

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
"НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"

ПРОКУДА Володимир Миколайович

УДК 621.316: 622.647.2

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ МАГІСТРАЛЬНОГО КОНВЕЄРНОГО  
ТРАНСПОРТУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ  
ВАНТАЖОПОТОКІВ

Спеціальність 05.09.03 – "Електротехнічні комплекси та системи"

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник -  
Разумний Юрій Тимофійович,  
д.т.н., професор

Дніпропетровськ – 2015

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана на кафедрі систем електропостачання в Державному вищому навчальному закладі "Національний гірничий університет" (м.Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор

**Разумний Юрій Тимофійович,**

професор кафедри систем електропостачання Державного вищого навчального закладу "Національний гірничий університет" (м.Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Чорний Олексій Петрович**

директор інституту електромеханіки, енергозбереження та систем управління Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського Міністерства освіти і науки України.

кандидат технічних наук, доцент

**Ставицький Володимир Миколайович,**

завідувач кафедри гірничої електротехніки і автоматики ім. Р.М. Лейбова Державного ВНЗ "Донецький національний технічний університет" (м. Красноармійськ) Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться "\_14\_" \_\_січня\_2016 р. о \_14<sup>00</sup>\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному ВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, корпус 1, ауд. 102.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці в Державного ВНЗ "Національний гірничий університет" Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005 м Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2015 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 08.080.07,  
к. т. н., доцент

О.В. Остапчук

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Стан та актуальність питання.** Починаючи з середини 70-х років 20-го сторіччя на вугільних шахтах основним видом транспорту є конвеєрний, який в результаті особливостей технологічного процесу видобутку корисних копалин завантажується нерівномірно. При цьому, внаслідок складності пуску з вугіллям і високого ступеня готовності до прийняття вантажу конвеєрний транспорт не повинен зупинятися. В результаті спостережень встановлено, що конвеєрний транспорт за період робочої зміни завантажується не повністю, а іноді працює без навантаження, тобто у режимі холостого ходу. Таке положення обумовлює значні невиробничі витрати електроенергії, які перевищують нормативний рівень втричі.

Для вирішення проблеми зниження витрат електроенергії останні кілька років на вугільних шахтах України застосовують частотні перетворювачі для регулювання швидкості руху стрічок магістрального конвеєрного транспорту, що забезпечує більш повне їх заповнення в умовах змінного вантажопотоку і зниження питомих витрат електроенергії на транспортування вугілля. Швидкість руху стрічки встановлюється системою регулювання пропорційною вантажопотоку, проте в періоди відсутності вугілля конвеєр рухається з мінімальною швидкістю без зупинки, що обумовлено складнощами пуску з вантажем і постійною готовністю до прийняття гірничої маси.

За узагальненими даними потенціал зниження витрат електроенергії на конвеєрному транспорті становить 40-50%. Розрахунки показують, що впровадження перетворювачів частоти та систем регулювання швидкості руху стрічки дозволяють знизити витрату на 28-35%, проте регулювання швидкості руху стрічки окремого конвеєра змінює статистичні характеристики вантажопотоку після нього, що призводить до зміни швидкості транспортування наступних конвеєрів і впливає на їхній рівень електроспоживання. Питання щодо впливу вантажопотоків на енергоефективність досліджували Шахмейстер Л.Г., Монастирський В.Ф., Кірія Р.В., Кариман С.А., Разумний Ю.Т., Ставицький В.М., але вплив різного характеру залежності електроспоживання від завантаження конвеєра, а також витрат електроенергії при використанні асинхронного регульованого приводу не достатньо досліджений. Разом з тим не було досліджено методи визначення вантажопотоків з очисних вибоїв без використання додаткових технічних засобів, таких як конвеєрні ваги й ультразвукові датчики.

Таким чином, наукова задача дисертаційної роботи полягає у встановленні закономірностей впливу адаптованої до динаміки вантажопотоків швидкості руху стрічок всього комплексу розгалуженої конвеєрної системи з урахуванням технологічних умов (вузлів перевантаження, довжини конвеєрів і кутів їх встановлення) на витрату електроенергії магістрального конвеєрного транспорту, що створює умови додаткового підвищення енергоефективності.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертації виконано у відповідності з планами науково-дослідницьких (держбюджетної та госпдоговірної) робіт Державного ВНЗ

"Національний гірничий університет": "Розробка ресурсо- і енергозберігаючих технологій та устаткування підприємств гірничо-металургійного і паливно-енергетичного комплексу України" (Держреєстраційний номер №0112U000873); "Обґрунтування способу енергоефективного управління вантажопотоками на магістральному конвеєрному транспорті ПСП "шахта "Павлоградська" ВАТ "Павлоградвугілля" (Реєстраційний номер №0301107), де автор був виконавцем.

