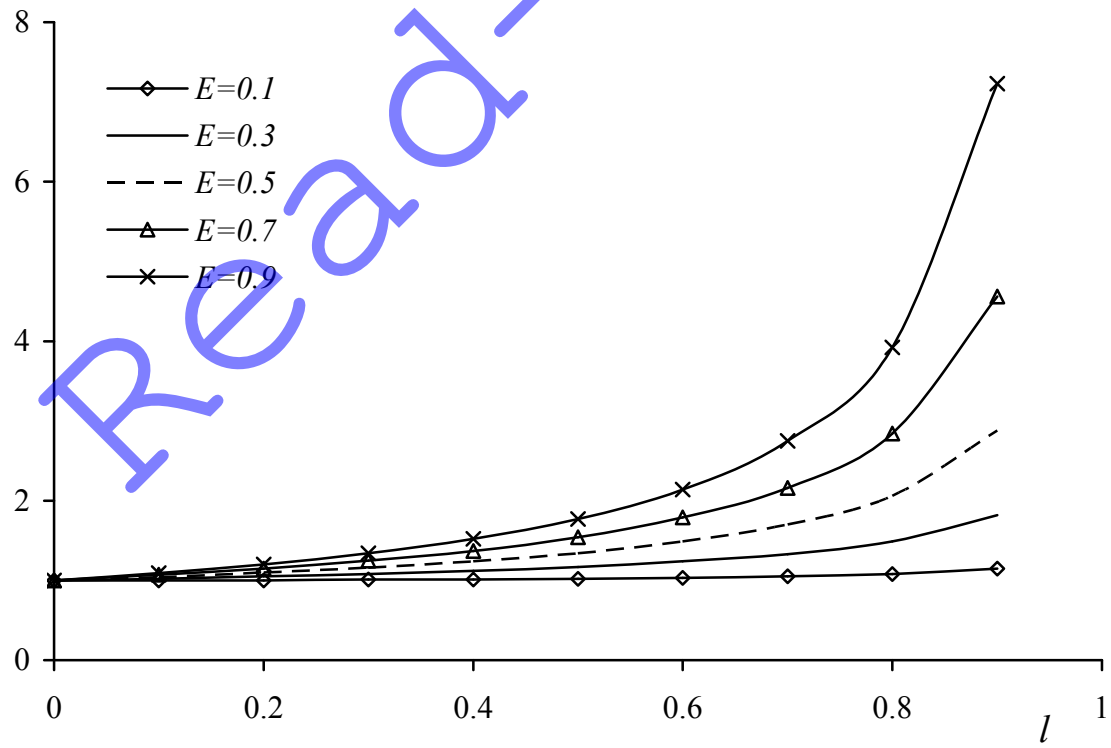


Рисунок 3.25 – Розподіл відносної швидкості по каналу, що звужується, при течії гідросуміші з відбором маси для $q_x = 0{,}1$

Read-only

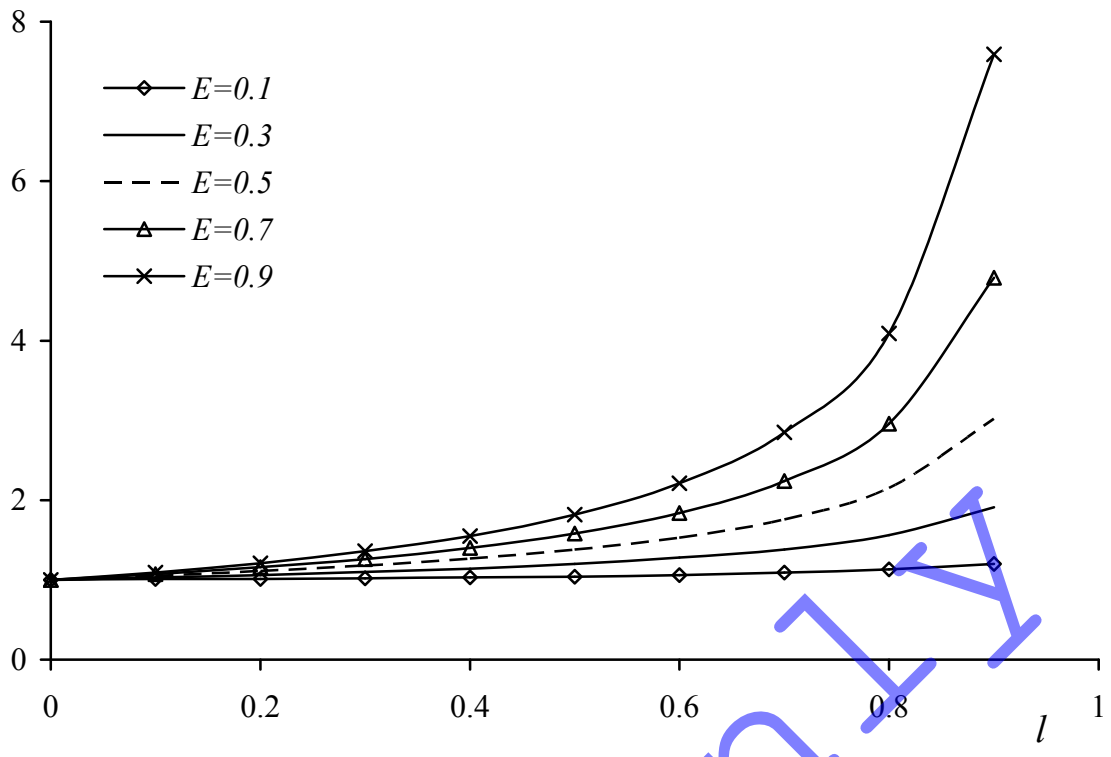


Рисунок 3.26 – Розподіл відносної швидкості по каналу, що звужується, при течії гідросуміші з відбором маси для $q_x = 0{,}05$

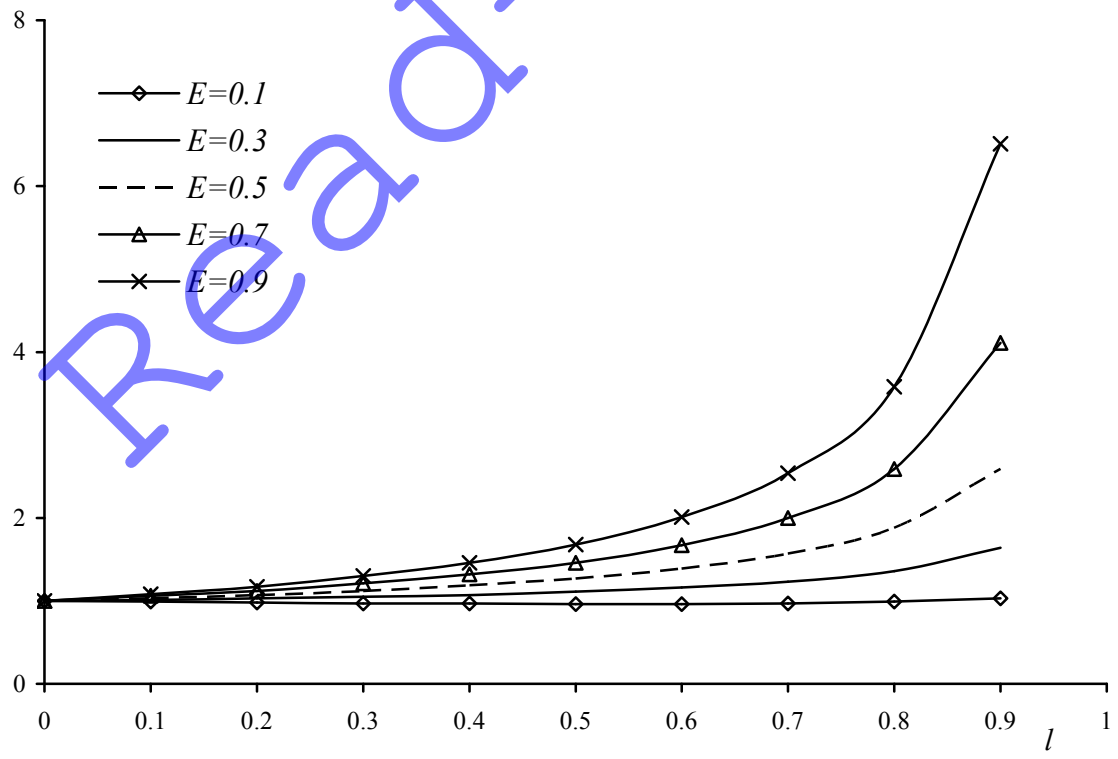


Рисунок 3.27 – Розподіл відносної швидкості по каналу, що звужується, при течії гідросуміші з відбором маси для $q_x = 0{,}2$

Read-only

З використанням (3.120), (3.124), (3.125), (3.99) і (3.100) нерівність (3.94) приводиться до виду (3.97), рішення якого можна отримати на основі формул (3.107) – (3.109), при цьому замість виразів (3.98) і (3.101) використовуються наступні формули (рис. 3.28, 3.29)

$$z = \sqrt[6]{\frac{\bar{y}_*^{\frac{n-1}{n}}}{(1-q_x l)(1-l)^k}}\,; \tag{3.126}$$

$$k = \left(3 - \frac{1}{n}\right)E - 1. \tag{3.127}$$

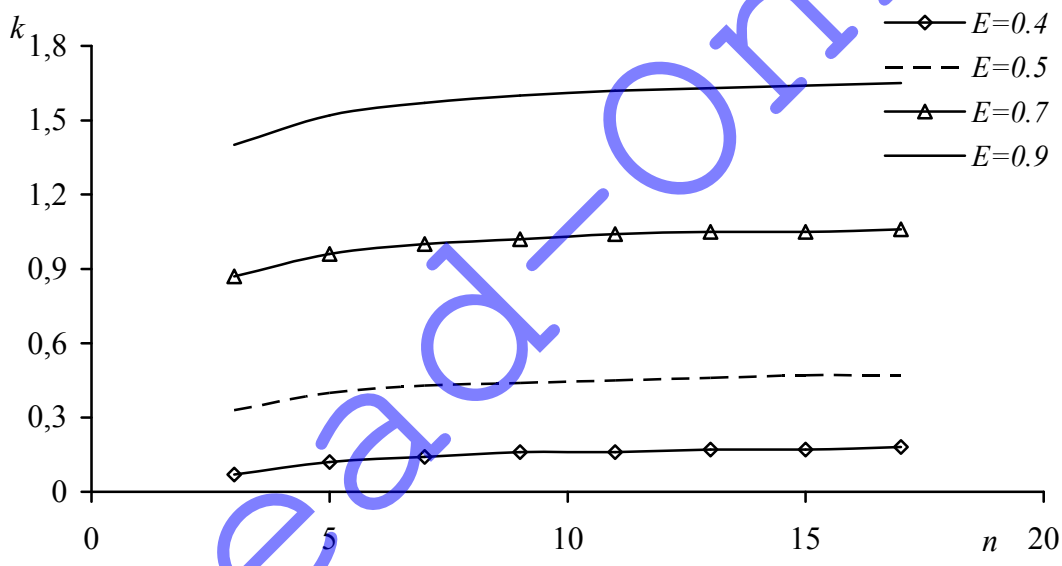


Рисунок 3.28 – Залежність величини k від n при різних значеннях E

Таким чином, якщо відомий корінь рівняння (3.97), координата точки початку стратифікації в разі відбору маси через дно каналу, з урахуванням (3.98) і (3.101), визначається з рішення наступного рівняння:

$$(1 - q_x l_*)^{\frac{n}{n-1}} (1 - l_*)^{\frac{kn}{n-1} + 2E} \le 6\pi\delta z_*^{-\frac{6n}{n-1}}. \tag{3.128}$$

Read-only

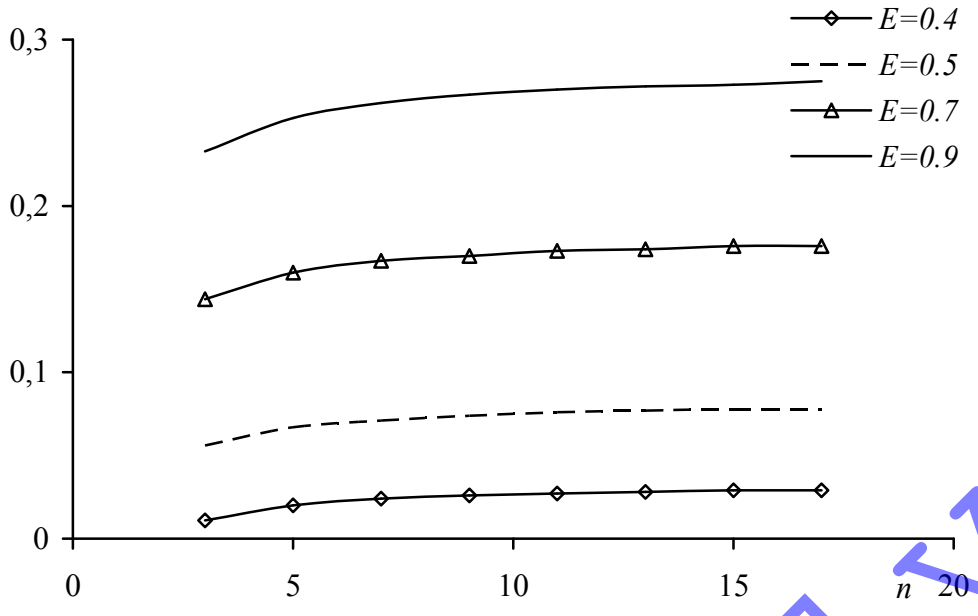


Рисунок 3.29 – Залежність величини $\frac{k}{6}$ від n при різних значеннях E

Наближене значення кореня рівняння (3.128) можна отримати, якщо скористатися зворотною формулою розкладання в степеневий ряд першого виразу в дужках з лівої частини (3.128) [48, 49]

$$1 - q_x l_* + \ldots \approx (1 - l_*)^{q_x}. \tag{3.129}$$

З урахуванням (3.129) і (3.101) рівняння (3.128) набуде вигляду, що допускає аналітичне рішення, аналогічне (3.104):

$$l'_* \geq 1 - \sqrt[K]{\frac{6}{\pi \delta z_*^{\frac{6n}{n-1}}}}; \tag{3.130}$$

$$K = \frac{(5n-3)E - n(0{,}5 - q_x)}{n-1}, \tag{3.131}$$

Read-only

де l'_* – відносна координата точки початку стратифікації з урахуванням відбору маси через дно каналу.

Розглядаючи разом формули (3.104), (3.105) та (3.130), (3.131) нескладно узагальнити обидва випадку у наступному вигляді (табл. 3.1):

$$l_* = 1 - \left(an^2 + bn + c\right)\Lambda^{\frac{nK}{(n-1)}}, \tag{3.132}$$

$$K = \begin{cases} \dfrac{0{,}694}{m^{0{,}194}}, & \sigma = 0, \\ \dfrac{0{,}910}{5E + q_x - 0{,}5}, & \sigma \neq 0, \end{cases} \tag{3.133}$$

$$q_x = \frac{\varphi'\sqrt{2gh_0}\sigma L^2}{q_0 \sin\beta}, \tag{3.134}$$

$$\Lambda = \left(\frac{\dfrac{\rho_p}{\rho_f}\sin\beta - 1}{\dfrac{\rho_p}{\rho_f} - 1}\right)^2 \frac{\nu}{q_0 h_0}\left(\frac{h_0}{d}\right)^4, \tag{3.135}$$

де l_* – відносна координата перерізу початку розшарування безнапірного потоку гідросуміші;

E – показник степені в залежності від поточної товщини потоку для перфорованого дна;

σ – відношення площі отворів до загальної площі поверхні каналу;

m – емпіричний коефіцієнт у формулі М.М. Павловського;

L – повна довжина каналу, м;

φ' – коефіцієнт швидкості при витіканні через перфороване дно;

a, b, c – коефіцієнти апроксимації, які наведено в табл. 3.1.

Read-only

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти апроксимації в рівнянні (3.132)

Коефіцієнт	$\sigma = 0$	$\sigma \neq 0$
a	-0,0149	-0,00003
b	2,452	0,00090
c	-0,8021	-0,00030

З формул (3.110) та (3.132), а також з табл. 3.1, випливає наступне наукове положення: 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.

Новизна наукового положення полягає в тому, що 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.

Обґрунтованість та достовірність даного наукового положення визначається коректністю постановки вирішуваних завдань, використанням апробованих методів гідравліки, гідромеханіки, а також постулатів, підтверджених результатами експериментальних досліджень інших авторів.

Read-only

3.3.2 Алгоритм розрахунку параметрів течії

Для характеристик роботи каналу, що звужується, з реалізацією двох режимів течії: одним шаром до точки початку сепарації і двома шарами рідин різної густини після цієї точки, необхідно також знати параметри потоку в точці початку сепарації. Ці значення називаються параметрами сепарації. Очевидно, що параметри сепарації є початковими даними для розрахунку параметрів двошарової течії, а також використовуються для аналізу стійкості течії при коливаннях властивостей розсипу і величини технологічного навантаження [1, 3, 5, 22 –25, 50].

У разі течії гідросуміші по каналу, що звужується, без відбору маси, параметри потоку в точці початку сепарації, з використанням залежностей (3.106) і (3.107), а також виразів (3.72) – (3.77), можна розрахувати за формулами, що наведені в табл. 3.2, при відомому z_*, корені рівняння (3.97), який отримано з урахуванням (3.99) – (3.105), (рис. 3.30, 3.31).

Таблиця 3.2 – Формули для розрахунків параметрів течії гідросуміші, без відбору рідини, по каналу, що зуживається

Величина	Рівняння	Показники ступеня	
Витрата	$\frac{q_*}{q_0}=\left(\frac{\pi\delta}{6}\right)^{t_1} z_*^{r_1}$	$t_1=\frac{(n-1)(3+2m)}{n(7-2m)-6}$	$r_1=\frac{6n(3+2m)}{n(7-2m)-6}$
Товщина	$\frac{h_*}{h_0}=\left(\frac{\pi\delta}{6}\right)^{t_2} z_*^{r_2}$	$t_2=\frac{2(n-1)}{n(7-2m)-6}$	$r_2=\frac{12n}{n(7-2m)-6}$
Швидкість	$\frac{V_x^*}{V_x^0}=\left(\frac{\pi\delta}{6}\right)^{t_3} z_*^{r_3}$	$t_3=\frac{(n-1)(1+2m)}{n(7-2m)-6}$	$r_3=\frac{6n(1+2m)}{n(7-2m)-6}$

Примітка. z_* – корінь рівняння (3.97) з урахуванням (3.99) – (3.105).

Read-only

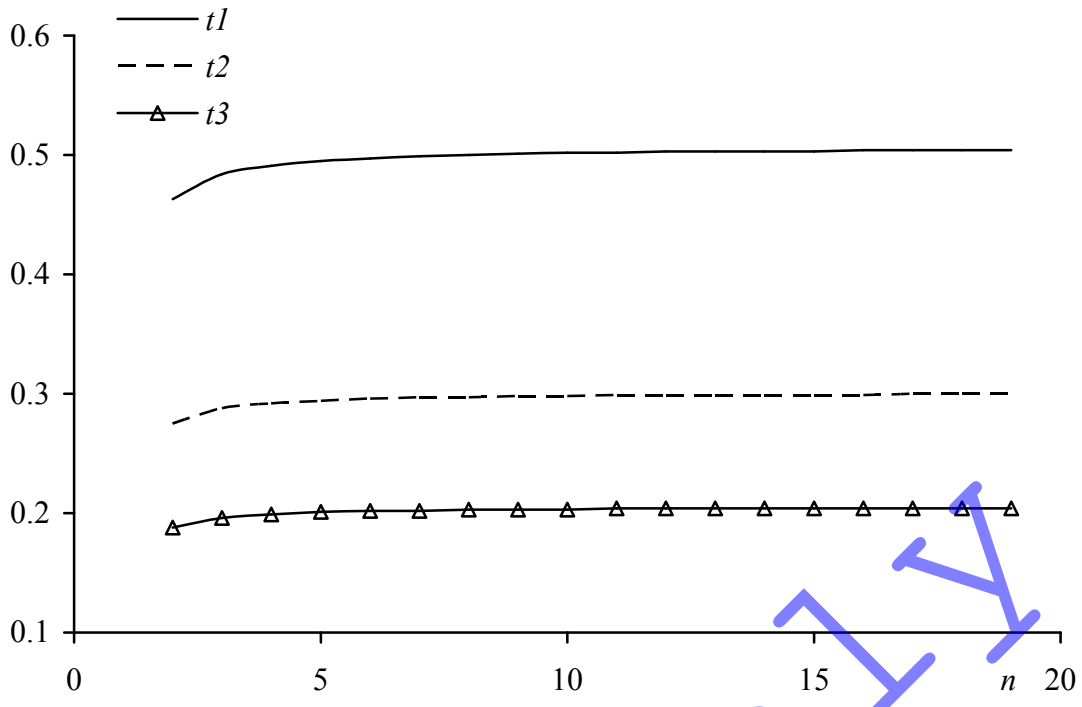


Рисунок 3.30 – Залежність показників степеня t_i для розрахунку параметрів течії гідросуміші з відбором маси від величини n при m=0,182

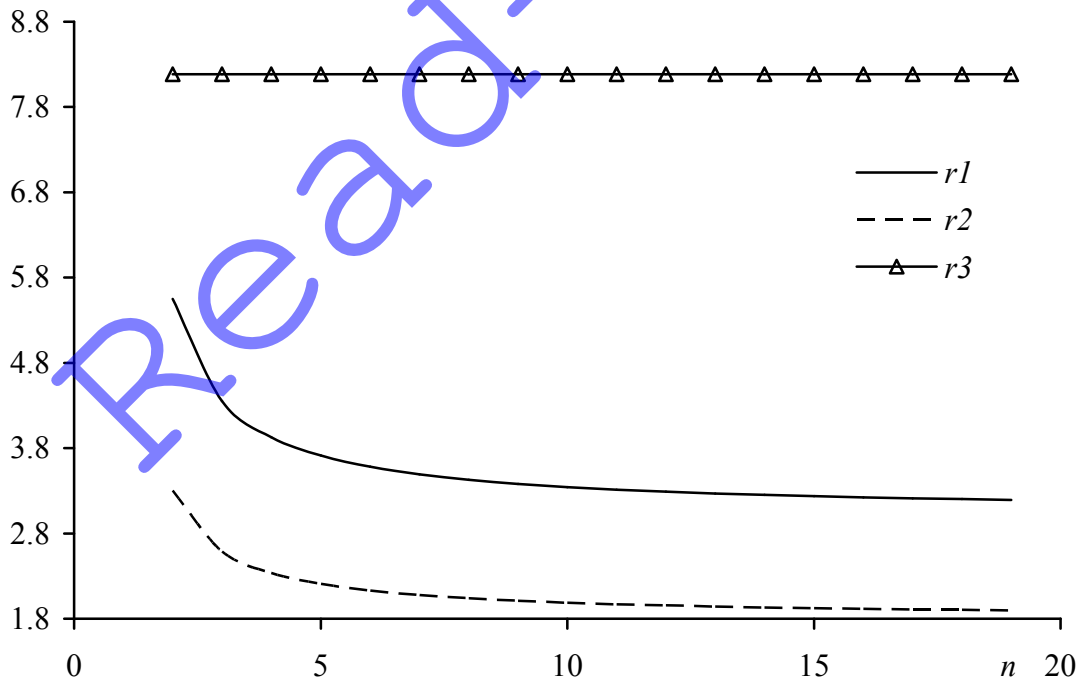


Рисунок 3.31 – Залежність показників степеня r_i для розрахунку параметрів течії гідросуміші з відбором маси від величини n при m=0,182

Read-only

У разі течії гідросуміші по каналу, що звужується, з відбором маси, витрату і швидкість потоку в довільній точці, на підставі виразів (3.124) і (3.126), з використанням залежності (3.130), можна розраховувати за формулами:

$$q = q_0 \frac{1}{(1-l)^{1-q_x}}; \tag{3.136}$$

$$V_x = \frac{q_0}{h_0} \frac{1}{(1-l)^{1-E-q_x}}, \tag{3.137}$$

а для розрахунку товщини потоку використовувати формулу (3.120).

У цьому випадку параметри потоку в точці початку сепарації, з використанням залежностей (3.130) і (3.131), а також на підставі виразів (3.136) і (3.137), можна розрахувати за формулами, котрі аналогічні залежностям з табл. 3.2, а параметри залежностей визначати відповідно до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Формули для розрахунків показників степеневої залежності

Величина	Показники ступеня	
Витрата	$t_1 = \frac{1-q_x}{K}$	$r_1 = \frac{6n}{n-1}\frac{1-q_x}{K}$
Товщина	$t_2 = \frac{E}{K}$	$r_2 = \frac{6n}{n-1}\frac{E}{K}$
Швидкість	$t_3 = \frac{1-E-q_x}{K}$	$r_3 = \frac{6n}{n-1}\frac{1-E-q_x}{K}$

Ґрунтуючись на отриманих наукових результатах, пропонується наступний метод розрахунку параметрів течії гідросуміші в каналі, який звужується, з відбором маси через поверхню і без нього, що враховує бажане положення точки початку сепарації.

Read-only

При течії пульпи без відбору маси по каналу, що звужується, спільний розгляд формул (3.92) і (3.73) дозволяє визначити такий закон зміни висота шару щільної упаковки частинок по довжині каналу:

$$\frac{h_S}{h_0} = \frac{6}{\pi\delta(1-l)^{\frac{4}{3+2m}}}. \qquad (3.138)$$

З огляду на (3.138), умову (3.91), а також закономірності розподілу параметрів потоку по довжині каналу (3.72) – (3.77), нерівність (3.90) можна переписати у вигляді (3.97), при цьому замість виразів (3.98) – (3.101), потрібно використовувати такі формули:

$$A_0 = \left(\frac{\pi}{6}\right)^{\frac{2(n-1)}{3n}} \frac{(1+n)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt[3]{n}} \frac{\gamma\delta^{\frac{2(2n-1)}{3n}}}{2{,}008}; \qquad (3.139)$$

$$A_1 = \left(\frac{\pi}{6}\right)^{\frac{n-1}{2n}} \frac{\sqrt{1+n}}{n} \frac{\gamma\delta^{\frac{3n-1}{2n}}}{5{,}848}; \qquad (3.140)$$

$$z = \sqrt[6]{\frac{(1-l_*)^P}{\mathrm{Re}_0}}; \qquad (3.141)$$

$$P = \frac{2+(5+2m)n}{3+2m}. \qquad (3.142)$$

Корінь даного рівняння z_* знаходимо аналогічно кореню рівняння (3.97) з використанням (3.102). При відомому z_* можна визначити таку витрату гідросуміші, що подається в канал, при якій забезпечується розташування точки початку сепарації на заданій відстані від вхідного перерізу:

Read-only

$$q_0^* = (1 - l_*)^P \frac{\nu}{z_*^6}. \qquad (3.143)$$

При течії гідросуміші з відбором маси через дно каналу, спільний розгляд формул (3.92) та (3.93) дозволяє визначити закон зміни товщини шару щільної упаковки частинок по довжині каналу, і замість (3.138) отримати:

$$\frac{h_S}{h_0} = \frac{6}{\pi\delta(1 - l)^{2E}}. \qquad (3.144)$$

З огляду на (3.144), умову (3.90), а також закономірності розподілу параметрів потоку по довжині каналу (3.72) – (3.77), нерівність (3.90) можна переписати у вигляді (3.97), при цьому замість виразів (3.98) – (3.101), потрібно використовувати (3.139) – (3.141), а замість (3.142) наступну формулу:

$$P = 1 - q_x - \frac{5n - 3}{n} E. \qquad (3.145)$$

На відміну від випадку течії без відбору маси, вид залежності розглянутої витрати від координати точки початку сепарації буде залежати від співвідношення величин q_x, E і n (табл. 3.4). Враховуючи формули (3.81), (3.112) та (3.126), нескладно впевнитися, що для n, q_x и E існують певні обмеження (табл. 3.5). Результати розрахунку показника степеня P від величин n, q_x і E по формулі (3.145) у всьому діапазоні зміни параметрів (табл. 3.5), показують, що можливі всі три розглянутих випадки (табл. 3.4) (рис. 3.32). При цьому область позитивних значень величини P значно менше області його негативних значень (рис. 3.33).

Read-only

Таблица 3.4 – Умови застосування формули (3.145)

Умови застосування		Розрахункова залежність
$P > 0$	$q_x + \frac{5n-3}{n} E < 1$	$q_0^* = (1 - l_*)^P \frac{\nu}{z_*^6}$
$P < 0$	$q_x + \frac{5n-3}{n} E > 1$	$q_0^* = \frac{\nu}{z_*^6 (1 - l_*)^P}$
$P = 0$	$q_x + \frac{5n-3}{n} E = 1$	$q_0^* = \frac{\nu}{z_*^6}$

Таблица 3.5 – Інтервали змін для параметрів у формулі (3.145)

Параметр	Границі інтервалу зміни	
	от	до
n	1	10
q_x	0	1
E	0	1

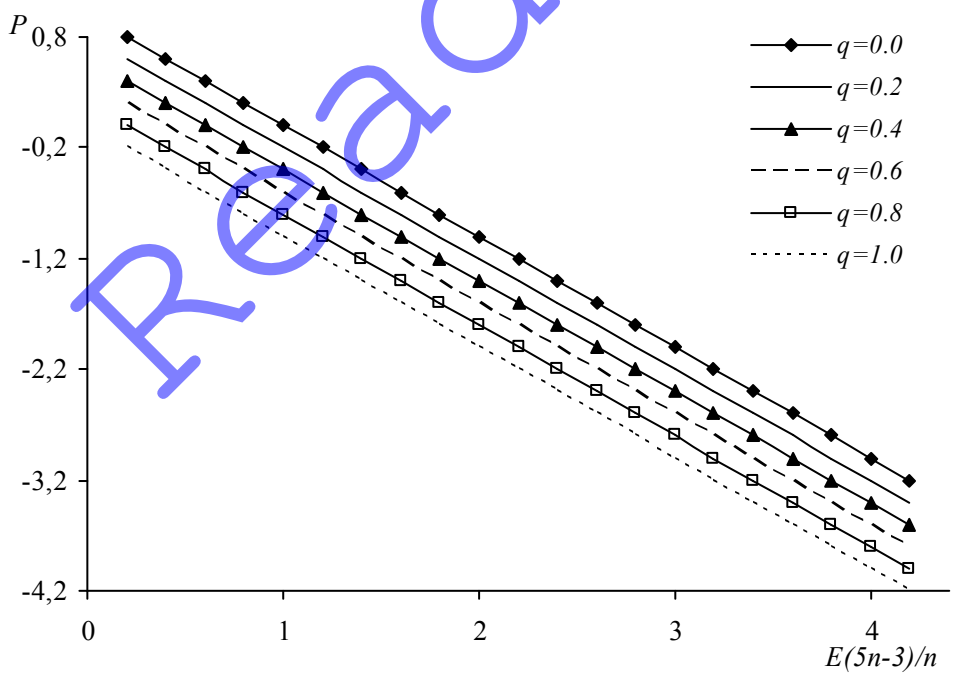


Рисунок 3.32 – Залежність показника степеня P від величин n, q_x і E в усьому діапазоні зміни параметрів (3.145)

Read-only

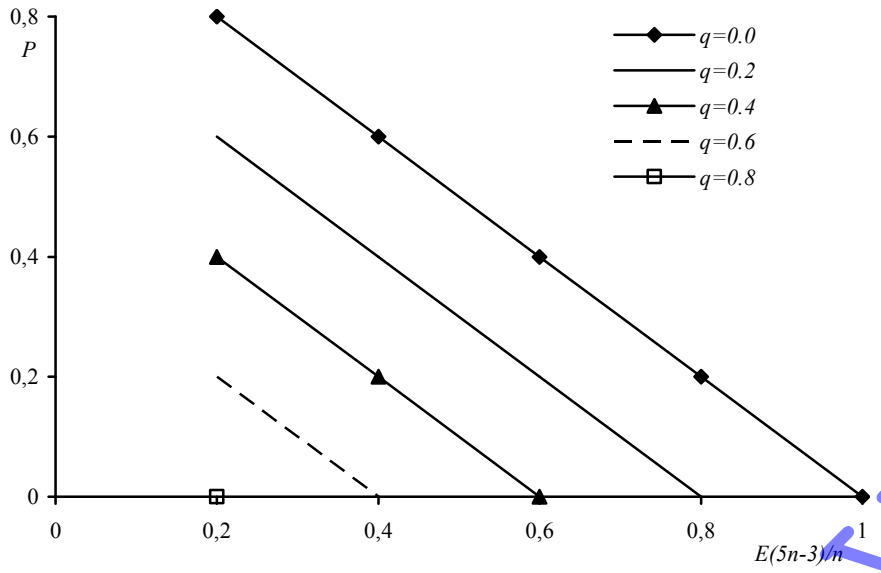


Рисунок 3.33 – Залежність позитивних значень показника степеня P від величин n, q_x і E

Таким чином, на підставі формул (3.136) и (3.137) можна розрахувати параметри потоку гідросуміші в точці початку сепарації при переробці розсипів, а за допомогою формул (3.138) – (3.144) визначити параметри навантаження, які будуть забезпечувати виникнення точки початку сепарації в заданому перерізі потоку пульпи при її течії по каналу, що звужується, з відбором маси чи без нього.

3.4 Висновки за розділом 3

В даному розділі розроблено моделі, методи, а також алгоритми розрахунків параметрів течії гідросуміші по каналу, що звужується, з урахуванням місця розташування точки початку сепарації з відбором маси через поверхню і без нього; досліджено закономірності зміни параметрів течії вздовж довжини каналу для обох випадків; вперше виконано оцінку зависної здатності розглянутих потоків для різних режимів течії; а також метод визначення параметрів течії гідросуміші в каналах, що звужуються, для переробки мінеральної сировини, при різних режимах руху середовища.

З матеріалів, наведених в розділі, можна зробити наступні висновки.

Read-only

1. Результати аналізу відомих моделей течії гідросуміші по каналу, який звужується, показали, що жодна з відомих моделей не дозволяє враховувати місце розташування точки початку сепарації. Ця точка розділяє потік гідросуміші з частинками даної густини і крупності на дві частини: вище цієї точки потік гідросуміші може розглядатися як одношарова течія однорідної рідини з підвищеною щільністю; нижче цієї точки потік гідросуміші може розглядатися як двошарова течія, нижній шар якої складається з частинок, що випали з потоку, а верхній представляє собою гідросуміш з концентрацією, яка постійно знижується вздовж руху по каналу. Для розрахунку цієї величини потрібно було сформулювати додаткові умови і доповнити відомі моделі течії новими рівняннями.

2. 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 тій чи інші висоті, так звану границю зависання. Точка початку сепарації буде знаходитися в тому перерізі потоку, в якому границя зависання частинок розглянутого класу стає нижче деякого значення. Після цього перерізу ці частинки починають формувати нижній висококонцентрований шар, оскільки потік не здатний підняти їх вище.

3. При течії гідросуміші по каналу, що звужується, до точки початку сепарації поперечна швидкість частинки складається з двох доданків, один з яких не змінюється з плином часу, а другий – описує коливання по періодичному закону близько стаціонарного значення.

4. При течії гідросуміші по каналу, що звужується, без відбору маси, коли h_0 змінюється від 6 до 18 мм, V_x^0 – від 0,5 до 1,5 м/с, ρ_p = 2500 кг/м^3, а d = 0,15 мм, здатність зависання розподіляється по висоті потоку нерівномірно, при чому існують області, де розглядувана величина як більше, так і менше нуля.

5. Вперше для течії гідросуміші по нахиленому прямокутному каналу запропоновано 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

Read-only

знижується. Це дозволяє визначати необхідну довжину збагачувального обладнання в залежності від густини і крупності твердих частинок, в'язкості рідини, товщини потоку і витрати гідросуміші у вхідному перерізі, а також від кута нахилу каналу.

6. Показано, що ділянка довжини нахиленого прямокутного каналу, на якій потік пульпи з частинками даної густини і крупності являє собою двошарову течію, нижній шар якої складається з частинок, що випали з потоку, а верхній представлений пульпою з концентрацією, яка постійно знижується, збільшується з ростом в'язкості рідини, початкової товщини потоку і кута нахилу каналу, і зменшується зі зростанням густини і крупності твердих частинок, а також витрати гідросуміші.

3.5 Список використаних джерел за розділом 3

1. Блюсс Б. А., Головач Н. А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд : монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 126 с.

2. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Гоман О. Г. Проблемы гравитационного обогащения титан-цирконовых песков : монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 190 с.

3. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Семененко Е. В. Научные основы моделирования процессов в технологиях обогащения титан-цирконовых россыпей. *Обогащение полезных ископаемых* : научн.-техн. сб. Днепропетровск : НГУ, 2003. № 18(59). С. 79–92.

4. Булава Ю. И. Моделирование гидродинамических процессов в угольной пульпе и обоснование параметров неподвижных цилиндро-конических грохотов : дисс. … кан. техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 1999. 205 с.

5. Сокил А. М. Физико-технические основы технологий переработки титан-цирконовых россыпей : дисс. … д-ра техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 2002. 399 с.

6. Потураев В. Н., Левандович А.П. Решение задачи о равномерном

Read-only

двухслойном течении жидкости в канале постоянной ширины. Ин-т геотехн. механики НАН Украины. Днепропетровск. 1996. 6 с. Деп. в ГНТБ Украины 28.02.96. № 661. Ук. 96. Деп.

7. Левандович А. П. Исследование гидродинамических процессов в угольных пульпах и обоснование параметров сепаратора для их обогащения : дисс. … канд. техн. наук : 05.15.08. Днепропетровск, 1996. 172 с.

8. Сокил А. М. Динамическая модель работы секции конусных сепараторов. *Обогащение полезных ископаемых*. 2000. № 9. С. 138–141.

9. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны : монография. Москва : Мир, 1977. 624 с.

10. Булат А. Ф., Витушко О. В., Семененко Е. В. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий : монография. Днепропетровск : Герда, 2010. 216 с.

11. Семененко Е. В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей : монография. Киев : Наукова думка, 2011. 232 с.

12. Кизевальтер Б. В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения : монография. Москва : Недра, 1979. 295 с.

13. Bulat A., Blyuss B., Dreus A., Liu Baochang, Dziuba S. Modeling of deep wells thermal modes. *Mining of Mineral Deposits*. 2019. № 1, P. 27 – 35. https://doi.org/10.33271/mining13.01.058

14. Dziuba S., Dyakun I., Kyrychko S., Tatarko L. Ground waters disposal modeling during the infrastructural geotechnical systems development. *Modern Scientific Researches*. 2020. №. 3. P. 50 – 57. DOI: 10.30888/2410-6615.2020-03-02-013

15. Sudakov A., Dreus A., Ratov B., Sudakova O., Khomenko O., Dziuba S., Sudakova D., Muratova S., Ayazbay M. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes. *News of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. 2020. ISSN 2224-5278, V. 2, № 440. P. 63 – 71. https://doi.org/ 10.32014/2020.2518-170X.32

16. Дзюба С.В. Визначення раціональних параметрів процесів розвитку

Read-only

підприємств гірничої галузі. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2007. № 68. С. 278 – 285.

17. Дзюба С.В. Специфика анализа и прогноза эффективности технологий переработки минерального сырья. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 94 – 99.

18. Дзюба С.В., Киричко С.М. Визначення життєвого циклу гірничо-переробних підприємств з урахуванням нечітких вихідних даних. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 226 – 233.

19. Дзюба С.В., Шмелев Н.А., Коваль Н.В. Анализ технологий подземной разработки месторождений полезных ископаемых при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. № 101. С. 284 – 291.

20. Витушко О.В., Дзюба С.В. Значение гидротехнических сооружений для эффективной работы угольных предприятий. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. № 104. С. 263 – 267

21. Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации : справочник. Ленинград : Стройиздат, 1973. 408 с.

22. Полькин С. И., Адамов Э. В. Обогащение руд цветных металлов : учебник для вузов. Москва : Недра, 1983. 400 с.

23. Полькин С. И., Лаптев И. Ф. Обогащение оловянных руд и россыпей : монография. Москва : Недра, 1974. 238 с.

24. Полькин С. И. Обогащение руд и россыпей редких металлов : учебник. Москва : Недра, 1976. 616 с.

25. Разумов К. А., Перов В. А. Проектирование обогатительных фабрик : учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Недра, 1982. 518 с.

26. Li T.M. The new look at Asarco`s Tennessee Mines. *Min. Eng*. 1976. Vol. 27. P. 37–41.

27. Чугаев Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов, 4-е изд. Ленинград : Энергоиздат, 1982. 672 с.

Read-only

28. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов : монография. / И. А. Асауленко, Ю.К. Витошкин и др. Киев : Наукова думка, 1981. 364 с.

29. Силин Н. А., Витошкин Ю. К., Карасик В. М., Очеретько В. Ф. Гидротранспорт (вопросы гидравлики) : монография. Киев : Наукова думка, 1971. 158 с.

30. Шрайбер А. А., Гавин Л. Б., Наумов В. А., Яценко В. П. Турбулентные течения газовзвеси : монография. Киев : Науковка думка, 1987. 240 с.

31. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей : монография. Москва : Недра, 1981. 175 с.

32. Фоменко Т. Г. Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых : учеб. пособ. Москва : Недра, 1966. 332 с.

33. Давидсон В. Е. Основы гидравлического расчета эрлифта : учебное пособие. Днепропетровск : ДГУ, 1986. 68 с.

34. Блюсс Б.А., Семененко Е. В., Шурыгин. В. Д. Расчет областей миграции частиц полидисперсного разноплотностного материала по сечению трубопровода при напорном гидротранспорте. *Збагачення корисних копалин* : наук.-техн. зб. 2005. Вып. 22 (63). С. 115–121.

35. Смолдырев А. Е. Гидравлический и пневматический транспорт на угольных предприятиях : монография. Москва : Укртехиздат, 1956. 291 с.

36. Дмитриев Г. П., Махарадзе Л. И., Гочиташвили Т. Ш. Напорные гидротранспортные системы : справоч. пособ. Москва : Недра, 1991. 304 с.

37. Покровская В. Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности: монография. Москва : Недра, 1985. 192 с.

38. Юфин А. П., Белова Н. Т., Корыванова В. Д., Филимонова И. В. О распределении скорости и консистенции гидросмеси по сечению горизонтального трубопровода. *Дальний трубопроводный гидротранспорт сыпучих материалов :* материалы Всесоюз. науч. конф., Тбилиси : Мецниереба, 1974. С. 42–53.

39. Силин Н. А., Пищенко И. А., Очеретько В. Ф. Влияние твердых частиц на турбулентность взвесенесущего потока. *Исследования по прикладной*

Read-only

гидромеханике : республ. мжвед. сб. Киев : Наукова думка, 1965. С. 195–199.

40. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления : монография. Москва : Недра, 1970. 216 с.

41. Шрайбер А. А., Милютин В. Н., Яценко В. П. Гидромеханика двухкомпонентных потоков с твердым полидисперсным веществом : монография. Киев : Наукова думка, 1980. 252 с.

42. Криль С. И. Напорные взвесенесущие потоки : учебная литература. Киев : Наукова думка, 1990. 160 с.

43. Баранов Ю. Д., Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Шурыгин В. Д. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий : монография. Днепропетровск : Новая идеология, 2006. 416 с.

44. Семененко Е. В. Оценка взвешивающей способности и критических параметров напорных взвесенесущих потоков. *Промышленная гидравлика и пневматика*. 2005. № 1 (7). С. 24–30.

45. Semenenko E., Kirichko S. Grounds of parameters of high concentrated pulps storage technologies. *Theoretical and practical solutions of mineral resources mining*. Taylor & Francis Group, London. 2015. P. 373–377.

46. Semenenko E., Nykyforova N., Tatarko L. The features of calculations of hydrotransport plans of geotechnological systems. *Theoretical and practical solutions of mineral resources mining*. Taylor & Francis Group, London. 2015. P. 397–401.

47. Шевченко А. И. Обоснование параметров процесса смыва продуктов обогащения с одновременной очисткой оборотной воды : дисс. … канд. техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 2003. 229 с.

48. Двайт Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы : справочник. Москва : Наука, 1983. 176 с.

49. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов : спавочник. Москва : Наука. 1981. 718 с.

50. Звягильский Е. Л., Блюсс Б. А., Назимко Е. И., Семененко Е. В. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения: монорграфия. Севастополь : Вебер, 2002. 247 с.

Read-Only

РОЗДІЛ 4
РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ ВУЗЛІВ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ В ЛОГІСТИЦІ ГЕОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

4.1 Математичні моделі вузлів техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем

Результати досліджень особливостей логістики гідротехнічних систем дозволяють визначити, що деякі з вузлів виконують провідну та системотворчу функцію. Навколо вузлів створюється система матеріальних потоків, а інші логістичні та виробничі підсистеми відіграють додаткову функцію та забезпечують безперебійність їх роботи. Такі вузли виникають разом з гірничим підприємством, розвиваються разом з ним, але після закриття підприємства залишаються та потребують подальшого обслуговування, тепер вже як техногенне навантаження на природне середовище. Пропонуємо називати такі вузли логістики – вузлами техногенного впливу. Прикладами таких вузлів є місця накопичення шахтних вод, відвалів кар'єрів, відходів переробки мінеральної сировини, водосховища зворотної рідини. Вузли техногенного впливу створюють магістральний напрямок матеріальних потоків завдяки послідовним зв'язкам між собою. Вздовж цього магістрального напрямку переміщуються основні обсяги руди, первинного та техногенного розсипів, технічної та зворотної рідини, робітнича сила, обладнання та техніка для ведення гірничих робіт. Перпендикулярно магістральному напрямку розвиваються матеріальні потоки, що переміщують товарні концентрати, грошові кошти, додаткову сировину, енергоносії та інш.

За кількістю вузлів техногенного впливу магістральні напрямки можуть утворюватися з двох чи з трьох вузлів. Перший випадок характерний для гірничих виробництв, що розробляють родовища підземним способом, а другий – при відкритій розробці корисних копалин.

