

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМ. АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

БАРАНОВ ІГОР ОЛЕГОВИЧ



УДК 621.182.95

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ
ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНОГО ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА
В ГІДРОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Спеціальність 05.22.12 – промисловий транспорт
Галузь знань 027 – транспорт

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі логістичного управління та безпеки руху на транспорті в Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Чернецька-Білецька Наталія Борисівна,
Завідувач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті (Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Турпак Сергій Миколайович,
Завідувач кафедри транспортних технологій (Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя);


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

Захист відбудеться «14» березня 2019 р. о 14³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна або на сайті університету <http://diit.edu.ua/> (Наука - Захисти у спеціалізованій вченій раді Д 08.820.01).

Автореферат розісланий «12» лютого 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01,
доктор технічних наук, професор



А.М. Муха

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Промислові підприємства теплової енергетики та вугледобувного комплексу України: шахти і збагачувальні фабрики – мають у своїй структурі котельні, що працюють на кам'яному вугіллі, із загальною річною потребою підприємства до 150 тис.т. Тим часом подальші перспективи використання вугільних палив в Україні нерозривно пов'язані з використанням водовугільного палива (ВВП).

Транспортування вугілля у вигляді ВВП на території підприємства здійснюється залізничним, автомобільним або трубопровідним транспортом. Експлуатаційні витрати на транспортування ВВП автомобільним або залізничним транспортом складають 1,1–1,5 млн.грн./рік, витрати трубопровідного гідротранспорту – 200 тис.грн./рік. При цьому собівартість перевезення 1 ткм ВВП трубопровідним транспортом у 5 разів менша ніж автомобільним.

Використання трубопровідного транспорту дозволяє виключити зливно-наливні операції, підвищити швидкість обертання, пропускну здатність і, тим самим, виключити простой транспортних засобів під вантажними операціями, які становлять для автомобільного транспорту не менше 3-х годин, для залізничного – не менше 6-ти годин. Підвищення ефективності транспортування ВВП у промислових гідротранспортних системах (ПГТС) виражається в зниженні собівартості перевезення 1 ткм вантажу при постійній інтенсивності вантажопотоку, при цьому собівартість перевезення безпосередньо залежить від енерговитрат на транспортування. Недоліком трубопровідного гідротранспорту є підвищення енерговитрат залежно від пропорцій різних фракцій гранулометричного складу (ГМС) продукту транспортування, в результаті чого при не раціональному складі енерговитрати на транспортування ВВП зростають до 1,5–1,7 разів. Проблеми функціонування ПГТС полягають у відсутності певного критерію для оцінки ГМС висококонцентрованого ВВП (ВКВВП), рекомендацій з підготовки та дотримання раціональних пропорцій його різних фракцій, у результаті чого зростають енерговитрати при транспортуванні ВВП.

Відсутність оптимізованої за техніко-економічними показниками схеми транспортування ВВП і обґрунтованих з огляду на мінімізацію енерговитрат параметрів роботи гідротранспортної системи (ГТС) підприємства призводить до збільшення собівартості транспортування ВВП на 19%. Крім цього для оцінки енерговитрат на транспортування ВКВВП необхідне уточнення закономірностей течії по трубопроводу.

Вирішення вказаних вище завдань дозволить зокрема знизити енерговитрати на транспортування ВВП у ПГТС практично в 2 рази.

Перераховані вище недоліки існуючих ГТС підтверджують актуальність обраної теми досліджень і дозволяють підвищити ефективність транспортування ВКВВП гідротранспортною системою промислового підприємства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження, виконані в цій дисертаційній роботі, є частиною держбюджетної теми СНУ ім. В. Даля: №ДН-03-15 «Розробка теорії і підвищення ефективності енергетичних

процесів у системах приготування, транспортування і спалювання водовугільного палива» (№ держреєстрації U0115U000646), співавтором звіту якої є автор.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є зниження енерговитрат на транспортування і матеріальних ресурсів на спорудження та функціонування промислової гідротранспортної системи на основі вибору раціонального гранулометричного складу водовугільного палива та оптимізації конфігурації трубопровідної мережі.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких завдань:

- проведення аналізу існуючих технологій підготовки і схем транспортування водовугільного палива в промислових гідротранспортних системах і оцінка впливу характеристик твердої фази, зольності й показників якості вихідного вугілля, швидкості транспортування суспензії і властивостей пластифікуючих добавок на ефективність транспортування водовугільного палива;

- розробка математичної моделі руху неньютонівських рідин, що дозволяє визначити втрати енергії і структуру потоку при транспортуванні водовугільного палива у промислових гідротранспортних системах та оптимізувати конфігурацію транспортної мережі з урахуванням його реологічних властивостей, режимів руху й вмісту твердої компоненти;

- експериментальні дослідження закономірностей зміни параметрів течії водовугільного палива та енерговитрат на його транспортування від основних факторів впливу: концентрації твердого компонента, параметра, що характеризує ступінь бімодальності гранулометричного складу, швидкості транспортування і зольності вихідного вугілля;

- впровадження запропонованих заходів щодо зниження енерговитрат на транспортування і зменшення матеріальних ресурсів на спорудження та функціонування трубопровідної мережі, а також визначення їх ефективності.

Об'єкт дослідження – процеси транспортування водовугільного палива в системах промислового гідротранспорту.

Предмет дослідження – закономірності зміни енергетичних витрат на транспортування водовугільного палива залежно від схеми гідротранспортної системи і його реологічних властивостей.

Методи досліджень. Розрахунки втрат енергії і визначення структури потоку при транспортуванні ВВП у ПГТС здійснювалося з використанням моделі течії в'язкопластичної рідини Шведова-Бінгама. Розрахунок вмісту твердої фази у ВВП здійснювався на основі розрахункових залежностей запропонованих автором. Закономірності зміни параметрів течії ВВП та енерговитрат на його транспортування від основних факторів впливу отримані в результаті проведення планованого експерименту за методикою Е.Е. Рафалеса-Ламарка. Впровадження запропонованих заходів щодо зниження енерговитрат на транспортування і зменшення матеріальних ресурсів на спорудження та функціонування трубопровідної мережі виконано за допомогою алгоритму Прима і методу "гілок і меж".

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше формалізована оптимізаційна модель вибору параметрів гідротранспортної системи промислового підприємства, що дозволяє вирішити задачу мінімізації енерговитрат на транспортування водовугільного палива та зменшити матеріальні ресурси на спорудження та функціонування транспортної трубопровідної мережі;

- удосконалено метод розрахунку масової та об'ємної концентрацій твердої компоненти водовугільного палива з урахуванням поглинання рідкої компоненти відкритими порами твердих частинок, що розкриває ефект підвищення енерговитрат на його транспортування у промислових гідротранспортних системах у діапазоні формальних концентрацій 60–65%;

- вдосконалені залежності гідравлічного опору різних композицій водовугільних суспензій, що дозволяють оцінити їх вплив на енерговитрати при транспортуванні водовугільного палива у промислових гідротранспортних системах;

- отримала подальший розвиток математична модель просторової тривимірної течії ньютонівської рідини, що дозволяє на відміну від існуючих моделей Менгера SST визначити енерговитрати на транспортування водовугільного палива в промислових гідротранспортних системах підприємств та оптимізувати конфігурацію транспортної мережі з урахуванням реологічних властивостей і режимів течії;

- отримали подальший розвиток методи визначення критерія бімодальності гранулометричного складу водовугільного палива, який становить відношення вмісту дрібної та відповідно великої фракцій до проміжної, що дозволяє на відміну від існуючих визначити його склад в суміші і визначити доцільне співвідношення вказаних фракцій, необхідне для мінімізації витрат енергії при його транспортуванні в промислових гідротранспортних системах.

Практичне значення отриманих результатів:

- встановлення факту відповідності двошарової структури змашування при раціональних значеннях критерію бімодальності дозволило обґрунтувати наднормативний ефект впливу вказаного критерію на питомі витрати енергії при його транспортуванні. Створені основи якісної структури ВВП як змашування;

- розроблена методика визначення енергетичних витрат на транспортування ВВП в ПГТС підприємств, що дозволяє для забезпечення заданої продуктивності ГТС розрахувати параметри трубопроводу й гідравлічні параметри транспортування;

- удосконалена експериментальна установка для дослідження енерговитрат та гідродинамічних параметрів при транспортуванні ВВП по трубопроводу.