**Мета та завдання досліджень.** Основна мета роботи полягає в зниженні питомих витрат електроенергії магістральним конвеєрним транспортом вугільних шахт з урахуванням динаміки вантажопотоків. Для досягнення мети поставлені й вирішені такі завдання:

1) встановити закономірності надходження вантажопотоків з видобувного вибою за період його автокореляції залежно від електроспоживання очисного комплексу.

2) встановити закономірності зміни витрати електроенергії магістрального конвеєрного транспорту при нелінійній залежності електроспоживання від маси вугілля на конвеєрі.

3) розробити математичну модель зміни вугільного потоку з урахуванням регулювання швидкості руху стрічки конвеєра.

4) дослідити режими роботи магістрального конвеєрного транспорту вугільної шахти за регульованої швидкості руху стрічки конвеєрів і визначити поєднання параметрів, що забезпечують максимум енергоефективності за критерієм мінімальної питомої витрати електроенергії.

*Об'єктом дослідження* в роботі виступають технологічні процеси роботи магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт.

*Предметом дослідження* є динаміка зміни режимів електроспоживання з урахуванням застосування регульованого приводу магістрального конвеєрного транспорту.

*Методи дослідження.* Для вирішення наукової задачі використані: елементи теорії ймовірності та математичної статистики – при описі процесів роботи очисного вибою, експоненціальна апроксимація – при визначенні характеру залежності величин, математичне моделювання – при описі моделей електроспоживання конвеєрів, елементи нелінійної алгебри – при моделюванні стаціонарних процесів, регресійний аналіз – при визначенні швидкості подачі очисного комбайна, симплекс-метод – при визначенні місць встановлення засобів підвищення енергоефективності.

#### **Основні наукові положення та їх новизна:**

1. Питома витрата електричної енергії конвеєрної лінії, що складається з декількох послідовних конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки, є спадною експоненційною функцією за напрямком руху вантажопотоку.

2. Питома витрата електроенергії бремсбергового конвеєра без регульованого приводу з кутом встановлення понад  $-6^\circ$  знижується прямо пропорційно збільшенню часу надходження вантажопотоку при надходженні вугільного потоку з конвеєра з регульованою швидкістю руху стрічки.

### *Наукові результати досліджень:*

1. Розроблено математичну модель визначення імовірнісних характеристик вугільних потоків у вузлах транспортної схеми, яка, на відміну від існуючих, дозволяє оцінювати енергоефективність системи шахтного транспорту для конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки.

2. Запропоновано математичну модель встановлення залежності хвилинних значень вантажопотоку з очисного комплексу від електроспоживання всього комплексу, що дозволяє визначати рівень електроспоживання конвеєрів за їх нелінійної залежності від завантаження.

3. Запропоновано математичну модель, що описує розподіл вантажопотоку після конвеєра з регульованою швидкістю руху стрічки, що дозволяє визначати питому витрату електроенергії системи шахтного транспорту.

**Обґрунтованість та достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій, запропонованих у роботі, підтверджується: коректністю припущень і початкових умов, прийнятих в математичних моделях, їх відповідністю завданням моделювання та умовам фактичних режимів роботи магістрального конвеєрного транспорту, експериментальними дослідженнями вантажопотоків і електроспоживання магістрального конвеєрного транспорту вугільної шахти; результатами зіставлення теоретичних і експериментальних досліджень; позитивним досвідом впровадження результатів роботи.

### **Практичне значення результатів**

1. Розроблено і запатентовано спосіб визначення надходження хвилинних значень вугільної маси з очисного вибою в режимі реального часу за непрямыми показниками, який є базовою складовою для визначення енергоефективності конвеєрного транспорту вугільних шахт.

