

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
канд. техн. наук Кірії Руслана Вісаріоновича «Моделювання процесів
функціонування систем конвеєрного транспорту зі складною структурою і методи
підвищення їх ефективності», що подана на здобуття наукового ступеня доктора
технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - Математичне моделювання та
обчислювальні методи

Актуальність теми дисертаційної роботи. Конвеєрний транспорт є однією з головних ланок в технологічних процесах в гірничодобувній, металургійній та інших галузях промисловості. Він є складною багатофункціональною технічною системою з деревовидною розгалуженою змінною структурою, що включає конвеєри, завантажувальні та перевантажувальні вузли, бункери, живильники й перемикачі. Недостатня ефективність роботи систем конвеєрного транспорту (СКТ) пов'язана з незадовільною пропускною здатністю й високою енергоємністю транспортування, що обумовлено простоями конвеєрного обладнання через аварійні, технологічні та організаційні причини. Станом по теперішній час використання акумулюючих бункерів (АБ) не в повній мірі дозволяє вирішити ці проблеми і ефективність їх використання в СКТ низька.

Одним із шляхів підвищення ефективності СКТ є управління вантажопотоками за допомогою регулювання кількістю вантажів в АБ і регулювання швидкості стрічки конвеєра з використанням контролерів і частотних перетворювачів. Для цього необхідно побудувати математичні моделі функціонування СКТ і на їх основі розробити методи і алгоритми управління системою транспорту, що підвищують її пропускну спроможність і знижують енерговитрати на транспортування вантажу.

Проблемою підвищення ефективності транспортних систем переймалась велика кількість дослідників. Проте розроблені ними математичні моделі, методи розрахунку та управління стосуються СКТ з невеликою кількістю конвеєрів і з простими схемами з'єднання конвеєрів і бункерів. Такі моделі, методи розрахунку й управління не можуть бути використаними для опису процесів функціонування та управління СКТ зі складною розгалуженою змінюваною структурою, що складаються з великої кількості конвеєрів.

Таким чином, на шляху вирішення проблеми підвищення ефективності функціонування транспортних систем високої складності автором сформульовані наступні кроки щодо розробки:

- математичних моделей процесів функціонування розгалужених СКТ, що складаються з великої кількості конвеєрів і АБ, з урахуванням імовірнісного характеру простоїв конвеєрного обладнання та нерівномірності вантажопотоків;
- методів розрахунку і прогнозування показників ефективності функціонування, а також методів і алгоритмів оптимального та адаптивного управління СКТ.

Сформульований алгоритм дозволяє вирішити проблему підвищення ефективності функціонування транспортних систем високої складності, яка безперечно є актуальною науковою проблемою.

Обґрунтованість та достовірність одержаних результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується фундаментальними методами

теорії ймовірності, випадкових марковських процесів, методами системного аналізу та оптимального управління, порівнянням результатів аналітичних досліджень з результатами імітаційного моделювання та результатами статистичної обробки даних експлуатації; позитивними результатами дослідно-промислової перевірки запропонованих рекомендацій та їх промисловим впровадженням.

Наукові положення дисертації, основні результати досліджень, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані та відображають особистий внесок здобувача в досягненні мети дослідження.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до програми «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаюча технологія» держбюджетних НДР: № 30 «Наукові основи адаптивного управління конвеєрними лініями гірничих підприємств» (2007–2010 р.р.), № держреєстрації 0107U0001268; № 36 «Науково-технічне обґрунтування прогресивних рішень по організації конвеєрного транспорту вугільних шахт» (2007–2011 р.р.), № держреєстрації 0107U002004; № 63 «Розвиток наукових основ високоефективних систем і засобів управління основними вантажопотоками підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт» (2012–2016 р.р.), № держреєстрації 0112U000493. У першій і другій НДР автор був відповідальним виконавцем і в третій – науковим керівником.

Все це свідчить про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів дисертації

Наукова новизна одержаних результатів. Найбільш вагомими науковими положеннями роботи є такі вперше отримані результати:

– На основі теорії марковських процесів з використанням методу динаміки середніх розроблено математичні моделі і методи визначення їх пропускної здатності та енергоємності транспортування для СКТ з послідовним і паралельним з'єднанням конвеєрів та із самоподібною деревовидною структурою без бункерів. Результати імітаційного моделювання відрізняються від результатів, отриманих на основі розроблених методів, не більше ніж на 3 %.