У другому випадку магістральний напрямок формується з вузла видобутку

Read-only

первинних покладів, вузла переробки або сепарації та вузла акумуляції, або вузла накопичення техногенних покладів. В першому випадку вузол видобутку первинних покладів вважається відсутнім, оскільки гірничі роботи майже не залишають техногенних наслідків на денній поверхні.

Математичні моделі вузлів техногенного впливу ґрунтуються на співвідношеннях балансу матеріальних потоків, що надходять до вузла, та виходять з вузла.

У загальному вигляді модель вузла переробки складається з рівняння збереження обсягів потоків води, що надходять і виходять, твердого матеріалу і пульпи, а також виразів для визначення втрат і джерел води в технологічній схемі. Рівняння балансу обсягів в загальному вигляді записується так [21]:

$$Q_T + Q_w + Q_0 + Q_v = \alpha Q_T + Q_X^w + Q_X^S + Q_*, \tag{4.1}$$

де Q_T – об'ємна подача первісних пісків на переробку;

Q_w – витрата води, що подається в технологію разом з первісними пісками;

Q_0 – витрата води, що відбирається з водосховища для переробки первісних пісків;

Q_v – витрата води, що подається на переробку з інших джерел;

α – об'ємна частка мінералів, що сепаруються при переробці;

Q_X^w – витрата води, що надходить в сховище з відходами переробки;

Q_X^S – витрата твердих частинок, що надходять у водосховище з відходами;

Q_* – об'єм води, що «втрачається» при переробці.

Величина витрати Q_X^S приймається рівною об'єму твердої фази пульпи, що надходить на вузол переробки, за вирахуванням об'єму мінералів, які сепаровані при збагаченні і надходять на склад у вигляді концентратів [21]:

Read-Only

$$Q_X^S = (1-\alpha)Q_T\,. \qquad (4.2)$$

Величина витрати Q_* в основному враховує втрати вологи в процесі сушіння концентратів і передбачається пропорційною об'єму мінералів, що сепаровані при збагаченні [21]

$$Q_* = \alpha\varphi Q_T\,, \qquad (4.3)$$

де φ – вологість концентратів, що надходять на сушку.

Величина витрати Q_v для умов переробки руд чорних і рідкоземельних металів, а також поліметалічних розсипів, може бути прийнята пропорційною сумарній витраті води, що подається в технологію разом з вихідними пісками та з водосховища [21]:

$$Q_v = b(Q_w + Q_0), \qquad (4.4)$$

де b – коефіцієнт пропорційності ($b < 1$).

З урахуванням виразів (4.1) – (4.4) формула (4.1) може бути записана так

$$Q_T + (1+b)(Q_w + Q_0) = (1+\alpha\varphi)Q_T + Q_X^w\,. \qquad (4.5)$$

Залежність (4.5) дозволяє визначити витрати води і пульпи, що надходить у водосховище з відходами збагачення, а також об'ємні витратні концентрації пульп, що надходять і відводяться з вузла переробки:

$$Q_X^w = (1+b)(1+w)Q_w - \alpha\varphi Q_T\,, \qquad (4.6)$$

$$Q_X = (1+b)(1+w)Q_w + (1-\alpha')Q_T\,, \qquad (4.7)$$

Read-Only

$$Q_I = Q_T + (1+b)(1+w)Q_w, \tag{4.8}$$

$$C_P^X = \frac{(1-\alpha)\wp}{(1+b)(1+w)+(1-\alpha')\wp}, \tag{4.9}$$

$$C_P^I = \frac{\wp}{(1+b)(1+w)+\wp}, \tag{4.10}$$

$$\wp = \frac{Q_T}{Q_w}, \tag{4.11}$$

$$\alpha' = (1+\varphi)\alpha, \tag{4.12}$$

$$w = \frac{Q_0}{Q_w}, \tag{4.13}$$

де Q_X – витрата пульпи, що надходить у вузол акумулювання;

Q_I – витрата пульпи, що надходить на переробку;

C_P^X – об'ємна видаткова концентрація гідросуміші, що відводиться з переробки;

C_P^I – об'ємна видаткова концентрація пульпи, що надходить на переробку.

При використанні технологій згущення пульпи, яка відводиться з переробки, замість виразу (4.5) використовують такі формули:

$$Q_T + (1+b)(Q_w + Q_0) = (1+\alpha\varphi)Q_T + Q_C^W; \tag{4.14}$$

$$Q_C^S + Q_C^W = Q_X^S + Q_X^W + Q_0, \tag{4.15}$$

Read-only

де Q_C^W – об'ємна витрата води, що надходить на згущення з відходами;

Q_C^S – об'ємна витрата твердих частинок, що надходить на згущення;

Q_0 – об'єм води, що направляється на переробку після згущення відходів збагачення.

При цьому формули (4.2) – (4.4) доповнюються такими припущеннями

$$Q_X^W = \sigma Q_C^W; \tag{4.16}$$

$$Q_C^S = Q_X^S = (1-\alpha)Q_T; \tag{4.17}$$

$$Q_0 = (1-\sigma)Q_C^W, \tag{4.18}$$

де σ – ступінь згущення пульпи.

З урахуванням формул (4.14) – (4.18) нескладно отримати вирази для розрахунку величин витрат у системі, що розглядається:

$$Q_C^W = \frac{(1+b)Q_w - \alpha\varphi Q_T}{1-(1+b)(1-\sigma)}; \tag{4.19}$$

$$Q_C = q_W Q_w + (1-\alpha-q_S)Q_T; \tag{4.20}$$

$$C_P^C = \frac{(1-\alpha)\rho}{q_W + (1-\alpha-q_S)\rho}; \tag{4.21}$$

$$Q_X^W = \sigma\frac{(1+b)Q_w - \alpha\varphi Q_T}{1-(1+b)(1-\sigma)}; \tag{4.22}$$

$$Q_X = \sigma q_W Q_w + (1-\alpha-\sigma q_S)Q_T; \tag{4.23}$$

Read-only

$$C_P^X = \frac{(1-\alpha)\varphi}{\sigma q_W + (1-\alpha-\sigma q_S)\varphi}; \qquad (4.24)$$

$$q_W = \frac{(1+b)}{1-(1+b)(1-\sigma)}; \qquad (4.25)$$

$$q_S = \frac{\alpha\varphi}{1-(1+b)(1-\sigma)}, \qquad (4.26)$$

де Q_C – витрата пульпи, що надходить на згущення;

C_P^C – об'ємна видаткова концентрація пульпи, що надходить на згущення.

Формули (4.1) – (4.26) дозволяють визначити витрати води, пульпи і твердих частинок, що надходять у вузли акумуляції з переробки, що є вихідними даними для розрахунку параметрів вузла акумуляції залежно від його типу і використовуваної технології складування.

Модель вузла акумуляції включає в себе систему рівнянь, що описують висоту дзеркала води і рівня дна в залежності від обсягів розсипів і води, поданих в нього і відібраних з нього за аналізований період експлуатації, з урахуванням геометричних особливостей чаші сховища. При цьому, за аналогією з термінами, що використовуються при розрахунку гребель водосховищ, інтегральний обсяг твердих частинок, що накопичився за період експлуатації в чаші, будемо називати твердим стоком, а відповідний обсяг води – рідким стоком [7, 15, 28]:

$$G = m\int_0^{H_S} F_S(z)dz; \qquad (4.27)$$

$$W = \int_0^{H_W} F_w(z)dz + (1-m)\int_0^{H_S} F_S(z)dz, \qquad (4.28)$$

Read-only

$$G = \int_0^T Q_X^S(t)dt - \int_0^T Q_0^S(t)dt\,, \tag{4.29}$$

$$W = \int_0^T Q_X^W(t)dt - \int_0^T Q_0^W(t)dt\,, \tag{4.30}$$

$$\int_0^{H_W} F_w(z)dz = \int_0^T \left[Q_X^W(t) - \frac{1-m}{m}\left(Q_X^S(t) - Q_0^S(t)\right) - Q_0^W(t) \right] dt, \tag{4.31}$$

$$\int_0^{H_S} F_S(z)dz = \frac{1}{m}\int_0^T \left[Q_X^S(t) - Q_0^S(t)\right]dt, \tag{4.32}$$

де G – об'єм твердого стоку у вузол акумуляції, м^3;

W – об'єм рідкого стоку у вузол акумуляції, м^3;

T – поточний період експлуатації;

Q_0^W – об'єм відібраної з вузла акумуляції освітленої води;

Q_0^S – об'єм техногенних розсипів, що відбираються з вузла акумуляції;

t – час;

m – пористість відходів збагачення після укладання;

H_S – висота поточного дна, межі розділу між твердою і рідкою фазами

$F_S(z)$ – функція, що описує залежність поточної площі поперечного перерізу вузла акумуляції, зайнятого твердою фракцією, від висоти дзеркала води;

H_W – поточна висота дзеркала води;

$F_w(z)$ – функція, що описує залежність поточної площі поперечного перерізу вузла акумуляції, зайнятого рідкою фракцією, від висоти дзеркала води;

z – поточна висота дзеркала води.

Read-only

Для випадку всіх вузлів видобутку, ґрунтуючись на рівнянні збереження об'єму для вузла пульпоутворення, можуть бути записані такі формули для розрахунку параметрів потоків і рівняння для визначення висоти дзеркала води у водосховищі [1, 4, 8, 17, 18, 21, 28]:

$$Q_T = \frac{A}{1+q_Z} Q_W ; \tag{4.31}$$

$$Q_M = \left(1 + \frac{A}{1+q_Z}\right) Q_W ; \tag{4.32}$$

$$C_P^I = \frac{A}{1+q_Z+A}, \tag{4.33}$$

$$\int_0^{H_V} F_V(z)dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t)dt - \int_0^T Q_W(t)dt , \tag{4.34}$$

де q_z – співвідношення витрат води, яка подається в зумпф гідротранспортної установки, і на гідромонітор [1];

A – питома витрата води при розмиванні вихідних пісків;

Q_W – об'ємна витрата води, що забирається з водосховища;

Q_M – об'ємна витрата пульпи, що подається на переробку;

H_V – поточна висота дзеркала води у водосховищі;

$F_V(z)$ – функція, що описує залежність поточної площі поперечного перерізу водосховища від висоти дзеркала води;

V_0 – початковий об'єм води у водосховищі;

Q_D – об'ємна витрата ґрунтових вод, що відводяться у водосховище.

З огляду на те, що величини Q_T і Q_M регламентовані, необхідна величина Q_W буде визначатися за формулою

Read-only

$$Q_W = \frac{1+q_Z}{1+q_Z+A} Q_M \,. \tag{4.35}$$

З урахуванням формули (4.35) рівняння 4.34 можна переписати так:

$$\int_0^{H_V} F_V(z)dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t)dt - \int_0^T q_A Q_M \, dt \,; \tag{4.36}$$

$$q_A = \frac{1+q_Z}{1+q_Z+A} \,. \tag{4.37}$$

Крім рівнянь (4.14) – (4.26) і (4.31) – (4.37) модель кар'єру повинна бути доповнена рівняннями, що описують параметри і режими роботи вузла пульпоутворення, для яких характерний періодичний режим роботи, обумовлений наповненням складу вихідними пісками і їх видаленням з нього гідротранспортною установкою.

Тривалість роботи вузла пульпоутворення кар'єрної гідротранспортної установки визначається об'ємом складу, на який доставляються вихідні піски [1, 8, 18, 28]. Закон зміни об'єму пісків на складі буде описуватися наступним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dW_S}{dt} = G(t) - Q_T(t), \tag{4.38}$$

де W_S – обсяг вихідних пісків на складі вузла пульпоутворення;

G – об'ємна подача вихідних пісків на склад.

З огляду на можливі форми і геометричні розміри складів, для розрахунку W_S може бути використана залежність:

$$W_S = KH^n \,; \tag{4.39}$$

Read-only

$$K = \begin{cases} \dfrac{\pi}{12} ctg^2\varphi, & n = 3 \\ \dfrac{B}{6} ctg\varphi, & n = 2 \end{cases} \tag{4.40}$$

де H – висота конуса пісків на складі;

φ – кут внутрішнього тертя пісків;

B – ширина складу в разі, якщо він має прямокутну форму.

Підставивши формулу (4.39) в рівняння (4.38), розділивши змінні, проінтегрувавши і провівши нескладні перетворення, для розрахунку поточної висоти конуса вихідних пісків на складі вузла пульпоутворення можна запропонувати такий вираз:

$$H(T) = \sqrt[n]{\frac{W_S'}{K} + \int_0^T \left[G - \frac{A}{1+q_Z} Q_W \right] \frac{dt}{K}}, \tag{4.41}$$

де T – поточний час;

W_S' – об'єм вихідних пісків на складі вузла пульпоутворення в початковий момент часу.

Формула (4.41) передбачає, що одночасно здійснюються два процеси: надходження вихідних пісків на склад і вузол пульпоутворення з подальшим гідротранспортуванням. Для практики відкритих гірничих робіт на розсипних родовищах, крім цього випадку, можливі ще два, коли склад заповнюється вихідними пісками при непрацюючому вузлі пульпоутворення, і коли його робота здійснюється без одночасного подання вихідних пісків на склад.

Якщо склад наповнюється вихідними пісками, то замість формули (4.41) необхідно використовувати

$$H(T) = \sqrt[n]{\int_0^T \frac{G}{K} dt}. \tag{4.42}$$

Read-only

При цьому, враховуючи, що обсяг складу обмежений, час заповнення складу буде визначатися з рішення наступного інтегрального рівняння:

$$\int_0^{T_K} G\,dt = \sigma_C K R_{kp}^n tg^n \varphi\,, \tag{4.43}$$

де T_K – час заповнення складу;

σ_C – коефіцієнт використання складу;

R_{kp} – гранично допустимий радіус основи конуса на складі.

Якщо робота вузла пульпоутворення здійснюється без одночасного подання вихідних пісків на склад, то замість формули (4.41) необхідно використовувати

$$H(T) = \sqrt[n]{\sigma_C R_{kp}^n tg^n \varphi - \int_0^T \frac{AQ_W}{1+q_Z}\frac{dt}{K}}\,. \tag{4.44}$$

При цьому час спустошення складу буде розраховуватися за формулою:

$$\int_0^{T_W} \frac{AQ_W}{1+q_Z}\,dt = \sigma_C K R_{kp}^n tg^n \varphi\,, \tag{4.45}$$

де T_W – час спустошення складу вихідних пісків.

Очевидно, що для визначення параметрів штучних водонасичених ґрунтових масивів залежності (4.27) – (4.32) неможливо розглядати у відриві від формул (4.1) – (4.45). Таким чином, всі величини, що входять в ці формули, і що характеризують процес видобутку, транспортування і переробки мінеральної сировини, а також транспортування відходів і необхідних для

Read-only

забезпечення процесу збагачення ресурсів, вносять свій вклад у властивості і параметри ґрунтів, що формуються в сховищі відходів.

Математична модель магістрального напрямку, що містить два вузли техногенного впливу, складається з рівнянь, що описують стан цих вузлів, та рівнянь, що описують транспортні зв'язки між ними. До першої групи рівнянь входять:

$$\int_0^{H_W} F_w(z)dz = A_w \int_0^T Q_w(t)dt + A_0 \int_0^T Q_0^W(t)dt - A_T \int_0^T Q_T(t)dt; \quad (4.46)$$

$$\int_0^{H_S} F_S(z)dz = \frac{1-\alpha}{m} \int_0^T Q_T(t)dt; \quad (4.47)$$

$$A_T = \frac{1-m}{m}\left(1 - \alpha \frac{1-(1+A_\sigma \varphi)m}{1-m}\right); \quad (4.48)$$

$$A_w = A_\sigma (1+b)(1+w); \quad (4.49)$$

$$A_0 = \begin{cases} 0, & \text{звортнього водопосиачання не існує} \\ 1, & \text{звортнє водопосиачання існує} \end{cases} \quad (4.50)$$

$$A_\sigma = \begin{cases} 1, & \text{згущення гідросуміши не існує} \\ \dfrac{\sigma}{1-(1+b)(1-\sigma)}, & \text{згущення гідросуміши існує} \end{cases} \quad (4.51)$$

до другої групи входять рівняння, що описують параметри та режими роботи трубопровідного транспорту, безнапірного гідравлічного та конвеєрного транспорту.

При моделюванні магістрального напрямку, що містить три вузли

Read-only

техногенного впливу, до першої групи рівнянь замість (4.46) – (4.51) входять залежності:

$$\int_0^{H_W} F_w(z)dz = \left(A_w - \frac{A}{1+q_Z} A_T \right) \int_0^T Q_W(t)dt + A_0 \int_0^T Q_0^W(t)dt; \qquad (4.52)$$

$$\int_0^{H_S} F_S(z)dz = \frac{1-\alpha}{m} \frac{A}{1+q_Z} \int_0^T Q_W(t)dt; \qquad (4.53)$$

$$\int_0^{H_V} F_V(z)dz = V_0 + A_D \int_0^T Q_D(t)dt - \int_0^T Q_W(t)dt, \qquad (4.54)$$

$$A_D = \begin{cases} 1, & \text{грунтові води використовують} \\ 0, & \text{грунтові води не використовують} \end{cases}, \qquad (4.55)$$

де q_z – параметр пульпоутворення, який визначається як співвідношення витрат води, що подається в зумпф гідротранспортної установки і на гідромонітор [1];

A – питома витрата води при розмиванні вихідних пісків;

H_V – поточна висота дзеркала води у водосховищі;

$F_V(z)$ – функція, що описує залежність поточної площі поперечного перерізу водосховища від висоти дзеркала води;

V_0 – початковий об'єм води у водосховищі;

Q_D – об'ємна витрата ґрунтових вод, що відводяться у водосховище.

Залежності (4.1) – (4.55) можуть бути використані для визначення раціональних та ресурсозберігаючих параметрів магістрального напрямку, якщо в якості вихідних параметрів обрати планову потужність вузла переробки по товарним концентратам та відповідну витрату рідини [4, 21]:

Read-only

$$\frac{Q_K}{\alpha} + Q_F = Q_K + \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_K + Q_X^W + \varphi Q_K; \qquad (4.56)$$

$$Q_K = \frac{G_K}{\rho_k}, \qquad (4.57)$$

де G_K – планова продуктивність по концентрату, т/ч;

Q_F – об'ємна подача води, необхідна для переробки планового обсягу концентрату, м^3/ч;

ρ_K – густина концентрату, т/м^3;

α – об'ємна частка концентрату в початкових пісках, ч.од.

З урахуванням рівняння (4.56) параметри потоків, що входять на переробку і відводяться з неї, можна виразити таким чином:

$$Q_F = q_F Q_K; \qquad (4.58)$$

$$C_P^I = \frac{1}{1 + \alpha r q_F}; \qquad (4.59)$$

$$Q_I = \left(\frac{1}{\alpha} + q_F\right) Q_K; \qquad (4.60)$$

$$Q_X^W = \sigma(q_F - \varphi) Q_K; \qquad (4.61)$$

$$C_P^{II} = \frac{1}{1 + \alpha \dfrac{q_F - \varphi}{1-\alpha}}; \qquad (4.62)$$

Read-only

$$Q_{II} = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} - \varphi + q_F\right) Q_K ; \qquad (4.63)$$

$$Q_0 = (1-\sigma)(q_F - \varphi) Q_K ; \qquad (4.64)$$

$$Q_{III} = \left[\frac{1-\alpha}{\alpha} + \sigma(q_F - \varphi)\right] Q_K ; \qquad (4.65)$$

$$C_P^{III} = \frac{1}{1 + \sigma \frac{\alpha}{1-\alpha}(q_F - \varphi)}, \qquad 4.66)$$

$$r = \frac{Q_w}{Q_F}, \qquad (4.67)$$

де q_F – питома витрата води, яка необхідна для переробки колективного концентрату;

C_P^I – об'ємна видаткова концентрація пульпи, що надходить;

Q_I – об'ємна подача пульпи, що надходить;

C_P^{II} – об'ємна видаткова концентрація пульпи, що відводиться;

Q_{II} – об'ємна подача пульпи, що відводиться;

Q_0 – об'ємна витрата води, що отримується в результаті згущення пульпи;

Q_{III} – об'ємна подача пульпи після згущення;

C_P^{III} – об'ємна видаткова концентрація пульпи після згущення.

Планова продуктивність кар'єру з урахуванням формул (4.56) і (4.59) буде розраховуватись так

$$Q_w = \frac{1 + q_Z}{\alpha A} Q_K ; \qquad (4.68)$$

Read-only

$$Q_M = \left(1 + \frac{1+q_Z}{A}\right)\frac{Q_K}{\alpha}; \tag{4.69}$$

$$C_P^M = \frac{1}{1 + \frac{1+q_Z}{A}}. \tag{4.70}$$

З урахуванням формул (4.68) - (4.70) формули для розрахунку параметрів вузла накопичення і водосховища можуть бути записані так

$$\int_0^{H_W} F_w(z)dz = \int_0^T \left[\sigma(q_F - \varphi) - \frac{1-m}{m}\frac{1-\alpha}{\alpha} - q_0\right] Q_K(t)dt; \tag{4.71}$$

$$\int_0^{H_S} F_S(z)dz = \frac{1}{m}\int_0^T \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_K(t)dt; \tag{4.72}$$

$$\int_0^{H_V} F_V(z)dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t)dt - \int_0^T (q_F - q_0)Q_K(t)dt; \tag{4.73}$$

$$q_0 = \frac{Q_0^W}{Q_K}. \tag{4.74}$$

Аналізуючи модель магістрального напряму, отриману з урахуванням особливостей родовищ та специфіки технологій переробки, можна виділити наступні моменти, що визначають узгодженість режимів роботи і раціональність параметрів системи, що розглядається. По-перше, співвідношення витрат води, що використовується для подачі первісних пісків на переробку, і планової витрати води, необхідної для отримання потрібного об'єму колективного концентрату. По-друге, співвідношення витрат води, одержаної після згущення пульпи і різниці між плановою витратою води, необхідної для номінальної роботи вузла переробки і витратою води, що

Read-only

надходить з вихідними пісками. Якщо витрата води, що використовується для подачі вихідних пісків на переробку, більше планового об'єму води, необхідної для отримання потрібного об'єму колективного концентрату, то потрібно згущення пульпи перед переробкою. Такий варіант не можна вважати раціональним, через високі питомі витрати води і електроенергії для потреб гідротранспорту, а також, оскільки в цьому випадку необхідні додаткові системи подальшого очищення і відведення води у водосховище. Якщо витрата води, що використовується для подачі вихідних пісків на переробку, менше планового об'єму води, необхідної для отримання потрібного об'єму колективного концентрату, то потрібна додаткова подача води. Такий варіант є більш раціональним, ніж попередній, оскільки він характеризується меншими витратами води та електроенергії для гідротранспорту, не вимагає подальшого очищення оборотної води, а також дозволяє подавати воду в потрібні точки технологічного процесу. В цьому випадку згущення пульпи після переробки перед відправкою є доцільним не тільки з точки зору технології складування відходів, оскільки дозволяє використовувати отриману воду безпосередньо для переробки первісних пісків.

Ефективність останнього технологічного рішення визначається двома факторами:

– наскільки витрата води, отриманої після згущення пульпи, дозволяє покрити дефіцит води для переробки;

– наскільки витрата води, отриманої після згущення пульпи, знижує безпеку складування відходів збагачення.

У разі, коли параметри гідротранспорту первісних пісків і технології збагачення узгоджені, ресурсозбереження досягається за рахунок відмови від додаткової витрати води з водосховища, а раціональні значення параметрів визначають за формулами (4.56) – (4.74) з урахуванням виразу

$$q_F = \frac{1 + q_Z}{\alpha A}. \qquad (4.75)$$

Read-only

Якщо формулу (4.75) трансформувати та виразити відносно параметру пульпоутворення, то отримаємо умову раціонального розподілення потоків рідини при використанні гідромонітору, що забезпечує переробку мінеральної сировини з мінімальними витратами рідини:

$$q_Z = \alpha A q_F - 1. \tag{4.76}$$

Із формул (4.56) – (4.76) випливає, що при формуванні магістрального напрямку логістики з трьох вузлів техногенного впливу параметр пульпоутворення, яке забезпечує видобуток, транспортування та переробку мінеральної сировини без додаткового залучення рідини з водосховища, прямо пропорційний добутку частки цінного компоненту в розсипу, питомої витрати рідини, що витрачається на їх розмив, та питомої витрата рідини, яка необхідна для вилучення цінного компоненту. Завдяки цьому умова перерозподілу обсягів рідини при пульпоутворенні вперше розраховується в залежності від вмісту цінного компоненту в розсипу, витрат рідини на розмив розсипу та вилучення з неї колективного концентрату. Це дозволяє відмовитися від залучення додаткових обсягів рідини, за рахунок чого мінімізувати питомі витрати рідини.

У випадку, коли рідина, яка отримана після згущення гідросуміші, вертається до збагачувального виробництва, з урахуванням рівності $Q_F - Q_w = Q_0$, крім формул (4.56) – (4.74) використовують також наступні залежності:

$$\sigma = \frac{\frac{1+q_Z}{\alpha A} - \varphi}{q_F - \varphi}; \tag{4.76}$$

$$Q_0 = \left(q_F - \frac{1+q_Z}{\alpha A} \right) Q_K; \tag{4.77}$$

Read-only

$$Q_X^W = \left(\frac{1+q_Z}{\alpha A} - \varphi\right) Q_K ; \tag{4.78}$$

$$Q_{III} = \left[\frac{1-\alpha}{\alpha} + \frac{1+q_Z}{\alpha A} - \varphi\right] Q_K ; \tag{4.79}$$

$$C_P^{III} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1-\alpha}\left(\frac{1+q_Z}{\alpha A} - \varphi\right)} . \tag{4.80}$$

З урахуванням формул (4.76) – (4.80) рівняння (4.71) – (4.73) приймають вигляд

$$\int_0^{H_W} F_w(z)dz = \int_0^T \left[\frac{1+q_Z}{\alpha A} - q_0 - \varphi - \frac{1-m}{m}\frac{1-\alpha}{\alpha}\right] Q_K(t)dt ; \tag{4.81}$$

$$\int_0^{H_S} F_S(z)dz = \frac{1}{m}\int_0^T \frac{1-\alpha}{\alpha} Q_K(t)dt ; \tag{4.82}$$

$$\int_0^{H_V} F_V(z)dz = V_0 + \int_0^T Q_D(t)dt - \int_0^T \left(\frac{1+q_Z}{\alpha A} - q_0\right) Q_K(t)dt . \tag{4.83}$$

Враховуючи невелику відстань між вузлами техногенного впливу, що створена магістральними напрямками логістичної системи, одним із способів реалізації матеріальних потоків є конвеєрний стрічковий транспорт. За допомогою такого виду транспорту переміщують пористі сипкі матеріалі різної вологості, в деяких випадках поєднуючи процес транспортування з процесом зневоднення з урахуванням впливу зовнішніх факторів. В даному випадку розглянуто динаміку зміни тиску повітря під перфорованою стрічкою, по якій

Read-only

транспортується вологий пористий сипкий матеріал, при просочуванні повітря крізь шар матеріалу і стрічки.

4.2 Розрахунки показників надійності вузлів техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем

4.2.1 Характеристика вузлів техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем як об'єктів теорії надійності

На даний момент надійність технологічних систем і технічних засобів представляє окрему галузь наукових знань, для якої існують характерні методи і прийоми, визначені поняття і принципи, сформульовані критерії та теореми, які визнані класичними і мають універсальний характер [8 – 15].

Саме тому при розгляді питань надійності конкретного об'єкту завжди є першорядним і найбільш важливим наступне:

– визначення місця цього об'єкта в сформованій системі понять і принципів теорії надійності;
– характеристика його як об'єкта теорії надійності;
– обґрунтування показників та рівнів надійності;
– опис методів розрахунку і оцінки показників надійності;
– вибір в життєвому циклі об'єкта етапів оцінки, влаштування та забезпечення надійності.

Вузли техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем (ВТВ), з точки зору теорії надійності, є складними об'єктами, з відповідною ієрархією, що включають в себе в якості підсистем:

– гідротранспортні комплекси;
– установки оборотного водопостачання;
– видобувні технологічні комплекси;

Read-only

– сховища відходів (СВ) збагачення;

– водосховища;

– збагачувальні фабрики (ЗФ);

– систему відведення відходів збагачення;

– систему складування відходів збагачення.

Таким чином, надійність ВТВ найбільш правильно оцінювати згідно з принципами та методами оцінки надійності технологічних систем, згідно з відповідними нормативними документами [12 – 15]. У цьому випадку надійність ВТВ визначається як надійність складних технологічних систем на різних рівнях і за різними показниками [13, 14]. При цьому керуються відомими нормативними документами [12, 15], принципами і правилами системного підходу [8, 9], вимог екологічної безпеки та охорони праці [16, 17], а також існуючими галузевими нормами і умовами технологічних регламентів [18].

З урахуванням сформульованих принципів надійності, ієрархія ВТВ може бути представлена в наступному вигляді:

– верхній рівень надійності – надійність ВТВ як технологічної системи, яка характеризується показниками надійності за якістю готової продукції і показниками надійності за обсягом виробництва [13, 14];

– нижній рівень надійності – надійність елементів ВТВ як технічних засобів і технологічного устаткування, яка характеризується показниками безвідмовності, працездатності і ремонтопридатності, а також комплексними показниками надійності кожного елемента технологічної системи [8 – 11].

Надійність ВТВ на нижньому рівні забезпечується надійністю встановленого обладнання, вибором системи планово-попереджувальних ремонтів і забезпечується силами ремонтних бригад і служб технічного обслуговування [19 – 22]. Цей рівень досить добре вивчений у вітчизняній і світовій практиці і не є об'єктом даного дослідження.

В рамках даного дослідження розглядається надійність ВТВ на верхньому рівні, на якому вона забезпечується узгодженістю параметрів і режимів роботи

Read-only

елементів технологічної системи, а також потенційною можливістю експлуатації технологій, що використовуються в підсистемах, в сформованих технологічних, економічних і екологічних умовах.

На відміну від традиційного підходу до більшої кількості технологічних систем, для яких надійність закладається на етапі проектування, а забезпечується і підтримується на стадії експлуатації, надійність ВТВ закладається як на етапі проектування, так, і в процесі експлуатації. Це обумовлено наступними факторами:

– тривалістю періоду експлуатації;

– суттєвою різницею в ресурсах елементів;

– періодичними змінами параметрів, що визначають функціональну надійність;

– можливими варіаціями параметрів і режимів роботи елементів і підсистем між періодичними змінами основних параметрів.

Найбільш яскравими прикладами таких змін і таких параметрів є [2, 7, 23 – 27]:

–періодична зміна довжин магістралей гідротранспортного комплексу в результаті перенесення головної пульпонасосної станції (ПНС) слідом за фронтом гірничих робіт;

–зміна кількості ПНС і їх місць розміщення на магістралі;

–початок нової карти намиву на даній геодезичній позначці СВ;

–перехід складування відходів на нову геодезичну позначку дамби сховища;

–реорганізація системи відведення відходів за рахунок установки інших насосів;

–впровадження системи згущення пульп на ЗФ;

–модернізація системи оборотного водопостачання шляхом включення бустерних насосів;

–введення в експлуатацію вузла попереднього збагачення.

Відмінною особливістю змін основних параметрів ВТВ є істотні капітальні витрати відповідних елементів системи. Між періодичними змінами

Read-only

основних параметрів капітальні витрати відсутні або ж мінімальні, домінуючими в цей період є експлуатаційні витрати. У процесі ж зміни основних параметрів, експлуатаційні витрати мінімальні, якими можна нехтувати в порівнянні з капітальними витратами, оскільки в цей період елемент системи не функціонує.

З вищенаведеного очевидно, що рівень надійності ВТВ може оцінюватися на різних етапах життєвого циклу. Відмінною особливістю даного об'єкту є «тотальна» залежність рівня надійності від основних параметрів. В процесі експлуатації надійність ВТВ може оцінюватися засобами моніторингу, за даними технологічного та комерційного обліку, а також на основі результатів аналізів записів в журналах обліку відповідних служб. Однак ця оцінка буде справедливою лише в межах відповідної зміни основних параметрів ВТВ. При черговій зміні, яка невідворотно відбувається по завершенню періоду, справедливість отриманих показників і оцінок надійності необхідно доводити, уточнювати або ж їх потрібно визначати заново.

З огляду на це, а також згідно до відомих вимог і формулювань нормативних документів по надійності технологічних систем [12 – 15], надійність ВТВ насамперед визначається ймовірністю виконання замовлення протягом обумовленого часу, тобто – поставки на склад заданого обсягу концентрату з характеристиками, відповідними існуючим технічним нормам, за умови, що основні параметри ВТВ не змінюються, отримані в результаті цього обсяги твердих і рідких відходів збагачення можуть бути складовані в сховище без порушення існуючих екологічних норм і правил, а також без порушення режиму роботи системи оборотного водопостачання.

Вимоги надійності для ВТВ можуть бути посилені умовами, щоб при виконанні вказаної події експлуатаційні та капітальні витрати не перевищували регламентованих значень.

Read-only

4.2.2 Критерії забезпечення надійності елементів вузлів техногенного впливу та магістральних напрямків матеріальних потоків в логістиці геотехнічних систем

Оскільки підсистеми ВТВ, зазначені в формулюванні, ієрархічно з'єднані послідовно, то ймовірність виконання замовлення виражається через імовірності виконання технологічного завдання відповідних підсистем за формулою:

$$P = \prod_{i=1}^{6} P_i \,, \tag{4.84}$$

де P – імовірність виконання замовлення ВТВ;

P_i – імовірності виконання технологічного завдання i-ю підсистемою.

З огляду на можливі стандартні елементи ВТВ [8 – 15, 28], вираз (4.84) можна записати в наступному вигляді:

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 \,, \tag{4.85}$$

де P_1 – імовірність отримання ЗФ заданого обсягу концентрату з характеристиками, відповідними існуючим технічним нормам;

P_2 – імовірність того, що отриманий об'єм відходів поміститься в СВ;

P_3 – імовірність освітлення заданого об'єму оборотної води;

P_4 – імовірність згущення заданого об'єму відходів;

P_5 – імовірність забезпечення гідротранспортним комплексом необхідної продуктивності по пульпі і твердому матеріалу;

P_6 – імовірність забезпечення системою оборотного водопостачання необхідної подачі потрібного об'єму води.

Read-only

Імовірність отримання ЗФ заданого об'єму концентрату з характеристиками, відповідними існуючим технічним нормам, визначається залежністю сепараційної характеристики ЗФ від об'єму надходження первісних пісків, об'ємної частки в них цінного компонента, а також об'ємною витрати оборотної води [1, 2, 29 – 31]. При цьому для розглянутих параметрів встановлюються інтервали зміни, всередині яких ймовірність P_1 залишається вище необхідної величини:

$$\langle \alpha_0 \rangle \le \alpha_0 \le [\alpha_0]; \tag{4.86}$$

$$\langle Q_T \rangle \le Q_T \le [Q_T]; \tag{4.87}$$

$$\langle Q_W \rangle \le Q_w + Q_0 + Q_v \le [Q_W], \tag{4.88}$$

де $\langle \alpha_0 \rangle$ – мінімально допустиме значення об'ємної частки мінералів у вихідних пісках;

α_0 – об'ємна частка мінералів у вихідних пісках;

$[\alpha_0]$ – максимально допустиме значення об'ємної частки мінералів у вихідних пісках;

$\langle Q_T \rangle$ – мінімально допустиме значення об'ємної подачі вихідних пісків на ЗФ;

Q_T – об'ємна подача вихідних пісків на ЗФ;

$[Q_T]$ – максимально допустиме значення об'ємної подачі вихідних пісків на ЗФ;

$\langle Q_W \rangle$ – мінімально допустиме значення витрати води, що подається на ЗФ;

Q_w – витрата води, яка подається в технологію разом з вихідними пісками;

Q_0 – витрата води, відібраної з водосховища в ЗФ;

Read-only

Q_v – витрата води, яка подається на ЗФ з інших джерел;

$[Q_W]$ – максимально допустиме значення витрати води, що подається на ЗФ.

Величина витрати Q_v для умов ЗФ, що переробляють руди чорних і рідкоземельних металів, а також поліметалічні розсипи, може бути прийнята пропорційною сумарній витраті води, яка подається в технологію разом з вихідними пісками і з водосховища [32 – 34]:

$$Q_v = b(Q_w + Q_0), \tag{4.89}$$

де b – коефіцієнт пропорційності ($b < 1$).

З урахуванням виразу (4.89), нерівність (4.88) може бути записана у вигляді:

$$\langle Q_W \rangle \le (1+b)(Q_w + Q_0) \le [Q_W]. \tag{4.90}$$

Імовірність того, що отриманий об'єм відходів поміститься в СВ, визначається співвідношенням доступного об'єму сховища і сумарного об'єму складування відходів за аналізований період. З урахуванням розглянутих в [1, 33] моделей магістрального напрямку, яка сформована з ЗФ та СВ, ця умова може бути записана в наступному вигляді:

$$H_S \le k_H H_W; \tag{4.91}$$

$$H_W \le [H_W]; \tag{4.92}$$

$$\int_0^{H_W} F_w(z)dz = A_w \int_0^T Q_w(t)dt + A_0 \int_0^T Q_0^W(t)dt - A_T \int_0^T Q_T(t)dt; \tag{4.93}$$

Read-only

$$\int_0^{H_S} F_S(z)dz = \frac{1-\alpha}{m}\int_0^T Q_T(t)dt\,. \qquad (4.94)$$

де H_S – висота поточного дна СВ, межі розділу між твердою і рідкою фазами;

k_H – коефіцієнт, що враховує наявність шару води над дном СВ, який запобігає винесення вітром пилуватих і глинистих фракцій;

H_W – поточна висота дзеркала води;

$[H_W]$ – допустима висота дзеркала води;

T – поточний період експлуатації;

Q_0^W – обсяг відібраної з СВ освітленої води;

t – час;

m – пористість відходів збагачення після укладки в СВ;

$F_S(z)$ – функція, що описує залежність поточної площі поперечного перерізу СВ, зайнятого твердою фракцією від висоти дзеркала води;

$F_w(z)$ – функція, що описує залежність поточної площі поперечного перерізу СВ, зайнятого рідкою фракцією від висоти дзеркала води;

A_w, A_0, A_T – коефіцієнти, які визначаються типом ЗФ и СВ [33];

z – висота дзеркала води.

Імовірність освітлення заданого обсягу оборотної води визначається швидкістю осадження твердих частинок, перевищенням рівня освітленої води над рівнем борту переливу, а також забезпеченням безпеки експлуатації СВ і гарантією запобігання його руйнування при експлуатаційному переливі відстійного ставка.

Для кожної позначки верху дамби СВ це можливо, якщо виконується наступна система нерівностей:

$$H_S \le H_H \le H_W\,; \qquad (4.95)$$

Read-only

$$H_S \le k'_H H_H ; \tag{4.96}$$

$$H_H \le k''_H H_W ; \tag{4.97}$$

$$\int_0^L \frac{w_s(x)}{v_s(x)} dx > H_S - H_H , \tag{4.98}$$

де H_H – геодезичний рівень борта переливу;

k'_H – коефіцієнт допустимого перевищення рівня борту переливу над геодезичною відміткою дна СВ;

k''_H – коефіцієнт допустимого перевищення поточної висоти дзеркала води в СВ над рівнем борту переливу;

L – відстань від точки скидання пульпи до борту переливу;

w_s – різниця гідравлічної крупності твердих частинок і вертикальної швидкості води;

v_s – швидкість твердих частинок в горизонтальному напрямку;

x – поточна координата.

У загальному випадку, замість (4.98), розглядається система диференціальних рівнянь, що аналогічна математичній моделі течії гідросуміші у вертикальному згущувачі гравітаційного типу з шаром переливу [33 – 37].

Виходячи із загальної концепції безпечної експлуатації гідровідвалів [17, 28, 38], складування відходів збагачення шляхом їх намиву на пляж має здійснюватися при забезпеченні протягом всієї експлуатації необхідного перевищення гребеня намивної дамби сховища над рівнем води відстійного ставка і необхідної ширини пляжу. При цьому забезпечується безпека експлуатації сховища і гарантується його цілісність при експлуатаційному переливі відстійного ставка, який може створювати неприпустиме забруднення навколишнього середовища [17, 28, 39]:

Read-only

$$\Delta H > [\Delta H]; \tag{4.99}$$

$$L > [L], \tag{4.100}$$

де ΔH – поточне перевищення гребеня намивної дамби СВ над рівнем води відстійного ставка;

$[\Delta H]$ – допустима величина перевищення гребеня намивної дамби СВ над рівнем води відстійного ставка;

L – поточна ширина пляжу;

$[L]$ – допустима величина ширини пляжу СВ, який намивають.

Величини $[\Delta H]$ і $[L]$ є контрольними величинами, визначеними розрахунковим шляхом. Ці величини є технологічними критеріями оцінки безпеки експлуатації СВ, так як вони формуються в процесі укладки хвостів і властивостями хвостової пульпи, що транспортується до місця укладки. Таким чином, надійність процесу укладки відходів збагачення характеризується такими коефіцієнтами:

$$k_h = \frac{\Delta H}{[\Delta H]}, \tag{4.101}$$

$$k_l = \frac{L}{[L]}. \tag{4.102}$$

Імовірність згущення заданого об'єму відходів визначається технологічними характеристиками вузла згущення, які характеризуються властивостями твердих частинок і їх об'ємною витратою, об'ємом рідини, що подається з пульпою, а також технологічними вимогами до вузла. Технологічні характеристики вузла згущення комплексно враховують ступінь згущення

Read-only

пульпи, що відводиться з ЗФ (σ), а технологічні вимоги можуть бути сформульовані у вигляді однієї з наступних умов:

– забезпечення повернення в технологію необхідного об'єму оборотної води;

– обмеження об'єму води, що подається в СВ;

– обмеження об'єму пульпи, яка подається в СВ;

– забезпечення об'ємної видаткової концентрації пульпи, яка подається в СВ.

У деяких випадках до роботи вузла згущення пред'являються одночасно кілька з перерахованих вище технологічних вимог.

Необхідність забезпечення повернення в технологію потрібного об'єму оборотної води може бути сформульована у вигляді наступної нерівності:

$$Q_\sigma \geq k_\sigma Q_W, \tag{4.103}$$

де Q_σ – об'єм води, що спрямовується на ЗФ після згущення відходів збагачення;

Q_W – сумарний об'єм води, що направляється на ЗФ;

k_σ – коефіцієнт, що показує яку частку від об'єму води, що подається на ЗФ, компенсує вузол згущення.

При обмеженні об'єму води, що подається в СВ, розглядається умова:

$$Q_X^W \leq (1 - k_\sigma) Q_W, \tag{4.104}$$

де Q_X^W – об'єм води, що надходить в СВ після згущення пульпи.

Обмеження об'єму пульпи, яка подається в СВ, виражається в наступному вигляді:

$$Q_X \leq [Q], \tag{4.105}$$

Read-Only

де Q_X – витрата пульпи, що надходить в СВ після згущення;

$[Q]$ – допустима за нормами укладки відходів і правилами експлуатації сховища витрата пульпи, що надходить в СВ після згущення.

У разі, коли технологічні вимоги накладаються на об'ємну видаткову концентрацію пульпи, яка подається в СВ, розглядається умова у вигляді нерівності:

$$C_P^X \geq [C_P], \tag{4.106}$$

де C_P^X – об'ємна видаткова концентрація пульпи, що надходить в СВ після згущення;

$[C_P]$ – мінімально допустима об'ємна видаткова концентрація пульпи, що надходить в СВ після згущення.

З урахуванням формул для розглянутих величин, що входять у вирази (4.103) – (4.106), нерівності що розглядаються, можна представити в наступному вигляді [33]:

$$\sigma \leq \frac{k_\sigma b + (1+b) - \alpha\varphi\wp}{(1+k_\sigma)(1+b) - \alpha\varphi\wp}; \tag{4.107}$$

$$\sigma \leq \frac{b(1-k_\sigma)}{\alpha\varphi\wp - (1+b)k_\sigma}; \tag{4.108}$$

$$\sigma \leq \frac{[\wp](2+b) + b(1-\alpha)\wp}{(1+b)(1+[\wp]) + ((1+b)(1-\alpha) - \alpha\varphi)\wp}; \tag{4.109}$$

$$\sigma \geq \frac{(1-\alpha-[C_P])(1+b) - (1-\alpha)(1-[C_P])}{(1+b)((1-\alpha)\wp - [C_P]) + (\alpha\varphi - 1 - b)[C_P]\wp}\wp; \tag{4.110}$$

Read-only

$$\wp = \frac{Q_T}{Q_W}; \tag{4.111}$$

$$[\wp] = \frac{[Q]}{Q_W}; \tag{4.112}$$

$$w = \frac{Q_0}{Q_W}. \tag{4.113}$$

Імовірність забезпечення гідротранспортним комплексом необхідної продуктивності по пульпі і твердому матеріалу визначається близькістю робочої точки гідротранспортної установки при перекачуванні гідросуміші заданої концентрації до потрібної подачі пульпи [33]:

$$\left|\frac{Q - Q_P}{Q_P}\right| \le \delta_Q; \tag{4.114}$$

$$\left|\frac{\rho_T Q_T - G_P}{G_P}\right| \le \delta_G, \tag{4.115}$$

де Q – поточна об'ємна витрата пульпи на ЗФ;

Q_P – регламентована об'ємна витрата пульпи на ЗФ;

δ_Q – допустиме відносне відхилення об'ємної витрати пульпи, що надходить на ЗФ, від регламентованого значення;

G_P – регламентований вантажопотік вихідних пісків на ЗФ;

ρ_T – густина вихідних пісків, т/м^3;

δ_G – допустиме відносне відхилення вантажопотоку вихідних пісків на ЗФ від регламентованого значення.

Read-only

Нерівності (4.114) і (4.115) узгоджуються з умовами (4.103) і (4.104) та вимагають обмеження робочої точки системи областю, що знаходиться між вертикальними лініями, що проходять через відповідні витрати, і кривими витратно-напірної характеристики (ВНХ) магістралі при граничних значеннях довжини і геодезичного перепаду [2]. Для виконання поставленої умови сумарна ВНХ насосів повинна перетинати отриману область в її середній третини робочої області [2].