2. Визначено послідовність вибору місць встановлення перетворювачів частоти для підвищення енергоефективності при обмежених ресурсах на модернізацію системи транспорту. Запропоновані принципи розміщення засобів підвищення енергоефективності в системі магістрального конвеєрного транспорту дозволяють знизити витрату електроенергії збірною бремсбергового конвеєра без регульованого приводу з кутом установки більш -  $6^\circ$  до 20%.

3. Запропоновано заходи з регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки пропорційно вантажопотоку на всіх послідовно встановлених конвеєрах, що дає додатковий ефект зниження витрат електроенергії до 5%.

Наукові положення, висновки і рекомендації впроваджено у ВАТ «Науково-проектний центр (НПЦ) ДТЕК» для використання при проектуванні системи магістрального конвеєрного транспорту зі встановленими перетворювачами частоти живлячої напруги до асинхронних двигунів стрічкових конвеєрів. Також результати дисертаційної роботи впроваджено у Шахтоуправління "Павлоградське" ВАТ "ДТЕК Павлоградвугілля" для використання при визначенні резервів енергоефективності працюючих конвеєрів, а також при визначенні місць встановлення засобів керування швидкістю руху стрічок.

**Особистий вклад автора** полягає у формуванні мети і основних завдань дослідження, обробці та аналізі інформації щодо динаміки вантажопотоків, розробці алгоритму визначення хвилинних значень вантажопотоків за даними електроспоживання очисних комплексів, розробці математичної моделі визначення характеристик вантажопотоків після конвеєра з регулюванням швидкості руху стрічки та у вузлах транспортної системи, розробці алгоритму визначення місць установки перетворювачів частоти до існуючих конвеєрів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні матеріали і результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідались і були схвалені на науково-технічних конференціях: міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Наукова весна", (м Дніпропетровськ, 2010, 2011, 2013 р.р.), Міжнародна конференція "Форум гірників" (м. Дніпропетровськ, 2011, 2014 р.р.); Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "КРЕС-2013" (м. Донецьк, 2013 р), Перша науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Молодь: наука та інновації ", (м Дніпропетровськ, 2013 р); 3-я міжнародна науково-практичної конференція "Енергоефективність та енергозберігаючі технології" (м. Дніпропетровськ, 2012 р).

**Публікації.** Основні положення і результати роботи відбито в 9 друкованих працях, з них 6 – статті у фахових виданнях (з них одна у виданні, що включено до міжнародної наукометричної бази Scopus), 3 - матеріали наукових конференцій.

**Структура та об'єм дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, списку літературних джерел, що містить 83 найменування, на 10 сторінках, додатків на 18 сторінках. Повний обсяг дисертації - 160 сторінок, з яких основний текст – 140 сторінок, малюнків – 33 (з них 7 на повних листах), таблиць 18 (з них 1 на повному листі).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** розкрито стан проблеми та обґрунтовано актуальність досліджень з обраної теми, сформульовано наукову задачу, мету і завдання досліджень, викладено загальну характеристику дисертації.

**У першому розділі** проаналізовано стан проблеми визначення та підвищення енергоефективності магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт, визначені фактори, що найбільш піддаються впливу та впливають на енергоефективність. Проаналізовано існуючі технічні засоби для підвищення енергоефективності.

Аналіз стану проблеми ефективного використання електричної енергії на шахтному магістральному конвеєрному транспорті та можливих шляхів підвищення енергоефективності дозволив дійти таких висновків.

1. Засоби обліку витрати електроенергії в підземній шахтній мережі відсутні або не відкалібровані, що не дає можливості виконати оцінку енергоефективності шахтних конвеєрів.

2. Електроспоживання нелінійно залежить від маси вантажу на бремсберговому конвеєрі. Для визначення поточної витрати електроенергії конвеєром, а також встановлення ймовірного його значення за тривалий період часу, необхідна ідентифікація маси вантажу, що надходить на конвеєр за інтервал часу близький до періоду автокореляції вантажопотоку. Для оцінки впливу розглянутих факторів необхідно розробити підходи для визначення величини вантажопотоку з очисного вибою.

3. Відсутні моделі визначення статистичних характеристик вантажопотоків у вузлах розгалуженої транспортної системи, а також визначення її енергоефективності за використання асинхронного регульованого приводу.