– На основі методу динаміки середніх для марковських процесів та отриманих залежностей середньої пропускної здатності системи «конвеєр – бункер – конвеєр» розроблено методи визначення пропускної здатності та енергоємності транспортування СКТ з послідовним і паралельним з'єднанням АБ, а також із самоподібною деревовидною структурою з АБ, що працюють в некерованому режимі і в режимі підтримки в них об'ємів вантажу в заданих межах. Результати теоретичних досліджень відрізняються від експлуатаційних даних не більше ніж на 10 %;

– Встановлено, що питома енергоємність системи «конвеєр – бункер – конвеєр» незалежно від режиму роботи АБ при $\bar{m}_Q < \bar{Q}_n$ із збільшенням вантажопотоку m_Q , що поступає на надбункерний конвеєр, зменшується за гіперболічним законом, практично не залежить від продуктивності живильника Q_n , об'єму бункера V або об'єму незаповненої вантажем частини бункера ΔV , а при $\bar{m}_Q \geq \bar{Q}_n$ питома енергоємність із збільшенням m_Q приймає постійне мінімальне значення, із збільшенням продуктивності живильника Q_n зменшується і не залежить від об'єму бункера V або об'єму незаповненої вантажем частини бункера ΔV .

– На основі розроблених математичних моделей процесу функціонування АБ, які працюють в СКТ в некерованому режимі, було визначено залежності середнього об'єму вантажу в АБ від середніх вантажопотоків, що надходить в бункер і розвантажується з

нього, продуктивності живильника, а також об'єму бункера. Встановлено, що середній об'єм вантажу в АБ при зміні продуктивності живильника від нуля до нескінченності зменшується від максимального допустимого значення об'єму вантажу бункера до деякого постійного значення і при рівності середніх вантажопотоків, що надходить в бункер і розвантажується з нього, приблизно дорівнює половині максимального допустимого значення об'єму вантажу в бункер.

– На основі методу Понтрягіна для марковських процесів було розроблено математичну модель функціонування АБ, що працює в керованому режимі. Отримано системи рівнянь відносно середніх і дисперсій часів заповнення і розвантаження АБ для одношвидкісного і двохшвидкісного живильників.

– Вирішено задачі оптимального і адаптивного управління СКТ з АБ, що працюють в керованому режимі. При цьому оптимальне й адаптивне управління СКТ представляють собою задачу управління дворівневою ієрархічною системою, яка дозволяє при зміні структури СКТ і величин вантажопотоків, що надходять до системи транспорту, за допомогою вибору швидкостей конвеєрів і живильників, а також максимальних заданих об'ємів вантажу в АБ забезпечити максимальну пропускну здатність і мінімальну питому енергоємність СКТ.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у розробці:

– методики визначення пропускну здатності, енергоємності транспортування, структури алгоритмів і параметрів адаптивного управління СКТ, що дозволяє підвищити її пропускну здатність до 50 % і зменшити енерговитрати на транспортування вантажу до 30 %;

– рекомендацій щодо проектування та підвищення ефективності роботи систем підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт, які було впроваджено в проектних організаціях на гірничих підприємствах України;

– нових технічних рішень на рівні винаходів і корисних моделей з управління АБ, конвеєрами і СКТ гірничих підприємств.

Практична цінність отриманих результатів підтверджена наведеними у додатках документами про впровадження результатів досліджень на підприємствах і в проектних організаціях машинобудування України: ДПКБ «Південне», ПАО «Український науково-дослідний інститут технології машинобудування» (м. Дніпропетровськ), Національній металургійній академії України та Дніпропетровському національному університеті ім. О. Гончара при виконанні держбюджетних та галузевих науково-дослідних тем.

Результати роботи можуть бути рекомендовані для більш широкого використання у науково - дослідних закладах і проектних організаціях галузі.

Повнота викладення здобувачем основних результатів дисертаційної роботи у публікаціях.

Основні результати досліджень, а також сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації у повному обсязі викладені у 41 друкарській роботі, в числі яких 1 монографія, 27 статей в наукових фахових виданнях, із яких 1 стаття в закордонному виданні та 10 статей у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз, в тому числі 4 у базі Scopus, 9 тез і доповідей на наукових конференціях, 4 патенти України. Зазначені наукові роботи були опубліковані після

захисту кандидатської дисертації автора, а їх матеріали не включалися до кандидатської дисертації.