Імовірність забезпечення системою оборотного водопостачання необхідної подачі потрібного об'єму води, за умови освітлення достатнього її об'єму в існуючій системі очищення, визначається близькістю робочої точки насосної установки оборотного водопостачання в заданому діапазоні зміни довжини і геодезичного перепаду магістралі [33]:

$$\left|1-\frac{W}{(1+b)(Q_w+Q_0)}\right| \le \delta_W , \qquad (4.116)$$

де W – поточна продуктивність насосної установки системи оборотного водопостачання;

δ_W – допустиме відносне відхилення продуктивності насосної установки системи оборотного водопостачання від регламентованого значення.

Нерівність (4.116) узгоджена з умовою (4.90), та, як й (4.114) і (4.115), теж вимагає аналогічного обмеження робочої точки насосної установки.

4.2.3 Оцінка надійності систем

Найбільш часто оцінка надійності ВТВ проводиться при зміні основних параметрів, що обумовлено необхідністю обґрунтування модернізації обладнання або його заміни. У деяких випадках одночасно з цим виконують оцінку надійності ВТВ в період між змінами основних параметрів, що

Read-only

обумовлено плануванням роботи системи і прогнозами щодо необхідності модернізації обладнання на період до наступної зміни основних параметрів. У рідкісних випадках, при розробці техніко-економічного обґрунтування, бізнес-плану або інвестиційного проекту здійснюється оцінка надійності ВТВ за весь період експлуатації. При цьому передбачається, що по завершенню періоду експлуатації, або відпрацювання родовища, закінчаться терміни експлуатації СВ і ЗФ, або буде розпочато розробку техногенного родовища, сформованого з відходів збагачення розроблюваних корисних копалин.

Фонд робочого часу для ЗФ протягом періоду оцінки надійності, з урахуванням планово-попереджувальних і відновлювальних ремонтів, а також простоїв, може бути розрахований пропорційно загальної кількості годин роботи за період оцінки з використанням деяких показників надійності:

$$T_Q = (1 - k_O) K_\Gamma T, \tag{4.117}$$

$$k_O = \frac{T_O}{T}, \tag{4.118}$$

де T_Q – кількість годин роботи ЗФ за період оцінки;

k_O – коефіцієнт, що враховує простої ЗФ;

K_Γ – коефіцієнт готовності технології збагачення;

T – загальна кількість годин роботи за період оцінки.

З урахуванням виразу (4.117) і необхідного за період оцінки об'єму товарного концентрату заданої якості, годинна продуктивність ЗФ по концентрату розраховується за формулою:

$$Q_K = \frac{Q_A}{(1 - k_O) K_\Gamma T}, \tag{4.119}$$

Read-only

де Q_A – необхідний за період оцінки об'єм товарного концентрату.

З огляду на вимоги (4.86) – (4.88), що накладаються на величину Q_K, які можна записати у вигляді подвійної нерівності

$$Q_I \le Q_K \le Q_{II}, \tag{4.120}$$

що дозволяє оцінити допустимі інтервали зміни показників надійності та сумарного напрацювання ЗФ:

$$\frac{Q_A}{(1-k_O)TQ_{II}} \le K_\Gamma \le \frac{Q_A}{(1-k_O)TQ_I}; \tag{4.121}$$

$$\left(T - T_O - \frac{Q_A}{Q_I}\right)\frac{K_\Gamma}{1-K_\Gamma} \le T_Q \le \left(T - T_O - \frac{Q_A}{Q_{II}}\right)\frac{K_\Gamma}{1-K_\Gamma}. \tag{4.122}$$

Для забезпечення необхідної продуктивності ЗФ по товарному концентрату на збагачувальне виробництво необхідно подавати такі витрати вихідних пісків і води:

$$Q_T = \frac{Q_K}{\alpha}; \tag{4.123}$$

$$Q_W = qQ_K, \tag{4.124}$$

де q – питома витрата води на переробку одного метра кубічного товарного концентрату.

Частина води надходить на ЗФ разом з пульпою, а частина додається в технологічний процес безпосередньо з водосховища або ж після згущення відходів збагачення:

Read-only

$$Q_w = (1 - w) q Q_K ; \tag{4.125}$$

$$Q_0 = w q Q_K . \tag{4.126}$$

З урахуванням формул (4.123) – (4.126), обладнання гідротранспортної установки за період оцінки буде перекачувати наступний об'єм гідросуміші

$$Q = \left[\frac{1}{\alpha} + (1 - w) q \right] Q_K . \tag{4.127}$$

При цьому, протягом періоду оцінки обладнання гідротранспортної установки і установки оборотного водопостачання повинно буде виробити відповідну кількість ресурсів

$$n_G = \left[\frac{1}{\alpha} + (1 - w) q \right] \frac{Q_A}{G} ; \tag{4.128}$$

$$n_w = w q \frac{Q_A}{G_0} , \tag{4.129}$$

де n_G – кількість ресурсів, які необхідно виробити обладнанню гідротранспортної установки за період оцінки;

G – ресурс обладнання гідротранспортної установки;

n_w – кількість ресурсів, які необхідно виробити обладнанню установки оборотного водопостачання за період оцінки;

G_0 – ресурс обладнання установки оборотного водопостачання.

Read-only

Не важко показати, що для розглянутих умов напрацювання годин обладнання гідротранспортної установки і установки оборотного водопостачання будуть розраховуватися за відповідними формулами:

$$t_G = \frac{(1-k'_O)K'_\Gamma}{1-\left(1-\frac{\alpha}{1+\alpha(1-w)q}\frac{G}{Q_A}\right)K'_\Gamma}T; \qquad (4.130)$$

$$t_V = \frac{(1-k''_O)K''_\Gamma}{1-\left(1-\frac{1}{wq}\frac{W}{Q_A}\right)K''_\Gamma}T, \qquad (4.131)$$

де t_G – міжремонтне напрацювання обладнання гідротранспортної установки;

k'_O – коефіцієнт, що враховує простої обладнання гідротранспортної установки;

K'_Γ – коефіцієнт готовності технології обладнання гідротранспортної установки;

t_V – міжремонтне напрацювання обладнання установки оборотного водопостачання;

k''_O – коефіцієнт, що враховує простої обладнання установки оборотного водопостачання;

K''_Γ – коефіцієнт готовності обладнання установки оборотного водопостачання.

Знаючи міжремонтні напрацювання устаткування (4.130) і (4.131), значення ймовірності безаварійної роботи за умови γ_G-% ресурсу елементів ВТВ обчислюються відповідно до прийнятого для розглянутих об'єктів закону розподілу [10, 11, 28]:

$$P(t_G) = 1-\gamma_G. \qquad (4.132)$$

Read-only

$$P(t_V) = 1 - \gamma_V . \tag{4.133}$$

Аналіз інформації про відмови, представленої в публікаціях різних авторів [9 – 11, 15, 40 – 43], дозволяє зробити висновок, що розподіл наробітку на відмову ВТВ підпорядковується експоненціальному закону розподілу, при якому ймовірність безвідмовної роботи виражається залежністю:

$$P(t) = e^{-\omega(t)t} ; \tag{4.134}$$

$$\omega(t) = \sum_{i=1}^{6} \omega_i(t), \tag{4.135}$$

де $\omega(t)$ – сумарний параметр потоку відмов;

$\omega_i(t)$ – параметр потоку відмов i-го елемента.

У разі проведення діагностики, зниження поточного значення ймовірності аварії на об'єкті після усунення виявлених дефектів характеризує наступна величина [11, 40 – 43]:

$$P = \prod_{i=1}^{6} \left(P_i(t) \left[1 - P_i^a(t) \right] + P_i^a(t) \right), \tag{4.136}$$

де P_i^a – ймовірність виявлення дефектів на i-м елементі ВТВ.

Залежності (4.123) – (4.124) дозволяють визначити значення H_S і H_W, що входять в критеріальні умови надійності складування відходів збагачення (4.91) і (4.93), а також в нерівності (4.95) – (4.98), що визначають надійність освітлення заданого об’єму оборотної води як корені наступних інтегральних рівнянь [33]:

Read-only

$$\int_0^{H_W} F_w(z)dz = \left[(1+b)\left(1-w^2\right)q + wq + \frac{\alpha - 1 + m}{\alpha m} - (1+\varphi)\right]Q_K; \qquad (4.137)$$

$$\int_0^{H_S} F_S(z)dz = \frac{1-\alpha}{\alpha m}Q_K, \qquad (4.138)$$

де φ – вологість концентратів, що надходять на сушку.

Надійність роботи вузла згущення пульпи забезпечується вибором відповідного рівня резервування [34, 36, 44 – 46].

Результати аналізу формули (4.137) з точки зору фізичної реальності, вказують, що дане рівняння буде описувати фізично існуючий об'єкт в разі, якщо вираз в дужках в його правій частині буде строго позитивним. Розглядаючи цю умову одночасно з умовою щодо вкладу витрати води, яка подається на ЗФ з додаткових джерел:

$$b > \frac{\frac{1-\alpha-m}{\alpha m} + 1 + \varphi - wq}{\left(1-w^2\right)q} - 1, \qquad (4.139)$$

і беручи до уваги, що ця величина повинна бути більше нуля, після нескладних перетворень, отримаємо:

$$\frac{m}{1-m} < \frac{1}{q\left(1+w-w^2\right)-\varphi}\frac{1-\alpha}{\alpha}. \qquad (4.140)$$

З виразу (4.139) випливає, що мінімально допустиме, з умов надійності освітлення заданого об'єму оборотної води, значення коефіцієнта пористості складованих відходів збагачення обернено пропорційно відносному вмісту

Read-only

цінного компонента в розсипу і уточненої питомої витрати води на переробку одного метра кубічного товарного концентрату за вирахуванням вологості товарних концентратів, що надходять на сушку.

Таким чином, вперше параметри технології видобутку, транспортування і збагачення мінеральної сировини обмежуються можливими параметрами безпечного складування відходів збагачення з урахуванням геологічних характеристик розсипного родовища.

4.3 Моделювання режимів роботи конвеєрного стрічкового транспорту, що з'єднує вузли техногенного впливу

4.3.1 Дослідження процесу стабілізації роботи стрічкового вакуум-фільтру

На існуючих збагачувальних фабриках України найбільшого поширення набули дві схеми створення розрідження під стрічкою вакуум-фільтрів. При першій схемі кілька вакуум-фільтрів приєднуються трубопроводами до загального колектора, в якому забезпечується стале розрідження (рис. 4.1) [1 – 7]. При другій схемі вакуум створюється за рахунок вакуум-насоса, що забезпечує видалення витрати повітря Q_H з під стрічки кожного вакуум-фільтра (рис. 4.2). У вітчизняній практиці на рудних і вуглезбагачувальних фабриках найбільш часто використовують вакуумні насоси, або як ще їх називають водокільцеві машини, типу ВВН2-50М, ВВН1-50ТМ, ВВН2-50Н, ВВН2-50Х и ВВН1-12ТМ (см. рис. 4.34) [1 – 7, 11].

Read-only

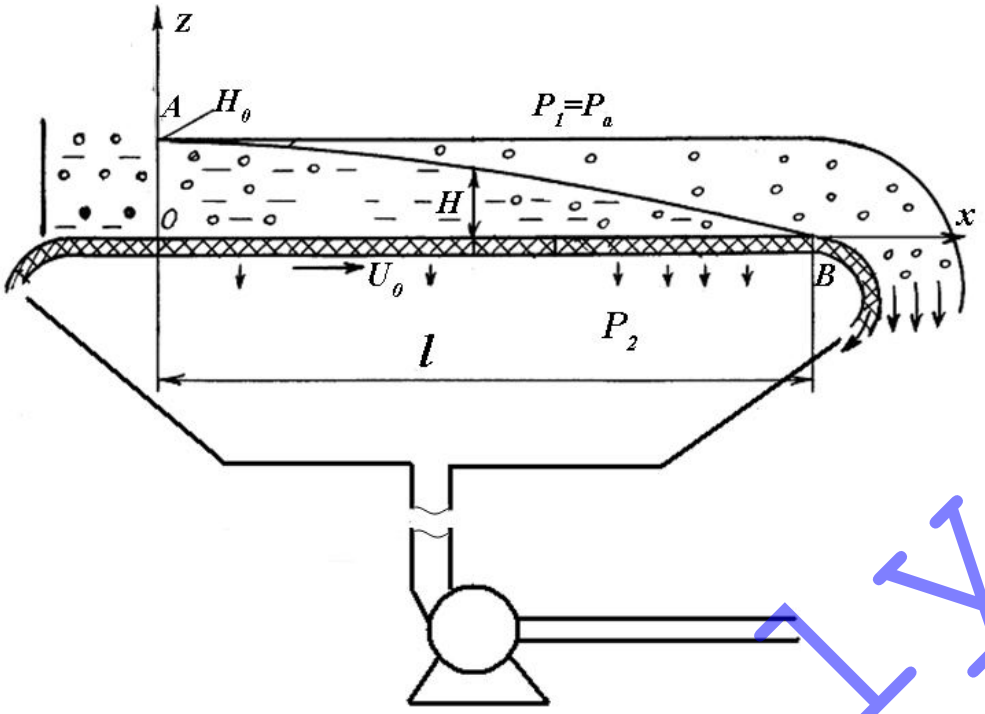


Рисунок 4.1 – Схема стрічкового вакуум-фільтру з вакуумним насосом

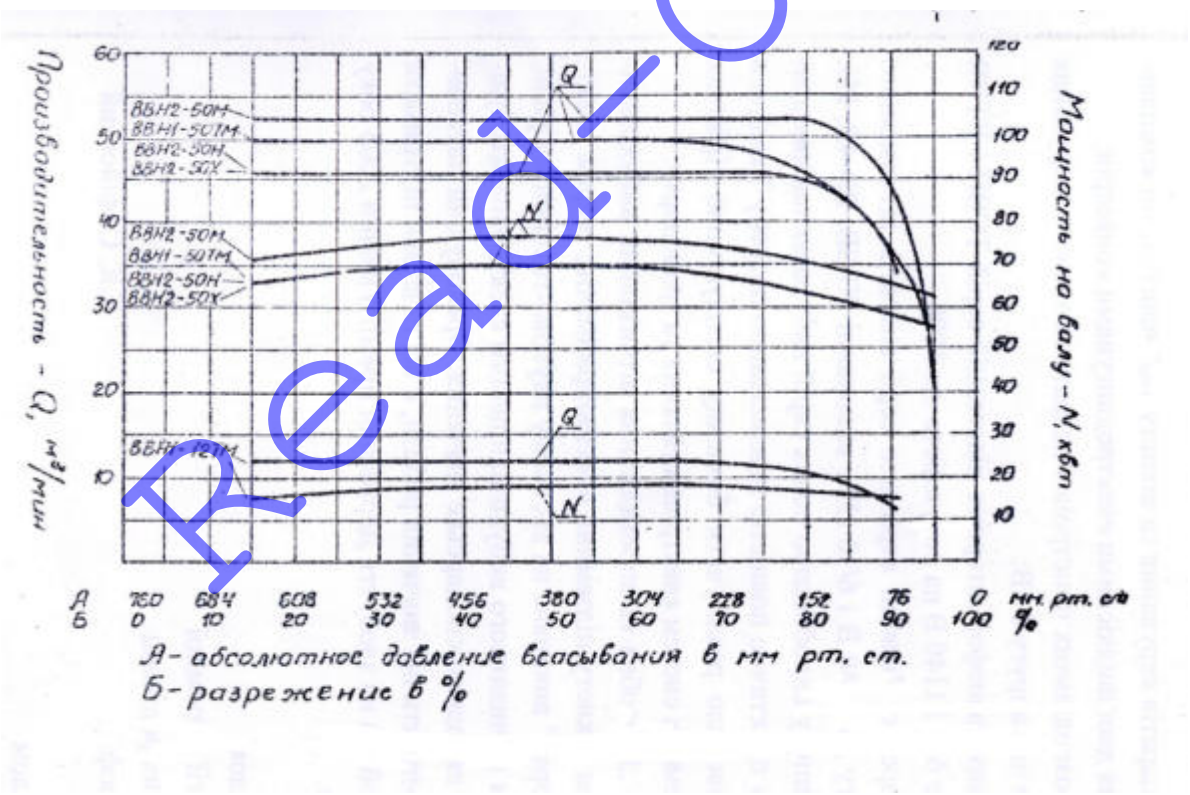


Рисунок 4.2 – Характеристика вакуумних насосів

Кожна зі схем має свої особливості при розрахунку параметрів. При використанні колектора тиск підтримується сталим, і при зміні проникності

Read-only

шару концентрату, який зневоднюється, буде змінюватися витрата повітря, що відбирається з під стрічки. Характер зміни параметрів при використанні вакуумного насосу залежить від місця розташування робочої точки на його витратно-напірній характеристиці (см. рис. 4.3). Якщо вакуумний насос експлуатується в номінальному режимі, в якому його продуктивність не залежить від створюваного розрідження, то при зміні проникності шару витрата повітря, що відбирається з під стрічки, змінюватися не буде. Цьому режиму відповідає велика область в лівій частині витратно-напірної характеристики. При значному збільшенні розрідження, починаючи з деякої величини, продуктивність вакуумного насоса різко знижується. У цій області при зміні проникності шару витрата повітря, що відбирається з під стрічки, буде змінюватися по нелінійному закону.

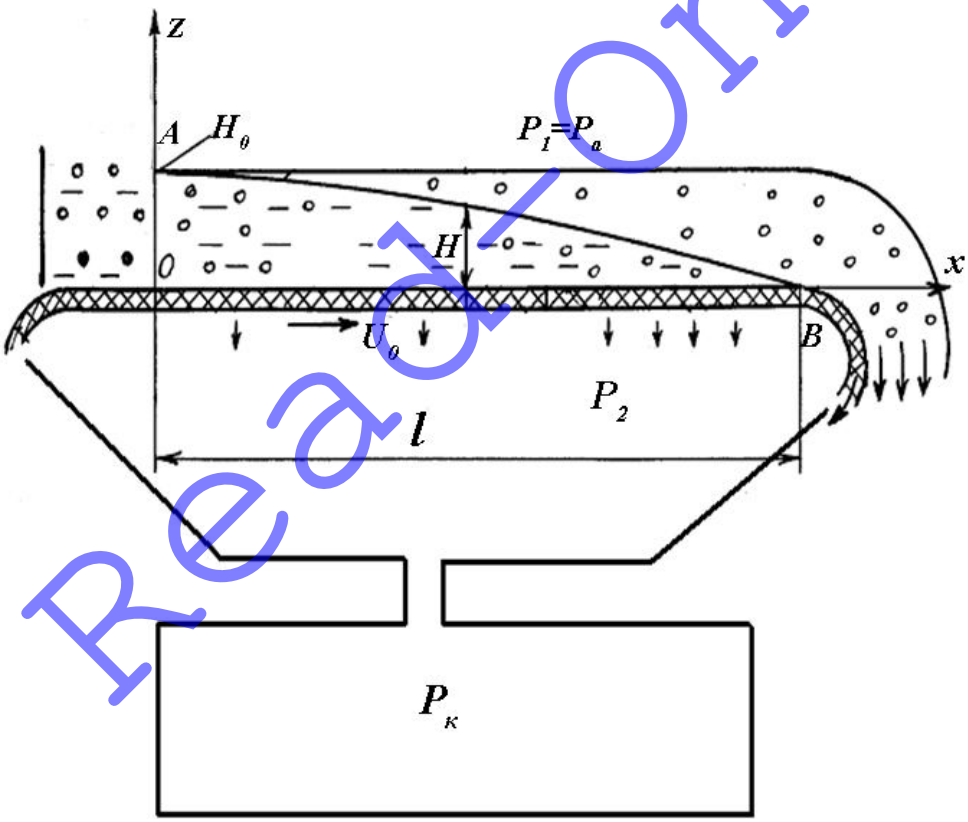


Рисунок 4.3 – Схема стрічкового вакуум-фільтру з колектором

Таким чином, з аналізу використовуваних схем підтримування вакууму під стрічкою фільтрів, видно, що необхідно досліджувати такі випадки:

Read-only

– витрата повітря, що відбирається з-під стрічки не залежить від перепаду тиску;

– тиск на кінці трубопроводу для відведення повітря з-під стрічки є сталим;

– витрата повітря, що відбирається з-під стрічки не залежить від ступеня розрідження, що створюється вакуумним насосом;

– витрата повітря, що відбирається з-під стрічки нелінійно залежить від тиску повітря під стрічкою.

4.3.2 Стабілізація тиску при сталій витраті повітря, що відсмоктується

Величина тиску в ємності під стрічкою конвеєра чи вакуум-фільтра визначається різницею витрат повітря, які надходять в неї через щілини в корпусі та через шар матеріалу, що зневоднюється, і витрати повітря відкачуваного з ємності. Виходячи з цього, на підставі закону збереження маси повітря всередині ємності та рівняння стану газу, можна записати наступне рівняння для розрахунку тиску повітря в ємності в залежності від співвідношення витрат, які надходять і відбираються [12 – 14]:

$$C_a \frac{dP}{dt} = Q_p + Q_O - Q_H ; \qquad (4.141)$$

$$C_a = \frac{W}{\rho \cdot c^2}, \qquad (4.142)$$

де C_a – акустична пружність ємності;

P – тиск в ємності;

t – час;

Q_p – витрата повітря через шар матеріалу, що зневоднюється;

Q_O – витрата повітря через щілини в корпусі;

Read-only

Q_H – витрата повітря, що відбирається з ємності;

W – об'єм ємності;

ρ – густина повітря;

c – швидкість звуку в повітрі.

Надходження повітря в ємність через шар матеріалу, що зневоднюється можливе тільки в разі, коли межа депресії досягла полотна стрічки вакуум-фільтра. В цьому випадку, поки матеріал досягне кінця стрічки, через нього в ємність буде надходити витрата повітря, яка дорівнює [11, 12, 15, 16]:

$$Q_p = \psi_p (P_a - P); \tag{4.143}$$

$$\psi_p = \frac{F \sigma k_*}{m_* \delta_* \rho g}, \tag{4.144}$$

де P_a – атмосферний тиск;

F – площа стрічки вакуум-фільтра;

σ – частка площі стрічки, через яку здійснюється фільтрація повітря;

k_* – узагальнений коефіцієнт фільтрації шару матеріалу і стрічки [11, 15, 16];

m_* – узагальнена пористість шару матеріалу і стрічки [11, 15, 16];

δ_* – сумарна товщина шару матеріалу і стрічки;

g – прискорення вільного падіння.

Витрату повітря через щілини можна обчислити за формулою:

$$Q_O = \psi_O \sqrt{P_a - P}; \tag{4.145}$$

$$\psi_O = \varphi_O F_O \sqrt{\frac{2}{\xi_O - 1}}, \tag{4.146}$$

Read-Only

де φ_O – коефіцієнт витрати [13, 14];

F_O – сумарна площа щілин;

ξ_O – коефіцієнт аеродинамічного опору щілин [13, 14].

Якщо вакуумний насос експлуатується в номінальному режимі, то витрата повітря, що відбирається з ємності, не залежить від тиску в ній, і може вважатися сталою величиною, на яку процес зневоднення матеріалу не впливає:

$$Q_H = const\,. \tag{4.147}$$

Підставивши формули (4.143) – (4.146) в рівняння (4.141), і враховуючи (4.90), отримаємо:

$$C_a \frac{dP}{dt} = \psi_p (P_a - P) + \psi_O \sqrt{P_a - P} - Q_H\,. \tag{4.148}$$

Перетворимо рівняння (4.148), ввівши безрозмірні величини з урахуванням (4.147):

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = 1 - A_O \sqrt{\varphi} - A_p \varphi\,; \tag{4.149}$$

$$\varphi = 1 - \pi\,; \tag{4.150}$$

$$\pi = \frac{P}{P_a}\,; \tag{4.151}$$

$$A_p = \frac{\psi_p P_a}{Q_H} = \frac{F k_*}{Q_H} \sigma \frac{P_a}{\delta_* \rho g m_*}\,; \tag{4.152}$$

Read-only

$$\tau = \frac{Q_H t}{C_a P_a}; \tag{4.153}$$

$$A_O = \frac{\psi_O}{Q_H}\sqrt{\frac{P_a}{\rho_a}} = \frac{\varphi_O F_O}{Q_H}\sqrt{\frac{2P_a}{(\xi_O - 1)\rho}}, \tag{4.154}$$

де φ – ступінь розрідження.

Рівняння (4.149) описує зміну ступені розрідження під стрічкою вакуум-фільтра при наступних початкових умовах

$$\varphi(0) = \varphi_O. \tag{4.155}$$

При обговорених умовах, рівняння (4.149) є диференціальним рівнянням з відокремлюваними змінними [17, 18]

$$-\int_{\varphi_O}^{\varphi} \frac{dx}{A_p x + A_O\sqrt{x} - 1} = \int_0^{\tau} dy. \tag{4.156}$$

З урахуванням початкової умови (4.155) розв’язок рівняння, після нескладних перетворень, може бути записано в наступному вигляді:

$$\left(\sqrt{\varphi} - e_1\right)^{e_1}\left(\sqrt{\varphi} + e_2\right)^{e_2} \cdot \Sigma = e^{-\frac{\sqrt{\Delta}}{2}\tau}; \tag{4.157}$$

$$\Sigma = \left(\frac{\sqrt{\varphi_O} - e_1}{\sqrt{\varphi_O} + e_2}\right)^{\frac{A_O}{2A_p}}\left(\varphi_O + \frac{A_O}{A_p}\sqrt{\varphi_O} - \frac{1}{A_p}\right)^{-\frac{\sqrt{\Delta}}{2A_p}}; \tag{4.158}$$

Read-only

$$e_1 = \frac{\sqrt{\Delta} - A_O}{2A_p}; \qquad (4.159)$$

$$e_2 = \frac{\sqrt{\Delta} + A_O}{2A_p}; \qquad (4.160)$$

$$\Delta = A_O^2 + 4A_p, \qquad (4.161)$$

де e_1 – квадратний корінь із сталого значення ступеня розрідження;

Σ – величина, що враховує початкове значення ступеня розрідження.

Так як $A_O > 0$ и $A_p > 0$, то аналіз виразу (4.157) показує, що в разі якщо $\sqrt{\varphi} < e_1$ то ступінь розрідження збільшується, тобто тиск знижується, а якщо $\sqrt{\varphi} > e_1$ то ступінь розрідження – зменшується, тобто тиск збільшується. При цьому стале значення тиску під стрічкою вакуум-фільтра розраховується за формулою:

$$P = \frac{4A_p^2 - 2A_O^2 - 4A_p + 2A_O\sqrt{A_O^2 + 4A_p}}{4A_p^2} P_a. \qquad (4.162)$$

Будемо вважати, що процес зміни тиску в ємності стабілізується, коли виконується умова:

$$\sqrt{\varphi} = \varepsilon \cdot e_1; \qquad (4.163)$$

$$\varepsilon - 1 << 1 \quad . \qquad (4.164)$$

Read-only

Дослідження показують, що для досягнення стаціонарного значення тиску в ємності необхідно наступний проміжок часу:

$$\tau_* = \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \cdot \ln \left| \frac{1}{e_1^{e_1+e_2} \left(\varepsilon + \frac{e_2}{e_1} \right)^{e_2} (\varepsilon - 1)^{e_1} \Sigma} \right| . \qquad (4.165)$$

За проміжок часу, який визначається за формулою (4.165), тиск в просторі під стрічкою вакуум-фільтра досягне стаціонарного значення після зміни параметрів шару концентрату. Якщо період коливань властивостей шару концентрату буде менше цієї величини, то при інженерних розрахунках такими змінами можна знехтувати.

4.3.3 Стабілізація тиску при сталому тиску повітря в колекторі

Зазвичай кілька вакуум-фільтрів підключаються до одного спільного колектора, в якому тиск підтримується сталим, а відкачування повітря здійснюється декількома вакуум-насосами ВВН (рис. 4.3). У цьому випадку витрата повітря, що відбирається з ємності, буде визначатися різницею тисків повітря під стрічкою і в колекторі. При використанні для опису залежності коефіцієнта гідравлічних опорів тертя від числа Рейнольдса степеневого закону [13, 14]

$$\lambda = \frac{A}{\mathrm{Re}^n}, \qquad (4.166)$$

витратно-напірну характеристику розглянутого трубопроводу можна записати у вигляді:

Read-Only

$$Q_H = \psi_K \sqrt[2-n]{P^2 - P_K^2}\,; \qquad (4.167)$$

$$\psi_K = \frac{\pi}{4} \sqrt[2-n]{\frac{D^{5-n}}{\nu^n \rho^2 ARTL}}\,, \qquad (4.168)$$

де P_K – тиск у колекторі;

ψ_K – коефіцієнт витрати [13, 14];

D – діаметр трубопроводу між колектором і ємністю під стрічкою вакуум-фільтра;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря;

ρ – густина повітря;

A – коефіцієнт пропорційності;

R – універсальна газова постійна;

T – абсолютна температура повітря;

n – показник степеня;

L – довжина трубопроводу.

Підставляючи вирази (4.143), (4.145) і (4.167) в рівняння (4.141), після нескладних перетворень отримаємо

$$\frac{d\varphi}{d\tau_n} = (1 - \pi_k - \varphi)^m (1 + \pi_k - \varphi)^m - B_O \sqrt{\varphi} - B_p \varphi\,; \qquad (4.169)$$

$$\pi_k = \frac{P_K}{P_a}\,; \qquad (4.170)$$

$$B_p = \frac{\psi_p}{\psi_K} P_a^{1-2m}\,; \qquad (4.171)$$

Read-only

$$\tau_n = \frac{t\psi_K}{C_a P_a^{1-2m}}; \qquad (4.172)$$

$$B_O = \frac{\psi_O}{\psi_K} P_a^{0.5-2m}; \qquad (4.173)$$

$$m = \frac{1}{2-n}. \qquad (4.174)$$

Для умов розглянутого обладнання рекомендоване значення величини становить $A = 0{,}32$, а параметр n може змінюватися в межах від 0 до 2, хоча найбільш часто приймається $n = 0{,}25$.

При $n = 0$ маємо $\lambda = const$ і замість формул (4.165) – (4.174) необхідно використовувати формули

$$Q_H = \psi_K \sqrt{P^2 - P_K^2}; \qquad (4.175)$$

$$\psi_K = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{D^5}{\rho^2 ARTL}}; \qquad (4.176)$$

$$\frac{d\varphi}{d\tau_n} = \sqrt{1-\pi_k-\varphi}\sqrt{1+\pi_k-\varphi} - B_O\sqrt{\varphi} - B_p\varphi; \qquad (4.177)$$

$$B_p = \frac{\psi_p}{\psi_K}; \qquad (4.178)$$

$$\tau_n = \frac{t\psi_K}{C_a}; \qquad (4.179)$$

Read-only

$$B_O = \frac{\psi_O}{\psi_K P_a}; \tag{4.180}$$

$$m = \frac{1}{2}. \tag{4.181}$$

При $n = 1$ замість формул (4.109) – (4.117) необхідно використовувати формули

$$\lambda = \frac{A}{\mathrm{Re}}; \tag{4.182}$$

$$Q_H = \psi_K \left(P^2 - P_K^2\right); \tag{4.183}$$

$$\psi_K = \frac{\pi}{4} \frac{D^4}{\nu \rho^2 ARTL}; \tag{4.184}$$

$$\frac{d\varphi}{d\tau_n} = (1 - \pi_k - \varphi)(1 + \pi_k - \varphi) - B_O \sqrt{\varphi} - B_p \varphi; \tag{4.185}$$

$$B_p = \frac{\psi_p}{\psi_K P_a}; \tag{4.186}$$

$$\tau_n = \frac{t \psi_K P_a}{C_a}; \tag{4.187}$$

$$B_O = \frac{\psi_O}{\psi_K P_a \sqrt{P_a}}; \tag{4.188}$$

$$m = 1. \tag{4.189}$$

Read-only

Диференціальні рівняння (4.169), (4.177) та (4.185) на відміну від рівняння (4.149) не можуть бути вирішені аналітичним способом, для цього необхідно використовувати методи обчислювальної математики [17, 18].

Стаціонарні значення тиску повітря під стрічкою вакуум-фільтра для розглянутих випадків можуть бути знайдені з умови рівності нулю правих частин рівнянь (4.169), (4.177) и (4.185):

$$(1-\pi_k-\varphi)^m(1+\pi_k-\varphi)^m - B_O\sqrt{\varphi} - B_p\varphi = 0; \qquad (4.190)$$

$$\sqrt{1-\pi_k-\varphi}\sqrt{1+\pi_k-\varphi} - B_O\sqrt{\varphi} - B_p\varphi = 0; \qquad (4.191)$$

$$(1-\pi_k-\varphi)(1+\pi_k-\varphi) - B_O\sqrt{\varphi} - B_p\varphi = 0. \qquad (4.192)$$

Розв’язки рівнянь (4.190) – (4.192) можуть бути знайдені тільки чисельним чином. При цьому для рівнянь (4.190) та (4.191), якщо виконується умова $\pi >> \pi_k$, складові, що містять величину π_k, можна спростити, використовуючи формули:

$$\left(1 \pm \frac{\pi_k}{\pi}\right)^m \approx 1 \pm m\frac{\pi_k}{\pi}; \qquad (4.193)$$

$$\sqrt{1 \pm \frac{\pi_k}{\pi}} \approx 1 \pm \frac{\pi_k}{2\pi}; \qquad (4.194)$$

$$\sqrt{1-\pi} \approx 1 - 0.5\pi. \qquad (4.195)$$

Read-only

Підставляючи вирази (4.193) – (4.195) у формули (4.190) и (4.191), після нескладних перетворень отримаємо:

$$\pi^{2m+2} - m^2\pi_k^2\pi^{2m} + \left(0.5B_O + B_p\right)\pi^3 - \left(B_p + B_O\right)\pi^2 = 0; \qquad (4.196)$$

$$4\left(0.5B_O + B_p + 1\right)\pi^2 - 4\left(B_p + B_O\right)\pi - \pi_k^2 = 0. \qquad (4.197)$$

Рівняння (4.197), на відміну від рівняння (4.196), можна вирішити аналітичним способом, при цьому з двох коренів стаціонарному значенню тиску повітря під стрічкою вакуум-фільтра буде відповідати такий

$$\pi_1 = \frac{\sqrt{\left(B_p + B_O\right)^2 + \pi_k^2\left(0.5B_O + B_p + 1\right)} - B_p + B_O}{2\left(0.5B_O + B_p + 1\right)}. \qquad (4.198)$$

Для оцінки часу досягнення стаціонарного значення потрібно вирішити рівняння (4.169), (4.177) и (4.185).

4.3.4 Стабілізація тиску при роботі вакуумного насоса в області змінної подачі

Результати аналізу витратно-напірних характеристик найбільш часто використовуваних на рудних і вуглезбагачувальних фабриках України вакуумних насосів ВВН2-50М, ВВН1-50ТМ, ВВН2-50Н, ВВН2-50Х и ВВН1-12ТМ (рис. 4.3) [1 – 7, 19-27] показують, що для цих насосів всю робочу зону можна розділити на дві – область сталої і область змінної продуктивності (рис. 4.4). Область сталої продуктивності знаходиться зліва від значення P_*, а область змінної продуктивності – праворуч від цього значення. У першій області продуктивність вакуумного насоса не залежить від розрідження і

Read-only

дорівнює деякій величині Q_*, а в другій області – різко знижується від величини Q_* до значення Q_0 (рис. 4.4).

Таким чином, витратно-напірну характеристику вакуумних насосів ВВН2-50М, ВВН1-50ТМ, ВВН2-50Н, ВВН2-50Х і ВВН1-12ТМ можна апроксимувати наступним чином:

$$Q_H = \begin{cases} Q_* & P > P_* \\ Q_0 - (Q_* - Q_0)\left(\dfrac{P}{P_*}\right)^2 & P < P_* \end{cases} \qquad (4.199)$$

де Q_* – подача вакуумного насоса в стаціонарній області витратно-напірної характеристики;

Q_0 – мінімальна подача вакуумного насоса;

P – розрідження, створюване вакуумним насосом;

P_* – границя стаціонарної області витратно-напірної характеристики.

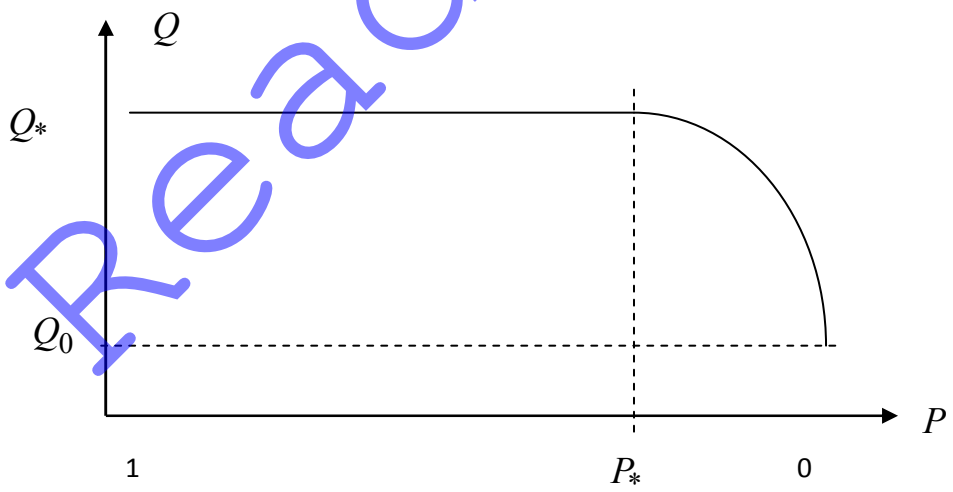


Рисунок 4.4 – До апроксимації витратно-напірної характеристики вакуумного насоса

Read-only

Для розглянутих вакуумних насосів значення величин, що характеризують область сталої і область змінної продуктивності, змінюються в інтервалах $46 \le Q_* \le 53$ м^3/хв, $20 \le Q_0 \le 35$ м^3/хв і $76 \le P_* \le 88$ мм. рт. ст.

З урахуванням залежності (4.199), диференціальне рівняння (4.148) може бути переписано в наступному вигляді

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = 1 - A_O\sqrt{\varphi} - A_p\varphi + A_*(1-\varphi)^2; \tag{4.200}$$

$$A_* = \frac{Q_* - Q_0}{Q_0}\left(\frac{P_a}{P_*}\right)^2; \tag{4.201}$$

$$\tau = \frac{Q_0 t}{C_a P_a}; \tag{4.202}$$

$$A_p = \frac{\psi_p P_a}{Q_0}; \tag{4.203}$$

$$A_O = \frac{\psi_O\sqrt{P_a}}{Q_0}. \tag{4.204}$$

Стаціонарні значення тиску повітря під стрічкою вакуум-фільтра при роботі вакуумного насоса в області змінної продуктивності може бути знайдено з умови рівності нулю правої частини рівнянь (4.200):

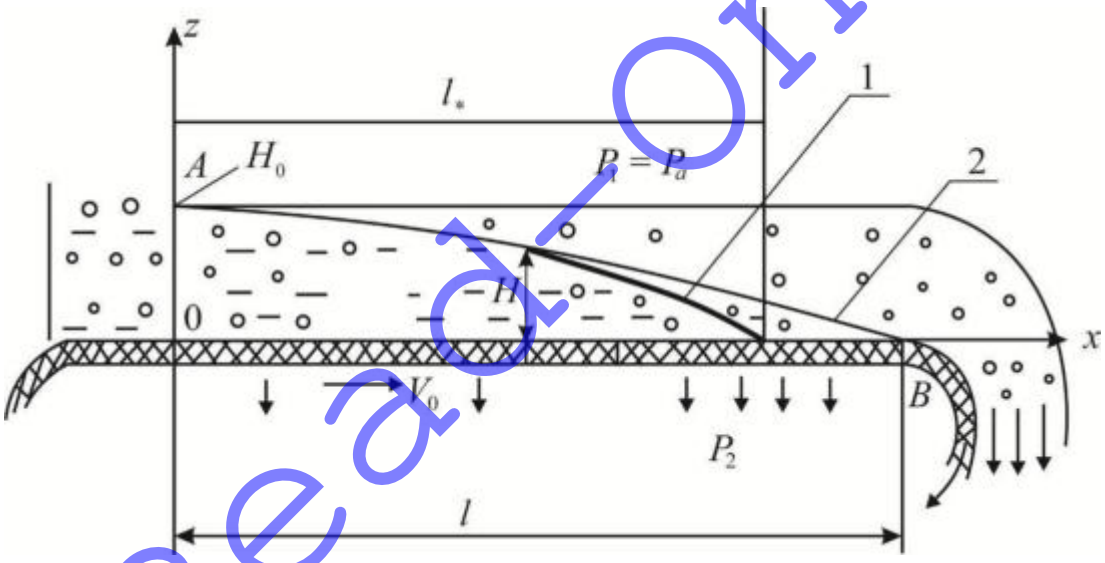
$$1 - A_O\sqrt{\varphi} - A_p\varphi + A_*(1-\varphi)^2 = 0. \tag{4.205}$$

Рішення рівняння (4.200) і (4.205) можливо тільки чисельними методами.

Read-only

4.3.5 Стабілізація тиску с урахуванням нестаціонарності розміру області пропускання повітря під стрічкою

Вище розглянуто процеси зміни тиску під стрічкою вакуум-фільтра для випадків, коли розміри області просочування повітря крізь шар концентрату не змінюються [17, 18, 19–22, 28–41]. Для цих розрахунків величина, що виражає частку площі стрічки, через яку здійснюється фільтрація повітря, вважалася константою (рис. 4.5). Насправді, це не зовсім так, оскільки після просочування повітря, тиск під стрічкою зменшується, що знижує швидкість фільтрації, і, як наслідок відсуває точку перетину границі вільної поверхні з площиною стрічки від місця подачі пульпи, що знижує значення σ.



1 – фактична лінія депресії; 2 – розрахункова лінія депресії

Рисунок 4.5 – Схема розрахунку області просочування повітря через шар пористого сипкого матеріалу під стрічку

Виходячи з геометричних міркувань (рис. 4.5) величину σ можна визначити за формулою:

$$\sigma = 1 - \frac{l_*(t)}{l}; \qquad (4.206)$$

Read-only

$$l_*(t) = U_0 T_*, \tag{4.207}$$

де $l_*(t)$ – відстань від місця подачі пульпи до точки перетину границі депресії з поверхнею полотна стрічки;

l – довжина стрічки вакуум-фільтра;

U_0 – швидкість подачі пульпи на стрічку;

T_* – час фактичного зневоднення шару концентрату.

З урахуванням виразу (4.151) формулу (4.207) можна представити в наступному вигляді:

$$\frac{l_*(t)}{l} = \frac{E_*}{1-\pi}; \tag{4.208}$$

$$E_* = \left(\frac{C_{kp} - C_0}{C_0} + \frac{m_*}{2}\right)\frac{\rho g U_0 H_0^2}{k_* l}, \tag{4.209}$$

де C_{kp} – максимально можлива пористість шару концентрату;

C_0 – концентрація, що подається на стрічку пульпи;

H_0 – початкова висота шару концентрату.

На підставі залежності (4.208) вираз (4.206) остаточно запишемо у вигляді:

$$\sigma = \frac{1-\pi-E_*}{1-\pi}. \tag{4.210}$$

Підставивши залежність (4.153) в рівняння (4.149), (4.169) і (4.177), після нескладних перетворень отримаємо

Read-only

$$\frac{d\varphi}{d\tau'} = 1 - E_O\sqrt{\varphi} - E_p\varphi; \tag{4.211}$$

$$E_p = \frac{1}{1 + E_* A'_p}\frac{A'_p}{Q_H}; \tag{4.212}$$

$$\tau' = \left(1 + E_* A'_p\right)\frac{Q_H t}{C_a P_a}; \tag{4.213}$$

$$E_O = \frac{1}{1 + E_* A'_p}\frac{A_O}{Q_H}; \tag{4.214}$$

$$A'_p = \frac{F k_* P_a}{Q_H \delta_* \rho g m_*}; \tag{4.215}$$

$$\frac{d\varphi}{d\tau_n} = B'_p E_* - \left(1 - \pi_k - \varphi\right)^m \left(1 + \pi_k - \varphi\right)^m - B_O\sqrt{\varphi} - B'_p\varphi; \tag{4.216}$$

$$B'_p = \frac{F k_* P_a^{1-2m}}{\delta_* \rho g m_* \psi_K}; \tag{4.217}$$

$$\frac{d\varphi}{d\tau'} = 1 - E_O\sqrt{\varphi} - E_p\varphi + E_N\left(1 - \varphi\right)^2; \tag{4.218}$$

$$\tau' = \left(1 + E_* A'_p\right)\frac{Q_0 t}{C_a P_a}; \tag{4.219}$$

$$E_O = \frac{1}{1 + E_* A'_p}\frac{A_O}{Q_0}; \tag{4.220}$$

Read-only

$$E_p = \frac{1}{1 + E_* A'_p} \frac{A'_p}{Q_0}; \qquad (4.221)$$

$$E_N = \frac{Q_* - Q_0}{\left(1 + E_* A'_p\right) Q_0} \left(\frac{P_a}{P_*} \right)^2. \qquad (4.222)$$

З порівняння рівнянь (4.149) і (4.211), (4.169) і (4.216), (4.177) і (4.218), видно, що для вирішення рівнянь (4.216) та (4.218) необхідно використовувати методи обчислювальної математики. У той же час розв'язок рівняння (4.211) можна отримати, використовуючи розв'язок рівняння (4.149). Для цього достатньо у формулах (4.147) – (4.165) зробити заміну величин: замість значення A_0, що обчислюється за (4.154), підставити значення E_0, що обчислюється за (4.214); замість значення A_P, що обчислюється за (4.152), підставити значення E_P, що обчислюється за (4.212), замість значення τ, що обчислюється за (4.153), підставити значення τ', що обчислюється за формулою (4.213).