4. Є передумови щодо уточнення законів розподілу вантажопотоків при використанні частотних перетворювачів електроенергії на магістральних конвеєрах з подальшою розробкою моделей визначення електроспоживання конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки.

**У другому розділі** здійснено оцінку енергоефективності роботи конвеєрних установок без регулювання швидкості руху стрічки.

Для порівняння енергоефективності режимів роботи стрічкових конвеєрів вони приводяться до загальних умов роботи: куту встановлення  $\beta=0^\circ$ , при цьому вплив опору руху частин  $\omega$  можна не враховувати. Встановлено залежність мінімального питомого електроспоживання конвеєра з певними умовами його встановлення, яке дозволяє визначити резерви енергоефективності, що сягають 40 – 60 %.

Введено поняття мінімально досяжного холостого ходу конвеєра: це відношення зусилля, яке необхідне для переміщення рухомих частин самого конвеєра, до сумарного зусилля, необхідного для переміщення рухомих частин і вантажу на конвеєрі. Позначимо мінімально досяжний холостий хід конвеєра  $E_{конв}$ , тоді:

$$E_{конв} = \frac{F_{xx}}{F_{гр\_макс} + F_{xx}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де  $F_{гр\_макс}$  – зусилля, необхідне для транспортування вантажу на конвеєрі, заповненого максимально виходячи з його габаритів, Н,  $F_{xx}$  – зусилля, необхідне для переміщення рухомих частин конвеєра. Мінімально досяжний холостий хід не залежить від швидкості руху стрічки конвеєра. Тоді  $E_{конв}$  визначаємо при  $\beta = 0^\circ$ , так як у цьому випадку  $E_{конв}$  не залежить від опору руху стрічки.

Для встановлення узагальнюючої залежності питомого електроспоживання від мінімально досяжного холостого ходу вводиться коригуючий коефіцієнт, що враховує зміну  $E_{конв}$  від інших факторів:

$$K_\beta = \frac{2 \cdot c' \cdot \omega}{2 \cdot c' \cdot \omega + \sin \beta} , \quad (2)$$

де  $c'$  – поправка на зосереджені опори;  $\omega$  – коефіцієнт опору рухомими частинам конвеєру.

Тоді, узагальнена залежність питомої витрати електроенергії конвеєрів від мінімально досяжного холостого ходу приймає вигляд:

$$w_{\text{пит}} = \frac{1}{1 - E_{\text{конв}} \cdot K_{\beta}} \cdot w_{\text{вант\_пит}}, \quad (3)$$

де  $w_{\text{вант\_пит}}$  – питомі витрати лише на переміщення вантажу без рухомих частин, кВт · год/т · км.

Залежність (3) с точністю  $\pm 10\%$  є правомірною за зміни величин у діапазонах:  $\beta \in [0^\circ; 18^\circ]$ ,  $c' \in [1; 1,6]$ ,  $\omega \in [0,02; 0,08]$ ,  $E_{\text{конв}} \in [0,1; 0,6]$ .

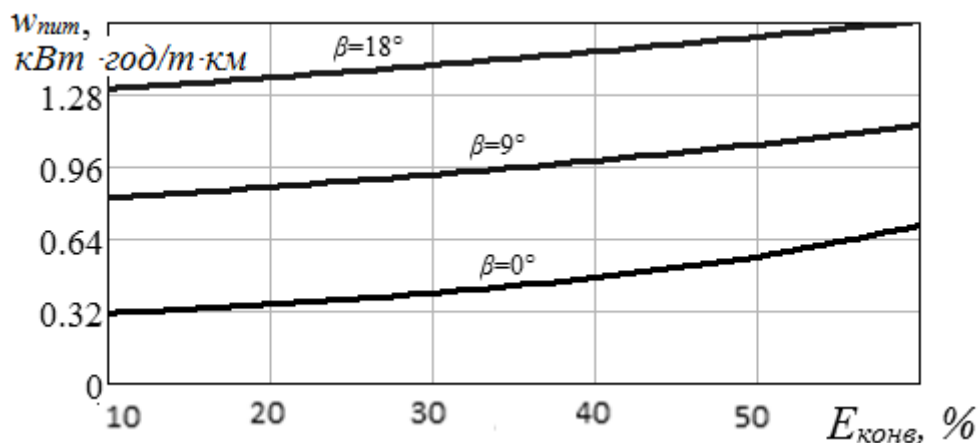


Рисунок 1. Залежність питомої витрати електроенергії від мінімально досяжного холостого ходу конвеєра при  $\beta=0^\circ, 9^\circ, 18^\circ$ ;  $c'=1,1$ ;  $\omega=0,08$ .