Основні результати досліджень використовуються в Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля при підготовці бакалаврів і магістрів за напрямом «Транспортні технології».

Використання розроблених методик дозволяє отримати економічний ефект за рахунок зниження енергетичних витрат на транспортування ВВП і вдосконалення

топології транспортної мережі в ГТС промислових підприємств теплової енергетики і вугледобувного комплексу України.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором особисто. Статтю [11] підготовлено одноосібно. У спільних роботах особистий внесок автора полягає в такому: [3,4,5,9,10,14,21] – виконано аналіз технологій транспортування ВВП у ПГТС, удосконалена математична модель течії ВВП; [1,7,8,15] – проведені експериментальні дослідження закономірностей зміни параметрів течії ВВП та енерговитрат на його транспортування від основних факторів впливу; [2,6–8] – удосконалено критерій бімодальності ГМС ВВП; [7,8,18,20] – розроблено метод визначення числа шарів дрібних часток еквівалентного діаметру; [12,13,16,17] – отримано рівняння регресії гідравлічного опору різних композицій ВВП; [1,17,19] – удосконалено методику розрахунку масової та об'ємної концентрацій твердої компоненти ВВП.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 21 науковій роботі. З них [1] монографія, [2,3,4,5] статті у виданнях, які включені до наукометричних баз: Scopus, Index Copernicus, [11,9,10,6,7,8] статті в спеціалізованих видавництвах, рекомендованих МОН України, в тому числі стаття [11] без співавторів, [14–21] роботи в матеріалах конференцій, [12,13] патенти на корисну модель України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Повний обсяг дисертації складає 217 сторінок, у тому числі: 63 рисунка за текстом, з них 1 на окремій сторінці, 20 таблиць за текстом, з них 1 на окремій сторінці, список використаних джерел з 146 найменувань на 16 сторінках, додатки на 11 сторінках. Основний текст роботи викладено на 190 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані цілі та завдання, визначені об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульована наукова новизна й відображено практичне значення результатів, які виносяться на захист. Представлений особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми, визначені мета і завдання дослідження.

На сьогоднішній день ВВП широко використовується в таких країнах, як Італія, Канада, Китай, Росія, США, Швеція та Японія. Промислові ГТС, які використовуються для транспортування ВВП, мають широкий спектр застосування: енергетика, металургія, виробництво будматеріалів, хімічна промисловість. Споживачами ВВП можуть бути як малі, середні, так і великі промислові підприємства, підприємства теплової енергетики та вугледобувного комплексу: шахти й збагачувальні фабрики.

Порівняльний аналіз існуючих ГТС дозволяє стверджувати, що вибір схеми транспортування суттєво впливає на її функціональні якості, які всебічно

віддзеркалюються показником питомих енерговитрат (E_n), кВт год/ткм та витрат на перевезення (C_n) грн./ткм. Вказані показники залежно від обраної схеми гідротранспортування змінюються в діапазонах відповідно 0,085–0,24 кВт год/ткм та 20–56 коп./ткм, тобто майже в 3 рази. До того ж доцільними схемами транспортування є послідовно-променеві та променеві (відповідно $E_n=0,085-0,143$ кВт год/ткм $\in C_n=20-33$ коп./ткм), це дозволило обрати вказані вище схеми для подальших досліджень при виконанні цієї дисертаційної роботи при постановці та вирішенні оптимізаційної задачі.

У результаті виконання аналізу функціонування різних ГТС промислових підприємств України і розвинутих країн було встановлено, що існуючі технології транспортування ВКВВП не передбачали дотримання раціональних пропорцій різних фракцій ГМС ВВП.

Відсутність достатньо точного методу й моделі визначення гідравлічних параметрів транспортування ВВП у ГТС промислових підприємств значно ускладнює процес транспортного обслуговування споживачів ВВП.

Таким чином, проблема підвищення ефективності транспортування ВКВВП у гідротранспортній системі промислового підприємства вимагає свого вирішення. На цій основі сформульовано мету дисертаційної роботи.

Значний внесок у вирішення завдань зі створення науково-методичного забезпечення визначення енерговитрат при транспортуванні ВВП внесли роботи зарубіжних вчених: США (EERC), Канади (Cape Breton Development Corporation), Італії (Snamprogetti), Німеччини (Salzgitter), Швеції (AB Carbogel), Франції (Elfsolaize), Японії (Japan COM, JGC і Nissho Iwai Coal Corp.), Китаю (Janri CWM Corp.), Росії (ФГАОУ ВПО, ЗАТ НВП «Сібекотехніка», СФУ). Великий внесок у розвиток ВВП-технологій в Україні внесли вчені ІГТМ НАН України, ДНТУ, НВО «Хаймек», СНУ ім. В. Даля, ІВЕ НАН України, УкрНДІгідровугілля, ІНФОУ НАН України та ІКХіХВ НАН України та ін.

Вирішенню питань підвищення ефективності транспортування ВВП промисловим гідротранспортом присвячені роботи вчених Алієва Р.А., Бібіка Е.Е., Білецького В.С., Брагіна Б.Ф., Власова Ю.Ф., Губіна В.Є., Дмитрієва Г.П., Крутя О.А., Лойцяньського Л.Г., Мурко В.І., Рабіновича Е.З., Світлого Ю.Г., Семененко С.В., Сергєєва П.В., Смолдирєва А.Е., Трайніса В.В., Урьєва Н.Б., Яхно О.М. та ін.

Аналіз показав, що в представлених роботах не розкриті закономірності оптимізації критерію бімодальності (КБ) ГМС ВВП і не розроблена методика визначення раціонального складу, а існуючі рівняння регресії гідравлічного опору різних композицій ВВП не дозволяють коректно оцінити їх вплив на енерговитрати транспортування. Крім того не визначена науково-обґрунтована методика визначення оптимальної, за умов даного підприємства, схема гідротранспортування водовугільної суміші (ВВС).

Впровадження заходів, запропонованих у дисертаційній роботі, включно з раціоналізацією ГМС суміші та схеми транспортування забезпечує зниження його собівартості в розрахунку на 1 ткм ВВП порівняно з існуючими технологіями гідротранспортування на 28,5%.

За результатами проведеного аналізу сформульована мета й завдання дослідження.

У другому розділі розроблена математична модель руху неньютонівських рідин, що дозволяє визначити закономірності впливу параметрів гідротранспортної системи та режимів транспортування ВВП на його енергетичні показники в ПГТС і тим самим зменшити енерговитрати, оптимізувати конфігурацію транспортної мережі та підвищити ефективність транспортування.

Запропоновано методи уточнення КБ ГМС, проведені лабораторні випробування, визначено вихідні реологічні властивості для математичного моделювання просторової тривимірної течії ВВП у системах промислового гідротранспорту з урахуванням параметрів бімодальності (ПБ) ГМС. Проведено порівняльний аналіз реологічних моделей і уточнено критерій, що характеризує бімодальність ГМС ВВП (Ξ). Встановлено, що найбільш важливими факторами, що впливають на енерговитрати при транспортуванні ВВП у ПГТС є концентрація твердого компонента (ТК) (С) і параметри, що характеризують бімодальність ГМС твердої фази ВВП, які представлені відношеннями:

$$\Gamma_1 = \frac{P_1}{P_2}; \Gamma_2 = \frac{P_3}{P_2}; X_{II} = \frac{1}{\Gamma_1 + \Gamma_2 + 1}; X_1 = \Gamma_1 \cdot X_{II}; X_2 = \Gamma_2 \cdot X_{II}, \quad (1)$$

де P_1 – частка часток дрібної фракції, %; P_2 – частка часток проміжної фракції, %; P_3 – частка часток великої фракції, %.

Параметри Γ_1 і Γ_2 повністю визначають як бімодальність довільного ГМС, так і його склад, враховуючи кількість як дрібної X_1 , великої X_2 , так і проміжної фракції X_{II} .

Запропоновані параметри дозволяють отримувати результати по опору при транспортуванні для різних варіантів бімодального складу, що дає можливість оцінити вплив Γ_1 , Γ_2 при різних С на енерговитрати транспортування ВВП і визначити раціональні значення ПБ.

На підставі запропонованих параметрів Γ_1 і Γ_2 з метою визначення реологічних властивостей, від яких залежать енерговитрати транспортування ВВП, проведені лабораторні випробування. Для цього залежно від параметрів помелу були підготовлені 6 варіантів ГМС – Γ_1 (10,976, 7,76, 9,86, 9,12, 16,82, 7,2) і Γ_2 (4,48, 5,32, 4,52, 4,59, 4,4, 6,5).