При вирішенні рівнянь (4.214), (4.216) і (4.218) поточне значення має задовольняти умові

$$\sigma > 0. \qquad (4.223)$$

Якщо нерівність (4.223) перетворюється у вірну рівність або порушується, це означає, що потік повітря через шар концентрату припиняє надходити в простір під стрічкою, і замість рівнянь (4.214), (4.216) и (4.218) необхідно використовувати рівняння:

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = 1 - A_O \sqrt{\varphi}; \qquad (4.224)$$

Read-only

$$\frac{d\varphi}{d\tau_n} = (1-\pi_k-\varphi)^m (1+\pi_k-\varphi)^m - B_O\sqrt{\varphi}\,; \qquad (4.225)$$

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = 1 - A_O\sqrt{\varphi} + A_*(1-\varphi)^2\,. \qquad (4.226)$$

При цьому початкову умову (4.177) необхідно змінити з урахуванням значення величини φ, при якому виконується рівність:

$$\sigma = 0\,. \qquad (4.227)$$

Підставивши залежність (4.210) в умову (4.227), після нескладних перетворень запишемо початкову умову для рівнянь (4.224) – (4.226) у вигляді

$$\varphi(0) = E_*\,. \qquad (4.228)$$

Можна припустити, що процес зміни тиску повітря під стрічкою вакуум-фільтра стабілізується при виконанні умови (4.227), якщо стаціонарне значення величини φ, що обчислюється з умови рівності нулю правої частини рівнянь (4.211), (4.216) і (4.218), збігатиметься зі значенням цієї величини, при якому виконується умова (4.228) – $\varphi_* = E_*$. Величина φ_* обмежує значення φ знизу, оскільки для виконання умов (4.223), відповідно до (4.149), слід дотримуватися нерівності

$$\varphi_* < \varphi\,. \qquad (4.229)$$

Підставивши значення з формули (4.228) в праві частини рівнянь (4.214), (4.216) і (4.218), прирівнюємо їх нулю, і отримуємо рівняння для розрахунку параметрів процесу фільтрації, що забезпечують його стійкість:

Read-only

$$1 - E_O\sqrt{E_*} - E_p E_* = 0\,; \tag{4.230}$$

$$B'_p E_* - (1 - \pi_k - E_*)^m (1 + \pi_k - E_*)^m - B_O\sqrt{\varphi} E_* - B'_p E_* = 0\,; \tag{4.231}$$

$$1 - E_O\sqrt{E_*} - E_p E_* + E_N (1 - E_*)^2 = 0\,. \tag{4.232}$$

4.3.6 Визначення тривалості нестаціонарних режимів при просочуванні повітря під стрічку

Просочування повітря відбувається за умови, що лінія депресії в матеріалі, що транспортується, не перевищує довжину транспортування:

$$L > L_*\,, \tag{4.233}$$

$$L_* = \frac{\rho_0 g U_0 H_0^2}{\kappa k_1 P_a (1 - \pi)}\,, \tag{4.234}$$

$$\kappa = \frac{1 - \varphi_н}{\varphi_н - \varphi_{пр}}\,, \tag{4.235}$$

де L – довжина стрічки, м;

L_* – відстань від початку транспортування до перерізу, де лінія депресії в матеріалі перетинається з лінією стрічки, м;

ρ_0 – густина рідини, м^3/;

g – прискорення вільного падіння, м^2/с;

k_1 – коефіцієнт фільтрації рідини крізь шар та стрічку;

U_0 – швидкість руху стрічки, м/с;

Read-only

H_0 – початкова товщина шару матеріалу на стрічці, м;

P_a – атмосферний тиск, Па;

P – тиск під стрічкою, Па;

$\varphi_н$ – вологість матеріалу в початковому перерізі стрічці;

$\varphi_{пр}$ – мінімально можлива вологість матеріалу.

Переформовувавши вираз (4.157) відносно безрозмірного часу, та розглянувши цей вираз за умови досягнення кінцем поверхні депресії краю стрічки, отримаємо, що завдяки просочуванню повітря, тиск під стрічкою підвищується згідно залежностей:

$$\tau = (\Psi_0 - \Delta)\ln\left|\frac{\sqrt{1-\pi_0} - \Psi_0 + \Delta}{\sqrt{1-\pi} - \Psi_0 + \Delta}\right| + (\Psi_0 + \Delta)\ln\left|\frac{\sqrt{1-\pi_0} + \Psi_0 + \Delta}{\sqrt{1-\pi} + \Psi_0 + \Delta}\right|, \quad (4.236)$$

$$\tau = \frac{m_* \delta_* \rho g}{F k_* C_a} \Psi_0 t, \quad (4.237)$$

$$\Psi_0 = \sqrt{\Delta}\sqrt{\Delta_0 + \Delta}, \quad (4.238)$$

$$\Delta = \frac{\varphi_O F_O m_* \delta_* \rho g}{F k_* \sqrt{2(\xi_O - 1)}}, \quad (4.239)$$

$$C_a = \frac{W}{\rho c^2}, \quad (4.240)$$

$$\Delta_0 = \sqrt{2(\xi_O - 1)}\frac{(1+\gamma)Q_H}{\varphi_O F_O P_a}, \quad (4.241)$$

$$\gamma = \frac{\varphi_\sigma F k_*}{m_* \delta_* \rho g Q_H}, \quad (4.242)$$

Read-only

$$\varphi_\sigma = \frac{\rho_0 g U_0 H_0^2}{\kappa k_1 L P_a}, \qquad (4.243)$$

де C_a – акустична пружність ємності під стрічкою;

t – час, с; Q_H – витрата повітря, що видаляється з під стрічки, м^3/с;

W – об'єм ємності під стрічкою;

ρ – густина повітря;

c – швидкість звуку в повітрі;

π_0 – початковий відносний тиск під стрічкою;

F – площа стрічки;

k_* – узагальнений коефіцієнт фільтрації шару матеріалу та стрічки;

m_* – узагальнена пористість шару матеріалу та стрічки;

δ_* – товщина шару матеріалу разом зі стрічкою;

φ_O – коефіцієнт витрат крізь шпарини;

F_O – загальна площа шпарин;

ξ_O – коефіцієнт аеродинамічного опору шпарин.

Тривалість підвищення тиску під стрічкою з урахуванням 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 [19, 42–57].

Процес просочування повітря під стрічку припиняється за умови коли $1 - \pi = \varphi_\sigma$, що, згідно з (4.236), відбувається через час, який розраховується за формулою

$$\tau = (\Psi_0 - \Delta)\ln\left|\frac{\sqrt{1-\pi_0} - \Psi_0 + \Delta}{\sqrt{\varphi_\sigma} - \Psi_0 + \Delta}\right| + (\Psi_0 + \Delta)\ln\left|\frac{\sqrt{1-\pi_0} + \Psi_0 + \Delta}{\sqrt{\varphi_\sigma} + \Psi_0 + \Delta}\right|. \qquad (4.244)$$

При умові $L_* = L$ тиск під стрічкою знижується за залежністю:

Read-only

$$\tau' = \sqrt{\varphi_\sigma} - \sqrt{1-\pi} + \Psi_\sigma \ln\left|\frac{\Psi_\sigma - \sqrt{\varphi_\sigma}}{\Psi_\sigma - \sqrt{1-\pi}}\right|, \tag{4.245}$$

$$\Psi_\sigma = \frac{Q_H\sqrt{\xi_O - 1}}{\varphi_O F_O \sqrt{2P_a}}, \tag{4.246}$$

$$\tau' = \frac{\varphi_O F_O}{\sqrt{2(\xi_0 - 1)C_a}}t, \tag{4.247}$$

Зниження тиску відбувається до моменту, коли відносна відстань між краєм стрічки та перерізом перетинання лінії депресії не почне впливати на тиск повітря під стрічкою:

$$\sigma < [\sigma], \tag{4.248}$$

$$\sigma = 1 - \frac{\varphi_\sigma}{1-\pi}, \tag{4.249}$$

де σ – частина площі стрічки, через яку відбувається фільтрація повітря стрічку;

$[\sigma]$ – частина площі стрічки, через яку просочування повітря впливово змінює тиск під стрічкою.

Тривалість процесу визначається формулами (4.248) та (4.249) й обчислюється за наступними залежностями

$$[\tau'] = \Psi' \frac{\sqrt{1-[\sigma]} - 1}{\sqrt{1-[\sigma]}} + \ln\left|\frac{(1-\Psi')\sqrt{1-[\sigma]}}{\sqrt{1-[\sigma]} - \Psi'}\right|, \tag{4.250}$$

Read-Only

$$[\tau'] = \frac{\varphi_O^2 F_O^2 P_a}{(\xi_O - 1) C_a Q_H} t', \tag{4.251}$$

$$\Psi' = \frac{\varphi_O F_O}{Q_H} \sqrt{\frac{2\rho_0 g P_a U_0 H_0^2}{(\xi_0 - 1)\kappa k_1 L}}. \tag{4.252}$$

Аналітичне дослідження формули (4.244) вказує на можливість запису її в наступному вигляді, коли обидва члени в правій його частини мають однотипний функціональний вигляд:

$$\frac{\Delta}{\sqrt{1-\pi_0}} \tau = F(y;a) + F(y;b), \tag{4.253}$$

$$F(y;c) = c \ln\left|\frac{1+c}{1+cy}\right|, \tag{4.254}$$

$$a = \frac{\sqrt{1-\pi_0}}{\Delta\left(1-\sqrt{1+\zeta}\right)}, \tag{4.255}$$

$$y = \frac{\sqrt{1-\pi}}{\sqrt{1-\pi_0}}, \tag{4.256}$$

$$b = \frac{\sqrt{1-\pi_0}}{\Delta\left(1+\sqrt{1+\zeta}\right)}, \tag{4.257}$$

$$\zeta = \frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{2(\xi_O - 1)F^2}{(\varphi_O F_O)^2} \frac{(1+\gamma)Q_H}{\delta_* \rho g P_a F} \frac{k_*}{m_*} \tag{4.258}$$

Read-only

$$\gamma = \frac{\rho_0}{\rho} \frac{U_0 F H_0^2}{L \delta_* P_a Q_H} \frac{k_*}{m_* \kappa k_1}. \qquad (4.259)$$

Дослідження функції (4.254) методами чисельної математики вказують на можливість її апроксимації оберненою експоненціальною залежністю з точністю R^2 від 0,9309 до 0,9777 (рис. 4.6)

$$F(y;c) \approx \frac{A(c)}{e^{B(c)y}}, \qquad (4.260)$$

де $A(c)$ – коефіцієнт пропорціональності, параметр апроксимації, функція від c (рис. 4.7);

$B(c)$ – показник степеня, параметр апроксимації, функція від c (рис. 4.8).

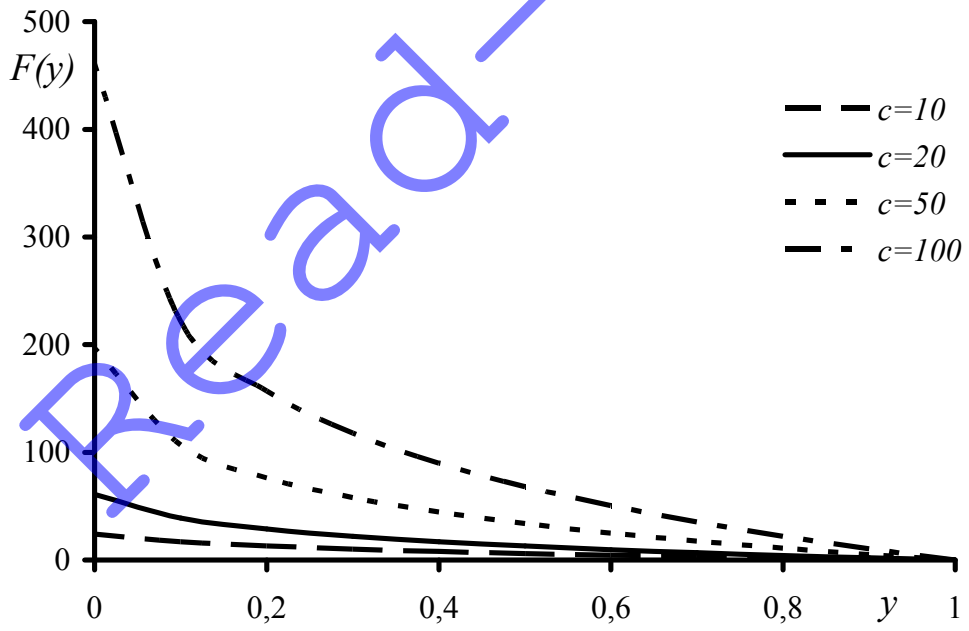


Рисунок 4.6 – Графіки функції (4.254) при різних значеннях параметра c

Read-Only

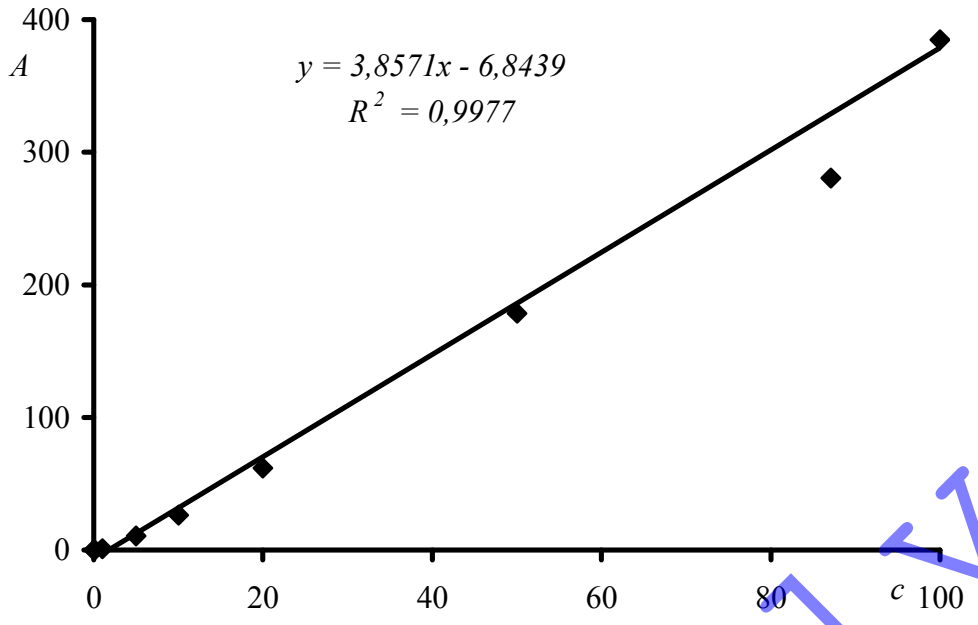


Рисунок 4.7 – Апроксимація залежності $A(c)$ в формулі (4.260) лінійною функцією

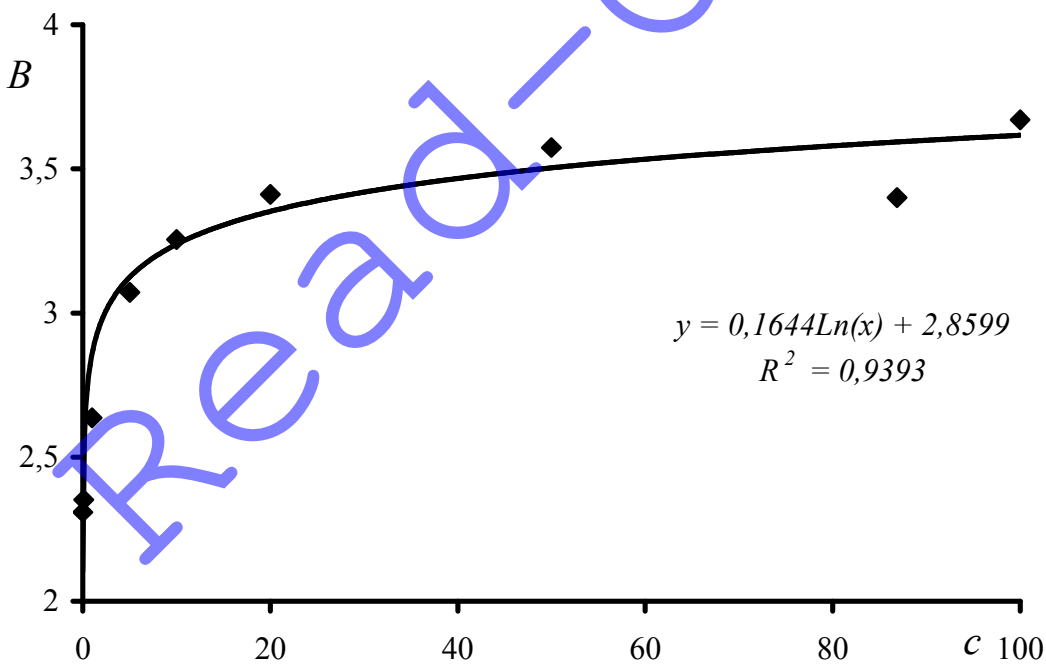


Рисунок 4.8 – Апроксимація залежності $B(c)$ в формулі (4.260) логарифмічною функцією

З урахуванням формули (4.260), а також рис. 4.6 –4.8, рівняння (4.254) можна переписати в наступному вигляді

Read-only

$$c\ln\left|\frac{1+c}{1+cy}\right| \approx \frac{3{,}86(c-1{,}77)}{\left(17{,}46c^{0{,}16}\right)^{y}}, \tag{4.261}$$

а формула (4.254) відповідно до цього приймає вид

$$\frac{\Delta}{\sqrt{1-\pi_0}}\tau = \frac{3{,}86(a-1{,}77)}{\left(17{,}46a^{0{,}16}\right)^{y}} + \frac{3{,}86(b-1{,}77)}{\left(17{,}46b^{0{,}16}\right)^{y}}. \tag{4.262}$$

Оскільки інтервал змін величини ζ дозволяє розкладання квадратних коренів в знаменниках формул (4.255) та (4.257) зі збереженням тільки лінійних членів

$$\sqrt{1+\zeta} \approx 1+\frac{\zeta}{2}, \tag{4.263}$$

тобто

$$a \approx \frac{b}{4\zeta}, \tag{4.264}$$

$$b \approx \frac{\sqrt{1-\pi_0}}{2\Delta}, \tag{4.265}$$

а замість залежності (4.262) можна рекомендувати наступну формулу

$$\tau \approx \frac{3{,}86}{\Delta}\frac{\sqrt{1-\pi_0}(b-1{,}77)}{\left(17{,}46b^{0{,}16}\right)^{y}}. \tag{4.266}$$

Враховуючи залежності (4.239), (4.256) та (4.265), після їх підстановки в (4.266) та відповідних перетворень, отримаємо оцінку тривалості підвищення

Read-only

тиску під стрічкою з урахуванням просочування повітря крізь пористий шар матеріалу:

$$\tau \approx 7{,}72 \frac{x_0 (x_0 - 1{,}77)}{\left(17{,}46 x_0^{0{,}16}\right)^{\sqrt{x}}}, \tag{4.267}$$

$$x_0 = \frac{\sqrt{1 - \pi_0}}{2\Delta}, \tag{4.268}$$

$$x = \frac{1 - \pi}{1 - \pi_0}, \tag{4.269}$$

Формули (4.267) – (4.269) дозволяють сформулювати наступне наукове положення: 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.

Новизна наукового положення полягає в тому, що 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.

Обгрунтованість та достовірність цих наукових положень визначається коректністю постановки вирішуваних завдань, використанням апробованих методів гідравліки, гідромеханіки, а також постулатів, підтверджених результатами експериментальних досліджень інших авторів.

Read-only

Використання залежностей (4.236) – (4.269) дозволяє визначити амплітуду та тривалість коливань тиску та обґрунтувати методи компенсування їх впливу на узгодженість процесів в гідротехнічних системах.

4.4 Висновки за розділом 4

В четвертому розділ розроблено моделі вузлів техногенного впливу, які формують генеральну вісь матеріальних потоків в логістиці гідротехнічних систем, на основі яких обґрунтовуються методи та алгоритми розрахунків параметрів фільтраційних потоків рідини в пористому сипкому матеріалі під впливом зовнішніх факторів, що характеризують процеси перерозподілу матеріальних потоків, показників та режимів роботи елементів технологій логістики геотехнічних систем, які з'єднанні за допомогою конвеєрного транспорту. Досліджено динаміку 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.

Встановлено, що при формуванні магістрального напрямку логістики з трьох вузлів техногенного впливу параметр пульпоутворення, яке забезпечує видобуток, транспортування та переробку мінеральної сировини без додаткового залучення рідини з водосховища, прямо пропорційний добутку частки цінного компоненту в розсипу, питомої витрати рідини, що витрачається на їх розмив, та питомої витрати рідини, яка необхідна для вилучення цінного компоненту. Завдяки, цьому умова перерозподілу обсягів рідини при пульпоутворенні вперше розраховується в залежності від вмісту цінного компоненту в розсипу, витрат рідини на розмив розсипу та вилучення з неї колективного концентрату. Це дозволяє відмовитися від залучення додаткових обсягів рідини, за рахунок чого мінімізувати питомі витрати рідини.

На підставі закону збереження маси повітря всередині ємності та рівняння стану газу створені математичні моделі процесу зміни тиску повітря в ємності під стрічкою вакуум-фільтра при зміні властивостей шару зневодненого концентрату для таких способів створення розрідження:

Read-only

- витрата повітря, що відбирається з під стрічки не залежить від тиску повітря;

- тиск на кінці трубопроводу для відведення повітря з під стрічки є сталим;

- витрата повітря, що відбирається з під стрічки не залежить від розрідження, що створюється вакуумним насосом;

- витрата повітря, що відбирається з під стрічки нелінійно залежить від тиску повітря під стрічкою.

Встановлено, що 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. Це вперше дозволяє 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, та дає можливість визначення такої швидкості руху стрічки, яка забезпечить узгодженість логістичних вузлів та дотримання обмежень на параметри матеріалу, що транспортується.

4.5. Список використаних джерел за розділом 4

1. Блюсс Б. А., Головач Н. А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд : монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 126 с.

2. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Семененко Е. В. Научные основы моделирования процессов в технологиях обогащения титан-цирконовых россыпей. Обогащение полезных ископаемых : научн.-техн. сб. Днепропетровск: НГУ, 2003. № 18(59). С. 79–92.

3. Звягильский Е.Л., Блюсс Б. А., Назимко Е. И., Семененко Е. В. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения : монорграфия. Севастополь : Вебер, 2002. 247 с.

Read-only

4. Полькин С. И., Адамов Э. В. Обогащение руд цветных металлов : учебник для вузов. Москва : Недра, 1983. 400 с.

5. Полькин С. И., Лаптев И. Ф. Обогащение оловянных руд и россыпей : монография. Москва : Недра, 1974. 238 с.

6. Полькин С. И. Обогащение руд и россыпей редких металлов : учебник. Москва : Недра, 1976. 616 с.

7. Разумов К. А., Перов В. А. Проектирование обогатительных фабрик : учебник для вузов, 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Недра, 1982. 518 с.

8. Сокил А. М. Физико-технические основы технологий переработки титан-цирконовых россыпей: дисс. … д-ра техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 2002. 399 с.

9. Семененко Е. В. Развитие научных основ гидромеханизации для открытой разработки россыпных месторождений: дисс. … д-ра техн. наук : 05.15.09. Днепропетровск, 2009. 504 с.

10. Баранов Ю. Д., Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Шурыгин В. Д. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий : монография. Днепропетровск: Новая идеология, 2006. 416 с.

11. Вихрові виконавчі пристрої: монографія, у 2 ч. / Д. О. Сьомін, В. О. Павлюченко та інш. Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2009. Ч. 1 : Однорідні робочі середовища. 280 с.

12. Мочалин Е. В. Гидродинамика закрученного потока около вращающегося проницаемого цилиндра и совершенствование ротационных фильтров механической очистки: дисс. … д-ра техн. наук : 01.02.05. Киев, 2009. 433 с.

13. Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене: монография. Киев : Наукова думка, 2003. 379 с.

14. Криль С. И. Напорные взвесенесущие потоки : учебная литература. Киев: Наукова думка, 1990. 160 с.

15. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов : монография / И. А. Асауленко и др. Киев : Наук. думка, 1981. 364 с.

16. Силин Н. А., Витошкин Ю. К., Карасик В. М., Очеретько В. Ф. Гидротранспорт (вопросы гидравлики): монография. Киев : Наукова думка, 1971. 158 с.

Read-only

17. Шрайбер А. А., Милютин В. Н., Яценко В. П. Гидромеханика двухкомпонентных потоков с твердым полидисперсным веществом : монография. Киев: Наукова думка, 1980. 252 с.

18. Шрайбер А. А., Гавин Л. Б., Наумов В. А., Яценко В. П. Турбулентные течения газовзвеси: монография. Киев : Наукова думка, 1987. 240 с.

19. Блюсс Б. А., Сокил А. М., Гоман О. Г. Проблемы гравитационного обогащения титан-цирконовых песков: монография. Днепропетровск : Полиграфист, 1999. 190 с.

20. Дзюба С.В. Согласование систем управления горных предприятий на основе закономерностей технического анализа. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. - № 107. - С. 92 – 98.

21. Дзюба С.В., Медведева О.А., Киричко С.Н. Особенности использования напорного гидротранспорта при разработке техногенных месторождений. *Вибрация в технике и технологиях*. Винница, 2015. № 4(80). С. 136 – 142.

22. Давидсон В. Е. Основы гидравлического расчета эрлифта : учебное пособие. Днепропетровск : ДГУ, 1986. 68 с.

23. Блюсс Б. А., Семененко Е. В., Шурыгин. В. Д. Расчет областей миграции частиц полидисперсного разноплотностного материала по сечению трубопровода при напорном гидротранспорте. *Збагачення корисних копалин* : наук.-техн. зб. 2005. Вып. 22 (63). С. 115–121.

24. Семененко Е. В. Оценка взвешивающей способности и критических параметров напорных взвесенесущих потоков. *Промышленная гидравлика и пневматика*. 2005. № 1 (7). С. 24–30.

25. Фісуненко П.А., Лаже М.В., Дзюба С.В. Аналіз системи показників економічної безпеки будівельних підприємств. *Будівельне будівництво*. 2016. № 61 / 2. С. 59 – 63.

26. Витушко О.В., Дзюба С.В., Коваль Н.В. Разработка методов расчета параметров процессов гидротранспортирования в подземных гидротехнических системах. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2014. № 119. С. 186 – 197.

Read-only

27. Дреус А.Ю., Сясев В.О., Дзюба С.В., Киричко С.М. Дослідження впливу концентрації метану на режим течії повітряно-метанової суміші у мікроканалі. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2017. № 136. С. 51 – 59.

28. Сокил А. М. Динамическая модель работы секции конусных сепараторов. *Обогащение полезных ископаемых* : науч.-техн. сб. Днепропетровск: НГУ. 2000. №9. С. 138–141.

29. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика : учебное пособие, в 10 т. Москва : Наука., 1986. Т. VI : Гидромеханика. 736 с.

30. Лапшин Е.С., Блюсс Б.А., Дзюба С.В. Определение рациональных параметров динамического гасителя низкочастотных колебаний. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 139. С. 23 – 30

31. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны : монография. Москва : Мир, 1977. 624 с.

32. Булат А. Ф., Витушко О. В., Семененко Е. В. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий : монография. Днепропетровск : Герда, 2010. 216 с.

33. Семененко Е. В. Научные основы технологий гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей : монография. Киев : Наукова думка, 2011. 232 с.

34. Булава Ю. И. Моделирование гидродинамических процессов в угольной пульпе и обоснование параметров неподвижных цилиндро-конических грохотов : дисс. … канд. техн. наук : 05.15.11. Днепропетровск, 1999. 205 с.

35. Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации : справочник. Ленинград : Стройиздат, 1973. 408 с.

36. Чугаев Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов, 4-е изд. Ленинград : Энергоиздат, 1982. 672 с.

37. Li T.M. The new look at Asarco`s Tennessee Mines. *Min. Eng*. 1976. Vol. 27. P. 37–41.

38. Смолдырев А. Е. Гидравлический и пневматический транспорт на

Read-only

угольных предприятиях : монография. Москва : Укртехиздат, 1956. 291 с.

39. Дмитриев Г. П., Махарадзе Л. И., Гочиташвили Т. Ш. Напорные гидротранспортные системы : справоч. пособ. Москва : Недра, 1991. 304 с.

40. Смолдырев А. Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии : 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Металлургия, 1985. 383 с.

41. Смолдырев А. Е. Трубопроводный транспорт. Москва : Недра, 1980. 390 с.

42. Джваршеишвили А. Г. Системы трубопроводного транспорта горно-обогатительных предприятий : монография. Москва : Недра, 1986. 384 с.

43. Гуменик И.Л., Сокил А. М., Семененко Е. В., Шурыгин В. Д. Проблемы разработки россыпных месторождений : монография. Днепропетровск : Січ, 2001. 224 с.

44. Дзюба С.В., Дякун И.Л., Киричко С.М. Визначення фільтраційних властивостей ґрунтів техногенних родовищ. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 4, P. 12 – 20. https://DOI: 10.30889/2523-4692.2020-11-04-014.

45. Куприн А. И. Безнапорный гидротранспорт : монография. Москва : Недра, 1980. 244 с.

46. Великанов М. А. Динамика русловых потоков : учебное пособие, в 2 т. Москва : Гостехиздат, 1955. Т. II. 323 с.

47. Нурок Г. А. Гидромеханизация открытых разработок : учеб. для вузов. Москва : Недра, 1970. 584 с.

48. Нурок Г. А., Бруякин Ю. В., Ляшевич В. В. Гидротранспорт горных пород : учеб. пособие. Москва : МГИ, 1974. 168 с.

49. Кирия Р.В., Дзюба С.В., Мостовой В.Ф. Оптимальный объем аккумулирующих бункеров, работающих в системе конвейерного транспорта угольных шахт. *Системні технології*. 2020. № 1(126). С. 161 – 170.

50. Дзюба С.В. Определение основных соотношений движения аэросмеси в системах трубопроводного транспорта с учетом изменения технологических параметров. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали III міжнарод. наук. конф., 4-6.11.2010 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2010. С. 153 – 155.

Read-only

51. Дырда В.И., Лисица Н.И., Козуб Г.О., Толстенко О.В., Ахалтсов Г.М., Новикова А.В., Филипенко О.Н., Дзюба С.В. Охрана труда при работе машин, работающих при длительных циклических нагрузках. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2019. № 144. С. 83 – 90.

52. Конт-Белло Ж. Турбулентное течение в канале с параллельными стенками: переводное издание / пер. с фр. О. П. Шаталов. Москва : Мир, 1968. 176 с.

53. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений : справочное пособие / под ред. Д. Д. Лаппо. Москва : Энергоатомиздат, 1988. 624 с.

54. Юфин А. П., Белова Н. Т., Корыванова В. Д., Филимонова И. В. О распределении скорости и консистенции гидросмеси по сечению горизонтального трубопровода. *Дальний трубопроводный гидротранспорт сыпучих материалов :* материалы Всесоюз. науч. конф., Тбилиси : Мецниереба, 1974. С. 42–53.

55. Дзюба С.В. Основные методы управления режимом течения аэросмеси в системах трубопроводного транспорта. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали регіон. наук. конф., присвяченої пам'яті проф. М.М. Бєляєва, 16-17.11.2006 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2006. С. 90 – 91.

56. Дзюба С.В. Моделирование потоков аэросмеси в системах трубопроводного транспорта для нестационарных режимов течения. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали II міжнарод. наук. конф. на честь 90-річчя Дніпропетровського університету та до 80-річчя зі дня народження професора М.М. Бєляєва, 13-15.11.2008р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2008. С. 101 – 103.

57. Дзюба С.В., Киричко С.М. Обґрунтування нечіткої експертної системи з урахуванням неповних вихідних даних для визначення стадії життєвого циклу підприємств гірничої галузі. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях*: материалы Десятой Юбилейной Промышленной международ. научно-техн. конф., 18-22.02.2010 п. Славское, 2010 г. С. 131 – 142.

Read-only

РОЗДІЛ 5
ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ ТА МЕХАНІЗМІВ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ ЛОГІСТИКИ В ГІДРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

5.1 Обґрунтування методів оптимізації двоетапного розподілу матеріально-сировинних потоків на підприємствах гірничої галузі

Важливу роль для розвитку паливно-енергетичного комплексу відіграє гірничовидобувна галузь, оскільки запаси вугілля потенційно достатні для практично повного забезпечення потреб національного господарства країни. І, як зазначено в [1], використання розвіданих в даний час запасів вугілля, із залученням науково-обґрунтованих технологій на стадіях видобутку, збагачення, переробки та застосування палива і енергії забезпечить енергетичну безпеку країни без залучення зарубіжних енергоресурсів. А здобуття потенційних вигод з освоєння паливних ресурсів можливе лише за умови довгострокового, відповідального підходу до розвитку гірничодобувної галузі.

В умовах функціонування підземного гірничого підприємства матеріальні потоки являють собою взаємопов'язану особливим чином сукупність логістичних операцій, процесів, ланок і предметів, починаючи з підготовки родовища до розробки, видобутку, переробки матеріальних ресурсів і закінчуючи споживанням (перерозподілом) готової продукції для досягнення загальних цілей логістичної системи. Транспортні системи шахт нерозривно пов'язані з потоковими процесами підприємств, що входять в систему виробничих об'єднань. У логістичних системах ПЕК склад фактично є проміжною ланкою між гірничодобувним підприємством і споживачами вугілля, і його розглядають як виробничий елемент [2].

У цілому, транспортно-логістичні системи паливно-енергетичного комплексу, в яких реалізуються процеси кругообігу матеріальних ресурсів, є досить ємкими і складними, так як характеризуються великим числом

Read-only

господарюючих суб'єктів і посередників, розміщених в різних регіонах і на великих територіях, різним попитом різних споживачів, багатьма іншими факторами, що зумовлюють особливості організації процесу руху матеріальних ресурсів.

У цьому розділі в якості об'єкта дослідження розглянуто двоетапний процес розподілу матеріальних потоків в транспортно-логістичній системи, структурними елементами якої є шахти (надалі - центри першого етапу), які здійснюють видобуток вугілля, безперервно розподіленого на певній території, і підприємства, які вугілля споживають або переробляють (центри другого етапу). Як відомо, за кожною шахтою закріплюється територія (зона) видобутку. Рух сировини здійснюється спочатку в напрямку від кожної точки даної зони безпосередньо до місця його накопичення на відповідній шахті, а потім розсортований ресурс направляється в певних кількостях на підприємства, які виступають в якості споживачів - теплоелектроцентралі (ТЕЦ), збагачувальні фабрики, інші суб'єкти.

Актуальність даних досліджень обумовлено однією з найбільш виражених тенденцій в видобувних і переробних галузях промисловості, а саме; створенням територіально-розподілених багаторівневих компаній, що включають в себе десятки великих підприємств і здійснюють повний цикл виробництва від видобутку сировини з його комплексним використанням, переробкою до транспортування кінцевим споживачам.

Розглянемо певну територію з відомими запасами сировини, місця розташування функціонуючих шахт (центрів першого етапу) і зони їх видобутку. Вихідна сировина накопичується в місцях відвантаження на шахтах і направляється на збагачувальні фабрики і ТЕЦ (підприємства другого етапу). Існуючі шахти мають обмежені виробничі потужності (через спрацювання устаткування з часом або вичерпання ресурсів) і не можуть в повній мірі забезпечити потреби в сировині підприємства другого етапу. Виникає необхідність пошуку на заданій території місць для відкриття нових шахт (однієї або декількох), визначення зон їх обслуговування з видобутку та

Read-Only

переробки мінеральної сировини, а також кількість сировини для пересортування, що транспортується від всіх шахт до підприємств другого етапу (див. рис. 5.1).

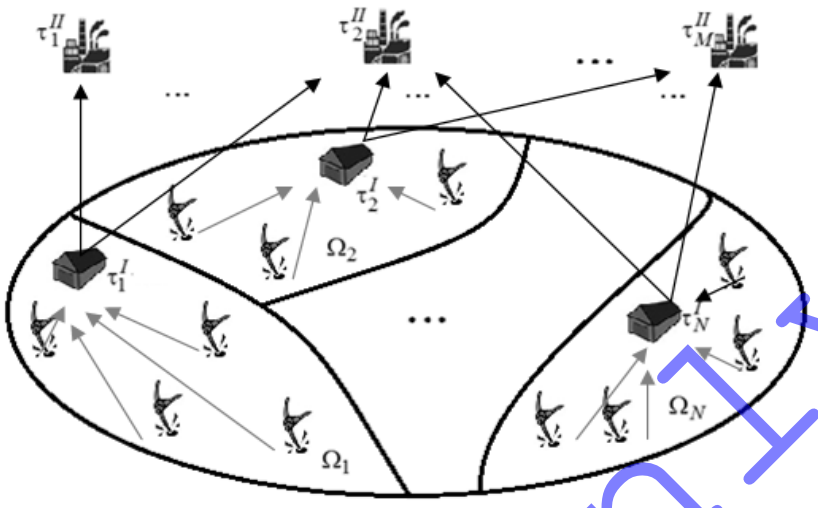


Рисунок 5.1 – Схема руху ресурсу в транспортно-логістичній системі на підприємствах гірничодобувної галузі

Математична модель описаної задачі являє собою двоетапну задачу оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками (ОРМДЗ) [3, 4]. Для її формулювання введемо такі позначення:

Ω – область, на якій розподілений ресурс, і де можуть бути розміщені центри першого етапу;

$\rho(x)$ – кількість ресурсу в точці x;

N – кількість центрів першого етапу;

M – кількість центрів другого етапу;

S – загальна кількість ресурсу в заданій області;

τ_i^r – координати i-центру r-го етапу;

b_i^r – виробнича потужність i-го центру r-го етапу, $r = I, II$;

$c_i^I(x, \tau_i^I)$ – вартість доставки одиниці ресурсу від точки $x \in \Omega$ до центру τ_i^I;

$c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II})$ – вартість доставки одиниці ресурсу від центру τ_i^I до центру τ_j^{II};

Read-only

a_i – вартість сортування, відвантаження ресурсу на підприємстві τ_i^I, розрахована на одиницю ресурсу;

v_{ij} – кількість ресурсу, який доставляється з центру τ_i^I на підприємство τ_j^{II};

Σ_Ω^N – клас всіх можливих розбитів множини Ω на N непересічних підмножин; $\overline{\omega} = \{\Omega_1,...,\Omega_N\}$ – елемент класу Σ_Ω^N;

$F(\cdot)$ – цільовий функціонал задачі ОРМДЗ;

R_{NM}^+ – NM - мірний простір невід'ємних дійсних чисел.

Задача А. Потрібно знайти таке розбиття множини Ω на N непересічних підмножин $\overline{\omega} = \{\Omega_1, \Omega_2, ..., \Omega_N\}$ (серед яких можуть бути і порожні), визначити координати $\tau_1^I,...,\tau_N^I$ цих підмножин і такі обсяги перевезень $v_{11},...,v_{NM}$, при яких функціонал

$$F(\overline{\omega}, \tau^I, v) = \sum_{i=1}^{N} \int_{\Omega_i} c_i^I(x, \tau_i^I)\rho(x)dx + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_i\right)v_{ij}; \tag{5.1}$$

досягав би мінімального значення, і виконувались би наступні умови:

$$\int_{\Omega_i} \rho(x)dx = \sum_{j=1}^{M} v_{ij}, \quad i = \overline{1,N} \tag{5.2}$$

$$\sum_{i=1}^{N} v_{ij} = b_j^{II}, \quad j = \overline{1,M}, \tag{5.3}$$

$$\overline{\omega} \in \Sigma_\Omega^N, \quad v \in R_{NM}^+, \quad \tau^I \in \Omega^N \tag{5.4}$$

$$\Sigma_\Omega^N = \left\{\overline{\omega} = \{\Omega_1, \Omega_2, ..., \Omega_N\}: \quad \bigcup_{i=1}^{N} \Omega_i = \Omega, mes(\Omega_i \cap \Omega_j) = 0, i \neq j, i, j = \overline{1,N}\right\} \tag{5.5}$$

Read-only

У випадку, коли центри $\tau_1^I,...,\tau_N^I$ відомі заздалегідь, сформулюється безперервна задача оптимального розбиття множини при фіксованих центрах підмножин (або безперервна задача ОРЗ з додатковими зв'язками):

Задача А1. Розглянемо наступне: $F(\overline{\omega},\nu)\to\min$ при умовах (5.2) − (5.5).

Питанням оптимізації обсягів поставок і розробки механізмів зменшення сукупних витрат на збереження запасів на підприємствах гірничодобувної галузі присвячено багато наукових праць вітчизняних, зокрема [1, 2, 5 - 7 та ін.], і зарубіжних вчених, наприклад, [8 − 24].

Механізми управління ланцюгами поставок в системах паливно-енергетичного комплексу України вивчалися в роботах [1, 5]. В [2] автори вирішують задачу визначення поточного значення запасу вугілля на складі з урахуванням фінансових втрат, пов'язаних з тим, що при тривалому зберіганні вугілля на складі він втрачає свої споживчі якості, крім того, виникає необхідність збільшення витрат на ворушіння вугілля, щоб уникнути його злежуваності. В [6] на основі математичного моделювання роботи конвеєрного транспорту вугільних шахт побудовано алгоритм визначення середньої енергоємності транспортування гірничої маси. Виявлено, що найбільш істотними параметрами, що впливають на ефективність функціонування підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт, є величини вантажопотоків, що надходять з лав, продуктивності живильників, обсяги бункерів і вартість електроенергії. Методологічні основи логістичного інтелектуального управління виробничими комплексами і проектами по їх створенню представлені в роботі [7]. Дослідження [8] присвячено аналізу оптимальних місць розміщення і масштабу електростанцій, що працюють на викопному паливі, для зниження споживання викопного вуглецю в енергетичному секторі Японії при декількох сценаріях попиту на електроенергію. Показано, що з внутрішньо регіональної точки зору електростанції на викопному паливі можуть бути побудовані в районах з високим попитом на електроенергію. Крім того, за винятком вищевказаних

Read-only

областей, виробництво електроенергії, що працюють на викопному паливі, буде варіюватися в залежності від наявності відновлюваних джерел енергії та попиту на електроенергію. Відзначено, що майбутня кліматична політика, регіональний попит на електроенергію і наявність регіональних поновлюваних джерел енергії повинні враховуватися при плануванні розвитку промислових комплексів.

В [9] розроблено метод для створення графіків видобутку, обробки та транспортування, які враховують зміну умов роботи на поточному етапі обробки або при транспортуванні. У цьому методі рішення, знайдене з використанням звичайних оптимізаторів, поліпшується за допомогою збурень, пов'язаних з трьома різними рівнями прийняття рішень: збурення на основі розміру видобутих блоків, збурення на основі альтернативних варіантів обробки (тонке або грубе подрібнення) і збурення на основі транспортної системи.

Широкий огляд наукових робіт, які вивчають логістичні проблеми на підприємствах гірничодобувних комплексів, представлено в роботі [10]. Гірничодобувний комплекс інтерпретується як система ланцюжків поставок, в якій матеріал трансформується з одного виду діяльності в інший. Основні види діяльності (або етапи) включають: видобуток матеріалів з одного або декількох джерел (родовищ); змішування матеріалу з урахуванням накопичення; обробка матеріалу за різними шляхами обробки з урахуванням декількох операційних альтернатив; транспортування продуктів в порт або до кінцевих споживачів з використанням однієї або декількох транспортних систем.

Останні розробки в області моделювання та оптимізації підходів видобутку мінеральних і енергетичних ресурсів привели до появи нових систем одночасної стохастичної оптимізації та відповідних цифрових технологій. Гірничодобувний комплекс являє собою тип ланцюжка створення вартості, відповідно до якої сировина (мінерали), яку видобудовують із різних родовищ корисних копалин, перетворюється в набір продуктів, що продаються з використанням доступних потоків обробки. Поставка матеріалів, видобутих з

Read-Only

групи шахт, є основним джерелом невизначеності в гірничодобувній промисловості і ланцюжках створення вартості корисних копалин. Одночасна стохастична оптимізація гірничодобувних комплексів, представлена в цьому документі, спрямована на усунення основних обмежень минулих підходів шляхом моделювання та оптимізації декількох взаємопов'язаних аспектів ланцюжка створення вартості корисних копалин в одній моделі. Ця єдина оптимізаційна модель об'єднує витяг матеріалу з набору джерел разом з їх невизначеністю, яка пов'язана з ризиками управління, змішування, накопичення, нелінійного перетворення, що відбуваються в доступних потоках переробки, використання потоків переробки і, нарешті, транспортуванням продуктів кінцевим споживачам.

Незважаючи на велику кількість наукових робіт з оптимізації та розвитку паливно-енергетичних комплексів і їх галузей, питання збалансованості сировинних потоків на сучасному етапі розвитку ПЕК залишаються відкритими.

На відміну від [10], де для моделювання та оптимізації гірського комплексу використовується двоетапна стохастична змішана нелінійна задача цілочисельного програмування, в [9, 11, 12] при формулюванні багатоетапних завдань розміщення-розподілу передбачається, що початковий ресурс займає суцільно (щільно) деяку територію . В цьому випадку математичні моделі набувають безперервний характер і являють собою завдання нескінченновимірного програмування. Безперервність сформульованого в роботі завдання обумовлена ще й можливістю розміщення центрів першого етапу в будь-якій точці заданої континуальної множини. У даній роботі продемонстровано можливість використання математичного забезпечення, розробленого для вирішення безперервних багатоетапних задач оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками, при організації логістичних систем в гірничо видобувній галузі.

Опис методу розв'язання задачі. Припускаємо, що для задачі (5.1) − (5.5) виконуються обмеження

Read-only

$$\sum_{j=1}^{M} b_j^{II} = \int_{\Omega} \rho(x)dx, \tag{5.6}$$

при яких множина допустимих розбиттів, що відповідають умовам (5.2), (5.3) не є порожньою.

У відповідності з методикою рішення лінійних безперервних задач оптимального розбиття множин [11], вихідна задача (5.1) - (5.5) записується в еквівалентній формі як задача нескінченновимірного математичного програмування з булевими змінними.