Залежності, наведені на рисунку 1, використовуються для визначення резерву зниження електроспоживання стрічкових конвеєрів будь-якого типу, розрахувавши для цього типу величину  $E_{\text{конв}}$ .

Для визначення фактичної витрати електроенергії магістральних стрічкових конвеєрів запропонований алгоритм (рисунок 2), що дозволяє ідентифікувати хвилинні значення вугілля з очисного вибою за використання кореляційної зв'язку швидкості подачі комбайна від електричних навантажень комплексу.



Рисунок 2. Алгоритм визначення хвилинних значень вантажопотоку з очисного вибою



Наведений алгоритм дозволяє визначити математичне очікування хвилинних значень вантажопотоку з очисного вибою з точністю  $\pm 12\%$  для крайніх значень та  $\pm 4\%$  для середніх з довірчою ймовірністю 0,95 (рисунок 3).

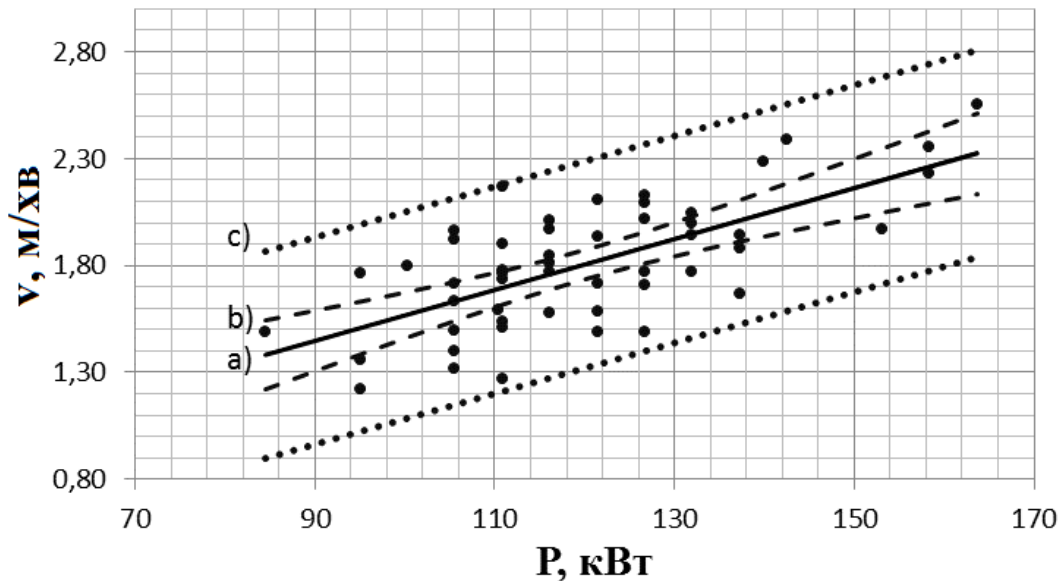


Рисунок 3. Лінія регресії (a) а також 95 %-е довірчі інтервали для середніх (b) і індивідуальних (c) значень швидкості подачі очисного комбайна

При цьому точність визначення індивідуальних значень швидкості подачі комбайна становить  $\pm 34\%$  з довірчою ймовірністю 0,95.

Для прийнятих умов, визначаючи за регресійною залежністю хвилинні значення швидкості подачі комбайна і враховуючи час затримки доставки вугільної маси скребковим конвеєром, визначається величина хвилинних значень потоку вугілля з очисного вибою:

$$Q_i = \gamma m \beta v_{i-t_{\text{доcm}}} (P_{i-t_{\text{доcm}}}), \quad (4)$$

де  $m$  – потужність пласту, що виймається, м;  $\beta$  – ширина захвату виконавчого органу, м;  $\gamma$  – щільність вугля в цілику,  $\text{т/м}^3$ ;  $v_i$  – швидкість подачі комбайну, м/мин.

Використовуючи розроблений алгоритм, доцільно здійснювати визначення фактичного значення питомої витрати електроенергії магістральних конвеєрів розрахунковим шляхом, обчислюючи значення маси вантажу на конвеєрі.