Випробування отриманих ГМС з урахуванням розподілу твердої фази ВВП характеризованих значеннями параметрів Γ_1 і Γ_2 (x_2 , x_3), а також концентрацією твердого С(x_1), дозволили для $\eta(\eta)$ – ефективної в'язкості ВВП отримати рівняння регресії виду:

$$\eta(\eta) = 0,51438 + 0,08963x_1 + 0,13588x_2 + 0,07213x_3 - 0,00437x_1x_2 - 0,00463x_1x_3 - 0,01537x_2x_3 + 0,01838x_1x_2x_3 \quad (2)$$

На підставі отриманих результатів лабораторних досліджень визначені значення реологічних властивостей ВВП, ефективної в'язкості й граничного та початкового напруження зсуву τ , τ_0 для різної концентрації С = 60%, 62,5% і 65%. Для вказаних концентрацій С обраний раціональний ГМС вугілля, при якому значення η відповідно складають 0,278, 0,342 і 0,438 Па·с. Значення τ_0 при цьому склали 1,3, 1,55 і 3,18 Па відповідно.

Запропонована залежність для визначення масової густини ВВП, виду:

$$\rho_{\text{ВВП}} = \frac{\rho_{\text{ТВ}} \cdot \rho_{\text{В}}}{C \cdot \rho_{\text{В}} - C \cdot \rho_{\text{ТВ}} + \rho_{\text{ТВ}}}, \quad \rho_{\text{ТВ}} = \rho_{\text{вгв}} + m \cdot \rho_{\text{В}}, \quad (3)$$

де $\rho_{\text{ТВ}}$ – залежність, що дозволяє визначити густину ТК ВВП з урахуванням питомої густини вугілля, його пористості й густини води; $\rho_{\text{вгв}}$ – питома густина вугілля, $\text{кг}/\text{м}^3$; m – пористість вугілля або частка обсягу, яку займають пори; $\rho_{\text{В}}$ – густина води.

Формула (3) дозволяє розраховувати величину ρ ВВП в залежності від густини ТК, пористості вугілля, густини води й концентрації C і в подальшому використана для визначення питомих втрат тиску та відповідно енерговитрат при транспортуванні.

Запропонований ПБ ГМС ВВП склав у діапазонах 7,76–16,8 для Γ_1 ; 4,3–6,5 для Γ_2 і 1,1–3,8 для відношення Γ_1/Γ_2 відповідно. Цей критерій повною мірою дозволив оцінити ступінь бімодальності ГМС ВВП, чим створена передумова для об'єктивної оцінки цього показника і оптимізації варіантів сумішей за критерієм енерговитрат на транспортування.

Розроблено математичну модель просторової тривимірної течії ВВП на основі моделі Ментера SST на основі вирішення рівняння Нав'є-Стокса. Вона враховує можливість турбулентного руху рідини, оскільки у фасонних частинах трубопроводу є відривні зони з нестационарною пульсуючою течією, характеристики якої можуть бути визначені турбулентною частиною моделі (рис.1). Таким чином запропонована модель є універсальною.

Теорема про зміну головного вектора кількості руху системи має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \cdot \nabla) \bar{V} = \bar{F} - \frac{1}{\rho_{\text{ВВП}}} \text{grad} p + \frac{1}{\rho_{\text{ВВП}}} \text{Div}(T_M + T_T); \\ \text{div} \bar{V} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

де T_M і T_T – молекулярна і турбулентна складові тензора в'язких напружень; \bar{V} – вектор швидкості потоку в даній точці простору; t – час; \bar{F} – вектор масових сил; p – гідродинамічний тиск.

Усереднені характеристики турбулентності пов'язані з турбулентною в'язкістю наступними відношеннями:

$$v_T = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)}, \quad CD_{k\omega} = \max\left(2\rho\sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-10}\right), \quad \omega = 10 \frac{6\nu}{\beta_1 (\Delta y)^2}, \quad \nu = \left(\frac{\eta}{\rho} + \frac{\tau_0}{\rho H}\right), \quad k_{\infty} = \nu_{\infty} \omega_{\infty}; \quad (5)$$

де k , k_{∞} – кінетична енергія турбулентності (у вхідному перетині); $a_1 = 0,31$ – емпіричний коефіцієнт; ω – питома (в одиниці об'єму) швидкість дисипації; Ω – абсолютна величина завихреності; ν – реологічна модель; F_2 – змішувальна функція; H – швидкість зсуву між шарами; Δy – пограничний крок; $\nu_{\infty} = 10^{-(2-5)} \nu$ – вихрова в'язкість у вхідному перетині; $CD_{k\omega}$ – позитивна частина перехресних дифузійних членів.

Математичне моделювання проводилося при таких значеннях констант моделі: $\sigma_{k1} = 0,85$; $\sigma_{k2} = 1$; $\sigma_{\omega 1} = 0,5$; $\sigma_{\omega 2} = 0,856$; $\alpha_1 = 5/9$; $\alpha_2 = 0,44$; $\beta_1 = 3/40$; $\beta_2 = 0,0828$, обумовлених рівнянням $\phi = \phi_1 F_1 + \phi_2 (1 - F_1)$. У вихідному перетині каналу рівність нулю

статичного тиску $p|_b = 0$; на твердих стінках, враховуючи прилипання рідини, приймалася гранична умова $\bar{V}|_b = 0$.

Розрахунок проводився за допомогою програмного продукту ANSYS CFX основу якого складає Бінгамівська модель. У результаті проведених розрахунків визначені значення втрат тиску, витрати й розподілу швидкості по перетину трубопроводу в лінійній частині і у повороті на 90° (див. рис. 1), що дозволило визначити енерговитрати при транспортуванні ВВП в ПГТС. При стаціонарному розрахунку траєкторія течії рідких частинок має вигляд ліній течії, які збігаються з траєкторіями часток.

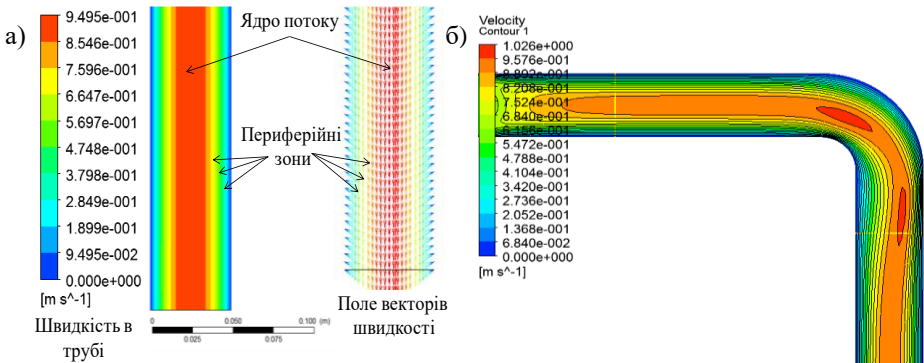


Рисунок 1 – Графічне зображення результатів розрахунку течії ВВП на основі моделі Ментера SST: а) – лінійна ділянка (ламінарна течія); б) – фасонна частина трубопроводу (течія з елементами турбулентності)

Виконані теоретичні дослідження дозволили уточнити математичну модель течії ВВС у ПГТС і таким чином удосконалити закономірності впливу схеми гідротранспортування та параметрів ВВП на енерговитрати постачання вугільного палива споживачам.

У **третьому розділі** представлені результати експериментальних досліджень закономірностей зміни параметрів течії водовугільного палива та енерговитрат на його транспортування.

З багатьох параметрів, що впливають на процес гідравлічного транспортування, найбільш вагомими є: концентрація ТК $C(x_1)$, його зольність $A^d(x_4)$, параметри, що характеризують ступінь бімодальності ГМС твердої фази в потоці суміші $\Xi(x_2)$ і її швидкість $v(x_3)$, від величини яких залежать реологічні і енергетичні характеристики потоку суспензії та ефективність транспортування ВВП.

Основною метою лабораторних експериментальних досліджень було визначення реологічних властивостей, виду реологічної моделі й визначення питомих енерговитрат на транспортування заданої композиції ВВП.