Нехай вектор-функція $\lambda = (\lambda_1(\cdot), \ldots, \lambda_N(\cdot))$ складається з характеристичних функцій підмножин, що утворюють розбиття множини Ω:

$$\lambda_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in \Omega_i \\ 0, & x \in \Omega \setminus \Omega_i, \quad i = 1, \ldots, N \end{cases} \tag{5.7}$$

Задача B, відповідно розглянемо для знаходження

$$\min_{(\lambda(\cdot), \tau^N, \nu) \in \Gamma \times \Omega^N \times R_{NM}^{+}} I(\lambda(\cdot), \tau^N, \nu), \tag{5.8}$$

$$I(\lambda(\cdot), \tau^N, \nu) = \sum_{i=1}^{N} \int_{\Omega} c_i^I(x, \tau_i^I) \rho(x) \lambda_i(x) dx + \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \left(c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_i \right) \cdot \nu_{ij} \tag{5.9}$$

$$\sum_{i=1}^{N} \nu_{ij} = b_j^{II}, \qquad j = 1, 2, \ldots, M, \tag{5.10}$$

$$\sum_{j=1}^{M} \nu_{ij} = \int_{\Omega} \rho(x) \lambda_i(x) dx, \qquad i = 1, 2, \ldots, N, \tag{5.11}$$

Read-only

$$\Gamma=\left\{\lambda(x)=(\lambda_1(x),...,\lambda_N(x)):\lambda_i(x)=0\vee 1, i=\overline{1,N}, \sum_{i=1}^{N}\lambda_i(x)=1 \text{ м.с. для } x\in\Omega\right\} \quad (5.12)$$

Далі, від задачі B відбувається перехід до задачі зі значеннями функцій $\lambda_i(\cdot)$ з відрізка $[0;1]$, $i=\overline{1,N}$.

Задача C. Відповідно розглянемо для знаходження

$$\min_{(\lambda(\cdot),\tau^N,\nu)\in\Gamma_0\times\Omega^N\times R^+_{NM}} I(\lambda(\cdot),\tau^N,\nu), \quad (5.13)$$

$$I(\lambda(\cdot),\tau^N,\nu)=\sum_{i=1}^{N}\int_{\Omega}c_i^I(x,\tau_i^I)\rho(x)\lambda_i(x)dx+\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(c_{ij}^{II}(\tau_i^I,\tau_j^{II})+a_i\right)\cdot\nu_{ij}, \quad (5.14)$$

$$\sum_{i=1}^{N}\nu_{ij}=b_j^{II}, \qquad j=1,2,...,M, \quad (5.15)$$

$$\sum_{j=1}^{M}\nu_{ij}=\int_{\Omega}\rho(x)\lambda_i(x)dx, \qquad i=1,2,...,N, \quad (5.16)$$

$$\Gamma_0=\left\{\lambda(x)=(\lambda_1(x),...,\lambda_N(x)):0\le\lambda_i(x)\le 1, i=\overline{1,N}, \sum_{i=1}^{N}\lambda_i(x)=1 \text{ м.с. для } x\in\Omega\right\} \quad (5.17)$$

Оскільки безліч оптимальних рішень задачі C містить в собі оптимальні рішення задачі B, тим самим рішення задачі B зводиться до вирішення задачі C і відбору з усіх її оптимальних рішень тих, які є і рішеннями нашої вихідної задачі B.

Доказано [12], що якщо в розглянутих задачах функція $\rho(x)\ge 0$ м.с. для $x\in\Omega$, а параметри $b_1^{II},...,b_M^{II}$ задовольняють умовам (5.6), то необхідною і достатньою умовами того, що можливе розбиття $(\Omega_{*1},...,\Omega_{*i},...,\Omega_{*N})\in\sum_{\Omega}^{N}$ множини Ω – оптимальне для розглянутої задачі, є існування таких дійсних констант $\psi_1,\psi_2,...,\psi_N$, що

Read-only

$$c_i^I\left(x,\tau_i^I\right)+\psi_i \le c_j^I\left(x,\tau_j^I\right)+\psi_j,\ i\ne j \text{ м.с. для } x\in\Omega_{*i}, i, j=1,...,N. \quad (5.18)$$

В точках x, які належать оптимальній межі між підмножинами Ω_{*i} і Ω_{*j}, у нерівності (5.18) досягається знак рівності.

Оптимальне рішення задачі при умовах, що функція $\rho(x)\ge 0$ майже повсюду для $x\in\Omega$, і виконується умова (5.6), має вигляд: для $i=1,...,N$ і майже всіх $x\in\Omega$

де τ_{*i}^I, ψ_i^*, $i=1,...,N$, – оптимальне рішення наступної задачі:

$$G(\psi)\to \max,\ \psi\in R^N \quad (5.19)$$

$$G(\psi)=\min_{\{\tau^I,\nu\}\in\Omega^N\times R_{NM}^+} G_1\left(\{\tau^I,\nu\},\psi\right), \quad (5.20)$$

$$G_1\left(\{\tau^I,\nu\},\psi\right)=\int_\Omega \min_k\left(c_k^I\left(x,\tau_k^I\right)+\psi_k\right)\rho(x)dx+\sum_{j=1}^M b_j \max_{k=\overline{1,N}}\left(\psi_k-c_{kj}^{II}\left(\tau_k^I,\tau_j^{II}\right)-a_i\right) \quad (5.21)$$

У випадку, коли центри першого етапу $\tau_1^I,...,\tau_N^I$ в задачі А фіксовані, доказано, що необхідними і достатніми умовами оптимальності пари $\{\lambda^*(\cdot),\nu^*\}\in\Gamma_0\times R_{NM}^+$ для відповідної задачі В є існування таких дійсних констант ψ_i^*, $i=1,...,N$ і η_j^*, $j=1,...,M$, при яких виконуються наступні умови:

1) для усіх $i=1,...,N$ і майже всіх $x\in\Omega$

$$\lambda_{*i}(x)=\begin{cases}1, & \text{я я } \quad c_i^I\left(x,\tau_i^I\right)+\psi_i^* = \min\limits_{m=\overline{1,N}}\left(c_m^I\left(x,\tau_m^I\right)+\psi_m^*\right)\\ 0 & \text{в інших випадках},\ \ i=1,...,N\end{cases} \quad (5.22)$$

2) для усіх $i=1,...,N$ і $j=1,...,M$

$$\begin{cases}c_{ij}^{II}\left(\tau_i^I,\tau_j^{II}\right)+a_i=\psi_i^*+\eta_j^*, & \text{я} \quad \nu_{ij}^*>0\\ c_{ij}^{II}\left(\tau_i^I,\tau_j^{II}\right)+a_i>\psi_i^*+\eta_j^*, & \text{я} \quad \nu_{ij}^*=0\end{cases} \quad (5.23)$$

компонента ν_{ij}^* – оптимальне рішення транспортної задачі:

Read-only

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} c_{ij}^{II}\left(\tau_i^I, \tau_j^{II}\right)\nu_{ij} \to \min, \tag{5.24}$$

$$\sum_{j=1}^{M} \nu_{ij} = b_i^{I*}, \quad b_i^{I*} = \int_{\Omega} \rho(x)\lambda_i^*(x)dx, \quad i = 1,2,...,N, \, , \tag{5.25}$$

$$\sum_{i=1}^{N} \nu_{ij} = b_j^{II}, \quad j = 1,2,...,M, \tag{5.26}$$

$$\nu_{ij} \geq 0, \quad i = 1,2,...,N \;\; j = 1,2,...,M. \tag{5.27}$$

Подвійні змінні ψ_i і η_j, як і в класичних задачах транспортного типу, називаються потенціалами центрів τ_i^I і τ_j^{II} відповідно.

В [12] запропоновано ітераційний алгоритм розв'язання розглянутої задачі, який розроблено на основі формул (5.22) и (5.23) в припущенні, що $\rho(x) \geq 0$ для усіх $x \in \Omega$. Цей алгоритм модифіковано з урахуванням необхідності розміщення підприємств першого етапу.

Чисельний розв’язок сформульованої задачі ОРМДЗ на основі наведених вище необхідних і достатніх умов оптимальності передбачає запис завдання (5.19) в наступному вигляді:

$$\begin{aligned}\max_{\psi \in R^N} G(\psi) &= \min_{\{\tau^I, \nu\} \in \Omega^N \times R_{NM}^+} G_1\left(\{\tau^I, \nu\}, \psi\right) = \min_{\{\tau^I, \nu\} \in \Omega^N \times R_{NM}^+} \max_{\psi \in R^N} G_1\left(\{\tau^I, \nu\}, \psi\right) = \\ &= \min_{\tau^I \in \Omega^N} \min_{\nu \in R_{NM}^+} \max_{\psi \in R^N} G_1\left(\{\tau^I, \nu\}, \psi\right) = \min_{\tau^I \in \Omega^N} Q\left(\tau^I\right)\end{aligned} \tag{5.28}$$

де

$$Q\left(\tau^I\right) = \min_{\nu \in R_{NM}^+} \max_{\psi \in R^N} G_1\left(\{\tau^I, \nu\}, \psi\right). \tag{5.29}$$

Read-only

При кожному фіксованому векторі $\tau^I \in \Omega^N$ значення функції $Q(\tau^I)$ являє собою оптимальне значення двоїстого функціоналу, побудованого для сформульованої в термінах характеристичних функцій підмножин безперервної задачі ОРМДЗ з фіксованими центрами. Ключовою складовою виступає метод субградієнтного спуску з розтягуванням простору в напрямку різниці двох послідовних субградієнтов − r-алгоритма Шора, за допомогою якого здійснюється пошук локальних безумовних мінімумів негладких функцій багатьох змінних.

Врахування обмежень $\tau^I \in \Omega^N$ може бути здійснений за допомогою оператора проектування $P_{\Omega N}$, якщо множина Ω − опукла, замкнута і має досить просту структуру, яка не викликає необхідності для відшукання проекції точки на множині і вирішувати допоміжну задачу умовної оптимізації. Якщо структура множини Ω досить складна, то її форму слід описати за допомогою обмежень-нерівностей, для обліку яких, в свою чергу, можуть бути використані негладкі штрафні функції.

Алгоритм рішення двоетапної безперервної задачі ОРЗ з розміщенням центрів першого етапу програмно реалізована в середовищі Delphi 7.0. При його чисельній реалізації проводиться дискретизація заданої області. Для обчислення кратних інтегралів в розробленій програмі застосовується кубатурна формула трапецій, задача (5.24) – (5.27) вирішується за допомогою методу потенціалів.

Перевірка коректності роботи алгоритму здійснена на модельних прикладах для випадку, коли множина Ω представляє собою квадрат $\Omega = \{(x, y): 0 \le x \le 1, 0 \le y \le 1\}$. Не втрачаючи загальності, передбачаємо, що підприємства і першого і другого етапів належать області Ω.

У всіх експериментах, результати яких наведені нижче: $\varepsilon_1 = 0{,}0001$, $\varepsilon_2 = 0{,}001$; параметри r-алгоритму $\alpha = 3$, $\beta = 0{,}9$, $\varepsilon_1 = 10^{-4}$; $\rho(x) = 1 \forall x \in \Omega$; $a_i = 0 \forall i = \overline{1, N}$; для усіх $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$

Read-only

$$c_i^I(x,\tau_i^I)=\sqrt{\left(x_1-\tau_{1i}^I\right)^2+\left(x_2-\tau_{2i}^I\right)^2}\ ,\ c_{ij}^{II}(\tau_i^I,\tau_j^{II})=\sqrt{\left(\tau_{1i}^I-\tau_{1j}^{II}\right)^2+\left(\tau_{2i}^I-\tau_{2j}^{II}\right)^2}\quad (5.30)$$

Правильність роботи вище приведеного алгоритму підтверджується і гіперболічною формою границь між підмножинами, складовими оптимального розбиття множини. Наведемо тут розв'язання модельної задачі 1 з такими даними:

− сітка дискретизації області − $101\times101=1021$;

− $N=M=2$; $b^{II}=(0{,}5;\ 0{,}5)$; $\tau_1^{II}=(0{,}25;\ 0{,}5)$; $\tau_2^{II}=(0{,}75;\ 0{,}5)$;

− початкове наближення центрів першого етапу $\tau_1^{(0)}=(0{,}1;\ 0{,}3)$, $\tau_2^0=(0{,}8;0{,}6)$.

Оптимальне розв'язання було отримано на 58-й ітерації r-алгоритму. Йому відповідають наступні значення шуканих величин: $I=0{,}3039$; $\tau_1^{I*}=(0{,}263;0{,}498)$, $\tau_2^{I*}=(0{,}752;0{,}502)$; $v_{11}^*=0{,}5$, $v_{12}^*=0{,}0168$, $v_{22}^*=0{,}4832$. Оптимальне розбиття і розміщення центрів представлено на рис. 5.2.

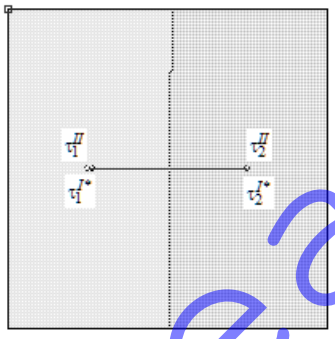


Рисунок 5.2 – Оптимальний розв'язок у модельній задачі 1

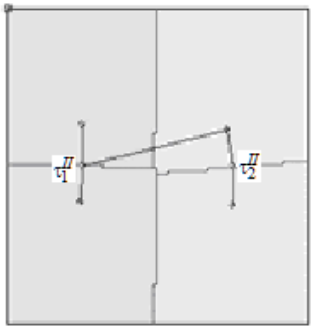


Рисунок 5.3 – Оптимальне розбиття Ω та схеми зв'язків в задачах ОРМДЗ розміщенням чотирьох центрів першого етапу: $b_j^{II}=0{,}5$; $j=1$

Як видно з рисунків, центри першого етапу були розміщені майже в тих же точках, що і задані центри другого етапу, а оптимальним розбиттям одиничного квадрата виявилася класична діаграма Діріхле-Вороного для цих точок. В силу простого правила промислового управління будь-яка виробнича одиниця повинна бути розташована найближче до джерела сировини або ринку, або до

Read-only

обох, якщо це можливо. Такий принцип простежується і на рис. 5.3 – 5.5. Тут представлено результати оптимального розміщення 4-х, і 6-ти підприємств першого етапу і відповідне розбиття заданої множини з урахуванням додаткових зв'язків цих центрів з двома (рис. 5.3, 5.4) і 9-ма (рис. 5.5) споживачами.

У [11] відзначено, що в умовах модельної задачі 1 точки τ_i^I, які отримані при її розв'язанні, також як і пара точок (0,5;0,25) і (0,5;0,75), разом з їх діаграмами Діріхле-Вороного є точками глобального оптимуму задачі ОРЗ з розміщенням центрів підмножин. Значення цільового функціоналу, отриманого в результаті вирішення модельної розглянутої задачі, відрізняється від глобального мінімуму функціоналу в задачі розбиття одиничного квадрата на величину δ = 0,3039 − 0,2966=0,0073. Таким чином, можна зробити висновок про глобальність (з прийнятною точністю) знайденого оптимального вирішення задачі, що розглядається і коректності роботи алгоритму.

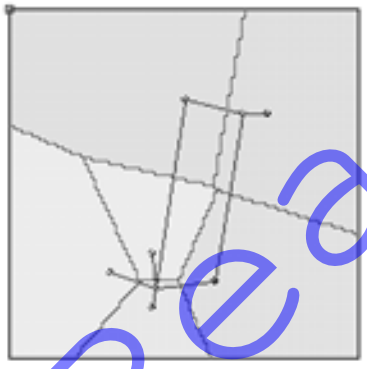


Рисунок 5.4 – Оптимальне розбиття Ω та схеми зв'язків в задачах ОРМДЗ: $N=6$, $M=2$; $b_j^{II}=0.5,\ j=1,2$;

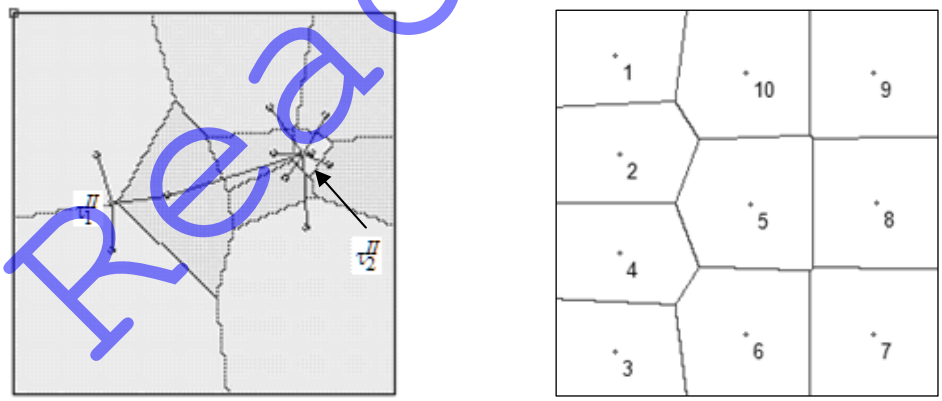
Рисунок 5.5 – Оптимальний розв'язок задачі ОРМДЗ: $N=4$, $M=9$; $b^{II}=(0.1;0.12;0.1;0.12;0.09;0.1;0.1.0.1;0.16)$

Доцільність постановки і розв'язку безперервних задач ОРМДЗ при формуванні систем двоетапного транспортування матеріально-сировинних ресурсів, які суцільно займають певну територію, підтверджується розв'язком наступної модельної задачі.

Read-only

Модельна задача 2. Нехай на тому ж одиничному квадраті знаходиться рівномірно розподілений ресурс. Необхідно розбити квадрат на 10 зон, розмістити відповідні центри першого етапу і визначити їх можливі зв'язки з двома центрами другого етапу з обсягами споживання $b_1^{II} = b_2^{II} = 0,5$ так, щоб мінімізувати сумарні витрати на доставку ресурсу до центрів першого етапу, а також витрати на транспортування ресурсу до центрів другого етапу. Звернення до центру другого етапу див. на рис. 5.6, а. Тут же представлено оптимальне розташування центрів першого етапу, відповідні їм зони обслуговування, а також вказано додаткові зв'язки між підприємствами першого і другого етапів. Значення цільового функціоналу при такому розміщенні-розподілі дорівнює $I = 0,33069$.

На рис. 5.6, б представлено оптимальне розміщення центрів першого етапу і відповідні їм зони, отримані при реалізації наступного підходу. Спочатку вирішувалося завдання ОРЗ з розміщенням центрів і критерієм якості розбиття, рівним першому доданку функціоналу (5.1), а потім при отриманих координатах центрів першого етапу була вирішена задача транспортного типу з критерієм, рівним другому доданку в (5.1).



а б

Рисунок 5.6 – Оптимальне розбиття множини Ω та розміщення центрів в задачах: а – ОРМЗД; б – ОРМ

Сума значень цільових функціоналів зазначених задач становить: $I_1 + I_2 = 0,1222 + 0,00964 = 0,423164$, що істотно більше оптимальної величини

Read-only

критерію якості завдання ОРМДЗ. Таким чином, наведений приклад показує, наскільки важливо для отримання синергетичного ефекту формулювати задачу оптимізації двоступеневих логістичних процесів з безперервно-розподіленим ресурсом у вигляді задач (5.1) − (5.5).

5.2 Оптимізація логістичних зв'язків в системі двоетапного транспортування ресурсу, який неперервно розподілено на заданій території

У попередньому підрозділу було розглянуто двоетапний процес розподілу матеріальних потоків транспортно-логістичної системи, структурними елементами якої були шахти (центри першого етапу), що здійснюють видобуток вугілля, безперервно розподіленого на деякій території, і підприємства, які споживають або переробляють вугілля (центри другого етапу) [13-16] . При цьому передбачалося, що за кожною шахтою закріплюється певна територія (зона) видобутку. Рух сировини в системі здійснюється спочатку в напрямку від кожної точки даної зони безпосередньо до місця його накопичення на відповідній шахті, а потім розсортований ресурс направляється в певних кількостях на підприємства, які виступають в якості споживачів – теплоелектроцентралі (ТЕЦ), збагачувальні фабрики та інші об'єкти. У зазначеній роботі були приведені математичні моделі таких багатоетапних завдань розподілу ресурсу, безперервно розподіленого на заданій області. Вперше такі завдання і їх програми були розглянуті в [17]. Безперервний характер їх обумовлений не тільки можливістю розміщення центрів першого етапу в будь-якій точці заданої континуальної множини, але і необхідністю розбиття самої множини або його частини на кілька зон. Метод вирішення сформульованих завдань заснований на ідеї зведення їх до задач нескінченновимірного математичного програмування, для яких, в свою чергу, за допомогою застосування апарату теорії подвійності оптимальний розв’язок вдається отримати в аналітичному вигляді. Хоча в отриманих розрахункових формулах і містяться параметри, що підлягають визначенню, для чого потрібно

Read-only

вирішувати допоміжну задачу оптимізації негладкої функції, виграш описаного підходу полягає в тому, що цільова функція результуючої оптимізаційної задачі залежить лише від скінченного числа змінних, що дозволяє застосовувати для її вирішення будь-які методи кінечномірної недиференційованої оптимізації [18,19].

Даний підрозділ присвячено розробці та обґрунтуванню чисельному алгоритму розв’язання двоетапної задачі розподілу безперервно розподіленого на заданій області ресурсу, заснованого на описаному вище математичному апараті. Цей алгоритм, на відміну від алгоритму, розробленого для вирішення аналогічних задач в роботі [20], не передбачає вирішення задачі лінійного програмування транспортного типу на кожному кроці ітераційного процесу. Така задача вирішується лише один раз для відшукання обсягів перевезень продукції між підприємствами першого і другого етапів після того, як знайдено інші компоненти оптимального розв’язання. Програмна реалізація алгоритму здійснена з використанням сучасних геоінформаційних технологій і ресурсів. Роботу алгоритму показано на прикладі розв’язання модельної задачі оптимізації двоетапного розподілу матеріального потоку, яка може виникнути на підприємствах паливно-енергетичного комплексу, не прив'язуючись конкретно до жодних існуючих промислових об'єктів.

В [13-16] було показано, що за рахунок формулювання і вирішення відповідних безперервних задач оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками можливе зниження транспортних витрат на підприємствах паливно-енергетичного комплексу, пов'язаних з видобутком вугілля на виділеній території і доставкою його на склади відповідних шахт, а потім до остаточних споживачів.

Як зазначено в [13,15], актуальність таких наукових досліджень обумовлена створенням в даний час територіально-розподілених багаторівневих компаній, що включають в себе десятки великих підприємств і здійснюють повний цикл виробництва від видобутку сировини з його

Read-only

комплексним використанням, переробкою до транспортування кінцевим споживачам.

В якості ресурсу, що розподіляється розглянемо мінеральну сировину, що видобувається на новому відкритому родовищі. Постановка і математична модель задачі оптимізації двоетапного розподілу матеріально-сировинного потоку виглядає наступним чином.

Нехай є деяка територія з відомими оцінками запасу вугілля і підприємства, які потребують певної кількості цього вугілля. Потрібно знайти на виділеній території місця розміщення нових шахт і за кожною з них закріпити зону видобутку, так щоб витрати по збору та доставки вугілля до складів шахти, а потім до кінцевих споживачів були мінімальними. Одночасно необхідно визначити, яка шахта і в якій кількості повинна поставляти вугілля на підприємства другого етапу так, щоб задовольнити повністю потребу в цьому ресурсі. В математичній моделі використовуємо такі ж позначення, як і в попередньому підрозділі.

Потрібно знайти таке розбиття множини на непересічні підмножини $\overline{\omega} = \{\Omega_1, \Omega_2, ..., \Omega_N\}$ (серед яких можуть бути і порожні), визначити координати $\tau_1^I, ..., \tau_N^I$ цих підмножин і такі обсяги перевезень $v_{11}, ..., v_{NM}$, при яких функціонал (5.1) досягав би мінімального значення, і виконувалися наступні умови: де Σ_Ω^N – клас всіх можливих розбитів множини Ω на N непересічних підмножин; $\overline{\omega} = \{\Omega_1, \Omega_2, ..., \Omega_N\}$ – елемент класу Σ_Ω^N; R_{NM}^+ – NM-мірний простір невід'ємних дійсних чисел.

При розробці та обґрунтуванні алгоритму вирішення поставленої задачі розглянемо лише ті роботи, в яких при вирішенні подібних проблем використовуються сучасні ГІС-технології.

Загальний інтерес до використання геоінформаційних систем в різних областях практичної діяльності викликало таку їхню перевагу перед іншими інформаційними системами, як можливість об'єднання різнорідних даних на основі географічної інформації. В даний час ГІС широко використовуються в

Read-only

містобудівної діяльності, природокористуванні та багатьох інших областях, надаючи користувачам можливості вирішення завдань просторового аналізу, планування і прогнозування.

ГІС зберігає інформацію про реальний світ у вигляді набору тематичних шарів, які об'єднані на основі географічного положення. Цей простий, але дуже гнучкий підхід довів свою цінність при вирішенні різноманітних реальних завдань. Електронні карти, як правило, містять повну інформацію про протяжності доріг, їх зв'язності та умови переміщення по них (швидкісні режими, заборонені з'їзди, наявність перевалочних пунктів і так далі).

Так, в [21] на основі багатоспектральних супутникових і супутніх даних про геологію, геоморфологію, топографію, населених пунктах і транспортних розв'язках, лісового покриву, гідрології та клімату розроблена платформа для вибору відповідного майданчика для розміщення ТЕС уздовж гірничодобувного району Індії. Цифрова інформація з супутника після попередньої обробки використовувалася для вивчення запасу пласта лігніту, а також аналізу використання землі та рослинного покриву. Інша тематична інформація, така як геологія, геоморфологія, межі вугільного басейну і інфраструктура, адміністративні кордони, канали і великі населені пункти були оцифровані з карт GSI і топографічних даних SOI відповідно. Всі тематичні векторні шари були об'єднані і представлені для накладення і виставлення пріоритетів. Вибір сайту для теплоелектростанції був заснований на чотирьох основних критеріях, таких як земля, вода, вугільна шахта і навколишнє середовище, і двох вторинних критеріях, а саме вартість і доступність місця розміщення. Розрахунок індексу придатності майданчиків виконано з використанням інструменту просторового аналізу в ArcGIS 9.3.

Робота [22] присвячена питанням оптимального планування розподілених енергосистем на основі біомаси з метою задоволення потреб в електроенергії сільських регіонів Індії. Представлений тут підхід заснований на використанні інтелектуального аналізу даних і сучасних ГІС спільно з алгоритмом кластеризації k-medoid, щоб розділити весь регіон на кластери і

Read-only

знайти системи генерування енергії біомаси. Оптимальне значення k визначається ітеративно з урахуванням відповідності попиту і пропозиції і вибирається таким чином, щоб мінімізувати загальні витрати на установку системи, витрати на транспортування біомаси, а також на передачу і розподіл. Результати кластеризації представлені на карті ГІС для регіону.

Модифікація класичної проблеми p-медіани, яка враховує просторовий розподіл ресурсів постачання і конкуренцію за них з боку потенційних об'єктів, запропонована в [23]. Тут представлено спрощене дослідження, що дозволяє оптимально визначити анаеробні реактори (AD) масштабу спільноти в районі в Іст-Мідлендс у Великобританії.

В [24] представлено нове розширення ГІС під назвою ArcMine, розроблене для підтримки планування меліорації в занедбаних районах видобутку. ArcMine надає чотири інструменти для (а) оцінки небезпеки осідання шахти, (б) оцінки ерозії відходів шахти, (в) аналізу шляхів потоку шахтної води на поверхні і (г) визначення відповідних порід дерев для лісовідтворення шахти. Також в даній роботі представлена просторова база даних, що включає топографічну і геологічну карти, карту знесення шахти і дані про свердловини. Про користь інформації про мінні небезпеки, що міститься в ArcMine для підтримки планування меліорації, свідчать факти його впровадження і використання при аналізі занедбаних районів видобутку в Кореї.

В [25] розглянуто сучасні, засновані на геоінформаційних технологіях, методи та їх застосування для моделювання та оцінки небезпек, пов'язаних з видобутком корисних копалин, включаючи забруднення ґрунту, ерозію ґрунту, забруднення води і обезлісення.

Інші приклади використання ГІС в різних сферах життєдіяльності людини при вирішенні задач розміщення - розподілу, представлені в роботах [26 - 28, та ін.].

При вирішенні безперервних багатоетапних задач розміщення-розподілу сучасні ГІС-технології можуть бути використані для: 1) оцінки запасів корисних

Read-only

копалин на території, 2) врахування рельєфних та інших особливостей місцевості, на якій можуть бути розміщені нові промислові об'єкти; 3) визначення найкоротшого шляху і розрахунку його довжини між об'єктами і т.п. У даному підрозділі роботи будемо використовувати кроссплатформену геоінформаційну систему QGIS з відкритим кодом, яка надає можливість використовувати інструменти аналізу, вибірки, геопроцессінга, управління геометрією і базами даних. QGIS включає в себе і функціонал пошуку найкоротшого шляху, необхідний при вирішенні практичних задач оптимального розміщення-розподілу. Інформація про поклади корисних копалин на території України, їх запасах, видобутку, а також про існуючі підприємства гірничодобувного комплексу країни міститься, наприклад, на інформаційному ресурсі «Мінеральні ресурси України» [28], який створено з метою ознайомлення користувачів з сучасним станом мінерально-сировинної бази України.

Необхідні і достатні умови оптимальності для безперервної задачі оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками виду (5.1) − (5.5) отримано в попередньому підрозділі в припущенні про те, що функція $\rho(x) \geq 0$ для всіх $x \in \Omega$, і виконуються умови балансу (5.6).

Оптимальне розбиття множини Ω представлено у вигляді характеристичних функцій складових його підмножин: для $i = 1,...,N$ та для всіх $x \in \Omega$

$$\lambda_i^*(x) = \begin{cases} 1, \text{ if } c_i^I(x, \tau_{*i}^I) + \psi_i^* \leq c_k^I(x, \tau_{*k}^I) + \psi_k^*, \\ \qquad i \neq k, \text{ a.e. for } x \in \Omega, i, k = 1,...,N, \text{ then } x \in \Omega_{*i}, \\ 0 \quad \text{in the other cases,} \end{cases} \tag{5.31}$$

де $\tau_{*_i}^I$, ψ_i^*, $i = 1,...,N$ – вирішення наступної задачі:

Read-Only

$$G(\psi) \to \max_{\psi \in R^N}, \qquad G(\psi) = \min_{\tau^I \in \Omega^N} G_1\left(\tau^I, \psi\right), \tag{5.32}$$

$$G_1\left(\tau^I, \psi\right) = \int_\Omega \min_{k=\overline{1,N}} \left(c_k^I(x, \tau_k^I) + \psi_k\right) \rho(x) dx + \sum_{j=1}^{M} b_j \max_{i=\overline{1,N}} \left(\psi_i - c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) - a_i\right). \tag{5.33}$$

Компоненти $v_{ij}^*, i = \overline{1,N}, j = \overline{1,M}$ – це складові оптимального розв'язання транспортної задачі такого виду:

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \left(c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_i\right) v_{ij}^* \to \min, \tag{5.34}$$

$$\sum_{j=1}^{M} v_{ij} = b_i^{I*}, \; b_i^{I*} = \int_\Omega \rho(x) \lambda_i^*(x) dx, \quad i = \overline{1,N}, \tag{5.35}$$

$$\sum_{i=1}^{N} v_{ij} = b_j^{II}, \quad j = \overline{1,M}, \tag{5.36}$$

$$v_{ij} \geq 0, i = 1,\ldots,N; \; j = 1,\ldots,M. \tag{5.37}$$

Зауважимо, що функція $G_1\left(\tau^I, \psi\right)$, що є, по суті, уточненим двоїстим функціоналом задачі (5.1) − (5.5), явно не залежить від змінної ν (на відміну від двоїстої задачі, наведеної в роботі [20]). Цього вдалося досягти завдяки тому факту, що при будь-яких допустимих фіксованих центрах першого етапу $\tau_1^I, \ldots, \tau_N^I$ (в тому числі й оптимальних) критерієм оптимальності пари $\left\{\lambda^*(\cdot), \nu^*\right\}$ є існування таких дійсних констант $\psi_i^*, i = 1,\ldots,N$, и $\eta_j^*, j = 1,\ldots,M$, при яких, крім умов (5.31), справедливі також співвідношення:

Read-only

$$\begin{cases} c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_i = \psi_i^* + \eta_j^*, \text{ if } \nu_{ij}^* > 0, \\ c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) + a_i > \psi_i^* + \eta_j^*, \text{ if } \nu_{ij}^* = 0 \end{cases} \tag{5.38}$$

для всіх $i = 1,..., N$ и $j = 1,..., M$.

В силу зазначених відмінностей, представлений тут чисельний алгоритм розв'язання задачі (5.1) − (5.5) відрізняється від ітераційного алгоритму, запропонованого в [20]. Він передбачає спочатку розв’язок задачі (5.32) для відшукання оптимальних координат центрів першого етапу і відповідного розбиття множини, а потім, з урахуванням отриманих даних, – обчислення виробничих потужностей центрів першого етапу і розв’язування задачі (5.34) − (5.37). Але, як і в згаданому вище ітераційному алгоритмі, ключовою складовою виступає $r(\alpha)$-алгоритма з сталим коефіцієнтом розтягування простору і адаптивним способом регулювання крокового множника [19].

Врахування обмежень $\tau^I \in \Omega^N$ може бути здійснено за допомогою оператора проектування P_{Ω^N}, якщо множина Ω − опукла, замкнута та має достатньо просту структуру, яка не викликає необхідності для відшукання проекції точки на множині вирішувати допоміжну задачу умовної оптимізації. Якщо структура множини досить складна, то її форму слід описати за допомогою обмежень-нерівностей, для обліку яких, в свою чергу, можуть бути використані негладкі штрафні функції.

Алгоритм.

Ініціалізація. Область Ω укладаємо в прямокутний паралелепіпед Π, сторони якого паралельні осях Декартової системи координат, вважаємо $\rho(x) = 0$, якщо $x \in \Pi \setminus \Omega$. Паралелепіпед Π покриваємо прямокутної сіткою і задаємо початкове наближення вектора змінних функції $G_1(\tau, \psi)$ (далі будемо позначати його $u = (\tau^I, \psi)$): $u^{(0)} = (\tau^{I(0)}, \psi^{(0)})$. Далі для спрощення запису верхній індекс I у невідомих координат центрів першого етапу будемо опускати. Задаємо параметри α, q_1, q_2, n_k, ε модифікації $r(\alpha)$-алгоритма.

Вважаємо $k = 0$.

Read-only

Крок 1. Обчислюємо значення вектор-функції $\lambda^{(k)}(x) = (\lambda_1^{(k)}(x), \lambda_2^{(k)}(x), ..., \lambda_N^{(k)}(x))$ в вузлах сітки $x \in \Pi$ за формулами

$$\lambda_i^{(k)}(x) = \begin{cases} 1, \text{if } c_i^I(x, \tau_i^{(k)}) + \psi_i^{(k)} \le c_k^I(x, \tau_m^{(k)}) + \psi_m^{(k)}, \ m \ne i, \ m = 1,...,N, \\ 0 \quad \text{in the other cases}, \qquad\qquad i, = 1,...,N. \end{cases} \tag{5.39}$$

Обчислюємо значення функції $G_1(\tau, \psi)$ та вектора-псевдоградієнта цієї функції

$$g(u) = g(\tau, \psi) = \left(g^{\tau}(\tau, \psi), -g^{\psi}(\tau, \psi)\right) = \left(g^{\tau_1}(\tau, \psi), g^{\tau_2}(\tau, \psi), ... g^{\tau_N}(\tau, \psi), -g^{\psi_1}(\tau, \psi), -g^{\psi_2}(\tau, \psi), ..., -g^{\psi_N}(\tau, \psi)\right)$$

в вузлах сітки при $\tau = \tau^{(k)}, \psi = \psi^{(k)}, \lambda(x) = \lambda^{(k)}$.

Вибираємо початковий пробний крок $h_0 > 0$, вважаємо $B_0 = I_{3N}$ – квадратна матриця розміром $3N \times 3N$ та знаходимо $u^{(1)} = u^{(0)} - h_0 g(u^{(0)})$.

Якщо $\tau^{(1)} \notin \Pi^N$, то $\tau^{(1)} := \mathrm{P}_{\Pi^N}(\tau^{(1)})$, де $\mathrm{P}_{\Pi^N}(\cdot)$ – оператор проектування на Декартовій сітці Π^N.

Крок 2. Нехай у результаті обчислень після k, $k = 1,2,...$ кроків алгоритму отримано величини $\tau^{(k)}$ $\psi^{(k)}$, в вузлах сітки , матриці B_k.

Опишемо (k+1)-й крок.

1. Обчислюємо значення $\lambda^{(k)}(x)$ в вузлах сітки по формулі (5.39) при $\tau = \tau^{(k)}, \psi = \psi^{(k)}$.

2. Обчислюємо значення компонента вектора-псевдоградієнта $g(u^{(k)})$.

3. Проводимо чергову ітерацію $r(\alpha)$-алгоритму, обчислювальна формула якого має вигляд:

$$u^{(k+1)} = u^{(k)} - h_k B_{k+1} \frac{B_{k+1}^{\mathrm{T}} g(u^{(k)})}{\left\| B_{k+1}^{\mathrm{T}} g(u^{(k)}) \right\|}. \tag{5.40}$$

Тут B_{k+1} – оператор відображення перетвореного простору в основний простір з коефіцієнтом розтягування, який перераховується по

Read-only

формулі $B_{k+1} = B_k\left(I + \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)\theta_k(\theta_k)^{\mathrm{T}}\right)$, де I – одинична матриця відповідного розміру, θ_k – нормований вектор різниці двох послідовних псевдоградієнтів в перетвореному просторі, тобто:

$$\theta_k = \frac{B_{k+1}^{\mathrm{T}}\left(g(u^{(k)}) - g(u^{(k-1)})\right)}{\left\|B_{k+1}^{\mathrm{T}}\left(g(u^{(k)}) - g(u^{(k-1)})\right)\right\|}, \tag{5.41}$$

при умові, що $\left\|B_{k+1}^{\mathrm{T}}\left(g(u^{(k)}) - g(u^{(k-1)})\right)\right\| \geq \varepsilon_0$, і $\theta_k = 0$ в інших випадках, тут ε_0 – точність представлення машинного нуля в ЕОМ. Величина крокового множника h_k регулюється адаптивним способом з параметрами q_1, q_2, n_k.

Якщо $\tau^{(k+1)} \notin \Pi^N$, то $\tau^{(k+1)} := \mathrm{P}_{\Pi^N}(\tau^{(k+1)})$.

4. Якщо умова

$$\left\|u^{(k)} - u^{(k-1)}\right\| \leq \varepsilon, \varepsilon > 0, \tag{5.42}$$

не виконується, то переходимо до $(k+2)$-го кроку алгоритму, інакше – переходимо на п. 5.

5. Вважаємо $\tau^* = \tau^{(s)}, \psi^* = \psi^{(s)}, \lambda^*(x) = \lambda^{(s)}$, де s – номер ітерації, на якій виконується умова (5.42).

6. Обчислюємо значення $b_i^I = \int\limits_{\Omega} \rho(x)\lambda_i^*(x)dx$, $i = \overline{1,N}$, за допомогою кубатурної формули.

7. Визначаємо значення $\nu_{ij}^*, i = \overline{1,N}, j = \overline{1,M}$, розв'язанням задачі лінійного програмування транспортного типу (5.34) − (5.37).

8. Обчислюємо значення цільового функціоналу при τ^*, λ^*, ν^*. Кінець алгоритму.

Read-only

Зауваження 1. У наведеному алгоритмі врахування обмежень $\tau^I \in \Omega^N$ здійснюється за допомогою оператора проектування. Тому алгоритм 2 можна застосовувати до вирішення безперервної завдання ОРМДЗ лише в разі, коли множина - опукла, замкнуто і має досить просту структуру. Практичні задачі можуть припускати розміщення центрів першого етапу в певній області, часто неопуклої, а іноді і незв'язної, що має заборонені території (наприклад, при наявності в області водойм, промислових зон, річок і т.п.). Тоді доводиться вирішувати питання, пов'язані з тим, щоб не допустити розміщення центру на забороненій території. Для обліку «невиходу» за межі допустимої області розміщування центрів пропонується наступний підхід: на кожній ітерації перевіряти координати центрів на приналежність допустимій області та в разі, якщо будь-якої центр потрапляє в заборонену зону, знаходити його «псевдопроекцію» на множину, яку розбиває. При цьому під псевдопроекцією точки $z \in E_2$ на замкнуту множену $\Omega \subset E_2$ будемо розуміти будь-яку точку $w \in \Omega$, яка знаходиться на найкоротшій відстані від точки z.

Зауваження 2. Обчислювальна ефективність наведеного алгоритму залежить від коефіцієнта розтягування простору α і параметрів адаптивного регулювання кроку q_1, q_2, n_k із $r(\alpha)$-алгоритма. Для негладких функцій ці параметри раціонально обирати наступним чином: $\alpha = 2 \div 3$, $h_0 = 1$, $q_1 = 1, q_2 = 1.1 \div 1.2, n_k = 2 \div 3$ [18]. Параметр q_1 − коефіцієнт зменшення кроку, якщо умова релаксації ітераційного процесу за поточним напрямком спуску виконується за один крок, q_2 – коефіцієнт збільшення кроку, при цьому натуральне число n_k (n_k>1) задає кількість кроків одновимірного спуску, після яких крок буде збільшуватися в q_2 раз.

Зауваження 3. Алгоритм легко модифікується на випадок фіксованих координат центрів першого етапу. При цьому для відшукання компонент характеристичних функцій підмножин, що становлять оптимальне розбиття множини Ω, замість задачі (5.32), (5.33) вирішується задача безумовної максимізації негладкою функції

Read-only

$$G_2(\psi) \to \max_{\psi \in R^N}, \tag{5.43}$$

$$G_2(\psi) = \int_{\Omega} \min_{k=\overline{1,N}} \left(c_k^I(x, \tau_k^I) + \psi_k \right) \rho(x) dx + \sum_{j=1}^{M} b_j \max_{i=\overline{1,N}} \left(\psi_i - c_{ij}^{II}(\tau_i^I, \tau_j^{II}) - a_i \right). \tag{5.44}$$

Формули (5.1) – (5.44) дозволили сформулювати наступне наукове положення: 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.

Новизна наукового положення полягає в тому, що вперше визначено умови досягнення оптимального управління в двоетапних задачах розподілу матеріально-сировинних потоків в транспортно-логістичних системах.

Обґрунтованість та достовірність цих наукових положень визначається коректністю постановки вирішуваних завдань, використанням апробованих методів розв’язання транспортної задачі, безперервного оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками, теорії двоїстих функціоналів, методів умовної оптимізації при чисельних та ітераційних алгоритмах, а також постулатів, підтверджених результатами експериментальних досліджень інших авторів.

Приклади реалізації алгоритмів розв'язання задач ОМРМ з використанням геоінформаційних систем і ресурсів

Наведемо результати роботи розробленого програмного продукту для вирішення модельних двоступеневих завдань ОРМДЗ. Як території, на якій здійснюється збір ресурсу, розглянемо родовища кам'яного вугілля в Дніпропетровській області, дані про які надані інтерактивною картою [29, 30]

Read-only

(рис. 5.7). Місця розташування підприємств другого етапу будемо задавати довільно на території області, не прив'язуючись до жодних конкретних об'єктів.

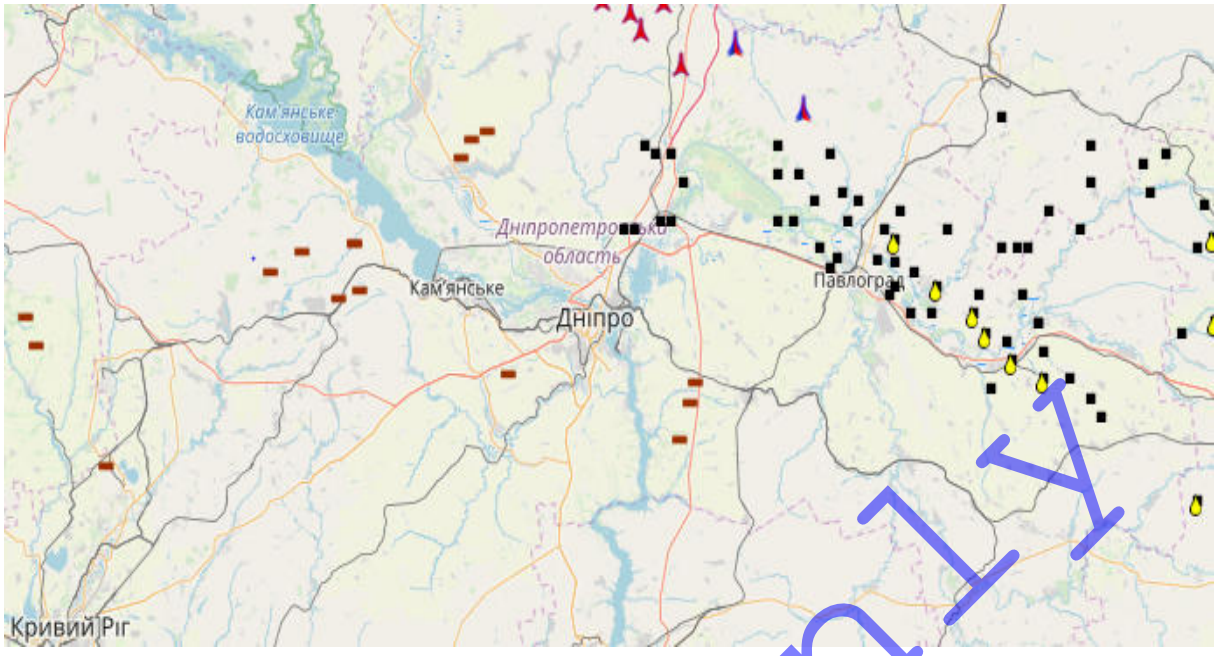


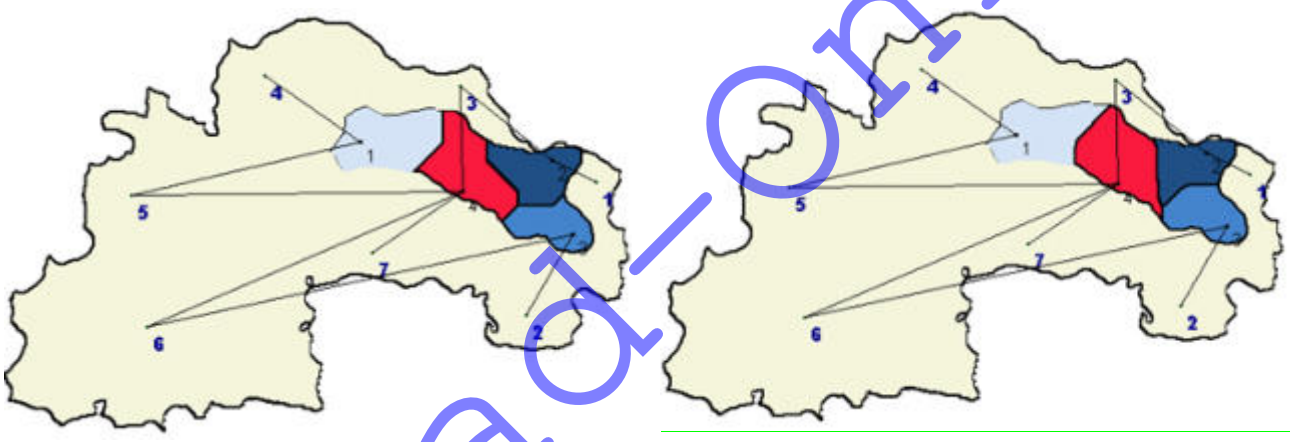
Рис. 5.7 – Родовища кам'яного вугілля на території Дніпропетровської області

Підготовчий етап обробки електронних карт полягає у видаленні з малюнка карти місць, які не належать території регіону за допомогою графічного редактора. Введемо умовну (відносну) прямокутну систему координат, прийнявши за початок довільну точку так, щоб розглянута область повністю містилася в прямокутнику $\Pi = \{(x_1, x_2): 0 \le x_1 \le 12; 0 \le x_2 \le 12\}$. В якості множини Ω, що розбивається виступає територія, відповідна на мапі самому родовищу . При чисельної реалізації алгоритмів проводиться дискретизація заданої області. Для обчислення кратних інтегралів в розробленій програмі застосовується кубатурна формула трапецій, задача (5.18) − (5.21) вирішується за допомогою методу потенціалів. Всі розрахунки було проведено при наступних значеннях похибки і параметрів $r(\alpha)$-алгоритма: $\varepsilon_{1,2} = 0.0001$; $\alpha = 3$, $\beta = 0.9$, $\varepsilon = 0.0001$. У всіх наведених нижче задачах передбачається, що сумарні потреби в ресурсі для підприємств другого етапу складають одну умовну одиницю. А отже, відповідно до умови (5.6), сумарний обсяг ресурсу, що збирається всіма підприємствами першого етапу, також

Read-Only

дорівнює одній умовній одиниці. Для обчислення функцій $\tilde{n}_i^I(x,\tau_i)$ і $\tilde{n}_{ij}^{II}(\tau_i,\tau_j)$ застосовується метрика Минковського $\tilde{n}(x,y)=\left((x_1-y_1)^p+(x_2-y_2)^p\right)^{1/p}$ при конкретному завданні параметра p. Функція $\rho(x)=1$ для всіх точок області Ω.