Визначення питомої витрати електроенергії конвеєрів близьких до горизонтальних і працюючих на ухил, з достатньою точністю здійснюється при врахуванні законів розподілу вугільних потоків у вузлах конвеєрної мережі. Експериментально встановлено, що при роботі одного очисного вибою вантажопотік розподіляється за нормальним законом, а при підсумовуванні декількох вантажопотоків розподіл наближається до логарифмічного нормального закону.

Для визначення електроспоживання бремсбергових конвеєрів введено параметр  $n$ , за допомогою якого можна охарактеризувати ймовірність ступеня заповнення конвеєра вантажем в залежності від значень інтервалів часу надходження ( $T_n$ ) та відсутності вантажопотоку ( $T_o$ ), довжини конвеєру  $L$  та швидкості стрічки  $v$ . Чим більше добуток  $(T_n + T_o) \cdot v$ , тим більше ймовірність роботи конвеєра в «крайніх» станах: або повністю порожнім, або повністю завантаженим. І навпаки, чим менше добуток  $(T_n + T_o) \cdot v$  тим більше ймовірність роботи конвеєра з середнім (або близькою до середнього) завантаженням при одному і тому ж значенні  $L$ . Тоді  $n$  визначається:

$$n = L / (T_n + T_o) \cdot 60v. \quad (5)$$

Параметр  $n$  впливає на витрату електроенергії для бремсбергових конвеєрів з кутами встановлення менше ніж  $-6^\circ$  привод яких може переходити в генераторний режим роботи. Для таких конвеєрів:

$$F = \begin{cases} a(QS + b) / \eta_{mex} & \text{при } a(QS + b) \geq 0 \\ a(QS + b) \cdot \eta_{mex} & \text{при } a(QS + b) < 0 \end{cases}, \quad (6)$$

де  $\eta_{mex}$  – електромеханічний ККД конвеєру та його приводу,  $a$  – коефіцієнт тягового розрахунку,  $b$  – вільний член.

Тоді при  $v_k = const$  електроспоживання конвеєра за добу або зміну визначається як:

$$W = F(QS(Q(t_i), Q(t_{i+1}), Q(t_{i+n}))) \cdot v_k \cdot t, \quad (7)$$

де  $Q(t_i), Q(t_{i+1}), Q(t_{i+n})$  – значення процесу  $Q(t)$ , які визначають масу вантажу

на конвеєрі,  $QS = \sum_{x=i}^{i+n} Q(t_x)$ .

На рисунку 4 наведена залежність математичного очікування питомої витрати електроенергії від добового вантажопотоку для конвеєра 1л100к з наступними параметрами:  $q''_p = 9,2$  кг/м;  $q'_p = 20$  кг/м;  $q_l = 15$  кг/м;  $c' = 1,1$ ;  $L = 640$  м;  $\beta = -6^\circ$ ;  $v = 2$  м/с. У тій же координатній площині наведені гранично можливі (в менший і більший бік) розрахункові значення питомого електроспоживання. Великий діапазон між кривими найбільшого і найменшого електроспоживання конвеєра при одному і тому ж змінному вантажопотоці спостерігається внаслідок переходу приводу конвеєра в рекуперативний режим при певній масі вантажу на ньому і зниженому ККД процесу рекуперації, що обумовлено додатковими силами тертя.