Експерименти на гідравлічному стенді (рис. 2) полягали в перекачуванні підготовленого ВВП з різними варіантами ГМС, концентрації твердої фази й зольності вихідного вугілля при різних швидкостях по кільцевому трубопроводу

діаметром $D_y = 50$ мм за допомогою одnogвинтового насоса 1В-10. Регулювання продуктивності ГТС здійснюється перепуском 7. Серії експериментів проводилися відповідно до матриці планування чотирифакторного тривірневого експерименту.

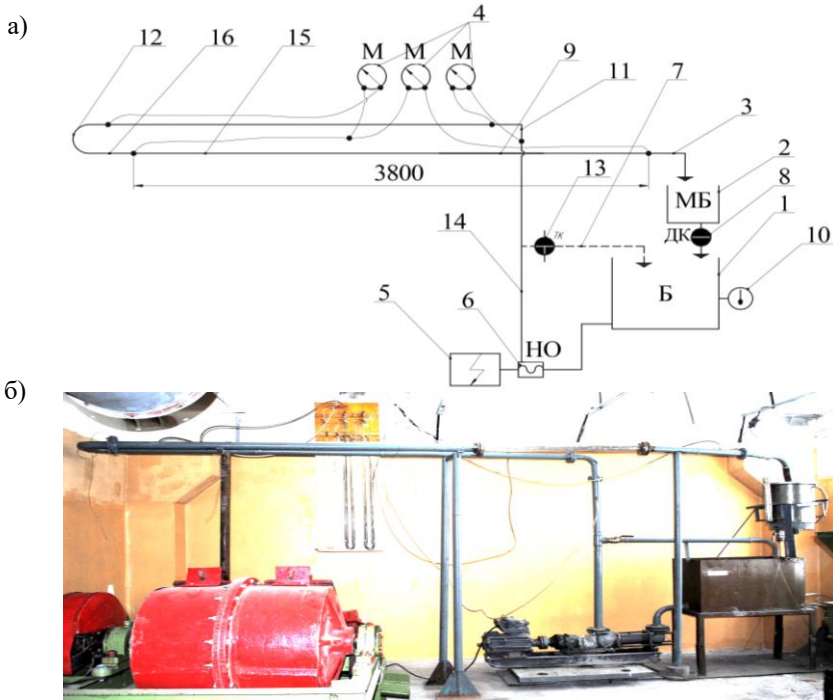


Рисунок 2 – Гідравлічна схема (а) і фотознімок (б) експериментальної установки для дослідження реологічних і гідродинамічних характеристик транспортування ВВП:

1 – ємність для ВВП; 2 – мірний бак; 3 – кільцевий трубопровід; 4 – манометри; 5 – електропривод; 6 – одnogвинтовий насос; 7 – перепуск; 8 – зливний патрубков з двоходовим краном; 9 – прозора ділянка трубопроводу; 10 – термометр; 11 – коліно на 90°; 12 – коліно на 180°; 13 – кран триходовий (тръохканалний); 14 – вхідна ділянка; 15 – вимірвальна ділянка; 16 – стабілізуюча ділянка.

Рівняння регресії для питомих гідравлічних енерговитрат запишуться з урахуванням оцінки значущості коефіцієнтів регресії за t-критерієм Стьюдента у вигляді:

$$\begin{aligned}
 y = & 1902,238 + 775,8295 \cdot x_1 + 138,582 \cdot x_2 + 1348,737 \cdot x_3 + 318,796 \cdot x_4 + \\
 & + 159,687 \cdot x_1^2 - 108,18 \cdot x_1 \cdot x_2 + 286,961 \cdot x_1 \cdot x_3 + 142,119 \cdot x_1 \cdot x_4 + \\
 & + 785,8396 \cdot x_2^2 + 69,7109 \cdot x_2 \cdot x_3 + 13,043 \cdot x_2 \cdot x_4 + 45,73 \cdot x_3^2 - 24,0044 \cdot x_3 \cdot x_4 + 86,44 \cdot x_4^2
 \end{aligned} \quad (6)$$

Адекватність моделі оцінювалася за допомогою F-критерію (критерію Фішера). Табличне значення критерію Фішера для довірчої ймовірності 0,05 при цьому склало $F_a = 2,04$. Для прямолинійної ділянки розрахункове значення критерію Фішера склало

$F_{on} = 1,95$. Значення всіх розрахункових значень критерію менше табличного $F_{on} < F_{\alpha}$, отже, отримана регресійна залежність адекватно описує процеси, що відбуваються при дослідному транспортуванні ВВП. Вид поверхонь відгуку для різних інтервалів варіювання і комбінацій факторів представлені на рис. 3–5.

Приведення рівняння регресії для прямолінійної ділянки трубопроводу до канонічного вигляду і аналіз коефіцієнтів представленої залежності з урахуванням форми функції відгуку дозволяє констатувати наступне:

- при фіксованих на нульовому рівні значень зольності вихідного вугілля і швидкості транспортування ВВП зміна питомих втрат тиску від концентрації ТК носить близький до параболічного характер з мінімумом при $X_1 = -1$ ($C = 60\%$), при цьому їх збільшення спостерігається на всій досліджуваній ділянці з максимумом $X_1 = 1$ ($C = 65\%$). Зміна питомих втрат тиску від відношення Γ_1/Γ_2 має складний характер з мінімумом у районі значення $X_2 = 0$ ($\Xi = 2,3-2,4$), при цьому їх збільшення спостерігається на ділянках $\Xi = 2,45-1,08$ ($X_2 = 0; -1$) і $\Xi = 2,45-3,82$ ($X_2 = 0; 1$) (рис. 3)

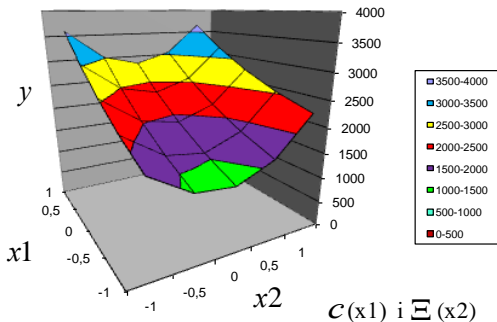


Рисунок 3 – Залежність питомого гідравлічного опору від концентрації ТК і параметра Γ_1/Γ_2

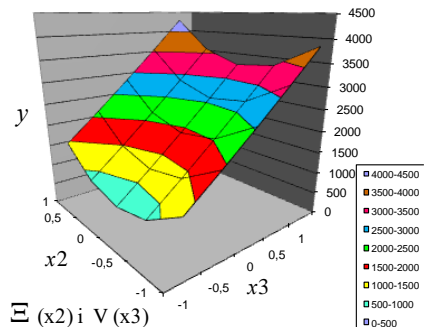


Рисунок 4 – Залежність питомого гідравлічного опору від параметра Γ_1/Γ_2 і швидкості транспортування ВВП

- гіперпараболічна поверхня відбиває залежність питомих втрат тиску від параметра Γ_1/Γ_2 і швидкості транспортування ВВП при фіксованих на нульовому рівні значень масової концентрації і зольності вихідного вугілля, однак зі збільшенням швидкості транспортування ВВП зростання втрат напору значно інтенсивніше, ніж зі збільшенням масової концентрації (рис. 4).

Оскільки нетривіальний (в зоні визначення факторів впливу) мінімум питомих втрат тиску спостерігається тільки за критерієм ГМС $\Xi(x_2)$, його умовою є рівність нулю похідної виразу (6) по x_2 :

$$1571,7x_2 - 108,2x_1 + 69,7x_3 + 13,04x_4 + 138,6 = 0; \text{ або } x_2 = 0,0688x_1 - 0,0443x_3 - 0,0083x_4 - 0,0882$$

Такі вирази просторово відповідають чотиривимірній площині, що є геометричним місцем точок мінімуму опору за критерієм ГМС Ξ .

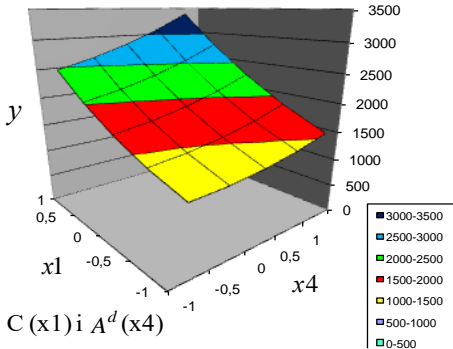


Рисунок 5 – Залежність питомого гідравлічного опору від концентрації ВВП і зольності вихідного вугілля

Як впливає з результатів поглиблених досліджень, найближчі до великих дрібні частинки, утримувані силами адгезії, утворюють зовнішню оболонку великої частки, яка певним чином вирівнює нерівності її поверхні, забезпечуючи “обтічність” (рис. 6).