Безперервна задача ОРМДЗ з фіксованими центрами (рис. 5.8). Початкові дані: $N=4, M=7$; τ_1^I=(6.094; 3.52), τ_2^I=(9.35; 3.828), τ_3^I= (9.702; 5.082), τ_4^I = (7.832; 4.356); τ_1^{II}=(10.098; 4.202), τ_2^{II}= (8.91; 6.446), τ_3^{II} = (7.788; 2.574), τ_4^{II}=(4.466; 2.398), τ_5^{II}= (2.2; 4.422), τ_6^{II} = (2.464; 6.644), τ_7^{II}=(6.292;5.39); b^{II}=(0.174; 0.06; 0.127; 0.154; 0.158; 0.192; 0.131).



а) б)

Рисунок 5.8 – Оптимальне розбиття множини і схема перевезень ресурсу між підприємствами першого і другого етапів

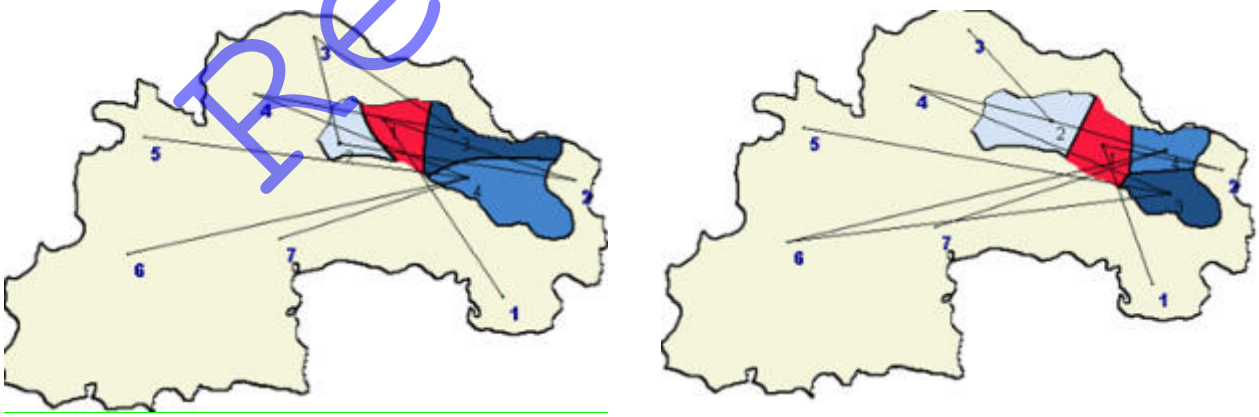
На рис. 5.8 представлені оптимальні розбиття множини і вказані зв'язки підприємств першого і другого етапів в двох варіантах: а) параметр метрики Минковського $p=1$ і для функцій $c_i^I(x,\tau_i)$, і для функцій $c_{ij}^{II}(\tau_i,\tau_j)$, $a_i=0, i=\overline{1,4}$; б) $p=10$ для функцій $c_i^I(x,\tau_i)$, $p=1$ для функцій $c_{ij}^{II}(\tau_i,\tau_j)$, a = (0.5; 0.62; 0.36; 0.45). Кількість зібраного ресурсу відповідними підприємствами першого етапу при цьому склало з точністю 0.001: а) b^I = (0.307; 0.219; 0.178;

Read-only

0.295); б) b^I = (0.29; 0. 194; 0.201; 0.313). Як видно з рисунка, наявність зв'язку між підприємствами першого і другого етапів ідентична, є невелика різниця лише в кількості перевезеного ресурсу.

Неперервна задача ОРМДЗ з розміщенням центрів I етапу.

Задача 2.1 Дане завдання вирішувалася при різних вихідних даних. Вхідна інформація. : $N=4, M=7$; τ_1^{II}=(8.8; 6.4), τ_2^{II}= (10.1; 4.36), τ_3^{II} = (5.5; 1.8), τ_4^{II}=(4.5; 2.8), τ_5^{II}= (2.6; 3.6), τ_6^{II} = (2.3; 5.6), τ_7^{II}=(4.95;5.37); b^{II}=(0.14; 0.173; 0.134; 0.16; 0.133; 0.076; 0.181); $a_i=0, i=\overline{1,4}$, $p^{I,II}=2$. Початкове розташування центрів першого етапу показано на рис. 5.9, а. Тут же зображено відповідне йому розбиття множини і схема додаткових зв'язків як розв'язок ОРМДЗ з фіксованими центрами. Відзначимо, що значення цільового функціоналу (5.1) задачі при таких даних дорівнює 4.4322 умовних одиниць. При вирішенні задачі ОРМДЗ з розміщенням центрів отримано наступні компоненти оптимального рішення: τ_1^I=(7.93; 3.92), τ_2^I=(7.01; 3.45), τ_3^I= (9.13; 4.78), τ_4^I = (9.07; 4.0); ν_{11}=0.14, ν_{12}=0.08, ν_{22}=0.09, ν_{23}=0.134, ν_{24}=0.127, ν_{34}=0.033, ν_{35}=0.136, ν_{36}=0.072, ν_{46}=0.004, ν_{47}=0.182. Оптимальне розбиття і додаткові зв'язки зображені на рис. 5.9, б. Оптимальне значення функціоналу 3.5011 умовних одиниць, що значно менше в порівнянні з вказаною вище величиною.

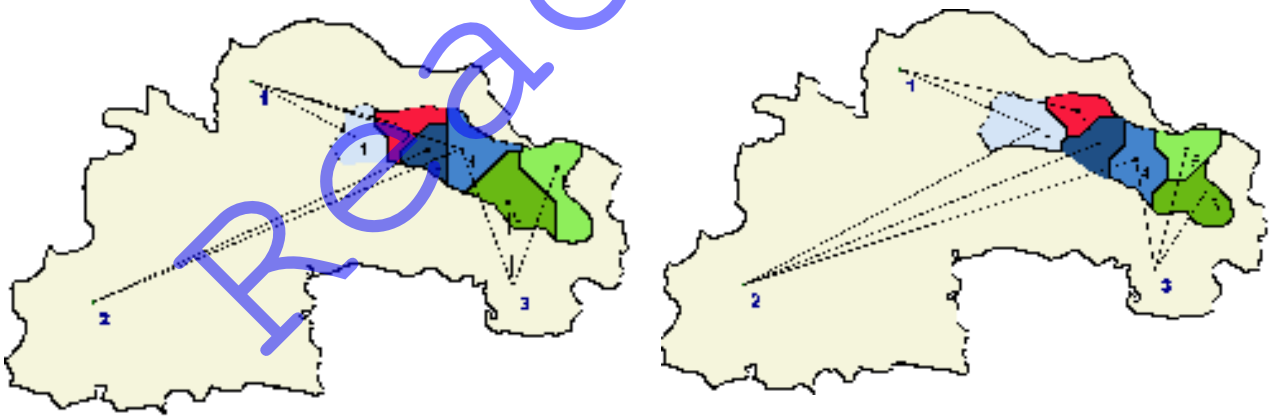


а) б)

Рисунок 5.9 – Оптимальне розбиття множини і схема перевезень ресурсу між підприємствами першого і другого етапів в розглянутій задачі 2.1

Read-only

Задача 2.2. Вхідна інформація: $N = 6, M = 3$; τ_1^{II}=(4.246;2.53), τ_2^{II}= (1.54; 6.424), τ_3^{II} = (8.7; 6.16); b^{II}=(0.337; 0.161; 0.502); $a^I = (0.12,0.15,0.18,0.1,0.13,0.17)$, $a_i^{II} = 0, i = \overline{1,3}$, $p^{I,II} = 1$. На рис. 5.10, а показано початкове розташування центрів першого етапу, а також відповідне розбиття множини і схема додаткових зв'язків, отримані як рішення задачі ОРМДЗ з фіксованими центрами. Значення цільового функціоналу (5.1) задачі при таких даних дорівнює 7.13 умов. один. При вирішенні задачі ОРМДЗ з розміщенням центрів отримано наступні компоненти оптимального рішення: τ_1^I=(6.7; 3.6), τ_2^I=(7.39; 3.3), τ_3^I= (7.7; 3.9), τ_4^I = (8.35; 4.13), τ_5^I= (9.2; 3.96), τ_6^I = (9.57; 4.75); ν_{11}=0.214, ν_{21}=0.122, ν_{12}=0.021, ν_{32}=0.13, ν_{42}=0.01, ν_{43}=0.171, ν_{53}=0.143, ν_{63}=0.188. Кількість зібраного ресурсу відповідними підприємствами першого етапу при цьому склало з точністю 0.001 дорівнює b^I= (0.236; 0.122; 0.129; 0.181; 0.142; 0.188). Оптимальне розбиття і додаткові зв'язки зображені на (рис. 5.10, б). Значення функціоналу 7.06 умовних одиниць



а) б)

Рисунок 5.10 – Оптимальне розбиття множини і схема перевезень ресурсу між підприємствами першого і другого етапів в задачі 2.2

Read-only

Для стислості представлення результатів рішення інших завдань в табл. 5.1 наведемо лише оптимальне розбиття при фіксованих центрах першого етапу (в початковому їх наближенні), а також оптимальне їх розміщення з відображенням закріплених за ними зон і додатковими зв'язками з підприємствами другого етапу. Зауважимо, що у всіх експериментах з оптимального розміщення центрів спостерігається зниження цільового функціоналу на 10 - 30% в порівнянні з його значенням на початковому наближенні.

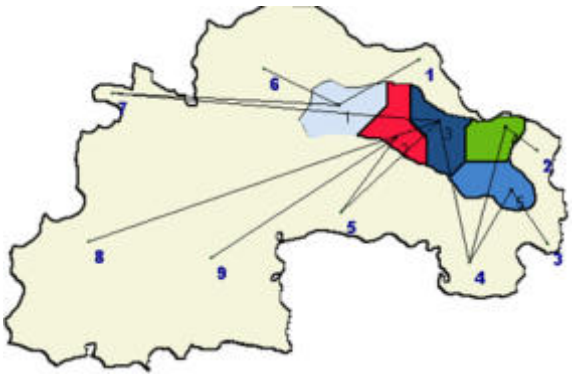
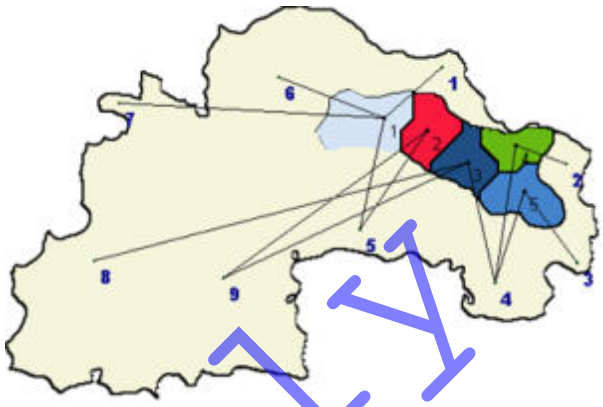
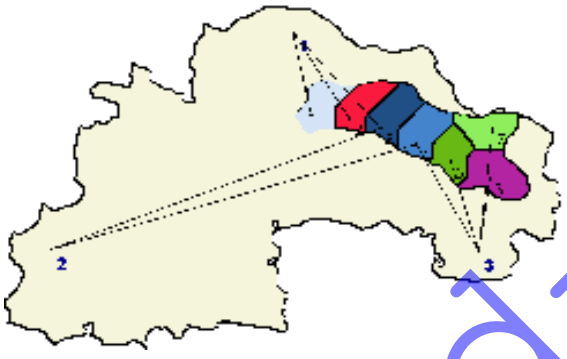
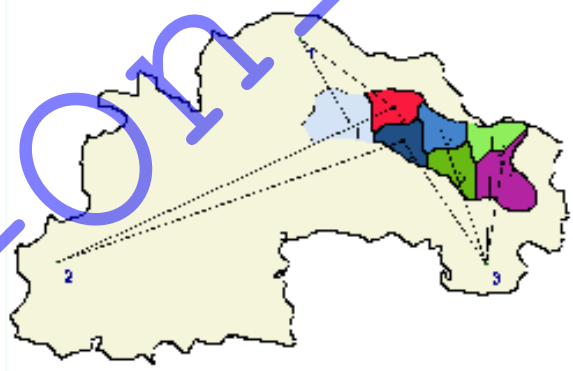
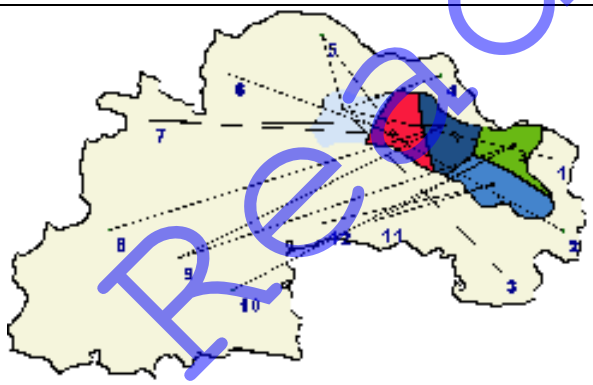
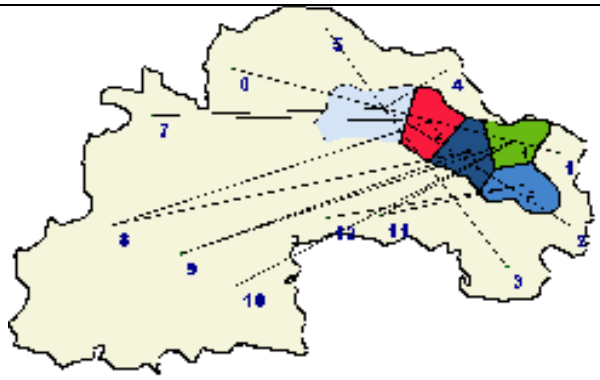
Для порівняння в першому рядку таблиці наведені результати розбиття з використанням манхеттенської метрики; в другій - метрики Минковського, p=10; у третій − Евклидової метрики. Зауважимо, що при вирішенні конкретних практичних двоступеневих задач ОРМДЗ з фіксованими центрами для пошуку найкоротшого шляху між будь-якими двома центрами першого і другого етапів з урахуванням дорожнього графа можна використовувати бібліотеку Google Maps Distance Matrix API.

З метою скорочення числа звернень до бібліотеки Google Maps Distance Matrix API, а, отже, і кількості задіяних обчислювальних ресурсів - як обсягу оперативної пам'яті і часу, необхідного на виконання як одного запиту, так і в цілому всіх запитів, рішення задачі ОРМДЗ з розміщенням центрів може проводитися в два етапи. На першому етапі слід вирішити задачу з функціями відстаней, рівними одній з відомих метрик - манхеттенська, Евклидова, Минковського, Чебишева. Вибір метрики здійснюється шляхом попереднього порівняння результатів розбиття конкретного регіону на основі відстаней між точками, що обчислюються теоретично і за допомогою ГІС.

На другому етапі, підключаючи ГІС для пошуку фактичної відстані між знайденими центрами та точками регіону, визначається оптимальне розбиття заданого регіону і витрати на перевезення ресурсу між підприємствами першого і другого етапів. Задача (5.1) − (5.5) є неперервною задачею оптимального розбиття множини з додатковими зв’язками.

Read-Only

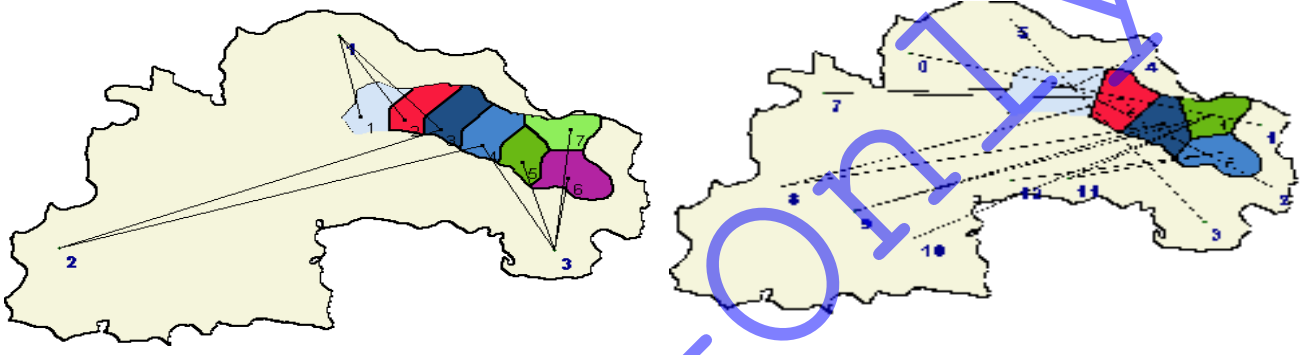
Таблиця 5.1. Результати рішення безперервних завдань ОРМДЗ з розміщенням центрів I етапу

№ п/п	Оптимальне розбиття множини Ω та схема перевозок	
	начальне розташування центрів I етапу	Оптимальне розташування центрів I етапу
1		
2		
3		

Read-only

На рис. 5.11 А представлено результати оптимального розбиття множини Ω та визначено зв'язки в рамках сталого функціонування ІГС у двох варіантах: а) параметр метрики Минковського $p=1$ і для функцій $\tilde{n}_i^I(x,\tau_i)$ і для функцій $\tilde{n}_{ij}^{II}(\tau_i,\tau_j)$, $a_i=0$, $i=\overline{1,4}$; б) $p=10$ для функцій $\tilde{n}_i^I(x,\tau_i)$, $p=1$ для функцій

$c_{ij}^{II}(\tau_i, \tau_j)$, a = (0,5; 0,62; 0,36; 0,45). Кількість зібраного ресурсу відповідними елементами ІГС першого етапу при цьому склало з точністю до 0.0001: а) b^I = (0,307; 0,219; 0,178; 0,295); б) b^I = (0,29; 0,194; 0,201; 0,313).. Як видно із рис. 5.11 а та рис. 5.11 б, наявність зв'язку між основними елементами ІГС першого і другого етапів ідентичні, є невелика різниця лише в об'ємі перевезеного ресурсу. Всі елементи двоетапної логістичної системи розглянуто як взаємопов'язані і взаємодіючі для досягнення спільної мети функціонування ІГС.



а) б)

1, 2, 3…12 – результати оптимального розбиття центрів І етапу та схема оптимального перерозподілу матеріально-сировинних потоків з відображенням закріплених за ними зонами і додатковими зв'язками зі споживачами ресурсів

Рисунок 5.11 – Оптимальне розбиття множини та схема транспортування ресурсу в рамках функціонування інфраструктурної геотехнічної системи

Проведено оптимізацію функціонування не окремих елементів, а логістичної системи в цілому. При цьому враховувалася сукупність витрат, які пов'язані з управлінням матеріальними потоками по усьому логістичному ланцюжку, починаючи від моменту зародження потоку аж до надходження його кінцевому споживачеві. І, отже, вироблено узгодження локальних інтересів і цілей функціонування окремих елементів системи з головною

Read-Only

цільовою функцією системи – досягнення оптимальних транспортних і супутніх витрат всієї двоетапної логістичної системи.

5.3 Моделювання роботи елементів логістики гідравлічних систем усередині збагачувальних фабрик

5.3.1 Характеристика елементів гідравлічних мереж усередині збагачувальних фабрик.

Вперше гідравлічні мережі технологій збагачення мінеральної сировини представлені як складна система вузлів логістики (ВЛ), технологічного обладнання та трубопровідних установок. Це дозволило розробити математичні моделі процесів у всіх перерахованих елементах, що враховують особливості елементів кожного виду, а також послідовність їх з'єднання. На відміну від відомих [31 – 35], розроблені математичні моделі описують умови поділу потоків води, гідросуміші і твердого матеріалу в розглянутих елементах з урахуванням сепараційних характеристик вузлів, гранулометричного і щільнісного складів мінеральної сировини. Завдяки цьому пропоноване методичне забезпечення розрахунків гідравлічних мереж дозволяє визначати гранулометричний і щільнісний склади матеріалів, що надходять в продукт на транспортування і в відходи ВЛ, а також величини витрат гідросуміші, води і твердої фази. Для забезпечення стійкості режимів роботи гідравлічних мереж технологій збагачення обґрунтовано межі допустимих діапазонів зміни параметрів матеріалу, що транспортується, і потоків гідросуміші, а також технічних характеристик елементів мереж, в межах яких дотримуються вимоги, що пред'являються до процесу сепарації та якості його продуктів.

Гідравлічні мережі технологій збагачення мінеральної сировини є складними системами, в яких ВЛ і технологічне обладнання з'єднані між собою трубопровідними установками. Від того, наскільки узгодженими будуть параметри цих елементів, залежить ефективність всієї технології збагачення, що вимагає вивчення гідравлічних і технологічних властивостей гідравлічних мереж.

Read-only

Принципова відмінність між трубопровідною установкою, ВЛ і технологічним обладнанням полягає в їх функціональному призначенні. Так, трубопровідні установки призначені для переміщення живлення і продуктів сепарації від одного виду обладнання до іншого без зміни характеристик потоку і матеріалу, який транспортується. При цьому течія гідросуміші в трубопровідних установках може здійснюватися самопливом або за допомогою насосного агрегату. ВЛ призначені для зміни характеристик потоків з метою сепарації цінного компонента. Технологічне обладнання необхідне для зміни характеристик потоку з метою забезпечення ефективної роботи ВЛ або насосного агрегату [31-35].

До трубопровідних установок технологій збагачення мінеральної сировини відносяться насосні і самопливні установки, що забезпечують подачу гідросуміші до збагачувальних апаратів, відведення відходів збагачення, переливів зумпфів і згущуваних воронок, а також подачу води до вузлів логістики. Технологічним обладнанням вважають зумпфи насосів, що забезпечують безкавітаційну роботу, згущувальні воронки, що забезпечують стабільність параметрів живлення і розподіл гідросуміші між ВЛ, вакуум-фільтри і нерухомі решітки, зневоднену гідросуміш, зумпфи і згущувальні воронки, які використовуються для утворення гідросуміші, а також скрубери, бутари і мийні машини [13-18]. При цьому зумпфи та згущувальні воронки відносять до обладнання першого типу, а вакуум-фільтри, нерухомі решітки, скрубери, бутари і мийні машини - до обладнання другого типу.

Прикладами ВЛ можуть служити гідроциклони, конусні, гвинтові і струменеві сепаратори, гідравлічні грохоти, концентраційні столи, відсаджувальні і флотаційні машини, спіральні класифікатори [31-35].

Трубопровідні установки мають тільки гідравлічні властивості, які відображають залежність витрати гідросуміші і напору насоса для даної установки від концентрації і параметрів твердої фази. ВЛ, на відміну від технологічного обладнання, володіє як гідравлічними, так і технологічними властивостями. Гідравлічні властивості ВЛ і технологічного обладнання схожі,

Read-only

вони відображають залежність витрати гідросуміші і твердої фази в злив і в продукт на транспортування від параметрів живлення і твердої фази. Сепараційні характеристики ВЛ показують, яка частка частинок того чи іншого розміру і щільності виймається з живлення в продукт на транспортування і в злив.

Тверда фаза гідросуміші розглядається як суміш різнорідних по щільності і середньої крупності твердих компонентів (див. табл. 5.1). Кожному компоненту відповідає свій гранулометричний склад і своя середня щільність частинок [36-44]. Вміст компонента в матеріалі характеризується його масовою часткою. Сукупність цих масових часток утворює матрицю $\|p_{ij}\|$, стовпці якої – гранулометричні склади компонентів з різною щільністю, а рядки – щільнісні склади частинок різних класів крупності (табл. 5.2). Будемо називати цю матрицю матрицею параметрів матеріалу. Знаючи значення елементів цієї матриці, за допомогою математичного моделювання гідравлічних процесів в ВЛ за відомими значеннями об'ємної витрати гідросуміші, вантажопотоку, масової концентрації і щільності твердого в живленні розраховують значення цих величин в концентраті і в відходах [45-51].

У табл. 5.2 прийнято наступні позначення:

$d_j^{(1)}$ – мінімальний діаметр частинок j-го класу крупності, мм;

$d_j^{(2)}$ – максимальний діаметр частинок j-го класу крупності, мм;

m – кількість класів крупності матеріалу, що транспортується;

$\bar{\rho}_s^i$ – середня щільність частинок i-го компоненту матеріалу, т/м^3;

θ_i – масова частка i-го компонента матеріалу, що транспортується, %;

n – кількість компонентів матеріалу, що транспортується;

p_{ij} – масова частка частинок j-го класу крупності i-го компонента матеріалу, %.

Read-only

Таблиця 5.2 – Характеристики параметрів матеріалу

Межі класу крупності, мм			Масова частка					Масова частка класів крупності, %
Мінімум	Максимум	Середнє	$\overline{\rho}_s^1$	…	$\overline{\rho}_s^i$	…	$\overline{\rho}_s^n$	
$d_1^{(1)}$	$d_1^{(2)}$	$d_1 = \frac{d_1^{(1)} + d_1^{(2)}}{2}$	p_{11}	…	p_{i1}	…	p_{n1}	$\delta_1 = \sum_{i=1}^{n} p_{i1}$
…	…	…	…	…		…		
$d_j^{(1)}$	$d_j^{(2)}$	$d_j = \frac{d_j^{(1)} + d_j^{(2)}}{2}$	p_{1j}	…	p_{ij}	…	p_{nj}	$\delta_j = \sum_{i=1}^{n} p_{ij}$
…	…	…	…	…		…		
$d_m^{(1)}$	$d_m^{(2)}$	$d_m = \frac{d_m^{(1)} + d_m^{(2)}}{2}$	p_{1m}	…	p_{im}	…	p_{nm}	$\delta_m = \sum_{i=1}^{n} p_{im}$
Масова частка компонентів, частка один.			$\theta_1 = \sum_{j=1}^{m} p_{1j}$		$\theta_i = \sum_{j=1}^{m} p_{ij}$	…	$\theta_n = \sum_{j=1}^{m} p_{nj}$	

Read-only

Крім того, при відомій матриці $\|p_{ij}^{\alpha}\|$ за результатами моделювання будують сепараційні матриці ВЛ по гірничій масі і за відходами, кожний елемент яких буде показувати, яка частина масової частки частинок j-го класу крупності в i-м компоненті матеріалу з живлення надходить в концентрат або в відходи $\|\beta_{ij}\|$ і $\|1-\beta_{ij}\|$ (рис. 5.12). Для моделювання використовують моделі гідравлічних процесів наведені в звітах за попередні етапи науково-дослідної роботи [47 – 50], або регресійний аналіз емпіричних даних [52-54].

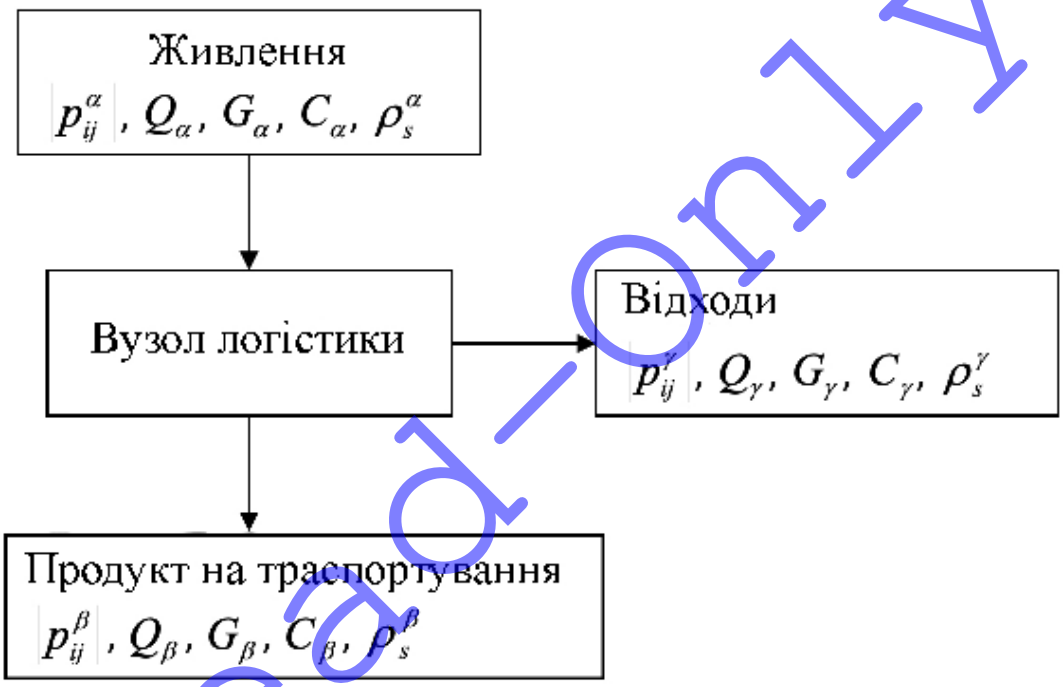


Рисунок 5.12 – Схема розподілу потоків гідросуміші і твердої фази, а також параметрів матеріалу при використанні ВЛ

Знаючи значення елементів матриць $\|\beta_{ij}\|$ и $\|1-\beta_{ij}\|$ і знаючи значення елементів матриць $\|p_{ij}^{\beta}\|$ и $\|p_{ij}^{\gamma}\|$ отримуємо наступний вираз

$$p_{ij}^{\beta} = \frac{\beta_{ij}}{\beta} p_{ij}^{\alpha}, \tag{5.45}$$

і після цього знаходимо

Read-only

$$p_{ij}^{\gamma} = \frac{1-\beta_{ij}}{1-\beta} p_{ij}^{\alpha}, \qquad (5.46)$$

$$\beta = \sum_{i=1}^{n} \beta_{ij} p_{ij}^{\alpha}, \qquad (5.47)$$

де p_{ij}^{β} – масова частка частинок j-го класу крупності i-го компоненту матеріалу в гірничій масі ВЛ;

β_{ij} – масова частка частинок j-го класу крупності в i-м компоненті матеріалу, який поступає з живлення до ВЛ;

β – масова частка частинок j-го класу крупності матеріалу, який поступає з живлення до ВЛ;

p_{ij}^{α} – масова частка частинок j-го класу крупності i-го компоненту матеріалу в живленні у ВЛ;

p_{ij}^{γ} – масова частка частинок j-го класу крупності i-го компоненту у відходах ВЛ.

При цьому для об'ємної витрати пульпи і води, а також вантажопотоку справедливі наступні рівняння збереження обсягу і маси:

$$Q_{\alpha} = Q_{\beta} + Q_{\gamma}, \qquad (5.48)$$

$$W_{\alpha} = W_{\beta} + W_{\gamma}, \qquad (5.49)$$

$$G_{\alpha} = G_{\beta} + G_{\gamma}, \qquad (5.50)$$

де Q_{α} – об'ємна витрата гідросуміші, яка подається у ВЛ;

Q_{β} – об'ємна витрата гідросуміші, яка подається до продукту на транспортування з ВЛ;

Q_{γ} – об'ємна витрата гідросуміші, яка подається у відходи з ВЛ;

W_{α} – об'ємна витрата води, яка подається до ВЛ;

Read-only

W_β – об'ємна витрата води, яка подається в концентрат з ВЛ;

W_γ – об'ємна витрата води, яка подається до відходів з ВЛ;

G_α – масова витрата твердого, або вантажопотік, що надходить з продукту на транспортування до ВЛ;

G_β – масова витрата твердого, або вантажопотік, що надходить у продукт на транспортування з ВЛ;

G_γ – масова витрата твердого, або вантажопотік, що надходить у відходи з ВЛ.

Розглядаючи гідравлічні процеси в технологічному обладнанні першого типу, виділяють вхідний потік, стабільний потік, або живлення ВЛ, і злив, або циркулючий потік (див. рис. 5.12). Для технологічного обладнання справедливі співвідношення (5.48) – (5.50), а матриці параметрів матеріалу для твердих фаз вхідного, стабільного і циркулюючого потоків однакові.

Гідравлічні процеси в технологічному обладнанні другого типу характеризуються тим, що два потоки є окремо – рідка і тверда фази, а третій – їх механічна суміш. Так, для скруберів і мийних машин виділяють два вхідних потоки – потік твердого матеріалу і потік води, і один вихідний потік – потік пульпи, а для вакуум-фільтрів, нерухомих решіток і бутари навпаки – один вхідний потік пульпи і два вихідних потоки води і твердого матеріалу (див. рис. 5.14).

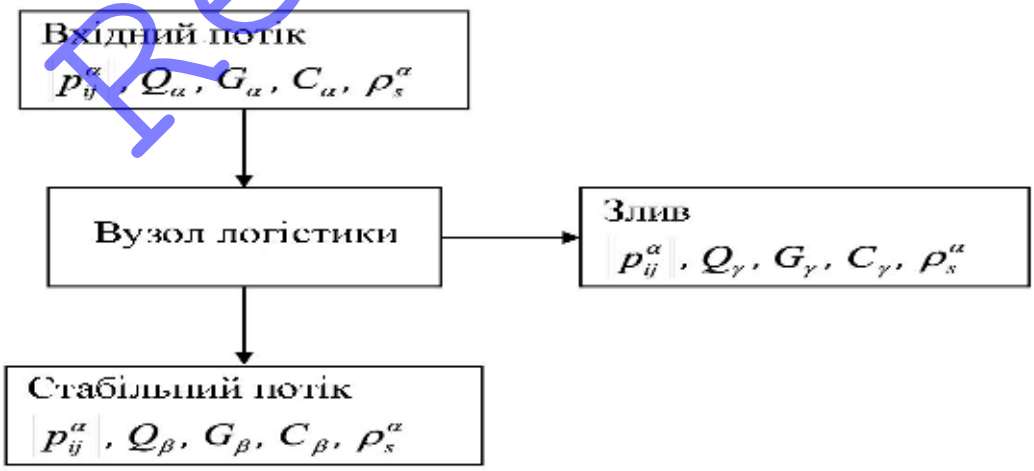
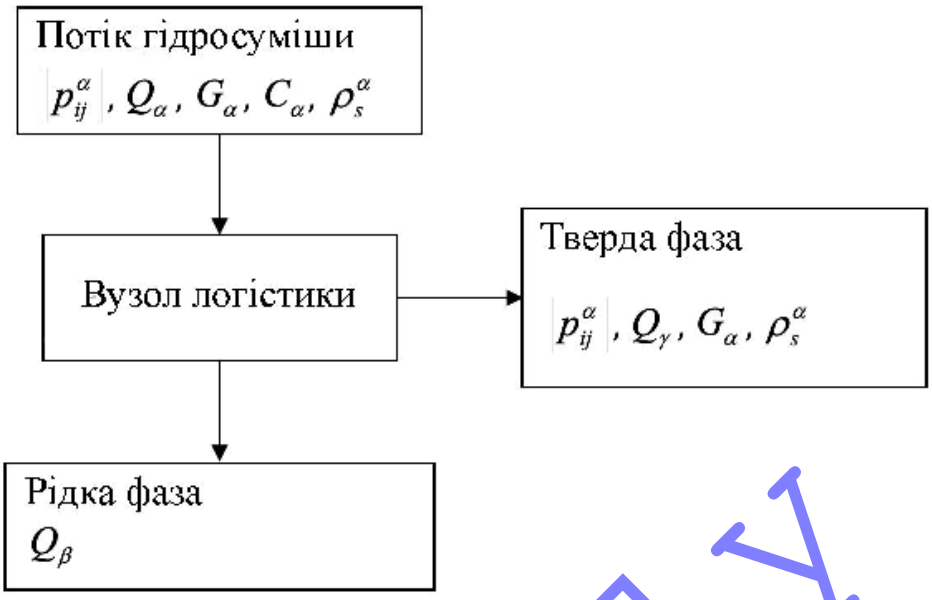


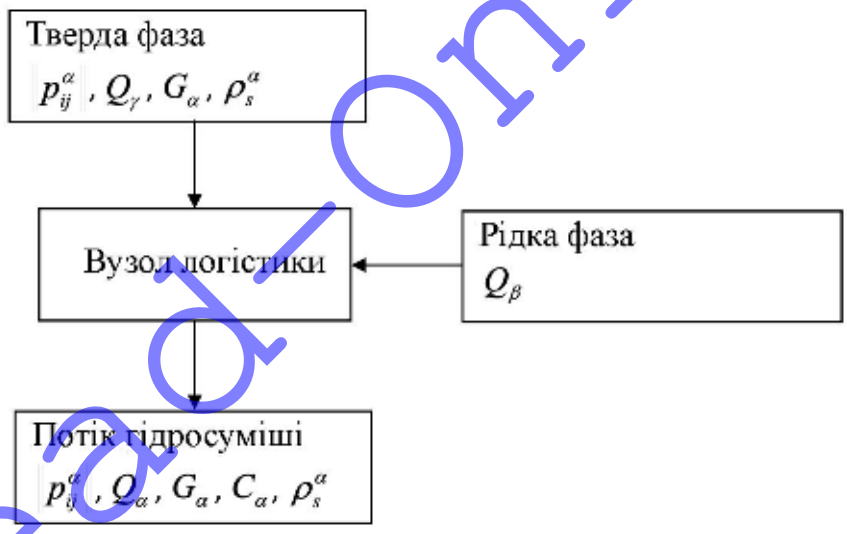
Рисунок 5.13 – Схема розподілу потоків пульпи і твердої фази, а також параметрів матеріалу в технологічному обладнанні першого типу

Read-only

а)



б)



а) – вакуум-фільтри, нерухомі решітки і бутари;

б) – скрубери і мийні машини;

Рисунок 5.14 – Схема розподілу потоків гідросуміші і твердої фази, а також параметрів матеріалу в технологічному обладнанні другого типу

При цьому для об'ємної витрати пульпи і вантажопотоку справедливі такі формули:

$$Q_{\alpha} = Q_{\beta} + Q_{\gamma}, \tag{5.51}$$

$$W_{\beta} = W_{\alpha} - E_w \frac{G_{\alpha}}{\rho_s^{\alpha}}, \tag{5.52}$$

Read-only

$$G_\alpha = G_\gamma, \tag{5.53}$$

$$Q_\gamma = (1 + E_w)\frac{G_\alpha}{\rho_s^\alpha}, \tag{5.54}$$

де E_w – вологість твердого матеріалу після відділення від рідкої фази;

ρ_s^α – щільність твердої фази в живленні технологічного обладнання;

W_β – об'ємна витрата води, що відводиться від технологічного обладнання.

Для гідравлічних процесів в трубопровідних установках розглядають вхідний і вихідний потоки, характеристики яких однакові, якщо течія відбувається з надкритичними швидкостями (див. рис. 5.15).

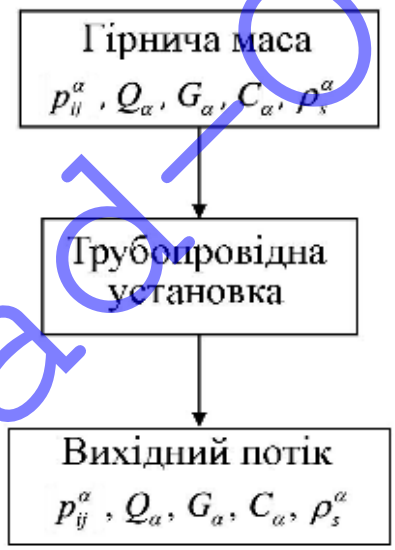


Рисунок 5.15 – Схема розподілу потоків пульпи і твердої фази, а також параметрів матеріалу в трубопровідної установці

Робота трубопровідної установки характеризується залежністю витрат пульпи, твердої і рідкої фаз для даної установки від концентрації і параметрів твердої фази [36, 37, 55 – 59]. Для насосних і самотічних трубопровідних установок подача гідросуміші визначається з розв’язку деякого нелінійного рівняння [36, 37, 55 – 59].

Read-only

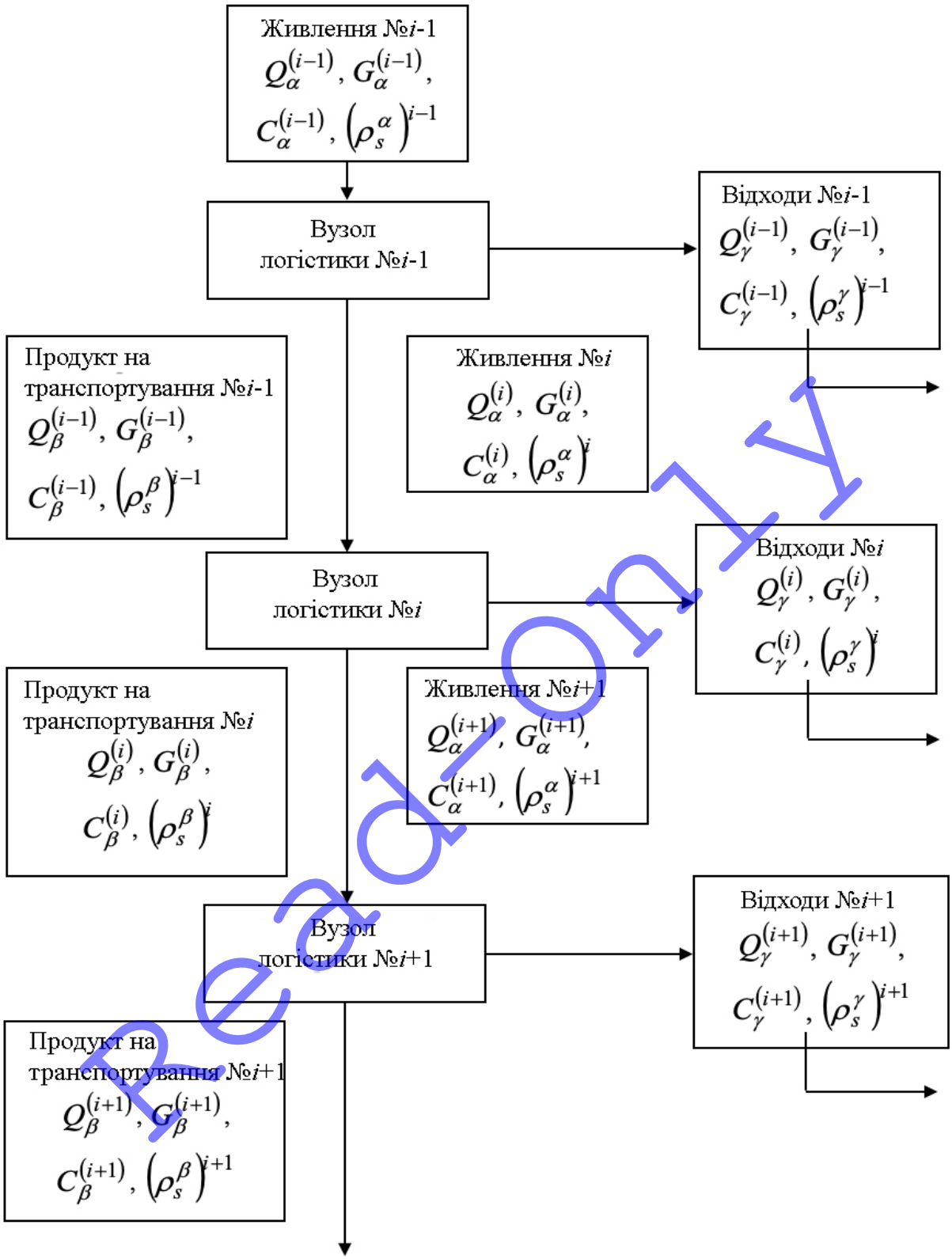
5.3.2 Види з'єднань елементів гідравлічних мереж усередині збагачувальних фабрик

Збагачувальні апарати як елементи технологій збагачення мінеральної сировини з'єднуються між собою за допомогою трубопровідних установок і технологічного обладнання. При цьому збагачувальний апарат, технологічне обладнання і трубопровідна система як елементи гідравлічної мережі з'єднані між собою послідовно, тоді як між збагачувальними апаратами можуть бути різні типи з'єднань, обумовлені технологічними вимогами переробки мінеральної сировини (рис. 5.16 – 5.20).