В працях, які опубліковано у співавторстві, коректно відображено особистий внесок дисертанта, а також забезпечені посилання на публікації інших авторів.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату

Дисертаційну роботу написано українською мовою грамотно, на хорошому стилістичному рівні. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Автореферат відповідає змісту дисертації, написаний грамотно, з використанням сучасної української наукової термінології. Оформлення дисертаційної роботи й автореферату повністю відповідає вимогам державних стандартів України. Зміст автореферату є ідентичний змісту самої дисертації.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 146 найменувань і 5 додатків; містить 386 сторінок машинописного тексту, в тому числі 93 рисунка, 8 таблиць, 30 сторінок додатків.

У **вступі** сформульована актуальність проблеми, визначено мету, основні задачі, їх новизну, теоретичне і практичне значення роботи. У **першому розділі** міститься огляд і критичний аналіз відомих математичних моделей процесів транспортування і оптимізації параметрів функціонування розгалужених конвеєрних транспортних систем з АБ, аналітичний огляд публікацій за напрямком дисертації та основні результати досліджень в цій галузі.

У **другому розділі** викладаються основи підходу до побудови математичних моделей функціонування СКТ без АБ та при їх наявності. Для цього запропоновано використовувати факт самоподібності СКТ. В роботі при моделюванні функціонування СКТ без бункерів і з бункерами було використано метод динаміки середніх для марковських процесів. Ідея методу полягає в тому, що складається не рівняння Колмогорова відносно невідомих ймовірностей, відразу складається рівняння відносно показників ефективності функціонування СКТ, зокрема, відносно середньої пропускну здатності і енергоємності транспортування та їх дисперсій.

Автор вперше запропонував метод використання динаміки середніх марковських процесів для розгалужених СКТ. В результаті, замість систем рівняння Колмогорова відносно великої кількості ймовірностей, були одержані рекурентні алгебраїчні залежності від середніх характеристик системи транспорту. На користь відмови від складання системи рівнянь Колмогорова виступає аргумент наявності великої кількості станів транспорту, що значно ускладнює як саме складання системи, так і її розв'язок.

Автор вперше представив розгалужену систему транспорту у вигляді самоподібної структури, і для отримання характеристик СКТ було використано властивості самоподібності деревовидної структури системи транспорту. Крім того, автор провів аналіз структурних схем конвеєрного транспорту на гірничих підприємствах та других галузях промисловості. Було показано, що вони являють собою спрямований граф самоподібної деревовидної структури. Для доведення цього було застосовано метод обчислення фрактальної розмірності.

Автор виконав порівняння запропонованого підходу з відомими. Було встановлено, що значення середньої пропускної здатності СКТ, яку обчислено за допомогою розробленого методу, відрізняється від значення середньої пропускної здатності, яку отримано за допомогою імітаційного моделювання, не більше ніж на 3%.

Запропонований підхід, є вкрай важливим для СКТ з розгалуженою системою транспортних систем і, мабуть, найбільш значущим науковим досягненням у напрямку визначення СКТ з розгалуженою системою транспорту.

У третьому розділі дано поняття енергоємності транспортування і визначено показник енергетичної ефективності процесу функціонування СКТ. На основі отриманих аналітичних залежностей досліджено вплив середніх вантажопотоків, що надходять до СКТ, об'ємів акумулюючих бункерів і об'ємів вантажу в них, продуктивностей живильників, інтенсивностей простоїв і відновлень конвеєрів на середню пропускну здатність, середню енергоємність транспортування і питому енергоємність СКТ з бункерами.

У четвертому розділі запропоновано класифікацію бункерів конвеєрного транспорту та аналіз їх роботи. Розроблено алгоритми імітаційного моделювання функціонування акумулюючих бункерів, за допомогою яких проведено аналіз роботи бункерів в різних режимах у СКТ.

У п'ятому розділі запропоновано загальну схему управління СКТ, а також методи та способи підвищення енергетичної ефективності її функціонування. При цьому поставлено й вирішено задачі оптимального і адаптивного управління СКТ зі складною розгалуженою структурою.

Через складність СКТ з розгалуженою структурою здійснити управління ними можливо лише при ієрархічній структурі управління. На верхньому рівні управління вирішується задача автоматизованого управління конвеєрними лініями, тобто управління здійснюється з участю людини-оператора у діалоговому режимі. При цьому, як правило, за допомогою перемикачів вантажопотоку міняється конфігурація конвеєрного транспорту, тобто змінюється його структура. На нижніх рівнях управління вирішується задача управління бункерами, швидкостями конвеєра і живильника. Інформація про значення параметрів функціонування СКТ, яка необхідна для управління на нижньому рівні, поступає з верхнього рівня управління.