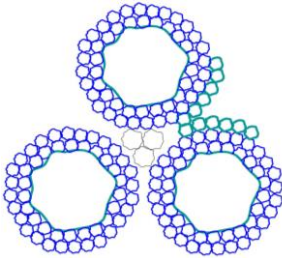


Рисунок 6 – Схема взаємодії великих і дрібних частинок твердої фази в складі ВВП

проміжних часток, що здійснений з урахуванням структури суміші на співвідношенні

$m_{\text{пр}}$ проміжної на $m_{\text{в}}$ великих дорівнює: $\left(\frac{D_{\text{енв дрібн.}}}{D_{\text{енв велик.}}}\right)^3 \cdot \frac{6}{7}$ показав, що раціональний

вміст проміжної фази, що відповідає гармонічному пакуванню, складає 6–7%.

Недостатня кількість часток другого і, тим більше, першого шару обумовлює можливість енерговитратних зіткнень великих фракцій, що викликає різке зростання енерговитрат на транспортування вліво від мінімуму на кривих (область досить повного заповнення двох шарів) рис. 7. Відхилення розрахункової кількості шарів дрібних часток у більший бік ($n=2,2-2,6$) пояснюється частковим заповненням ними порожнин між великими та проміжними.

Пропонований механізм змащування обгрунтовує синергетичний характер ефекту впливу КБ на питомі витрати енергії внутрішньої течії ВВС.

Таким чином, у області визначення факторів впливу їх мінімальних рівнів (-1), середнім (0) і максимальним (+1) відповідають кодовані значення Γ_1/Γ_2 , -0,1044, -0,0882 і -0,072, що в натуральних змінних: 2,31, 2,33 і 2,35 при середньому значенні 2,33.

Оскільки втрати опору, який є питомим енергетичним показником гідросуміші, аналогічні витратам гідравлічної енергії на її транспортування, їх мінімізація обумовлює зниження витрат електричної енергії на прокачування ВВП.

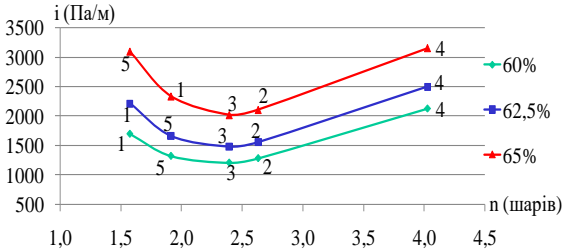


Рисунок 7 – Залежність питомих втрат тиску при транспортуванні ВВП від кількості шарів дрібних частинок бімодального складу при різних концентраціях твердої фази

щодо зниження енерговитрат на транспортування ВВП у ПГТС та зменшення матеріальних ресурсів на побудову трубопровідної мережі, а також визначена їх ефективність.

Порівняння теоретичних та експериментальних даних дозволяє зробити такі висновки:

- при максимальній швидкості транспортування ВВП ($v=0,5$ м/с), похибка практично відсутня ($\epsilon = 1\%$), що дозволяє використовувати цю математичну модель Менгера SST для розрахунків різних систем транспортування ВВП.

- при малих швидкостях транспортування ВВП ($v=0,1$ м/с) відхилення теоретичних і експериментальних даних становить ($\epsilon=13\%$), що говорить про недостатню розвиненість турбулентності в потоці з малими швидкостями транспортування ВВП.

Для підтвердження отриманих висновків по мінімуму енерговитрат при транспортуванні ВВП трубопроводом, проведено порівняння з експериментальними даними (рис. 8). Втрати тиску, представлені на рис. 8 віднесені до максимальних втрат тиску, пов'язаних з енерговитратами при транспортуванні ВВП з ГМС, який має співвідношення $\Gamma_1/\Gamma_2=3,82$ (довільний). Лінії відповідають даним чисельного розрахунку, точки – експериментальні дослідження. Розбіжність між даними експерименту і числовим розрахунком не перевищує 1,6%. Мінімальні втрати відповідають ГМС 0-го складу.

Для розробки економічно й екологічно привабливого проекту з переведення необхідного обладнання на ВВП в рамках підприємства «ДТЕК Добропільвугілля» запропоновано організувати транспортування ВВП ПГТС від пункту відправлення до споживачів. Найбільш доцільно розмістити один пункт відправлення ВВП. Завдання зводиться до мінімізації витрат на транспортування.

При виборі варіанту транспортування ВВП між пунктом відправлення й споживачами підприємства, першим варіантом А1 (рис. 9, а) є чисто променеве з'єднання пункту відправлення з кожним із пунктів споживання.

Варіант А2 – це комбінація променевого з'єднання пункту відправлення з пунктом споживання й послідовного з'єднання (рис. 9, б).

Таким чином, у результаті циклу проведених експериментів підтверджено вплив фактора ГМС на величину питомого гідравлічного опору ВВП, що дозволяє визначити його оптимальний розмір і таким чином суттєво (у 1,4 рази) зменшити енерговитрати на транспортування ПГТС.

У четвертому розділі викладені результати впровадження запропонованих заходів

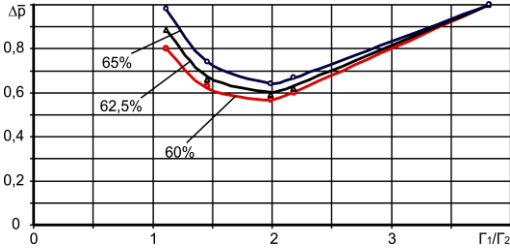


Рисунок 8 – Порівняння результатів числового розрахунку з результатами експерименту

електричної енергії на транспортування, і встановлені діаметри трубопроводів елементів ПГТС.

Визначення оптимального порядку транспортування ВВП до пунктів споживання на маршруті обраної транспортної мережі виконано за допомогою алгоритму Прима і методу "гілок і меж", застосування якого дозволяє знайти найкоротші відстані між пунктами, що включаються в один маршрут (принцип мінімального остового дерева). Представлення графа (рис. 9) було виконано за допомогою матриці суміжності. В результаті топологія вершин, ребер і відстаней має вигляд: $V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$; $E_x = \{\{1, 2\}, \{1, 3\}, \{2, 4\}, \{4, 6\}, \{6, 5\}\}$; $E_L = \{\{500\}, \{2500\}, \{6100\}, \{300\}, \{2100\}\}$.

Загальна довжина маршруту складає 11500м.

Для запропонованої ГТС промислового підприємства обсяг капітальних вкладень складається з: 1) вартості трубопроводу; 2) вартості монтажних робіт; 3) вартості насосного та іншого обладнання. Експлуатаційні витрати складаються з вартості електроенергії на прокачування ВВП, вартості обслуговування й експлуатації ПГТС протягом сезону.

Опір залежить від швидкості транспортування ВВП по залежності (6). Таким чином, при збільшенні діаметра трубопроводу зменшується швидкість транспортування ВВП і знижується опір ділянки трубопроводу, яка з'єднує пункт відправлення (ПВ) і споживача або двох послідовних споживачів. Витрати потужності (електричної) на прокачування по i -му трубопроводу та число насосів m визначається в залежності від сумарної подачі g споживачам:

$$N_{Tij} = \frac{l_{ij} \cdot i_{Dij} \cdot Q_{ij}}{3600 \cdot \eta_n}, B_T; [N] = Pa \cdot \frac{M^3}{c} = \frac{H \cdot M^3}{m^2 \cdot c} = \frac{Дж}{c} = B_T; m = \frac{\sum_i^g Q_i}{Q_{K,l}} \quad (7)$$

де l_{ij} – довжина з'єднувального трубопроводу (ділянки між споживачами або між ПВ і споживачем); i_{Dij} – опір трубопроводів різних діаметрів по ділянках ГТС; Q_{ij} – необхідна витрата ВВП, м³/год.; η_n – ККД насоса ($\eta_n=0,65$); $Q_{K,l}$ – подача 1-го насоса на $K(l)$ – ому ПВ ВВП.