Аналіз схем ланцюгів ВЛ і технологічних схем існуючих збагачувальних фабрик України дозволив виділити наступні види з'єднань ВЛ як елементів гідравлічних мереж [31, 35, 60, 61]: послідовно-роздільне (див. рис. 5.16); послідовно-спільне (див. рис. 5.17); паралельно-роздільне (див. рис. 5.18); паралельно-спільне (див. рис. 5.19); розгалужене або діагональне (див. рис. 5.20).

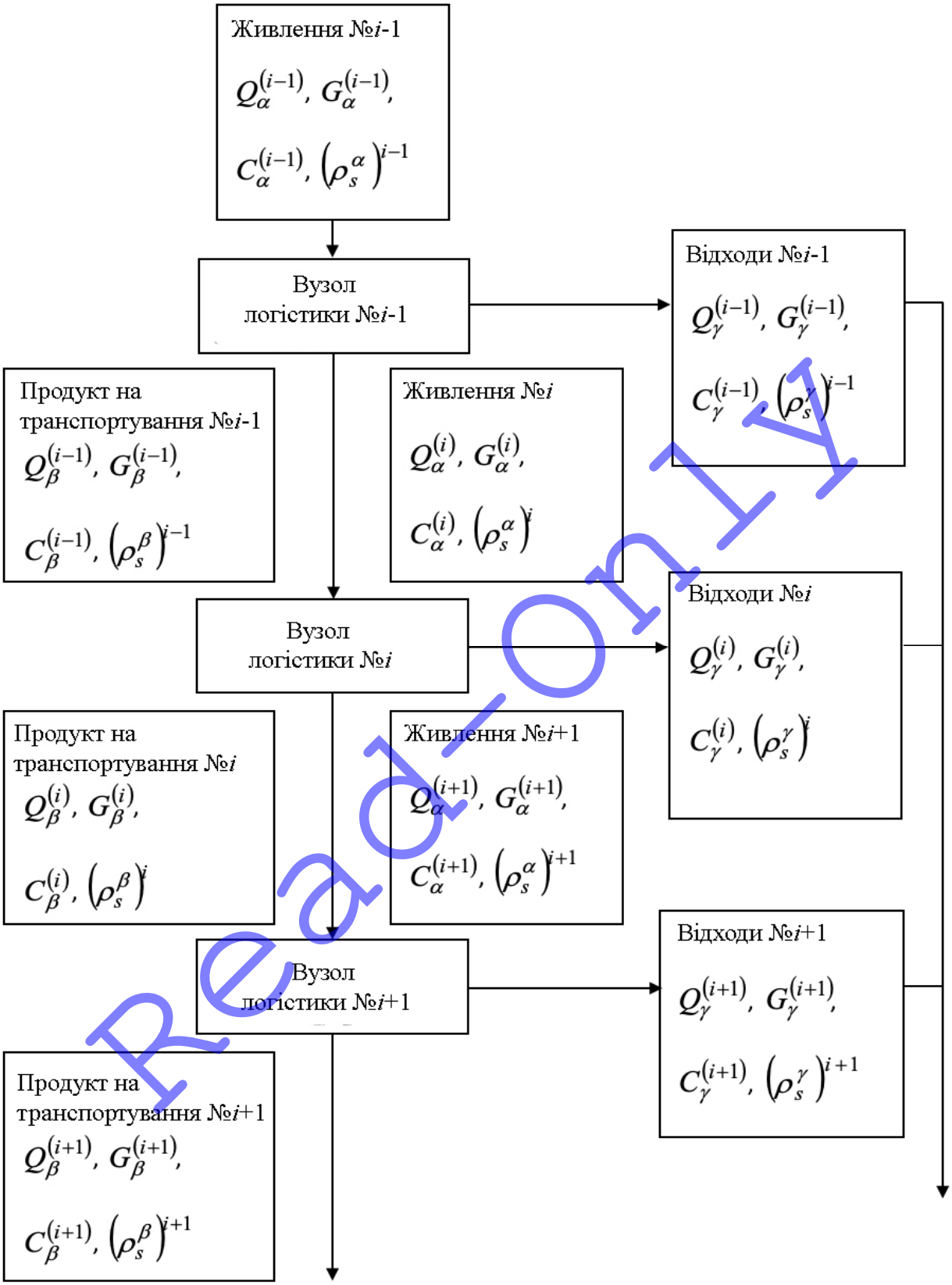
Послідовне з'єднання ВЛ характеризується тим, що концентрат або відходи попереднього апарату є харчуванням наступного. При цьому інші продукти поділу, відповідно відходи або концентрати, можуть перероблятися спільно або роздільно. У першому випадку говорять про послідовно-роздільне (див. рис. 5.16), а у другому – про послідовно-спільне з'єднання (див. рис. 5.11). Паралельне з'єднання ВЛ характеризується поділом одного потоку живлення на групу апаратів. При цьому, якщо концентрати або відходи в подальшому переробляються окремо, то таке з'єднання вважається паралельно-роздільним (див. рис. 5.18), а якщо спільно, то паралельно-спільним за відповідним продуктом (див. рис. 5.19). При цьому паралельне з'єднання ВЛ повинно бути спільним хоча б по одному з продуктів поділу. Інакше таке з'єднання вважається розгалуженим.

Read-only



Read-only

Рисунок 5.16 – Послідовно-роздільне з'єднання ВЛ як елементів гідравлічної мережі



Read-only

Рисунок 5.17 – Послідовно-спільне з'єднання ВЛ як елементів гідравлічної мережі

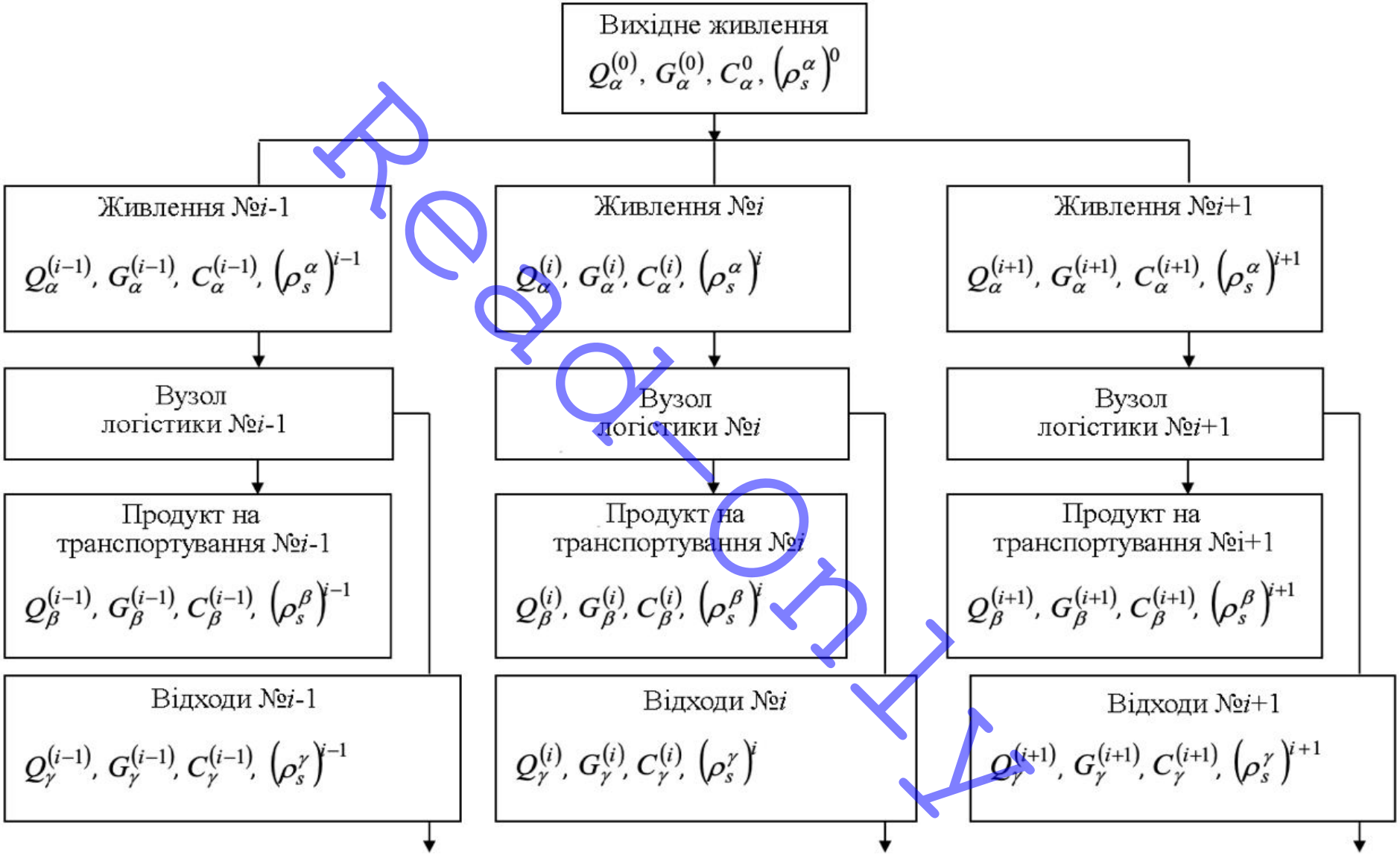


Рисунок 5.18 – Паралельне-роздільне з'єднання ВЛ як елементів гідравлічної мережі

Редакція К

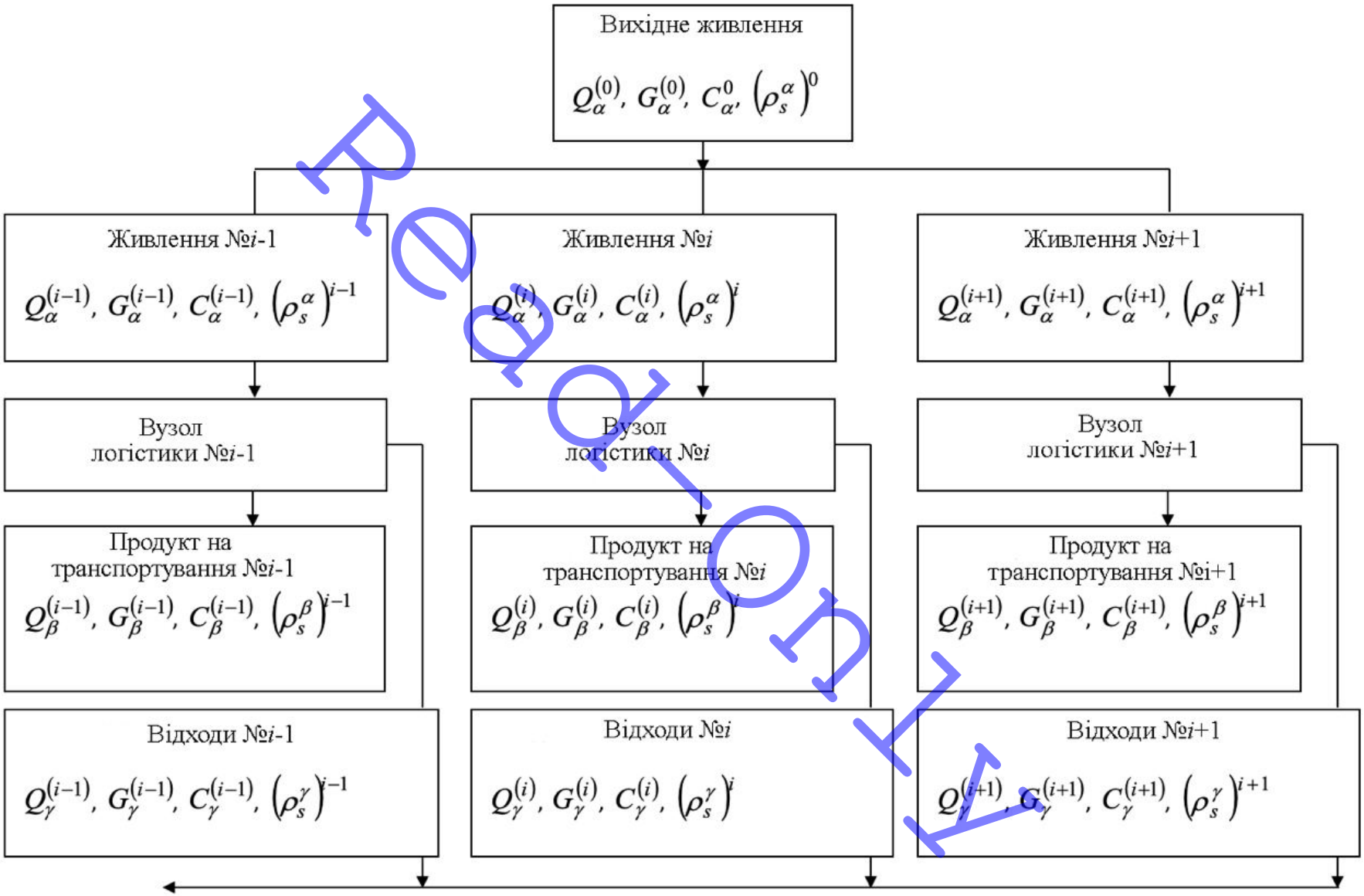


Рисунок 5.19 – Паралельно-спільне з'єднання ВЛ як елементів гідравлічної мережі

Редакція

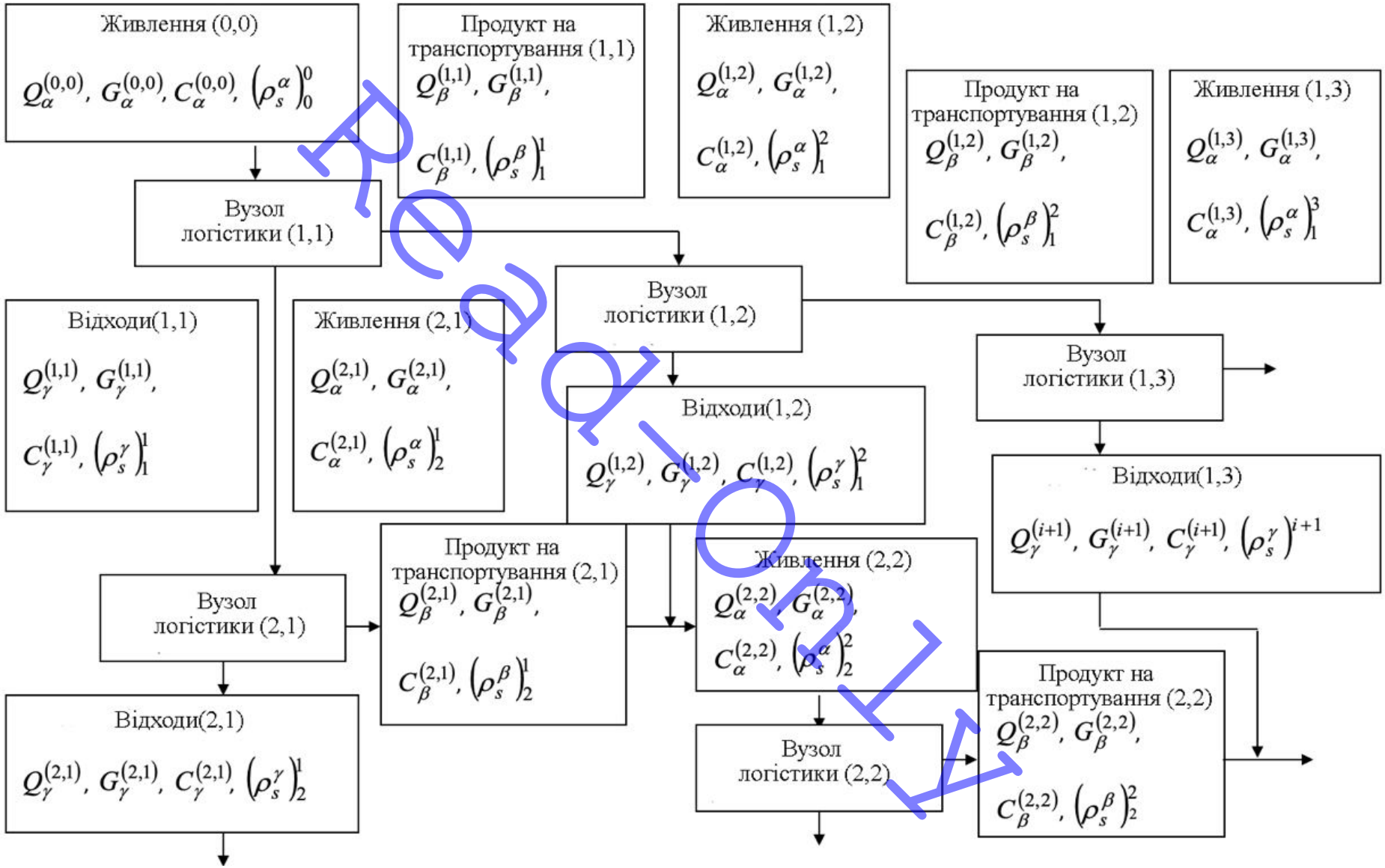


Рисунок 5.20 – Діагональне з'єднання ВЛ як елементів гідравлічної мережі

Електронна версія

Діагональне з'єднання ВЛ передбачає багатостадійну переробку обох продуктів поділу. При цьому відходи попередніх стадій збагачення змішують з концентратами наступних стадій, за рахунок чого намагаються досягти максимальної сепарації продуктів (див. рис. 5.20). Такий вид з'єднання, так само, як і попередні, дозволяє подальшу роздільну або спільну переробку концентратів та відходів.

Для кожного виду з'єднання ВЛ будуть справедливі свої співвідношення для розрахунку об'ємної витрати гідросуміші, вантажопотоку, об'ємної і відносної концентрацій.

Для послідовно-роздільного з'єднання (див. рис. 5.16) можна записати наступні співвідношення між об'ємними витратами пульпи:

$$Q_{\alpha}^{(i)} = Q_{\beta}^{(i-1)}, \tag{5.55}$$

$$Q_{\gamma}^{(i-1)} = Q_{\alpha}^{(i)} - Q_{\alpha}^{(i-1)}, \tag{5.56}$$

які з урахуванням сепараційної характеристики ВЛ можна записати в наступному вигляді:

$$Q_{\beta}^{(i)} = \beta_{Q}^{(i)} Q_{\alpha}^{(i)}, \tag{5.57}$$

$$Q_{\gamma}^{(i)} = \left(1 - \beta_{Q}^{(i)}\right) Q_{\alpha}^{(i)}, \tag{5.58}$$

або

$$Q_{\beta}^{(i)} = \prod_{k=1}^{i} \beta_{Q}^{(k)} Q_{\alpha}^{(1)}, \tag{5.59}$$

$$Q_{\gamma}^{(i)} = \left(1 - \beta_{Q}^{(i)}\right) \prod_{k=1}^{i-1} \beta_{Q}^{(i)} Q_{\alpha}^{(1)}, \tag{5.60}$$

де $Q_{\alpha}^{(1)}$ – об'ємна витрата пульпи, що надходить до першого вузла логістики.

Read-only

Для вантажопотоків концентрату і відходів збагачення формули аналогічні залежностям (5.59) и (5.60), в яких $Q_{\beta}^{(i)}$, $\beta_{Q}^{(k)}$ и $Q_{\alpha}^{(1)}$ необхідно замінити на $G_{\beta}^{(i)}$, $\beta_{G}^{(k)}$ и $G_{\alpha}^{(1)}$.

Для послідовно-спільного з'єднання (див. рис. 5.17) формули (5.55) – (5.60) залишаються справедливими, при цьому сумарні витрати гідросуміші в концентрат і відходи визначають за формулами

$$\overline{Q}_{\beta}^{(i)} = Q_{\alpha}^{(1)} \prod_{j=1}^{n} \beta_{Q}^{(j)}, \tag{5.61}$$

$$\overline{Q}_{\gamma}^{(i)} = Q_{\alpha}^{(1)} \sum_{k=1}^{i} \left(1 - \beta_{Q}^{(k)}\right) \prod_{j=1}^{k-1} \beta_{Q}^{(j)}, \tag{5.62}$$

де $\overline{Q}_{\beta}^{(i)}$ – сумарна об'ємна витрата гідросуміші, що надходить в концентрат з перших i ВЛ;

n – кількість ВЛ;

$\overline{Q}_{\gamma}^{(i)}$ – сумарна об'ємна витрата гідросуміші, що надходить до відходів з перших i ВЛ.

Для паралельно-роздільного з'єднання (див. рис. 5.18) витрати гідросуміші до концентратів і відходів з урахуванням формул (5.39) і сепараційній характеристики ВЛ можна записати в наступному вигляді:

$$Q_{\alpha}^{(i)} = \frac{Q_{\alpha}}{n}, \tag{5.63}$$

$$Q_{\beta}^{(i)} = \frac{\beta_{Q}^{(i)}}{n} Q_{\alpha}, \tag{5.64}$$

$$Q_{\gamma}^{(i)} = \frac{1 - \beta_{Q}^{(i)}}{n} Q_{\alpha}, \tag{5.65}$$

Read-only

де Q_α – сумарне живлення паралельно з'єднаних ВЛ.

Для паралельно-спільного з'єднання (див. рис. 5.19), формули (5.63) – (5.65) залишаються справедливими, при цьому сумарні витрати пульпи в концентрат і відходи визначають за формулами

$$\overline{Q}_\beta^{(i)} = \sum_{k=1}^{i} Q_\beta^{(k)} = \frac{Q_\alpha}{n} \sum_{k=1}^{i} \beta_Q^{(k)}, \tag{5.66}$$

$$\overline{Q}_\gamma^{(i)} = \sum_{k=1}^{i} Q_\gamma^{(k)} = \frac{Q_\alpha}{n} \left(1 - \sum_{k=1}^{i} \beta_Q^{(k)} \right). \tag{5.67}$$

На відміну від попередніх видів з'єднання, коли ВЛ як би шикувалися в лінію, і для нумерації їх використовувався один індекс, що відображає порядковий номер апарата, діагональне з'єднання вимагає використання двох індексів - «з концентратом» і «за відходами» (див. рис. 5.20). Тому при діагональному з'єднанні розподіл потоків пульпи на кожному з ВЛ буде характеризуватися такими співвідношеннями:

$$Q_\beta^{(i,j)} = \beta_Q^{(i,j)} Q_\alpha^{(i,j)}, \tag{5.68}$$

$$Q_\gamma^{(i,j)} = \left(1 - \beta_Q^{(i,j)}\right) Q_\alpha^{(i,j)}, \tag{5.69}$$

де $Q_\beta^{(i,j)}$ – об'ємна витрата гідросуміші, що надходить в концентрат з ВЛ з i-м номером «за концентратом» та j-м номером «за відходами»;

$\beta_Q^{(i,j)}$ – сепараційна характеристика за витратою гідросуміші ВЛ з i-м номером «за концентратом» та j-м номером «за відходами»;

$Q_\alpha^{(i,j)}$ – об’ємна витрата гідросуміші, що надходить до ВЛ з i-м номером «за концентратом» и j-м номером «за відходами»;

Read-only

$Q_{\gamma}^{(i,j)}$ – об’ємна витрата гідросуміші, що надходить в відходів з ВЛ з i-м номером «за концентратом» и j-м номером «за відходами».

При цьому для діагонального з'єднання ВЛ як елементів гідравлічної мережі характерно відмінність для граничних і внутрішніх апаратів у формуванні потоків пульп, що надходять на сепарацію. Для граничних апаратів, у яких один з індексів дорівнює одиниці, використовують співвідношення

$$Q_{\alpha}^{(i,1)} = Q_{\beta}^{(i-1,1)}, \tag{5.70}$$

$$Q_{\alpha}^{(1,j)} = Q_{\gamma}^{(1,j-1)}, \tag{5.71}$$

а для внутрішніх апаратів, у яких жоден з індексу не дорівнює одиниці, формулу

$$Q_{\alpha}^{(i,j)} = Q_{\beta}^{(i-1,j)} + Q_{\gamma}^{(i,j-1)}. \tag{5.72}$$

При цьому кількість апаратів в кожному стовпці або рядку розраховується за формулами

$$n_i = n - j + 1, \tag{5.73}$$

$$n_j = m - i + 1, \tag{5.74}$$

де $Q_{\beta}^{(i,j)}$ – об'ємна витрата гідросуміші, що надходить в концентрат з ВЛ с i-м номером «за концентратом» та j-м номером «за відходами»;

n_i – поточна кількість ВЛ в ланцюзі «за концентратом»;

n – загальна кількість ВЛ в ланцюзі «за концентратом»;

j – номер «за відходами» поточного ВЛ;

n_j – поточна кількість ВЛ в ланцюгу «за відходами»;

m – загальна кількість ВЛ в ланцюзі «за відходами»;

Read-only

i – номер «по концентрату» поточного ВЛ.

Розрахунок витрат пульп в концентрат і відходи для внутрішніх апаратів діагонального з'єднання в аналітичному вигляді скрутний, оскільки вимагає використання рекурентних співвідношень (5.68) – (5.72), тоді як для граничних апаратів такі формули можна записати в явному вигляді

$$Q_{\beta}^{(i,1)} = Q_{\alpha}^{(1,1)} \prod_{k=1}^{i} \beta_{Q}^{(k,1)}, \tag{5.75}$$

$$Q_{\gamma}^{(i,1)} = Q_{\alpha}^{(1,1)} \left(1 - \beta_{Q}^{(i,1)}\right) \prod_{k=1}^{i-1} \beta_{Q}^{(k,1)}, \tag{5.76}$$

$$Q_{\beta}^{(1,j)} = Q_{\alpha}^{(1,1)} \beta_{Q}^{(1,j)} \prod_{k=1}^{j-1} \left(1 - \beta_{Q}^{(1,k)}\right), \tag{5.78}$$

$$Q_{\gamma}^{(1,j)} = Q_{\alpha}^{(1,1)} \prod_{k=1}^{j} \left(1 - \beta_{Q}^{(1,k)}\right). \tag{5.79}$$

Характер розгалуженого з'єднання не дозволяє записати формули для розрахунку потоків пульп у загальному вигляді, вони слідують із загальних законів збереження з урахуванням структури схеми ланцюга апаратів.

Формули (5.55) – (5.78) дозволяють розраховувати об'ємні витрати пульп і вантажопотоки для кожного виду з'єднань, що розглянуті при сталому функціонуванні збагачувальних апаратів як елементів гідравлічної мережі. Розрахунок масової концентрації і щільності твердої фази для цих потоків виконуються згідно з алгоритмами, розглянутими в п.п. 3.3.2 [47 – 50].

5.4 Висновки за розділом 5

1. Вирішено актуальну науково-практичну проблему визначення параметрів оптимальної організації двоступеневих процесів розподілу матеріальних потоків в транспортно-логістичних системах, структурними

Read-only

елементами яких є шахти, які здійснюють видобуток корисних копалин на певній території, і підприємства, які цей ресурс споживають або переробляють. На прикладі вирішення модельних двоступеневих задач розподілу матеріально-сировинних потоків продемонстровано можливість зменшення сукупності витрат, що пов'язані з управлінням матеріальними і супутніми їм сервісними потоками. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує алгоритми вирішення задач ОРМДЗ із залученням сучасних геоінформаційних ресурсів, яке доцільно застосовувати для кількісного обґрунтування і прийняття рішення про розміщення нових підприємств, які пов'язані з видобутком корисних копалин або іншого ресурсу, безперервно розподіленого на деякій території, з урахуванням його подальшої доставки до кінцевих споживачів.

2. Вивчення питань організації двоетапних процесів розподілу сировинних потоків на підприємствах гірничодобувної галузі проведено відповідно до загальних методологічних принципів системного аналізу, тотальних витрат та оптимізації. Всі елементи двоетапної логістичної системи розглянуто як взаємопов'язані і взаємодіючі для досягнення спільної мети функціонування системи. Проведено оптимізацію функціонування не окремих елементів, а логістичної системи в цілому. При цьому враховувалася сукупність витрат, які пов'язані з управлінням матеріальними потоками по усьому логістичному ланцюжку, починаючи від моменту зародження потоку аж до надходження його кінцевому споживачеві. Отже, вироблено узгодження локальних інтересів і цілей функціонування окремих елементів системи з головною цільовою функцією системи – досягнення оптимальних транспортних і супутніх витрат всієї двоетапної логістичної системи.

3. Розроблено методи розрахунку параметрів і режимів роботи гідротехнічних систем технологій збагачення мінеральної сировини, які враховують різні типи елементів систем, властивості матеріалів вихідних і техногенних розсипів.

4. Вперше гідравлічні мережі технологій збагачення мінеральної сировини представлені як складна система вузлів логістики, технологічного обладнання та

Read-only

трубопровідних установок. Принципові відмінності в призначенні і режимах роботи елементів технологій переробки мінеральної сировини дозволили розділити елементи гідравлічних мереж на три основних види:

- трубопровідні установки, призначені для переміщення живлення і продуктів сепарації від одного обладнання до іншого без зміни характеристик потоку, що транспортується;

- збагачувальні апарати, призначені для зміни характеристик потоків з метою сепарації цінного компонента;

- технологічне обладнання, необхідне для зміни характеристик потоку з метою забезпечення ефективної роботи збагачувального апарату або насосного агрегату.

5. Розроблено математичні моделі процесів у всіх перерахованих елементах таких мереж, що враховують особливості елементів кожного виду, поєднання елементів, а також послідовність їх з'єднання. Вперше запропоновано і досліджено моделі:

- течії рідини та гідросумішей по трубопроводах гідравлічних систем в технологіях збагачення, які враховують витратно-напірну характеристику обраного насоса, параметри магістралі, властивості матеріалу, що транспортується і технологічні вимоги до збагачувальному обладнанню;

- безнапірного стаціонарного і нестаціонарного одношарового потоку рідини по твердій поверхні збагачувального апарату, які описують зміну параметрів течії по довжині каналу в залежності від геометрії та шорсткості твердої стінки, кута нахилу її до горизонту, а також початкових параметрів течії;

- напірної течії пульпи в каналі збагачувального апарату, яка, крім параметрів твердих частинок і каналу, враховує вплив на зміну об'ємної частки і швидкості твердих частинок тертя рідкої фази об стінки каналу, необхідність врахування якого визначається співвідношенням крупності частинок і гідравлічного радіуса каналу і величиною коефіцієнта сухого тертя частинок об стінку каналу;

- безнапірної течії рідини в каналах з перфорованим дном, котра

Read-only

заснована на використанні рівняння Бернуллі, узагальненого в рамках гідравлічного наближення.

- безнапірної стаціонарної та нестаціонарної двошарової стратифікованої течії, характерної для збагачувальних апаратів в зоні поділу компонентів, коли між шарами припиняється обмін твердими частинками і рідиною, а щільність і концентрація шарів не змінюються;

- процесу відстоювання пульп в відстійнику довільного змінного перерізу, заснованого на рівнянні нерозривності фаз і принципах «теорії дрейфу», що відрізняється від відомих урахуванням залежності швидкості розповсюдження збурень від величини концентрації пульпи і існування поверхонь розриву, на яких величини швидкості і концентрації фаз змінюються стрибкоподібно;

- нестаціонарного зневоднення пористого шару концентрату на стрічковому вакуум-фільтрі, яка вперше враховує зміну поверхні депресії при коливаннях параметрів подачі пульпи і величини вакууму в підстрічковому просторі і дозволяє визначати необхідний час зневоднення і оцінити вологість концентратів в кінці процесу.

На відміну від відомих, розроблені математичні моделі описують умови поділу потоків води, пульпи і твердого матеріалу в розглянутих елементах з урахуванням сепараційної характеристики апаратів, гранулометричного і масового складів мінеральної сировини. Завдяки цьому запропоноване методичне забезпечення розрахунків гідравлічних мереж дозволяє визначати гранулометричний і масовий склади матеріалів, що надходять в концентрат і в відходи апаратів, а також величини витрат пульпи, води і твердої фази.

У розробленому методичному забезпеченні розрахунків, крім традиційних послідовної і паралельної схем з'єднання окремих елементів гідравлічних систем, вперше докладно описано і проаналізовано послідовно-роздільна, послідовно-спільна, паралельно-роздільна, паралельно-спільна, розгалужена і діагональна схеми з'єднань збагачувальних апаратів. Для кожного виду розглянутих з'єднань збагачувальних апаратів запропоновано

Read-only

методи визначення об'ємних витрат пульп і вантажопотоків, масових концентрацій і щільності твердої фази для потоків, що йдуть в концентрат і увідходи.

5.5 Список використаних джерел за розділом 5

1. Пуханов А.А. Логистические проблемы в управлении транспортной системой предприятий топливно-энергетического комплекса / А.А. Пуханов // «Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту», №1, 2009.– С.251-257.

2. Будишевский В.А. Экономические аспекты управления запасами угля в логистических системах топливно-энергетического комплекса / В. А. Будишевский, А. А. Пуханов, Л.С. Пуханова // Научные труды ДонНТУ. Серия: экономическая. − 2005. – Вып. 100-1. − С. 173 – 178.

3. Us S.A. On some mathematical models of facility location problems of mining and concentration industry // Us S.A., Stanina O.D. New Developments in Mining Engineering 2015. Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining // Edited by Volodymyr Bondarenko, Iryna Kovalevska, Genadiy Pivnyak/ CRC Press / Balkema - Taylor & Francis Group, London, 2015. – P. 419–424

4. Ус С.А. Моделирование процесса размещения обогатительного производства с учетом непрерывно распределенного ресурса // Ус С.А, Станина О.Д. / Збірник наукових праць НГУ, 2017 , № 52, с. 314-323.

5. Пуханов А.А. Управление цепями поставок угля в системах топливно-энергетического комплекса / А.А. Пуханов // «Економіка: проблеми теорії та практики». Збірник наукових праць. – Випуск 225, Т 1.– Дніпропетровськ: ДНУ, 2007.– С.431-437.

6. Кирия Р.В. Определение энергетической эффективности систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт / Р.В. Кирия // Геотехнічна механіка. – 2014. – № 119. – С. 125 – 135.

7. Федорович О.Е. Разработка методологических основ логистического интеллектуального управления производственными комплексами и проектами

Read-only

по их созданию / О.Е. Федорович, О.В. Малеева, Е.А. Дружинин, А.В. Прохоров // Авиационно-космическая техника и технология. − 2005. − № 7(23). − С. 338–351.

8. Shiraki H. Analysis of optimal locations for power stations and their impact on industrial symbiosis planning under transition toward low-carbon power sector in Japan / HirotoShiraki Shuichi, Ashina Yasuko, Kameyama SeijiHashimoto, TsuyoshiFujita // Journal of Cleaner Production. − Vol. 114. − 15 February 2016. − P. 81 − 94. − doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.079

9. Montiel L. Optimizing mining complexes with multiple processing and transportation alternatives: An uncertainty-based approach / Luis Montiel, Roussos Dimitrakopoulos // European Journal of Operational Research.− Vol. 247. − Issue 1. − 16 November 2015. − P. 166 − 178. − doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.002

10. Goodfellow R. Simultaneous Stochastic Optimization of Mining Complexes and Mineral Value Chains / Ryan Goodfellow, Roussos Dimitrakopoulos // Mathematical Geosciences. − April 2017. − Vol. 49. − Issue 3. − P. 341 – 360. − doi.org/10.1007/s11004-017-9680-3

11. Теория оптимального разбиения множеств в задачах распознавания образов, анализа и идентификации систем: монография / Е. М. Киселева, Л.С. Коряшкина, С.А. Ус // М-во образования и науки Украины, ГВНЗ "Национальный горный университет". − Днепропетровск: НГУ, 2015. − 270 с.

12. Zelentsov D. Solving Continual Two- Problems of Optimal Partition of Sets Stage // Zelentsov D., Us S., Koryashkina L., Stanina O. / International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE). − Volume 4, Issue 4, 2017. − P. 72-80.

13. Borys Blyuss An optimal two-stage distribution of material flow at the fuel and energy complex enterprises/ Borys Blyuss, Larysa Koriashkina, Svitlana Us, Serhii Minieiev, Serhii Dziuba // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019 https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900008.

Read-only

14. Кісельова О.М., Притоманова О.М., Дзюба С.В., Падалко В.Г. Розв'язання двоетапної неперервно-дискретної задачі оптимального розбиття-розподілу з нечіткими параметрами. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпро, 2019. №. 19. С. 106 –116.

15. Bulat A., Dziuba S., Minieiev S., Koriashkina L., Us S. Solution of the problem to optimize two-stage allocation of the material flows // Mining of Mineral Deposits. 2020. № 1. P. 58 – 65.https://doi.org/10.33271/mining14.01.027

16. Кісельова О.М., Притоманова О.М., Дзюба С.В., Падалко В.Г. Побудова мультиплікативно зваженої діаграми Вороного з нечіткими параметрами. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпро, 2019. №. 19. С.117 – 126.

17. Us S.A. On some mathematical models of facility location problems of mining and concentration industry / S.A.Us, O.D. Stanina // New Developments in Mining Engineering 2015. Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining/ – CRC Press / Balkema - Taylor & Francis Group, London, 2015. – P. 419–424

18. Стецюк П.И. Методы эллипсоидов и r-алгоритмы. // Кишинэу, Эврика, 2014. – 488 с.

19. Киселева Е.М. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств и r-алгоритмы / Е.М. Киселева, Л.С. Коряшкина. – К.: Наук. думка, 2015. – 400 с.

20. Us S. A., Koriashkina L. S., Stanina O. D. An optimal two-stage allocation of material flows in a transport-logistic system with continuously distributed resource // Radio Electronics, Computer Science, Control, 2019. – № 1. P. 256 – 271.

21. Kaliraj S., Malar V. K. Geospatial analysis to assess the potential site for coal based thermal power station in Gujarat, India. Advances in Applied Science Research, 2012. − 3 (3). P. 1554 − 1562.

22. Deepak Paramashivan Kaundinya. A GIS (geographical information system)-based spatial data mining approach for optimal location and capacity planning of distributed biomass power generation facilities: A case study of Tumkur district, India / Deepak Paramashivan Kaundinya, P. Balachandra, N.H.

Read-only

Ravindranath, Veilumuthu Ashok // Energy, 1 April 2013. − Vol. 52. − P. 77-88. − doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.011

23. Comber A. Locating bioenergy facilities using a modified GIS-based location–allocation-algorithm: Considering the spatial distribution of resource supply // Alexis Comber, Jennifer Dickie, Claire Jarvis, Martin Phillips , Kevin Tansey // Applied Energy, 15 September 2015. − Vol. 154. − P. 309-316

24. Kim S.M. ArcMine: A GIS extension to support mine reclamation planning / S.M. Kim, Y. Choi, J. Suh, S. Oh, H.D. Park, S.H. Yoon, W.R. Go // Comput. Geosci. 2012. − Vol. 46. − P. 84 –95. − doi: 10.1016/j.cageo.2012.04.007

25. Suh J. An Overview of GIS-Based Modeling and Assessment of Mining-Induced Hazards: Soil, Water, and Forest / Jangwon Suh, Sung-Min Kim, Huiuk Yi, Yosoon Choi // Int J Environ Res Public Health. 2017 Dec. − 14(12): 1463. − doi: 10.3390/ijerph14121463

26. Özceylan E. Optimizing the location-allocation problem of pharmacy warehouses: A case study in Gaziantep / Eren Özceylan, Ayşenur Uslu, Mehmet Erbaş, Cihan Çetinkaya, Selçuk Kürşat İşleyen // An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA). − 2017. − Vol 7ю № 1. −P. 117 − 129. − DOI: 10.11121/ijocta.01.2017.00373

27. Md. Mohib-Ul-Haque Khan. Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment / Md. Mohib-Ul-Haque Khan, M. Vaezi, A. Kumar // Science of the Total Environment. − 2018. − Vol. 610–611. − P. 1065–1075/ − doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.169

28. Kim H.Y. Combining GIS with AHP for Facility Site Selection: A Case Study in Cheongju, South Korea / H.Y. Kim, J.H. Hwang // Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018. − Vol. 13. − P. 7933-7939. − DOI: 10.3923/jeasci.2018.7933.7939

29. Інформаційний ресурс «Мінеральні ресурси України. http://minerals-ua.info

30. Коряшкіна Л.С. Інтеграція ГІС-технологій і методів розв'язання неперервних задач оптимального мультиплексного розбиття множин / L. S.

Read-only

Koriashkina, A. P. Cherevatenko, E. O. Koriashkina// Системні дослідження та інформаційні технології, 2017, № 4. – С. 97 – 108.

31. Булат, А.Ф. Согласование параметров насоса и электродвигателя насосного агрегата/ А.Ф. Булат, А.М. Сокил, Е.В. Семененко // Горн. электромеханика и автоматика: Науч.-техн. сб. – 2002. – Вып. 69. – С. 117 – 122.

32. Великанов, М.А. Динамика русловых потоков/ М.А. Великанов – М.: Гостехиздат, 1954. – Т. I – 1954 – 316 с.

33. Гуменик, И.Л., Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.

34. Животовский, Л.С., Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы / Л.С. Животовский, Л.А. Смойловская. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

35. Звягильский, Е.Л., Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семененко. – Севастополь: Вебер, 2002. – 247 с.

36. Карелин, В.Я., Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах / В.Я. Карелин. – М.: Машиностроение, 1975. – 326 с.

37. Баранов, Ю.Д. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий [/ Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: «Новая идеология», 2006. – 416 с.

38. Литвяк, В.Г., Опыт проектирования Укргипромезом систем производственного водоснабжения предприятий черной металлургии / А.И. Шербина, М.М. Пиниэлле // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №1. – С. 127 – 130.

39. Маккавеев, Н.И. Русловые процессы / Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 264 с.

40. Махарадзе, Л.И. Трубопроводный гидротранспорт твердых сыпучих материалов / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, С.И. Криль, Л.А. Смойловская. – Тбилиси: Мецниереба, 2006. – 350 с.

Read-only

41. Нурок, Г.А., Гидроотвалы на карьерах / Г.А. Нурок, А.Г. Лутовинов, А.Д. Шерстюков. – М.: Недра, 1977. –311 с.

42. Нурок, Г.А., Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ / Г.А. Нурок. – М.: Недра, 1985. – 583 с.

43. Покровская, В.Н., Трубопроводный транспорт в горной промышленности / В.Н. Покровская. – М.: Недра, 1985. – 191 с.

44. Семененко, Е.В., Выбор и обоснование типов насосов и электродвигателя для системы водоснабжения гидротранспортного комплекса / Е.В. Семененко // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ – 2004. – Вип. 73. – С. 86 – 94.

45. Блюсс, Б.А. Научные основы моделирования процессов в технологиях обогащения титан-цирконовых россыпей / Б.А. Блюсс, А.М. Сокил, Е.В. Семененко // Обогащение полезных ископаемых: Научн.-техн. сб. – Днепропетровск, 2003. – №18(59). – С. 79 – 92.

46. Блюсс, Б.А. Методика определения параметров систем карьерного трубопроводного транспорта с учетом пульпообразования / Б.А. Блюсс, Е.В. Семененко, М.Н. Лившиц // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2009. – №1. – С. 73 – 82.

47. Семененко, Е.В., Расчет параметров систем оборотного водоснабжения технологий обогащения минерального сырья. Горн. электромеханика и автоматика: Науч.-техн. сб. – Дніпропетровськ. – 2005. № 74. – С. 79 – 85.

48. Семененко, Е.В., Обоснование рациональных параметров насосной установки с учетом характеристик сгустительной воронки. Обогащение полезных ископаемых: Науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. №19(60). – С. 90 – 97.

49. Семененко, Е.В., Особенности возникновения кавитации при перекачивании гидросмеси с пористыми частицами / Е.В. Семененко // Уголь Украины, 2000. – № 12. – С. 50 – 51.

50. Силин, Н.А. Режимы работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов / Н.А. Силин, С.Г. Коберник. – К.: Изд-во АН УССР, 1962. – 215 с.

Read-only

51. Смолдырёв, А.Е., Гидро- и пневмотранспорт в металлургии / А.Е. Смолдырёв. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.

52. Смолдырёв, А.Е., Трубопроводный транспорт / А.Е. Смолдырёв.– М.: Недра, 1980. – 390 с.

53. Чугаев, Р.Р., Гидравлика / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672с.

54. Юфин, А.П. Гидромеханизация: учебн. [для студ. гидротехн. спец. вузов] / А.П. Юфин. – М.: Госстройиздат, 1966. – 496 с.

55. Ялтанец, И.М. Гидромеханизированные и подводные горные работы: в 2 Т. / И.М. Ялтанец. – М.: Мир горной книги, 2006. – Т. 1. – Разработка пород гидромониторами и землесосными снарядами. – 2006. – 516 с.

56. Ялтанец, И.М. Рабочие параметры грунто-заборочных устройств плавучих землесосных снарядов и их конструктивные особенности / И.М. Ялтанец, Н.И. Леванов, И.Т. Мельников, В.М. Дятлов. – М.: МГТУ, 2005. – 236 с.

57. Докукин, В.П. Повышение эффективности эксплуатации систем трубопроводного гидротранспорта / В.П. Докукин. – Санкт-Петербург: СПГГИ(ТУ), 2005. – 105 с.

58. Семененко Е.В., Скосырев В.Г. Модели гидротехнических систем технологий переработки титан-цирконового сырья // Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 90. – С. 132 – 141.

59. Блюсс Б.А., Семененко Е.В., Шурыгин В.Д. Гидротехнические системы технологий добычи и переработки титан-цирконового сырья // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2011. – №2(122). – С. 86 – 90.

60. Джваршеишвили, А.Г., Системы трубопроводного транспорта горно-обогатительных предприятий / А.Г. Джаршеишвили. – М.: Недра,1986. – 384 с.