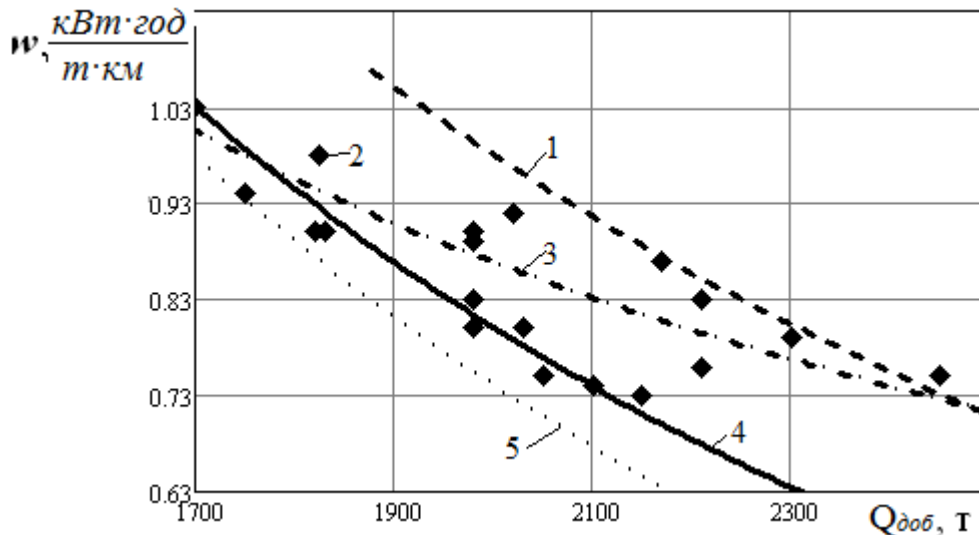


Рисунок 4. Аналітично-статистична модель залежності питомого електроспоживання конвеєра 1л100к від добового вантажопотоку: 4 – математичне очікування добового електроспоживання, 5 – мінімальне можливе електроспоживання, 1 – максимальне можливе електроспоживання, 3 – регресійна залежність  $w_{\text{рег}}(Q)=0,093+1551,9/Q$ , побудована за експериментальними даними, 2 – експериментальні точки.

Визначено, що фактичне значення електроспоживання бремсбергового конвеєра може мати діапазон зміни математичного очікування до 30 % при вантажопотоці з одним і тим же добовим обсягом. Ймовірні витрати електроенергії бремсбергового конвеєром визначаються з використанням параметра  $n$  при розподілі вантажу на конвеєрній стрічці за біноміальним законом. Параметр  $n$  залежить від швидкості руху стрічки і довжини конвеєра, а також математичного очікування часу надходження і відсутності вантажопотоку. При одному і тому ж добовому обсязі переміщеного конвеєром вугілля зі збільшенням  $n$  питоме електроспоживання знижується.

**В третьому розділі** виконано розробку моделі оцінки електроспоживання конвеєрів при регулюванні швидкості руху стрічки засобами електроприводу, а також запропоновано рекомендації з підвищення енергоефективності.

Щільність ймовірності вантажопотоку після його проходження через  $k$  послідовно встановлених конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки:

$$p(Q_{\text{вих}}) = \frac{\lambda \cdot K_{\text{СК}}^k}{\lambda \cdot K_{\text{СК}}^k + \mu} \cdot \delta(0) + \frac{\mu}{\mu + \lambda \cdot K_{\text{СК}}^k} \cdot p(v_{\min(k-1)}) \cdot (K_{\text{СК}} \cdot M_{Q'}) + \frac{\mu}{\mu + \lambda \cdot K_{\text{СК}}^k} \cdot [1 - p(v_{\min(k-1)})] \cdot \frac{1}{Q' \sigma_{Q'} \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(Q' - M_{Q'})^2}{2\sigma_{Q'}^2} \right]^2, \quad (8)$$

де  $k$  – порядковий номер конвеєра,  $P(v_{\min(k-1)})$  – ймовірність руху з мінімальною швидкістю попереднього за напрямком переміщення вантажопотоку конвеєра,  $\delta(0)$  – дельта-функція, що описує ймовірність відсутності вантажопотоку,  $M_Q$  – математичне очікування вантажопотоку,  $\sigma_Q = \sqrt{D_Q}$  середньоквадратичне відхилення вантажопотоку,  $D_Q$  – дисперсія вантажопотоку,  $\lambda \cdot \Delta t$  – ймовірність переходу від 1 до 0,  $\mu \cdot \Delta t$  – ймовірність переходу от 0 к 1,  $\Delta t$  – інтервал часу, що розглядається,  $\lambda = 1/T_n$ ,  $\mu = 1/T_0$ ,  $K_{ск}$  – коефіцієнт швидкості, що дорівнює відношенню швидкості руху стрічки при відсутності вантажопотоку до номінальної.

У розрахунках введено припущення, що залежність необхідного для пересування частин зусилля від маси вантажу на конвеєрі, має лінійний характер. Швидкість є функцією від вантажопотоку:

$$v_k(Q_i) = \begin{cases} K_{\Pi} \cdot Q_i(t_i) & \text{при } Q_i(t_i) > 0 \\ K_{ск} \cdot v_{НОМ} & \text{при } Q_i(t_i) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

де  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт пропорційності, м/кг.