Виходячи з потреби ВВП ($Q_{\Sigma_{ВВП}}=50,4$ м³/год) і параметрів транспортної мережі, було визначено 2 транспортних насоси НП-100 з продуктивністю 30м³/год і граничним робочим тиском $P_{нас} = 1,5$ МПа. загальною вартістю 430 тис.грн.

Функція мети складається з капітальних і експлуатаційних витрат:

$$C(x, d, y) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=2}^K X_{ij} L_{ij} d_{ij} \cdot e(d_{ij}) + C_H(Q_{\max}, i \cdot L_{ij}) + \begin{cases} \sum_{i=1}^K \sum_{j=2}^K X_{ij} L_{ij} B(C^y, \Xi^y, V^y, A^{dy}) \leq P_{\text{нас}}; \\ \sum_{i=1}^K Q_i \leq Q_{\text{нас}}. \end{cases} \quad (8)$$

$$+ \sum_{i=1}^K \sum_{j=2}^K \frac{X_{ij} L_{ij} B(C, \Xi, V, A^d) \cdot Q_{ij}}{1000 \cdot \eta_n} \cdot n_{\text{он}} \cdot 24 \cdot C_{\text{ел}} \rightarrow \min$$

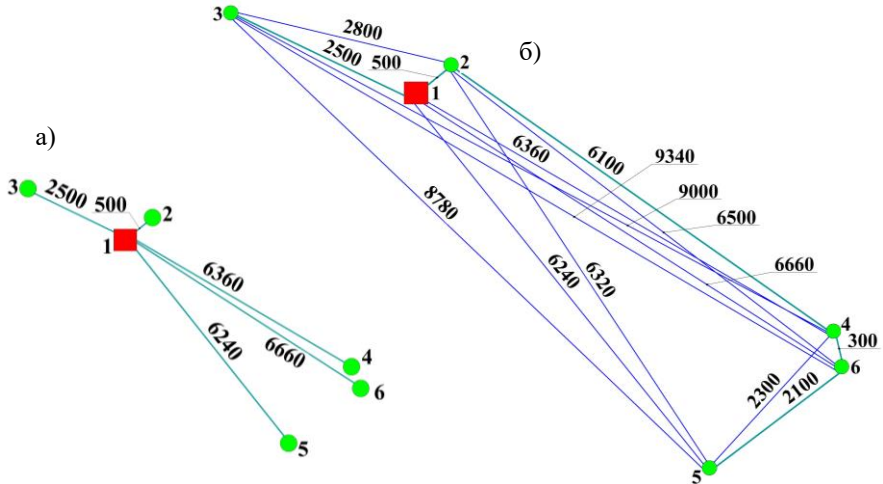


Рисунок 9 – Схема транспортної мережі підприємства: а) – променева; б) – послідовно-променева: 1–6 – споживачі ВВП; 1 – пункт відправлення ВВП

де X_{ij} – топологія, отримана в результаті вирішення матриці суміжності графа (рис. 9); L_{ij} – суміжна матриця довжин (розрахунків) між пунктами мережі; d_{ij} – діаметр сегмента (ребра); e – узагальнена функція вартості прокладки трубопроводу і вартості труби (до 1 м.п. труби) залежно від діаметра; $C_H(Q_{\max}, i \cdot L_{ij})$ – функція вартості транспортного насоса залежно від продуктивності та робочого тиску; $B(C, \Xi, V, A^d)$ – опір транспортної мережі (визначається за рівнянням регресії (6) – варіюється залежно від діаметру трубопроводу); K – кількість вершин споживачів

ВВП; $Q_{\text{нас}}$ – обмеження по продуктивності насоса; $\sum_{i=1}^K Q_i$ – сумарна потреба у ВВП,

$\text{м}^3/\text{год.}$; $P_{\text{нас}}$ – витрати на трубопровід: $\sum C_{\text{мп}} = \sum C'_{\text{мпху}} \cdot L_{\text{ху}}$, де $C'_{\text{мпху}}$ – ціна 1 п.м. трубопроводу обраного діаметра; $n_{\text{он}}$ – число днів роботи ПГТС; $C_{\text{ел}}$ – вартість 1 кВт год електроенергії, грн.

В результаті вирішення оптимізаційної задачі й реалізації запропонованої моделі вибору параметрів транспортування ВВП до пунктів споживання обраного підприємства була оптимізована топологія транспортної мережі роздачі по пунктам споживання ВВП і оптимізацією наведених сумарних витрат на трубопроводи, насосне та інше обладнання, електричної енергії на транспортування, визначені діаметри трубопроводів елементів ПГТС (рис. 10 – 11).

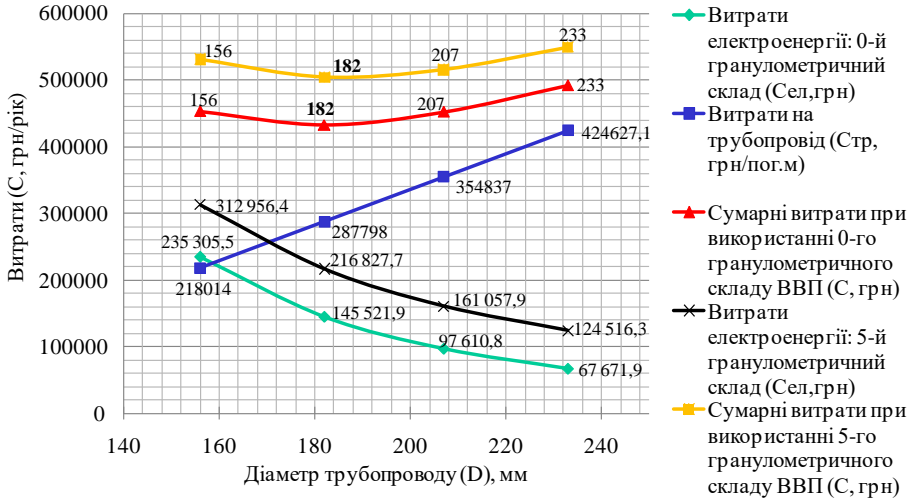


Рисунок 10 – Залежність витрат на спорудження трубопроводу й транспортування ВВП від діаметра трубопроводу й варіанту ГМС

Як приклад на рис. 10 представлені результати визначення оптимального діаметра трубопроводу на ділянці 2–4, протяжністю 6100м, при порівнянні сумарних витрат на його спорудження і витрат електроенергії на транспортування ВВП. Оптимальний діаметр трубопроводу, з огляду на мінімізацію сумарних витрат, склав 182мм. Оптимальні діаметри інших трубопроводів склали: на ділянках 1–2 = 207мм; 1–3 = 121мм; 2–4 = 182мм; 4–6 = 121мм; 6–5 = 121мм. Оптимізація проводилася з урахуванням зниження поточної витрати потоку ВВП у процесі його транспортування по загальному трубопроводу між пунктом відправлення і всіма наступними пунктами споживання уздовж обраної лінії подачі та послідовного розрахункового зменшення діаметрів труб по чергових ділянках мережі.

Як показують результати дослідження (табл. 1) використання ГМС ВВП № 0, запропонованого в роботі (з КБ $\Gamma_1/\Gamma_2=2,33$), дозволяє знизити витрати електроенергії на його транспортування в ГТС підприємства на 86,13 тис.грн/рік порівняно з ГМС №5, який був обраний довільно як вихідний.

У результаті використання послідовно-променевої схеми транспортування ВВП загальна вартість укладання трубопроводу знизилася на 893,89 тис.грн. порівняно з променевою схемою (рис. 11). Ефект від оптимізації топології транспортної мережі роздачі по пунктам споживання ВВП, оптимізації наведених сумарних витрат на трубопроводі, обладнання та електричної енергії на транспортування і вибору ГМС ВВП склав 183,75 тис. грн/рік.

Загальний обсяг капітальних вкладень у проект запропонованої ГТС склав 7,47 млн.грн. річні експлуатаційні витрати складають 199,89 тис.грн. Загальний економічний ефект від впровадження ПГТС замість автомобільного транспорту складає 4,08 млн.грн/рік., термін окупності проекту 1,83 року.

■ Променева схема транспортування 1-500м; 2-2500м; 3-6240м; 4-6660м; 5-6360м. ■ Послідовно-променева схема транспортування 1-500м; 2-6100м; 3-300м; 4-2100м; 5-2500м.