61. Дмитриев, Г.П., Напорные гидротранспортные системы / Г.П. Дмитриев, Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили. – М.: Недра, 1991. – 304 с.

Read-only

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій розв'язано актуальну наукову проблему 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 розроблено методи, методичні рекомендації, структурні схеми логістики технологічних потоків, що дозволили 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.

В процесі виконання роботи отримано наступні наукові та практичні результати:

1. Аналіз сучасного стану проблеми забезпечення сталого розвитку гірничих технологій з урахуванням перерозподілу матеріально-сировинних потоків дозволив їх класифікувати за основними технологіями логістики в гідротехнічних системах і визначити основні задачі управління процесами транспортування, фільтрації і розподілу гідросуміші в технологіях видобутку та переробки мінеральної сировини. На підставі проведених досліджень розроблено моделі елементів технологій логістики в гідротехнічних системах, які вперше враховують умови поділу потоків гідросуміші і твердого матеріалу з урахуванням технологічних характеристик апаратів, гранулометричного і щільнісного складів гірської маси.

2. Обґрунтовані типи з'єднань елементів технологій логістики, для яких

Read-only

розроблено методи розрахунків, що вперше включають розгалужену і діагональну схеми з'єднань. Для кожного виду розглянутих з'єднань елементів технологій логістики апробовані методи визначення об'ємних витрат гідросуміші, масових концентрацій і щільності твердої фази для потоків, що перерозподіляються.

3. Вперше визначено розташування перерізу прямокутного каналу після якого, в процесі розшарування, нижній шар складається з висококонцентрованого потоку, а верхній представлено гідросумішшю з концентрацією, яка знижується вздовж течії. Встановлено, що визначальним фактором в процесі розшарування гідросуміші є здатність потоку зважувати частинки різного складу.

4. Встановлено, що для течії гідросуміші по похилій поверхні, що не деформується, або прямокутного каналу, аналітична залежність різниці висот потоку в початковому і кінцевому перетинах визначається критичним значенням відносної подачі, яка прямо пропорційна кореню квадратному з співвідношення ухилу дна каналу до коефіцієнта тертя з коефіцієнтом пропорційності рівним 1,3, та враховує довжину та кут нахилу каналу.

5. Вперше встановлено, що при безнапірній течії гідросуміші по прямокутному каналу з примусовим масообміном залежність співвідношення критичної глибини потоку в довільному поперечному перерізі до критичної глибині на вході в канал від відстані до цього перетину визначається лінійною функцією, що спадає, в степені 2/3.

6. Удосконалено методи визначення поточної глибини потоку течії гідросуміші вздовж похилої поверхні при відсутності масообміну, яка прямо пропорційна його критичній глибині з коефіцієнтом, що є функцією співвідношення сил гідравлічного тертя і тяжіння.

7. Встановлено, що для течії гідросуміші вздовж похилої поверхні при наявності масообміну, поточна відносна глибина потоку прямо пропорційна його поточній відносній глибині для випадку відсутності масообміну, причому коефіцієнт пропорційності є степеневою функцією з негативним показником

Read-only

2/3 від відносної площі отворів в днищі і коефіцієнта витрати цих отворів.

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

9. Коректно поставлено і вирішено задачу безперервного оптимального розбиття, що дозволяє управляти матеріально-сировинними потоками гірничих підприємств. Розглянуто елементи двоетапної логістичної системи, що взаємопов'язані, і з урахуванням яких досягається збільшення показників ефективності функціонування гідротехнічних систем. Розроблено алгоритм вирішення безперервних задач оптимального розбиття множин з додатковими зв'язками, що дозволило отримати розбиття площі родовища на зони, за якими закріплюються підприємства першого етапу.

10. Розроблено методики розрахунку параметрів течії гідросуміші при зміні площі перерізу каналу, параметрів течії в приповерхневому шарі, параметрів і режимів течії по внутрішній поверхні обертання та рекомендації з оцінки ефективності розшарування потоку, а також щодо оптимізації логістики в гідротехнічних системах підприємств, які впроваджено в практику проектно-конструкторських робіт ДП Інститут «УКРНДІПРОЕКТ» та ДП «ДПІ «Кривбаспроект», в проекти технологій функціонування при вдосконаленні процесів переробки гірської маси на гірничих підприємствах ТОВ «Донбасшахтопроект»; ТОВ «Южгіпроруда»; ПРАТ «Донецьксталь» – Металургійний завод. Реальний річний економічний ефект від впровадження науково-практичних розробок на гірничих підприємствах ТОВ «Шахтостроймонтаж» складає 324 тис. 700 грн.

Read-only

ДОДАТОК А. МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ І РЕКОМЕНДАЦІЇ, ЯКІ РОЗРОБЛЕНІ В ДИСЕРТАЦІЇ

Read-Only

Національна академія наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
(ІГТМ НАН України)
49005, м. Дніпропетровськ, вул. Сімферопольська, 2-А;
Тел.(0562) 46 01 51; факс 46 24 26. E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
доктор технічних наук
_____ О.П. Круковський
«___» _____ 2015 р.

МЕТОДИКА
РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТЕЧІЇ ПУЛЬПИ В ТРУБОПРОВОДІ ПРИ РАПТОВІЙ ЗМІНІ ПЛОЩІ ПЕРЕРІЗУ

Зав. відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій, д-р техн. наук, проф. — Б.О. Блюсс

Старший науковий співробітник канд. техн. наук, с.н.с. — С.В. Дзюба

Інженер І категорії — С.М. Киричко

Дніпропетровськ 2015

Read-only

ЗМІСТ

Вступ. 4
1 Теоретичне обґрунтування методу. 5
2 Розрахунок параметрів течії при раптовому звуженні трубопроводу. 8
3 Розрахунок параметрів течії при раптовому розширенні трубопроводу. . . 11
Перелік посилань. 13

Read-Only

Національна академія наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
(ІГТМ НАН України)
49005, м. Дніпропетровськ, вул. Сімферопольська, 2-А;
Тел.(0562) 46 01 51; факс 46 24 26. E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
доктор технічних наук
_____ О.П. Круковський
«20» 10 2015 р.

МЕТОДИКА
РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ПУЛЬПИ ПО ВНУТРІШНІЙ ПОВЕРХНІ КОНУСУ І ЦИЛІНДРУ

Зав.відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій,
д-р техн. наук, проф. Б.О. Блюс

Старший науковий співробітник
канд. техн. наук, с.н.с. С.В. Дзюба

Інженер І категорії С.М. Киричко

Дніпропетровськ 2015

Read-only

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів. 4
Вступ. 6
1 Моделі і алгоритми розрахунку параметрів. . . . . .
течії пульпи по внутрішній поверхні конуса з відбором маси. 8
1.1 Побудова моделі течії пульпи з відбором маси. 8
1.2 Алгоритм розрахунку параметрів теч. 12
2 Аналіз режимів течії пульпи по внутрішній поверхні конуса. 15
Перелік посилань. 22

Read-Only

Національна академія наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
(ІГТМ НАН України)
49005, м. Дніпропетровськ, вул. Сімферопольська, 2-А;
Тел.(0562) 46 01 51; факс 46 24 26. E-mail: office.igtm@nas.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
доктор технічних наук
_____ О.П. Круковський
«___» 14.10. 2015 р.

МЕТОДИКА
РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ТЕЧІЇ ПУЛЬПИ В ПРИПОВРХНЕВОМУ ШАРІ

Зав.відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій, д-р техн. наук, проф. Б.О. Блюсс

Старший науковий співробітник канд. техн. наук, с.н.с. С.В. Дзюба

Інженер І категорії С.М. Киричко

Дніпропетровськ 2015

Read-only

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів. 4

Вступ. 5

1 Розрахунок витрати пульпи в приповерхневому шарі. 6

2 Алгоритми визначення параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі. 13

2.1 Проектувальний розрахунок. 13

2.2 Перевірочний розрахунок. 15

2.3 Розрахунок параметрів твердої фази. 16

Перелік посилань. 27

Read-Only

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ
ім. М.С. ПОЛЯКОВА (ІГТМ НАН України)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
ІГТМ НАН України
доктор технічних наук

_____ О.П. Круковський
«20» 10 2015 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ
З ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ОСАДЖЕННЯ ЧАСТИНОК МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ПРИ ПЕРЕЛИВІ В ГРАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТАХ З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСУ РОЗДІЛЕННЯ ГІДРОСУМІШІ ПРИ ТЕЧІЇ В ПРИПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ

Зав. відділу ІГТМ НАН України,
доктор технічних наук,
професор _____ Б.О. Блюсс

Розробник:
Старший науковий співробітник
кандидат технічних наук, с.н.с. _____ С.В. Дзюба

Дніпропетровськ - 2015

Read-only

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів. 4

1. Оцінка впливу умов обмеження на процес осадження частинок в приповерхневих шарах при переливі в гравітаційних апаратах. 5

2. Визначення розподілу за радіусом технологічного устаткування висоти шару, швидкості і об'ємної частки твердого у гідросуміші з урахуванням витрати і концентрації пульпи 7

Перелік джерел. 12

Read-Only

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ ім. М.С. ПОЛЯКОВА
(ІГТМ НАН України)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
ІГТМ НАН України
член-кореспондент НАН України

_____ О.П. Круковський
«_____» 20.11 2018 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ
ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НА БАГАТОРІВНЕВИХ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Зав. відділу ІГТМ НАН України,
доктор технічних наук,
професор _____ Б.О. Блюсс

Розробник:
Старший науковий співробітник
кандидат технічних наук, с.н.с. _____ С.В. Дзюба

Дніпро – 2018

Read-only

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів. 4

1. Оцінка заданої території з відомим запасом сировини, міст розташування родовищ корисних копалин, що відробляються для пошуку оптимального розміщення нових центрів першого етапу логістичної системи. 5

2. Визначення розміщення центрів першого етапу логістичної системи (гірничі підприємства) за умови розв'язання двоетапної безперервної задачі оптимального розбиття множини. 12

Перелік джерел. 16

Read-Only

ДОДАТОК Б.
ДОКУМЕНТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Read-Only

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ДП ІНСТИТУТ "УКРНДІПРОЕКТ"
доктор технических наук
_____ О. А. Круть
12 вересня 2017 рік

м. Київ

А К Т ВПРОВАДЖЕННЯ
рекомендацій і методичного забезпечення
розрахунку параметрів течії гідросуміші в гідравлічних мережах і технологічному устаткуванні гірничих підприємств

Організація – користувач: Державне підприємство «Державний науково-дослідний, проектно-конструкторський і проектний інститут вугільної промисловості» ДП Інститут "УКРНДІПРОЕКТ"

Організація–розробник: Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України)

Об'єкт впровадження: рекомендацій і методичного забезпечення: розрахунку параметрів течії гідросуміші в гідравлічних мережах і технологічному устаткуванні гірничих підприємств у вигляді: «Методики розрахунку параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі», «Методики розрахунку параметрів і режимів течії пульпи по внутрішній поверхні конусу і циліндру», «Методики розрахунку параметрів течії пульпи в трубопроводі при раптовому зміні площі перерізу» і «Рекомендацій з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі»

Комісія у складі представників Державного підприємства Інститут "УКРНДІПРОЕКТ" – заступника директора з наукової роботи канд. техн. наук Куліша В. А., головного інженера проектів Чумакова М. П., завідуючого науковим відділом канд. техн. наук Мельника В. Д. і представників ІГТМ НАН України – завідуючого відділу доктора технічних наук, професора Б.О. Блюсса, старшого наукового співробітника, канд. техн. наук, с.н.с. С.В. Дзюби, інженера І-ої категорії Г.М. Киричка склала цей акт про те, що організація-розробник передала, а організація-користувач прийняла наукові розробки у вигляді рекомендацій і методичного забезпечення розрахунку параметрів течії гідросуміші в гідравлічних мережах і технологічному устаткуванні гірничих підприємств.

В наукових розробках запропоновані математичні моделі течії пульпи в приповерхневому шарі згущувача гравітаційного типу, що враховують сепарацію твердих частинок з шару і орієнтовані на застосування тарільчастого затвору на пристрої подачі пульпи. При виконанні даного моделювання визначено значення оптимальної довжини розподілу гідросуміші з урахуванням висоти шару при її течії у зоні переливу, швидкості

Read-Only

та об'ємної частки твердого у пульпі в залежності від витрати рідини, яка подається у шар переливу, а також раціональні значення частки твердого у живленні технологічного устаткування та початкового значення висоти шару.

Комплект методик і рекомендацій, які запропоновані науковими співробітниками Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, направлені на удосконалення технологій переробки мінеральної сировини за рахунок визначення параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі і сумарної витрати пульпи, що відводиться з основної області течії. Узагальненням математичних моделей, алгоритмів розрахунків і результатів чисельних експериментів є наведені в методиці алгоритми перевірочного і проектувального розрахунків згущувачів гравітаційного типу з шаром переливу, а також розрахунку параметрів твердої фази, що забезпечують раціональні режими течії. У результаті математичного моделювання визначено значення оптимальної довжини розподілу гідросуміші з урахуванням висоти шару при її течії у зоні переливу, швидкості та об'ємної частки твердого у пульпі в залежності від витрати рідини, яка подається у шар переливу, раціональне значення частки твердого у живленні технологічного устаткування та початкового значення висоти шару. Ефективне функціонування і своєчасне якісне технічне обслуговування гідротехнічних систем за рахунок визначення раціональних значень параметрів технологічних процесів, які пов'язані з транспортуванням гідросуміші є ключовим фактором, що визначає конкурентоспроможність підприємств гірничої галузі.

Комплект методик і рекомендації, які передані до ДП «Державний науково-дослідний, проектно-конструкторський і проектний інститут вугільної промисловості» використовуються в проектній документації при розробці і реконструкції збагачувальних фабрик вугільної галузі, а також гірничо-збагачувальних комбінатів України для розрахунку параметрів режимів течії пульпи, а також технологічного устаткування з метою підвищення ефективності процесів переробки мінеральної сировини і зниження собівартості готового товарного концентрату і навантаження на навколишнє середовище прилеглих територій.

Від організації–розробника:
Зав. відділу
д-р техн. наук, проф.
Б.О. Блюсс

Розробник:
ст. наук. співр. відділу
канд. техн. наук, с. н. с.
С.В. Дзюба

Інженер І-ої категорії відділу
С.М. Киричко

Від організації–користувача:
Заст. директора з наукової работи
канд. техн. наук
Куліш В. А.

Головний інженер проектів
Чумаков М. П.

Завідуючий науковим відділом
канд..техн.наук
Мельник В. Д.

Read-only

МІНЕКОНОМІКИ

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ПО ПРОЕКТУВАННЮ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОРУДНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ «КРИВБАСПРОЕКТ»
(ДП «ДПІ «КРИВБАСПРОЕКТ»)

пр. Поштовий, 40, м. Кривий Ріг, 50000, ЄДРПОУ 04689369
телефон +38 (0564) 92-35-87, факс +38 (0564) 92-40-41,
Web:www.new.krivbassproect.com.ua, E-mail: krivbassproect@krivbassproect.com.ua,

ДСТУ ISO 9001:2015
Сертифікат:
№ KBS 1.180-18

ДОВІДКА ПРО ВИКОРИСТАННЯ НАУКОВИХ РОЗРОБОК
Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
(ІГТМ НАН України)

Науково-практичні розробки спеціалістів ІГТМ НАН України завідувача відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій, доктора технічних наук, професора Блюсса Б.О., старшого наукового співробітника, кандидата технічних наук Дзюби С.В., інженера І-ої категорії Киричко С.М.: «Методика розрахунку параметрів течії пульпи в трубопроводі при раптовій зміні площі перерізу», «Методика розрахунку параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі», «Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах» у вигляді комплекту методичного забезпечення розрахунків параметрів процесів технологій переробки мінеральної сировини та перерозподілу матеріальних потоків були передані до ДП «ДПІ «Кривбаспроект» для вдосконалення існуючих систем водопостачання, водовідведення та підтримки сталого функціонування систем магістральних трубопроводів гірничих підприємств Кривбасу, основна діяльність яких пов'язана з розробкою родовищ корисних копалин та технологіями переробки залізної руди. Дані розробки мають актуальність для гірничих підприємств Криворізького залізорудного басейну, тому що результати їх впровадження орієнтовано на підвищення ефективного функціонування гідротехнічних систем та забезпечення якісними та сучасними засобами щодо технічного обслуговування за рахунок визначення раціональних значень параметрів технологічних процесів, які пов'язані з транспортуванням гідросумішей і шахтних вод до ставків накопичувачів.

Важливим чинником розробок, які створено в ІГТМ НАН України є обґрунтування параметрів гідравлічних процесів в технологіях переробки мінеральної сировини з метою підвищення ефективності основних показників сталого функціонування збагачувального устаткування та зниження собівартості концентрату за рахунок узгодженості режимів роботи технологічних ланок від моменту видобутку корисних копалин до транспортування відходів у ставки накопичувачі.

Read-only

Таким чином, впровадження науково-практичних розробок ІГТМ НАН України на гірничих підприємствах Криворізького залізорудного басейну є обґрунтованим підґрунтям для забезпечення сталого розвитку та функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів з метою підвищення ефективності технологій переробки корисних копалин та поліпшення екологічного стану прилеглих до промислових підприємств територій.

Директор ДП «ДПІ «Кривбаспроект»,
доктор техн. наук В. В. Перегудов

12 листопада 2020

Начальник сектору відкритих гірничих робіт,
кандидат техн. наук В. Г. Пшеничний

Read-Only

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
Інституту геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України
член-кореспондент НАН України
_____О.П. Круковський
11 11 2019 рік

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор з охорони праці, промислової
безпеки та екології ПРАТ "ДМЗ"
доктор технічних наук, професор,
Заслужений шахтар України
_____М.О. Ільяшов
20 11 2019 рік

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

"Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах"

В умовах функціонування підземних гірничих підприємств матеріальні потоки являють собою сукупність логістичних операцій, процесів, ланок і засобів починаючи з підготовки родовища до розробки, видобутку, переробки мінеральних ресурсів і закінчуючи споживанням готової продукції для досягнення загальних цілей логістичної системи необхідно розглядати в рамках реалізації комплексного підходу щодо раціонального освоєння надр і збереження екологічної ситуації в навколишньому середовищу прилеглих територій. Проблеми, що виникають у ході підтримки сталого розвитку підприємств гірничої галузі та вдосконалення технологій переробки корисних копалин, потребують обґрунтованого розв'язання з використанням сучасного математичного моделювання та алгоритмів вирішення багатоетапних завдань розподілу ресурсів, які безперервно розподілені на заданій області з метою одночасного планування екологічно значущих зон в промислових районах.

Розроблені старшим науковим співробітником Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України Дзюбою С.В. "Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах", які впроваджені на гірничому підприємстві «Донецьксталь» – металургійний завод», дозволяють створити умови для зниження транспортних витрат, що пов'язані з видобутком корисних копалин на виділеній території і доставкою їх для переробки, а потім і до кінцевих споживачів, а також значно зменшити обсяги технологічного водообороту, що призводить до раціонального планування розміщення

Read-only

технологічного обладнання і формування структури біля промислового підприємства для підвищення екологічної безпеки.

У зв'язку з постійно зростаючими вимогами до якості продукції гірничих підприємств, на сьогоднішній день, у видобувних і переробних галузях промисловості існує тенденція до створення територіально-розподілених багаторівневих компаній, що включають в себе десятки великих підприємств і здійснюють повний цикл виробництва від видобутку сировини з його комплексним використанням, і переробкою до транспортування кінцевим споживачам. Тому своєчасне прийняття управлінських рішень з використанням запропонованих рекомендацій дозволяє провести оптимізацію функціонування підприємства в цілому. Використання такого підходу дозволить цілеспрямовано сформувати механізм управління системою просування матеріально-сировинних потоків в рамках функціонування гірничих підприємств, а саме: кар'єрів, підземних родовищ, збагачувальних фабрик, складів готової продукції, а також створити умови для вирішення проблем збереження навколишнього середовища і його відновлення.

Завідувач відділу ГДС і ВТ
д-р техн. наук, проф. Б.О. Блюсс

Провідний фахівець дирекції
з ОТ, ПБ та екології ПРАТ «ДМЗ»
І.Ю. Клечковський

Старший науковий співробітник
відділу ГДС і ВТ
канд. техн. наук, с.н.с. С.В. Дзюба

Read-Only

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник директора з наукової роботи
Інституту геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України
член-кореспондент НАН України
_____О.П. Круковський
«14» _травня_ 2019 рік

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ТОВ «Донбассшахтопроект»,
канд. техн. наук
_____М.О. Вострецов
«22» _травня_ 2019 рік

А К Т ВПРОВАДЖЕННЯ

"Рекомендацій щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах"

Проблеми вдосконалення технологій процесів видобутку та переробки корисних копалин з метою зменшення собівартості кінцевого концентрату є актуальним завданням, від вирішення якого залежить ефективне функціонування підприємств гірничої галузі. На сьогоднішній день однією з найбільш виражених тенденцій в видобувних і переробних галузях промисловості є створення територіально-розподілених багаторівневих компаній, що включають в себе ряд великих підприємств, які здійснюють повний цикл виробництва готової продукції від видобутку вугілля, його комплексну переробку, а також транспортування кінцевим споживачам.

Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах", які розроблені старшим науковим співробітником, кандидатом технічних наук Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України Дзюбою С.В. дозволяють на основі розв'язання задач оптимального розміщення при видобуванні корисних копалин на певній території, визначити раціональні значення параметрів технологій переробки з урахуванням двоетапного процесу розподілення отриманого ресурсу, а також оптимізувати транспортні витрати.

Реалізація рішень з використанням рекомендацій, що запропоновано на етапах реконструкції і технологічного переобладнання процесів видобутку і

Read-only

збагачення вугілля дозволить досягти оптимальних транспортних і супутніх витрат. При цьому, від їх впровадження відчутно знизяться капітальні витрати на засоби підтримки щодо екологічного навантаження на прилеглі території, а також щодо енергоємності процесів вуглевидобутку не менше 12% та питомого споживання води не менше 10% за рахунок оптимізації функціонування не окремих елементів, а логістичної системи в цілому.

Завідувач відділу КДПГТ
д-р техн. наук, проф. С.П. Мінєєв

Гол. інженер проекту
В.П. Петренко

Завідувач відділу ГДС і ВТ
д-р техн. наук, проф. Б.О. Блюсс

Старший науковий співробітник
відділу ГДС і ВТ
канд. техн. наук, с.н.с. С.В. Дзюба

Read-Only

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
„ЮЖГІПРОРУДА"
вул.Ромен Роллана, 12, м.Харків, 61058 тел 705-05-49
п/р UA943516070000000026000036483 в АТ „БАНК „ГРАНТ" м.Харкова,
МФО 351607, № свід. 200103346, інн № 352440220304, ЄДРПОУ 35244024
факс (057) 705-05-48 E-mail: ruda@uzgiproruda.com.ua

Системи якості ДСТУ ISO 9001:2009, система екологічного керування ДСТУ ISO 14001:2006 - сертифіковані

02.03.20 № 01/1361
на № _____ від _____

ДОВІДКА

про використання науково-практичних розробок
Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України
(ІГТМ НАН України)

Комплект методик та рекомендацій, які розроблено науковими співробітниками ІГТМ НАН України завідувачем відділу геодинамічних систем і вібраційних технологій, доктором технічних наук, професором Блюссом Б.О. та старшим науковим співробітником, кандидатом технічних наук Дзюбою С.В., інженером І-ої категорії Киричко С.М., а саме: «Методика розрахунку параметрів течії пульпи в трубопроводі при раптовій зміні площі перерізу», «Методика розрахунку параметрів течії пульпи в приповерхневому шарі», «Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах» у вигляді методичного забезпечення розрахунків параметрів логістичних операцій, процесів, ланок і засобів починаючи з підготовки родовищ до розробки, видобутку, переробки мінеральної сировини і закінчуючи перерозподілом готової продукції було передано до ТОВ «Южгіпроруда» для підвищення ефективності функціонування та сталого розвитку гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу, діяльність яких є основою гірничо-металургійної галузі, а також значною складовою економіки України. Актуальність наукових досліджень, які проводять в ІГТМ НАН України, та їх результатів у вигляді методик та рекомендацій підтверджується використанням сучасних засобів математичного моделювання та алгоритмів вирішення багатоетапних завдань перерозподілу матеріальних потоків, а також отриманого на їх основі обґрунтованого розв'язання завдань, що виникають у ході підтримки сталого розвитку підприємств гірничої галузі Криворізького залізорудного басейну.

Одним із важливих чинників даних розробок, які створено в ІГТМ НАН України є визначення умов забезпечення зниження транспортних витрат на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривбасу, що пов'язані з процесами перерозподілу потоків, водовідведення та водопостачання, а також безпосередньо зв'язаних з технологічними операціями переробки корисних копалин на виділеній території та доставкою концентратів на склади готової продукції.

Вважаємо, що використання підходу, який запропоновано в науково-практичних розробках ІГТМ НАН України на гірничих підприємствах Криворізького залізорудного басейну дозволе формувати цілеспрямований механізм управління системами перерозподілу матеріально-сировинних потоків в рамках функціонування гірничих технологій, а також окремих їх елементів з метою підвищення ефективності умов використання покладів залізної руди та зниження навантаження на навколишнє середовище.

Директор ТОВ «Южгіпроруда» В.І. Квітка

Read-only

Затверджую
Директор
ТОВ «Шахтостроймонтаж»
доктор технічних наук
_____ О.В. Вітушко
25 квітня 2018 рік

АКТ

про використання рекомендацій

"Рекомендації з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі",

"Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах"

Дійсний акт складено про те, що при плануванні і веденні виробничих процесів в умовах гірничих підприємств ТОВ «Шахтостроймонтаж» використовуються "Рекомендації з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі" і "Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах", які розроблені в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (ІГТМ НАН України) старшим науковим співробітником канд. техн. наук Є.В. Дзюбою.

Ефективне вирішення завдань, які виникають в технологіях переробки корисних копалин, а також оптимізації сукупних витрат, що пов'язані з управлінням матеріальними потоками на всіх етапах логістичного ланцюгу, починаючи від моменту створення потоку і аж до надходження його кінцевому споживачеві в певній мірі залежить від своєчасності і обґрунтованості прийнятих управлінських рішень. В зв'язку з цим в рекомендаціях, що запропоновані вироблено узгодження локальних інтересів і цілей функціонування окремих елементів технології переробки мінеральної сировини з головною метою функціонування гірничо-металургійних комбінатах, а саме: досягнення оптимальних транспортних і супутніх витрат на багаторівневих гірничих підприємствах з урахуванням всієї двоетапної логістичної системи. В рекомендаціях, які розроблені в ІГТМ НАН України, вивчення питань організації двоетапних процесів розподілу сировинних потоків на підприємствах гірничодобувної галузі проведено відповідно до загальних методологічних принципів системного аналізу, основних витрат та оптимізації.

Read-only

В даний час на підприємствах ТОВ «Шахтостроймонтаж» використовуються інженерні методи, які дозволяють проводити розрахунки раціональних значень параметрів технологічних процесів, що пов'язані з транспортуванням гідросуміші, що мають велике значення для сталого функціонування підприємств гірничої галузі. При цьому також проводяться інженерні розрахунки, коли процеси течії пульпи відбуваються у шарі переливу збагачувальних апаратів, які використовуються для знешламлювання і стабілізації живлення в технологіях збагачення розсипів мінеральної сировини з урахуванням зміни товщини шару та умови обмеження при осадженні частинок.

Також з використанням даних рекомендацій розв'язується задача розподілу сировинних потоків, що дає можливість зменшити сукупні витрати, які пов'язані з управлінням матеріальними і супутніми їм сервісними потоками по всьому логістичному ланцюгу від розробки родовищ до поставки товарної продукції до споживача з метою забезпечення підвищення економічної ефективності функціонування гірничих підприємств та зниження питомих витрат на всіх технологічних етапах.

За рахунок реалізації "Рекомендації з оцінки ефективності осадження частинок мінеральної сировини при переливі в гравітаційних апаратах з урахуванням процесу розділення гідросуміші при течії в приповерхневому шарі" і "Рекомендації щодо оптимізації логістичних технологій на багаторівневих гірничих підприємствах" реальний річний економічний ефект, складає 324 тис. 700 грн.

Директор шахти Ольхова-Західна — Гріздак І.М.

Директор з економіки — Юшков А.В.

Read-only

ДОДАТОК В.
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Read-only

Статті у закордонних періодичних виданнях та у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз

1 Bulat A.F., Dzyuba S.V., Sokil A.M. Metodology of determining the boundaries of area of stable of aspiration systems at the mining and metallurgical enterprises. *Metallurgicheskaya I Gornorudnaya Promyshlenn*. 2003. № 1. P. 89 – 92.

2 Bulat A., Blyuss B., Dreus A., Liu Baochang, Dziuba S. Modeling of deep wells thermal modes. *Mining of Mineral Deposits*. 2019. № 1, P. 27 – 35. https://doi.org/10.33271/mining13.01.058

3 Bulat A., Dziuba S., Minieiev S., Koriashkina L., Us S. Solution of the problem to optimize two-stage allocation of the material flows // Mining of Mineral Deposits. 2020. № 1. P. 58 – 65.https://doi.org/10.33271/mining14.01.027

4 Dziuba S., Dyakun I., Kyrychko S., Tatarko L. Ground waters disposal modeling during the infrastructural geotechnical systems development. *Modern Scientific Researches*. 2020. №. 3. P. 50 – 57. DOI: 10.30888/2410-6615.2020-03-02-013

5 Dziuba S., Kyrychko S., Blyuss K., M.A. Yau Analytical and numerical analysis of Turing structures. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 2, P. 134-139. https://DOI: 10.30890/2567-5273.2020-11-01-033.

6 Дзюба С.В., Дякун И.Л., Киричко С.М. Визначення фільтраційних властивостей ґрунтів техногенних родовищ. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11/Part 4, P. 12 – 20. https://DOI: 10.30889/2523-4692.2020-11-04-014.

7 Sudakov A., Dreus A., Ratov B., Sudakova O., Khomenko O., Dziuba S., Sudakova D., Muratova S., Ayazbay M. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes. *News of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. 2020. ISSN 2224-5278, V. 2, № 440. P. 63 – 71. https://doi.org/ 10.32014/2020.2518-170X.32

8 Siasiev A., Dreus A., Horbonos S., Balanenko I., Dziuba S. The stressed-strained state of a rod at crystallization considering the mutual influence of temperature and mechanical fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 3/5 (105). P. 38 – 48. https://doi.org/ 10.15587/1729-4061.2020.203330

Read-only

Статті у наукових фахових виданнях

9 Дзюба С.В. Визначення раціональних параметрів процесів розвитку підприємств гірничої галузі. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2007. № 68. С. 278 – 285.

10 Дзюба С.В. Специфика анализа и прогноза эффективности технологий переработки минерального сырья. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 94 – 99.

11 Дзюба С.В., Киричко С.М. Визначення життєвого циклу гірничо-переробних підприємств з урахуванням нечітких вихідних даних. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2010. № 85. С. 226 – 233.

12 Дзюба С.В., Шмелев Н.А., Коваль Н.В. Анализ технологий подземной разработки месторождений полезных ископаемых при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. № 101. С. 284 – 291.

13 Витушко О.В., Дзюба С.В. Значение гидротехнических сооружений для эффективной работы угольных предприятий. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. № 104. С. 263 – 267.

14 Дзюба С.В. Согласование систем управления горных предприятий на основе закономерностей технического анализа. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2012. - № 107. - С. 92 – 98.

15 Витушко О.В., Дзюба С.В., Коваль Н.В. Разработка методов расчета параметров процессов гидротранспортирования в подземных гидротехнических системах. *Геотехнічна механіка*. Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2014. № 119. С. 186 – 197.

16 Дзюба С.В., Медведева О.А., Киричко С.Н. Особенности использования напорного гидротранспорта при разработке техногенных месторождений. *Вибрация в технике и технологиях*. Винница, 2015. № 4(80). С. 136 – 142.

17 Фісуненко П.А., Лаже М.В., Дзюба С.В. Аналіз системи показників

Read-only

економічної безпеки будівельних підприємств. *Будівельне будівництво*. 2016. № 61 / 2. С. 59 – 63.

18 Дреус А.Ю., Сясев В.О., Дзюба С.В., Киричко С.М. Дослідження впливу концентрації метану на режим течії повітряно-метанової суміші у мікроканалі. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2017. № 136. С. 51 – 59.

19 Лапшин Е.С., Блюсс Б.А., Дзюба С.В. Определение рациональных параметров динамического гасителя низкочастотных колебаний. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 139. С. 23 – 30

20 Дзюба С.В., Дреус А.Ю., Лисенко К.В. Моделювання процесів у гравійних фільтрах, які використовуються в технологіях розробки родовищ. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 140. С. 188 – 197.

21 Блюсс Б.О., Лук'янов П.В., Дзюба С.В. Динаміка вихрових структур в напірних течіях гідросумішей при переробці мінеральної сировини. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 141. С. 86 – 98.

22 Дзюба С.В. Аналіз сучасних систем прийняття рішень для технологій переробки мінеральної сировини. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 142. С. 51 – 59.

23 Блюсс Б.О., Дзюба С.В., Семененко Є.В. Обґрунтування параметрів ефективності гідротехнічних систем у технологіях переробки мінеральної сировини. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 4 (313). С. 58 – 64.

24 Блюсс Б.О., Дзюба С.В., Семененко Є.В., Лях М.М. Оцінка методів підвищення ефективності функціонування гідротехнічних систем гірничо-металургійних комбінатів. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 5 (314). С. 38 – 45.

25 Семененко Є.В., Лапшин Є.С., Дзюба С.В., Лях М.М. Особливості технологічного розрахунку трубопроводів при транспортуванні неньютонівських рідин з високою в'язкістю. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2018. № 6 (315). С. 38 – 45.

26 Блюсс Б.О., Лук'янов П.В., Дзюба С.В. Моделювання квазіточкового турбулентного вихору в закручених течіях рідини в збагачувальному

Read-only

устаткуванні. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2018. № 143. С. 49 – 59.

27 Дреус А.Ю., Хамініч О.В., Коваль Н.В., Дзюба С.В. Моделирование многофазного потока при гидроподъеме твердых частиц. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2019. № 1 – 2 (316). С. 38 – 45.

28 Дырда В.И., Лисица Н.И., Козуб Г.О., Толстенко О.В., Ахалтсов Г.М., Новикова А.В., Филипенко О.Н., Дзюба С.В. Охрана труда при работе машин, работающих при длительных циклических нагрузках. *Геотехнічна механіка*. Дніпро, 2019. № 144. С. 83 – 90.

29 Кісельова О.М., Притоманова О.М., Дзюба С.В., Падалко В.Г. Розв'язання двоетапної неперервно-дискретної задачі оптимального розбиття-розподілу з нечіткими параметрами. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпро, 2019. №. 19. С. 106 –116.

30 Судаков А.К., Дреус А.Ю. , Лысенко К.Е., Дзюба С.В. Моделирование процесса замораживания гравийных фильтров используемых в горных технологиях. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2019. № 3 – 4 (316). С. 42 – 47.

31 Кісельова О.М., Притоманова О.М., Дзюба С.В., Падалко В.Г. Побудова мультиплікативно зваженої діаграми Вороного з нечіткими параметрами. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпро, 2019. №. 19. С.117 – 126.

32 Кирия Р.В., Дзюба С.В., Мостовой В.Ф. Оптимальный объем аккумулирующих бункеров, работающих в системе конвейерного транспорта угольных шахт. *Системні технології*. 2020. № 1(126). С. 161 – 170.

Статті та тези докладів в виданнях конференцій:

33 Дзюба С.В., Мищенко Т.Ф., Семененко Е.В. Обеспечение надежности технологий обогащения по показателям качества. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях*: материалы Третьей Промышленной международ. научно-техн. конф., 12-14.2003 г., п. Славское, 2003. С. 19 – 20. (заочна участь)

34 Дзюба І.М., Дзюба С.В., Семененко Е.В. Економічне обґрунтування

Read-only

надійності й ефективності збагачувального виробництва. *Актуальні проблеми фінансового менеджменту на підприємствах*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф. молодих наук, 18-19.04.2003 р., м. Донецьк, 2003 р. С. 182 – 189. (очна участь)

35 Дзюба С.В. Основные методы управления режимом течения аэросмеси в системах трубопроводного транспорта. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали регіон. наук. конф., присвяченої пам'яті проф. М.М. Бєляєва, 16-17.11.2006 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2006. С. 90 – 91. (очна участь)

36 Дзюба С.В. Моделирование потоков аэросмеси в системах трубопроводного транспорта для нестационарных режимов течения. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали II міжнарод. наук. конф. на честь 90-річчя Дніпропетровського університету та до 80-річчя зі дня народження професора М.М. Бєляєва, 13-15.11.2008р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2008. С. 101 – 103. (очна участь)

37 Дзюба С.В., Киричко С.М. Обґрунтування нечіткої експертної системи з урахуванням неповних вихідних даних для визначення стадії життєвого циклу підприємств гірничої галузі. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях*: материалы Десятой Юбилейной Промышленной международ. научно-техн. конф., 18-22.02.2010 п. Славское, 2010 г. С. 131 – 142. (заочна участь)

38 Дзюба С.В. Определение основных соотношений движения аэросмеси в системах трубопроводного транспорта с учетом изменения технологических параметров. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали III міжнарод. наук. конф., 4-6.11.2010 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2010. С. 153 – 155. (очна участь)

39 Дзюба И.М., Дзюба С.В. Управление повышением конкурентоспособности продукции горных предприятий с учетом оценки состояния фондового рынка Украины. *Аналіз сучасних економічних процесів та інформаційні технології*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., 24-25.11.2011 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2011. С. 30 – 32.

Read-only

(очна участь)

40 Дзюба С.В. Совершенствование основных методов управления функционирования систем трубопроводного транспорта, перемещающих аэросмеси. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали IV міжнарод. наук. конф., 1-3.11.2012 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2012. С. 196 – 199. (очна участь)

41 Витушко О.В., Дзюба С.В., Никифорова Н.А. Определение электровязкостного эффекта при фильтрации подземных вод в пористом горном массиве. *Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу*: матеріали V міжнарод. наук. конф., 6-8.11.2014 р. м. Дніпропетровськ: ДНУ імені Олеся Гончара, 2014. С. 124 – 127. (очна участь)

42 Дзюба С.В., Медведева О.А., Киричко С.Н. Основные особенности режимов работы напорного гидротранспорта при разработке месторождений минерального сырья. *Вібрація в техніці та технологіях*: матеріали XIV міжнарод. наук.-техн. конф., 21-25.09.2015 р. м. Дніпропетровськ: НТУ Дніпровська політехніка, 2015. С. 63 – 64. (очна участь)

43 Дзюба С.В Адаптація методів промислової інженерії до управління інноваційними проектами в транспортних системах. *Проблеми економіки транспорту*: матеріали XIV міжнарод. наук.-практ. конф., 21-22.04.2016 р. м. Дніпропетровськ: ДДУЗТ. С. 146 – 147. (очна участь)

44 Дзюба С.В. Фактори впливу на інвестиційну привабливість підприємств залізничного транспорту. *Проблеми економіки транспорту*: матеріали XV міжнарод. наук.-практ. конф., 20-21.04.2017р. м. Дніпропетровськ: ДДУЗТ. 2017. С. 20 – 23. (очна участь)

45 Maksym Mishchenko, Serhii Dziuba Modelling of logistics system management processes based on neuro-fuzzy technologies. Symposium TP’2017, Poland, Katowice, Faculty of Transport, 27.06.2017. (заочна участь)

46 Дзюба С.В., Медведєва О.О., Киричко С.М., Коваль Н.В. Аналіз сучасних методів моделювання логістичних систем гірничих підприємств в умовах невизначеності вихідних параметрів. *Потураївські читання*: матеріали

Read-only

міжнарод. наук.-практ. конф., 18-19.01.2018 р. м. Дніпро: НТУ Дніпровська політехніка. 2018. С. 189 – 196. (очна участь)

47 Дзюба С.В., Фісуненко П.А. Обґрунтування інструментів планування соціально-економічного розвитку промислових регіонів України з урахуванням закордонного досвіду. *Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем*: матеріали Х міжнарод. наук.-практ. інтернет-конф. 22-25.04.2018 р. м. Харків. 2018. С. 46 – 48. (заочна участь)

48 Дзюба С.В., Фісуненко П.А. Аналіз маркетингових стратегій ведення переговорів при плануванні розвитку нафтогазової системи України. *Сучасні управлінські технології в умовах трансформації соціально-економічних відносин*: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., 19-20.04.2018 р. м. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2018. С. 294 – 296. (заочна участь)

49 Булат Є.А., Дзюба С.В. Деякі аспекти удосконалення правової охорони інтелектуальної власності в Україні. *Наука та освіта в контексті сучасних глобалізаційних процесів*: матеріали Всеукраїн. наук.-практ. конф., 01.06.2018р. м. Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського. 2018. С. 97 – 99. (заочна участь)

50 Дзюба С.В. Аналіз сучасних систем прийняття рішень для технологій переробки мінерального сировини. *Геотехнічні проблеми розробки родовищ*: матеріали XVI конф. молодих вчених, 25.10.2018р. м. Дніпро: ІГТМ НАН України. 2018. С. 2. (очна участь)

51 Дзюба С.В. Анализ параметров эффективности функционирования аспирационных систем для технологий переработки минерального сырья. *Потураївські читання*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., 25.01.2019 р. м. Дніпро: НТУ Дніпровська політехніка. 2019. С. 17 – 18. (очна участь)

52 Міщенко М.І., Коряшкіна Л.С., Ус С.А., Дзюба С.В. Оптимізація логістичних зв’язків в системі двоетапного транспортування ресурсу, неперервно розподіленого на заданій території. *Транспортний комплекс України: Умови ефективного розвитку*: матеріали VII Всеукраїнської наук.-практ. конф., 2-3.052019 р. м. Одеса. 2019. С. 31 – 33. (заочна участь)

Read-only

53 Borys Blyuss An optimal two-stage distribution of material flow at the fuel and energy complex enterprises/ Borys Blyuss, Larysa Koriashkina, Svitlana Us, Serhii Minieiev, Serhii Dziuba // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019 https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900008. (заочна участь)

54 Yevgenii Semenenko Determination of the critical rate of hydrotransport based on measurements in supercritical flow conditions / Yevgenii Semenenko, Serhii Dziuba, Larysa Tatarko, Zinaida Yakubovska // E3S Web of Conferences, Volume 109 (2019), International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, June 25-27, 2019 https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900082. (заочна участь)

55 The Economic Guarantee of Logistic Connections Optimization at Railway Transport / Vasyl Kopytko, Sergei Dziuba, Maxym Mìshchenko and Tetyana Shargun // Matec Web Conferences 294, 04016(2019) *EOT 2019,* Lviv, Ukraine, September, 2019, https://doi.org/10.1051/matecconf/201929404016. (заочна участь)

56 Дзюба С.В., Лук'янов П.В., Осадчук В.Б., Хільченко А.А. Витратна характеристика трубопроводу з дифузорним насадком. *Промислова гідравліка та пневматика*: матеріали XIX міжнарод. наук.-техніч. конф., 21-23.10.2019 р. м. Київ: АС ПГП. 2019. С. 24–25. (очна участь)

57 Дзюба С.В., Лук'янов П.В., Осадчук В.Б., Хільченко А.А. Вплив просторової геометрії трубопроводу на його витратну характеристику *Промислова гідравліка та пневматика*: матеріали XIX міжнарод. наук.-техніч. конф., 21-23.10.2019 р. м. Київ: АС ПГП. 2019. С. 26 – 28. (очна участь)

58 Осадча Н.В., Дзюба С.В. Оптимізація ризиків при обранні ринків збуту в рамках здійснення торгівельних відносин. *Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2019)*: матеріали XVII міжнарод. наук.-практ. конф., 20-22.11.2019 р. м. Дніпро: ДНУ імені Олеся Гончара. 2019. С. 196 – 197. (очна участь)

59 Дзюба С.В., Коряшкіна Л.С. Обґрунтування механізму управління логістичними потоками промислових підприємств. *Потураївські читання*:

Read-only

матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., 24.01.2020 р. м. Дніпро: НТУ Дніпровська політехніка. 2020. С. 18. (очна участь)

60 Yevhen Lapshin The choice of mining development strategy based on the improved Bayes criterion / Yevhen Lapshin, Borys Blyuss, Serhii Dziuba, Larysa Tatarko // E3S Web of Conferences, Volume 168 (2020), II International Conference Essays of Mining Science and Practice, Dnipro, Ukraine, May 06, 2020, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800053. (заочна участь)

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК АВТОРА В РОБОТИ, ЯКІ ОПУБЛІКОВАНО У СПІВАВТОРСТВІ

У роботі [1] – розроблена методика визначення параметрів процесів в аспіраційно-знепилюючих системах збагачувальних фабрик; у роботах [2, 3, 4, 33, 34, 54] – проведено аналіз існуючих гідротехнічних систем гірничих підприємств та визначені показники надійності і ефективності технологій переробки мінеральної сировини; у [5, 7, 12, 13, 23, 25] – дослідження та моделювання процесів в багатофазних потоках і гравійних фільтрах при ведені гірничих робіт; у [8, 30, 31, 45, 52, 53] – визначення вихідних даних для розрахунків у модельних двоетапних задачах оптимізації логістичних зв’язків; у [9 – 11, 16] – аналіз та моделювання фільтраційних процесів в пористих сипких матеріалах; у [17, 18, 20, 21] – аналіз гідротехнічних систем приведенні підземних гірничих робіт; у [22, 24, 29, 60] – аналіз і визначення раціональних показників технологій переробки мінеральної сировини з метою обґрунтованого вибору стратегій розвитку гірничих підприємств; у [26, 28, 56, 57] – визначено вплив сил тертя і просторової геометрії трубопроводів на характеристики процесів течії рідини і гідросумішей в технологіях переробки мінеральної сировини; у [32] – визначення обсягів акумулюючої здібності бункерів в технологіях конвеєрного транспорту; [37, 39, 41, 42, 46-49] – приймав участь у конференціях з доповідями.

Read-only