Основною задачею управління конвеєрним транспортом на верхньому рівні управління є забезпечення його максимальної пропускної здатності при мінімальних енерговитратах на транспортування вантажу. В роботі запропоновано вирішення цієї задачі на основі управління вантажопотоками за допомогою акумулюючих бункерів і регулювання швидкості стрічки конвеєрів із використанням контролерів і частотних перетворювачів. Було здійснено імітаційне моделювання з використанням відкритого програмного середовища Anylogic, реалізовано алгоритми оптимального й адаптивного управління.

На основі отриманих рішень задач оптимального й адаптивного управління СКТ було розроблено «Методику визначення пропускної здатності, енергоємності транспортування, структури алгоритмів і параметрів адаптивного управління системою конвеєрного транспорту», яку передано до Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» МОН України та Національної металургійної академії України МОН України (2017 р.). Використання цієї методики в промисловості дозволить за рахунок управління об'ємами вантажу в акумулюючих

бункерах і швидкістю живильників з використанням контролерів і частотних перетворювачів підвищити пропускну здатність СКТ з розгалуженою структурою до 50 % і знизити енерговитрати на транспортування гірської маси до 30 %.

Наведені у **висновках** результати досить повно відображають суть дисертаційної роботи і мають практичне втілення.

До зауважень слід зазначити наступне:

1. Перший розділ занадто деталізує основні здобутки дослідників у цьому напрямку. Було б доцільним узагальнювати їх результати, користуючись основною ідеєю своєї роботи.

2. Не достатньо обґрунтована об'єктивність застосування методу динаміки середніх до розв'язання задач математичного моделювання у роботі; не висвітлюється проблема адекватності застосування цих методів.

3. Автор запропонував подання розгалуженої системи транспорту у вигляді самоподібної структури, але не представив це у переліку наукових положень.

4. В роботі не чітко показано, як саме розроблені методи управління конвеєрним транспортом за допомогою контролерів частотного управління електроприводами конвеєрів і живильників, а також кількістю вантажу в акумулюючому бункері збільшать пропускну здатність систем конвеєрного транспорту на 50% і зменшать енерговитрати на транспортування вантажу до 30%.

5. В дисертаційній роботі визначені тільки середні показники ефективності роботи систем конвеєрного транспорту, тобто середня пропускну здатність, середня енергоємність та середня питома енергоємність на транспортування вантажу, але не розглянуті їх інші статистичні характеристики.

6. В роботі не чітко сформульована задача структурної адаптації управління систем конвеєрного транспорту, а також незрозумілий алгоритм її рішення.

7. Деякі наукові положення сформульовані автором дуже громіздко із-за багатой кількості параметрів, які аналізуються.

8. У документах щодо впровадження рекомендацій результатів роботи не зрозуміло за рахунок конкретно чого, отриманий очікуваний економічний ефект.

9. У тексті дисертації та автореферату зустрічаються друкарські помилки та стилістичні вади.

Наведені зауваження мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень дисертаційної роботи і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам МОН України.

Дисертаційна робота Р.В. Кірії «Моделювання процесів функціонування систем конвеєрного транспорту зі складною структурою і методи підвищення їх ефективності» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові, науково обґрунтовані та практичні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності функціонування транспортних систем високої складності.

Автореферат у повній мірі відображає основний зміст, результати та висновки дисертаційної роботи і є ідентичним положенням дисертації. Наведені в авторефераті та дисертації публікації повністю висвітлюють основні наукові результати дисертаційного дослідження. Оформлення дисертації і автореферату відповідають вимогам МОН України. Тема, зміст та результати дисертації відповідають паспорту

спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Вважаю, що за актуальністю теми, високим науковим рівнем виконаних досліджень, новизною, науковим та прикладним значенням одержаних результатів дисертаційна робота Руслана Вісаріоновича Кірії «Моделювання процесів функціонування систем конвеєрного транспорту зі складною структурою і методи підвищення їх ефективності» відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент
професор кафедри прикладної математики
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор


Кіріченко Л. О.

Підпис проф. Кіріченко Л. О. засвідчую.

Учений Секретар
Харківського національного
університету радіоелектроніки




І.В. Магдаліна

« 31 » 10 2018 р.