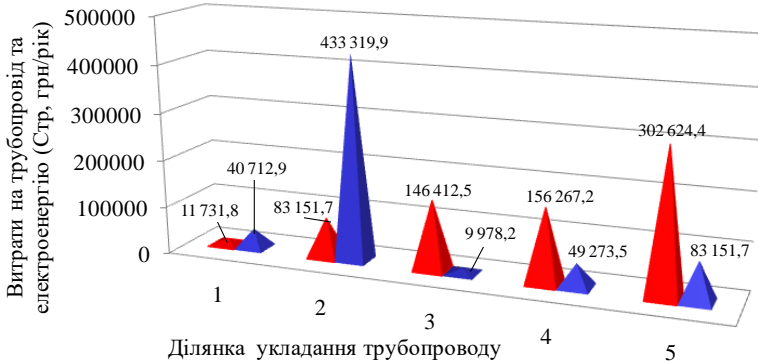


Рисунок 11 – Порівняння витрат при визначенні оптимальної схеми транспортування ВВП (грн/рік): 1–5 – ділянки укладання трубопроводу

Таблиця 1 – Порівняння витрат промислової ГТС до і після впровадження результатів дослідження (на прикладі підприємства ТОВ «ДТЕКДобропіллявугілля»)

Витрати на електроенергію, грн./рік., (%)		Капітальні і експлуатаційні витрати на транспортування грн./рік., (%)		Вартість перевезення 1ткм вантажу, коп.		Капітальні і експлуатаційні витрати при використанні автомобільного транспорту для доставки ВВП, грн/рік
При використанні ГМС ВВП №5 (до впровадження)	При використанні ГМС ВВП №0 (запропонований)	При використанні променевої схеми транспортування (до впровадження)	При використанні послідовно-променевої схеми транспортування	Авто транспорт	ГТС	
286016,5 143,1%	199887,3 100%	1130687,7 119,4%	946936,3 100%	67	19	5032920

При використанні трубопровідного транспорту, в якості ГТС підприємства, для транспортування ВВП різниця капітальних витрат складає 0,34 млн.грн, а експлуатаційні витрати на 4,1 млн.грн/рік менші порівняно з автомобільним транспортом.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена науково-технічна задача зниження енерговитрат і матеріальних ресурсів промислових гідротранспортних систем.

Основні результати досліджень дозволили зробити такі висновки.

1. Аналіз існуючих технологій підготовки, впливу показників ГМС та режимів транспортування ВВП, а також конфігурації трубопровідної мережі показав, що існуючі науково-технічні концепції щодо названих факторів не враховували значення КБ та необхідності дотримання раціональних пропорцій різних фракцій ГМС ВВП, крім того не визначена науково обґрунтована методика визначення оптимальної топології трубопровідної системи.

2. Розроблена математична модель руху неньютонівських рідин дозволила визначити структуру потоку і втрати енергії при транспортуванні ВВП у ПГТС та оптимізувати конфігурацію транспортної мережі з урахуванням закономірностей впливу параметрів ГТС, реологічних властивостей і режимів транспортування на енерговитрати транспортування. При цьому запропоновано КБ ГМС ВВП представляти у вигляді двох компонент: відношень масових часток дрібних і великих фракцій до маси проміжної фракції, Γ_1 і Γ_2 , (7,76–16,8 і 4,3–6,5), а також для відношення Γ_1/Γ_2 1,1–3,8 відповідно, що дозволяє визначати доцільне співвідношення фракцій за рахунок повного врахування їх складу в суміші для ідентифікації сполучності параметрів течії, відповідних мінімізації витрат енергії при його транспортуванні у промислових ГТС. Удосконалений метод розрахунку масової та об'ємної концентрацій ТК ВВП з урахуванням поглинання рідкої компоненти відкритими порами твердих частинок, дозволив розкрити ефект підвищення енерговитрат на його транспортування в ПГТС, при цьому максимальна доцільна концентрація становить 67%.

3. На основі експериментальних досліджень закономірностей зміни параметрів течії ВВП та енерговитрат на його транспортування отримано рівняння регресії гідравлічного опору різних композицій ВВС у функції змінних: концентрації ТК, параметра, що характеризує ступінь бімодальності ГМС, швидкості транспортування і зольності вихідного вугілля, що дозволило вдосконалити математичну модель за рахунок більш детального визначення впливу вказаних вище факторів на реологічні показники та визначити ступінь адекватності математичної моделі. Визначені енерговитрати при транспортування ВВП в ПГТС, мінімальні втрати тиску при цьому склали 761,86, 928,13 і 1585,86 Па/м, при $C=(60, 62,5, 65\%)$ відповідно, зниження енерговитрат на транспортування ВВП за рахунок раціонального вибору складу ГМС склало 46%.

4. На основі розрахунку числа дрібних часток ВВП еквівалентного діаметра, що відповідає раціональному значенню КБ по кількості відносно однієї великої частки, що склала з округленням 2, підтверджено двостадійний механізм силової взаємодії дрібних та великих часток вугільної суміші, а саме: близькодійні сили формують, налипаючи, обтічну поверхню останніх, а другий зовнішній шар створює саме “рідке” змащування. Проміжні частки розміщуються, у порожнинах між великими, утворюють каркас консистентного змащення і забезпечують його структуру при переміщенні ВВП трубопроводом. На основі розробленої моделі змащення визначено раціональний масовий вміст проміжної фази, що складає 6–7%. Це підтверджує синергетичний характер ефекту впливу КБ на питомі витрати енергії внутрішньої течії ВВС.

5. Визначено ефективність раціонального значення запропонованого критерію КБ ГМС для ВВП: для обраного підприємства зниження витрат електроенергії на його транспортування промисловим гідротранспортом становить 86,13 тис. грн/рік. На основі оптимізації конфігурації трубопровідної мережі промислового підприємства визначені параметри ГТС, що дозволили мінімізувати енерговитрати

на транспортування ВВП та зменшити витрати на матеріали і супутні витрати транспортної мережі на 183,75 тис. грн/рік.

Порівняння запропонованої ГТС з існуючим варіантом постачання ВВП автомобільним транспортом показало, що витрати на перевезення 1 ткм вантажу при використанні послідовно-променевої схеми транспортування становлять 19 коп/ткм, а автомобільними цистернами 67 коп/ткм, що в 3,5 рази більше. Загальний економічний ефект від впровадження ПГТС замість автомобільного транспорту склав 4,08 млн.грн/рік., термін окупності проекту 1,83 року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Забезпечення сталого розвитку регіону: економічні, управлінські, правові та інформаційно-технічні аспекти: колективна монографія / Н.Б. Чернецька-Білецька, І.О. Баранов, М.В. Мірошникова; за заг. ред. Ю. І. Ключ., Н. В. Швець. – Северодонецк : вид-во СХУ ім. В. Даля, 2017. ISBN 978-617-11-0118-0 – С. 193-212.
2. Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I., Miroshnykova M. Technology of breakage of coal for the coal-water fuel production. ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2015. Vol. 15, №2, P. 63-68.
3. Chernetskaya-Beletskaya N. Improving industrial pipeline transport using research regularities of flow of mixtures in material pipeline / N. Chernetskaya-Beletskaya, O. Guschin, A. Shvornikova, I. Baranov, M. Miroshnikova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4/7, Iss. 88. – P. 38-44.
4. Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I., Miroshnykova M., Kravchenko S., Bragin M. Some aspects improvement of industrial pipeline transport. ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2017. Vol. 17, №1, P. 33-40.
5. Study on the coal-water fuel pipeline transportation taking into account the granulometric composition parameters / N. Chernetskaya-Beletskaya, A. Rogovyi, A. Shvornikova, I. Baranov, M. Miroshnikova, N. Bragin // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, Iss.4.3. P. 240-245.
6. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О. Использование низкосортного твердого топлива в энергетике страны / Н.Б. Чернецкая-Белецкая, И.О. Баранов // Українські залізниці. – 2014. – №5(11). – С. 58-61.
7. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Усовершенствование способа управления структурно-реологическими характеристиками водоугольного топлива / Н.Б.Чернецкая-Белецкая, И.О. Баранов, М.В. Мирошникова // Вісник СХУ ім. В.Даля. – 2016. – № 1 (225). – С. 221-226.
8. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Остапенко В.Н., Мирошникова М.В. Исследование влияния granulometric состава водоугольного топлива на его реологические и гидродинамические характеристики / Н.Б. Чернецкая-Белецкая, И.О. Баранов, В.Н. Остапенко, М.В. Мирошникова // Вісник СХУ ім. В.Даля. – 2017. – №3 (233). – С. 117-125.
9. Чернецька-Білецька Н.Б. Математичне моделювання руху водовугільного палива в трубопроводі / Н.Б. Чернецька-Білецька, А.С. Роговий, І.О. Баранов, М.В. Мірошникова // Вісник СХУ ім. В.Даля. – 2017. – № 9 (239). – С. 85-90.

10. Чернецька-Білецька Н.Б. Математична модель просторової тривимірної течії водовугільного палива / Н.Б. Чернецька-Білецька, А.С. Роговий, І.О. Баранов, М.В. Мірошникова // Вісник СХУ ім. В.Даля. – 2018. – № 1 (242). – С. 159-164.

11. Баранов І.О. Формування оптимізаційної моделі вибору параметрів транспортування водовугільного палива промисловим гідротранспортом / І.О. Баранов // Вісник СХУ ім. В.Даля. – 2018. – № 3 (244). – С. 7-13.

12. Пристрій для вимірювання повного напору водовугільної суспензії (ВВС): патент на корисну модель 85336 Україна. МПК(2013)F23K 1/02. G01F 1/46. №u2013 08542; заявл. 08.07.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл.№ 21.

13. Пристрій для вимірювання швидкості потоку суспензії по перерізу трубопроводу: патент на корисну модель 87622 Україна. МПК(2013)F23K 1/02.G01F 1/46. №u2013 11292; заявл. 23.09.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл.№ 3.

Праці апробаційного характеру:

14. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Крайнюк А.А. Использование низкосортных твердых топлив в энергетике страны. Збірник наукових праць «Інноваційні технології на залізничному транспорті» ІV науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. 19.09.2013р., м. Донецьк, 2013, С. 107-111.

15. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Методы регулирования структурно-реологических характеристик водоугольных суспензий. Збірник наукових праць конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», 18-20 листопада 2015р., м. Харків, 2015, С. 142-144.

16. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Экспериментальные исследования реологических характеристик и гидравлических параметров транспортирования водоугольного топлива. International Scientific and Practical Conference World Science. 2015. Vol. 1, №12(28), P. 35-43.

17. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О. Совершенствование технологического процесса гидротранспортирования водоугольного топлива. Матеріали ХХІ міжнародної науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці». 24-27 травня 2016 р., м. Київ, 2016. С. 59-61.

18. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Влияние гранулометрического состава водоугольного топлива на его реологические характеристики. Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми економіки транспорту» (20.04-21.04.2017). – Д.: ДНУЗТ, м. Дніпро, 2017, С. 63-64.

19. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В., Баранова В.Н. Исследование влияния характеристик водоугольного топлива на удельные потери давления. Матеріали ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці». 23-26 травня 2017р. м. Черкаси, 2017. С. 53-56.

20. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. Повышение эффективности гидротранспортирования водоугольного топлива. Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології», 22-23 вересня 2017р., м. Лиман, 2017, С. 299-302.

21. Cherneckaya-Beleckaya N., Rogovy A., Baranov I., Miroshnykova M. Mathematical model flow coal-water fuel. Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, May 2018, Italy – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018. P. 82-83.

АНОТАЦІЯ

Баранов І.О. Підвищення ефективності транспортування висококонцентрованого водовугільного палива в гідротранспортних системах промислових підприємств. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.12 – промисловий транспорт (275 – Транспортні технології). – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2019.

Дисертація присвячена вирішенню наукового завдання підвищення ефективності транспортування висококонцентрованого водовугільного палива в гідротранспортних системах промислових підприємств. Встановлено, що через відсутність раціонального гранулометричного складу водовугільного палива та оптимальної схеми транспортування зростають енерговитрати й собівартість перевезення 1 ткм вантажу. Визначені структура потоку та втрати енергії при транспортуванні водовугільного палива в промислових гідротранспортних системах. Запропоновано критерій бімодальності гранулометричного складу водовугільного палива, оптимізація якого дозволила мінімізувати витрати енергії при його транспортуванні. Розроблена математична модель течії водовугільної суспензії і удосконалені закономірності впливу схеми гідротранспортування та параметрів водовугільного палива на енерговитрати його постачання споживачам.

Вдосконалено рівняння регресії гідравлічного опору різних композицій водовугільних суспензій щодо дії суттєвих факторів і виконано оцінку їх впливу на енерговитрати при транспортуванні.

Формалізовано оптимізаційну модель вибору параметрів гідротранспортної системи промислового підприємства і вирішено задачу мінімізації витрат на транспортування водовугільного палива та зменшення матеріальних ресурсів на спорудження та функціонування транспортної трубопровідної мережі.

Ключові слова: гідротранспортна система, втрати тиску, водовугільне паливо, гранулометричний склад, енерговитрати транспортування, матеріальні витрати, конфігурація, транспортна мережа.

ABSTRACT

Baranov I.O. Improving the highly loaded coal-water slurry fuel transportation efficiency in the hydro-transport systems of industrial enterprises. – Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of the Candidate of Engineering Sciences (Doctor of Philosophy), speciality 05.22.12 – Industrial Transport (275 – Transport Technology). – V. Lazarian Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, Dnipro, 2019.

The dissertation is devoted to solving a scientific problem of improving the highly loaded coal-water slurry fuel transportation efficiency in the hydro-transport systems of industrial enterprises due to the reduction of energy consumption for transportation and material resources for the construction and operation of an industrial hydro-transport system.

As a result of the analysis of the functioning of the various industrial hydro-transport system in Ukraine and developed countries, it was found that the existing technologies for the transportation of the highly loaded coal-water slurry fuel did not take into account the specifics of its preparation technology in terms of the properties of the original coal and did not assume observance of rational proportions of different fractions of the coal-water slurry fuel granulometric composition.

The lack of a fairly accurate method and model for determining the hydraulic parameters of transporting coal-water slurry fuel in the industrial hydro-transport system greatly complicates the transport services process for consumers of the coal-water slurry fuel. Methods of specification of the granulometric composition bimodality have been proposed, laboratory tests have been carried out, initial rheological properties for mathematical modelling of the spatial three-dimensional coal-water slurry fuel flow in the systems of industrial hydro-transport are determined taking into account the parameters of the bimodal granulometric composition.

A mathematical model of the spatial three-dimensional flow of the coal-water slurry fuel was developed on the basis of the SST turbulence model based on the solution of the Navier-Stokes equation. As a result of the calculations, the values of pressure loss, flow rate and velocity distribution over the cross section of the pipeline in the straight section and in the turn were determined, which allowed to determine the energy consumption during the coal-water slurry fuel transportation in the industrial hydro-transport systems.

As a result of the cycle of the experiments carried out, the influence of the granulometric composition factor on the value of the specific hydraulic resistance of the coal-water slurry fuel is confirmed, which allows determining its optimal size and thus significantly (by 1.4 times) reducing energy consumption for transportation by an industrial hydro-transport system.

The effectiveness of the proposed granulometric composition criterion for coal-water slurry fuel, which is expressed in reducing the power consumption for its transportation by industrial hydro-transport, has been determined. Based on the optimization of the configuration of the pipeline network of an industrial enterprise, the parameters of the hydro-transport system were determined, which allowed minimizing the energy consumption for transporting coal-water slurry fuel and reducing the material consumption of the transport pipeline network.

The optimal configuration of the industrial enterprise pipeline network has been determined, while the cost of transporting 1 tkm of cargo when using a sequential-beam transport scheme has decreased compared to road transport.

Key words: hydro-transport system, pressure loss, coal-water slurry fuel, granulometric composition, transportation energy consumption, material consumption, configuration, transport network.

БАРАНОВ ІГОР ОЛЕГОВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ
ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНОГО ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА
В ГІДРОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 07.02.2019 р.
Формат 60×90 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим. Зам. № ____
Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля
93406, м. Северодонецьк, пр. Центральний, 59-а

Дільниця оперативної поліграфії
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля
93406, м. Северодонецьк, пр. Центральний, 59-а

Адреса видавництва: 93406, м. Северодонецьк, пр. Центральний, 59-а
Телефон: (06452) 44-118. **Факс:** (06452) 40-342
E-mail: uni.snu.edu@gmail.com; <http://snu.edu.ua>