Маса вантажу на конвеєрі при регульованій швидкості руху стрічки визначається чисельними методами, оскільки залежить від змінної транспортної затримки:

$$QS = f(Q(t), v_k(Q(t))). \quad (10)$$

Електроспоживання конвеєра за добу або зміну:

$$W = F(QS[Q(t_i), Q(t_{i-1}), Q(t_{i-\tau}), v_k(Q(t_i))]) \cdot v_k(Q(t_i)) \cdot t, \quad (11)$$

де  $Q(t_{i-\tau})$  – значення процесу  $Q(t)$ , котрі відстають від  $Q(t_i)$  на змінну транспортну затримку  $\tau$ .

Вираз щільності ймовірності розподілу вантажопотоку (8) для розрахунку витрати електроенергії співвідношення буде мати вигляд:

$$W = F(p(QS) \cdot QS_{МАКС} \cdot l) \cdot p(v_k) \cdot v_{НОМ} \cdot t, \quad (12)$$

де  $p(QS)$  – щільність ймовірності розподілу погонного навантаження,  $QS_{МАКС}$  – максимально можлива маса вантажу на конвеєрі, кг.

Виконано порівняння енергоефективності стрічкових конвеєрів з регульованою і нерегульованою швидкістю руху стрічки при відомих параметрах їх встановлення і вантажопотоків, розташованих за схемою, що зображена на рисунку 5. Параметри встановлення конвеєрів однакові і прийняті

такі:  $q''_p=9,2$  кг/м;  $q'_p=20$  кг/м;  $q_l=15$  кг/м;  $c'=1,1$ ;  $\omega=0,06$ ;  $\beta=0^\circ$ ;  $v=2$  м/с,  $L=1$  км. Параметри вантажопотоку з очисного вибою приймаються такі:  $\lambda=0,25$ ,  $\mu=0,164$ ,  $M(Q)=3420$  кг/хв,  $D(Q)=202500$  (кг/хв)<sup>2</sup>. Розрахунок характеристик потоку у вузлах лінії конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки виконується за виразом (8).

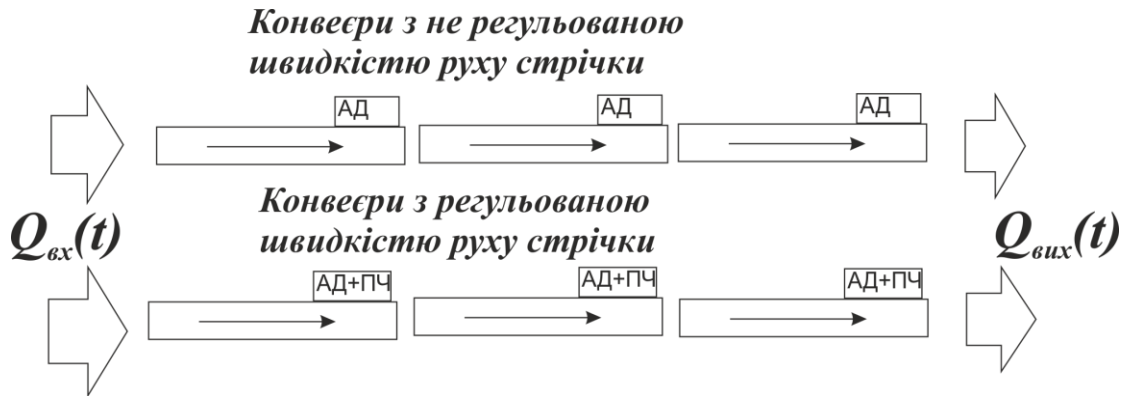


Рисунок 5. Схема розташування конвеєрів для розрахунку їх електроспоживання: АД – асинхронний двигун; АД+ПЧ – асинхронний двигун з перетворювачем частоти;  $Q_{вх}(t)$  і  $Q_{вих}(t)$  – вхідний та вихідний вугільний потік, залежний від часу.

Характер зниження електроспоживання встановлених поспіль конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки (рисунок 6) визначається за залежностями (8, 12). Приймаємо  $K_{ск}=0,25$ .

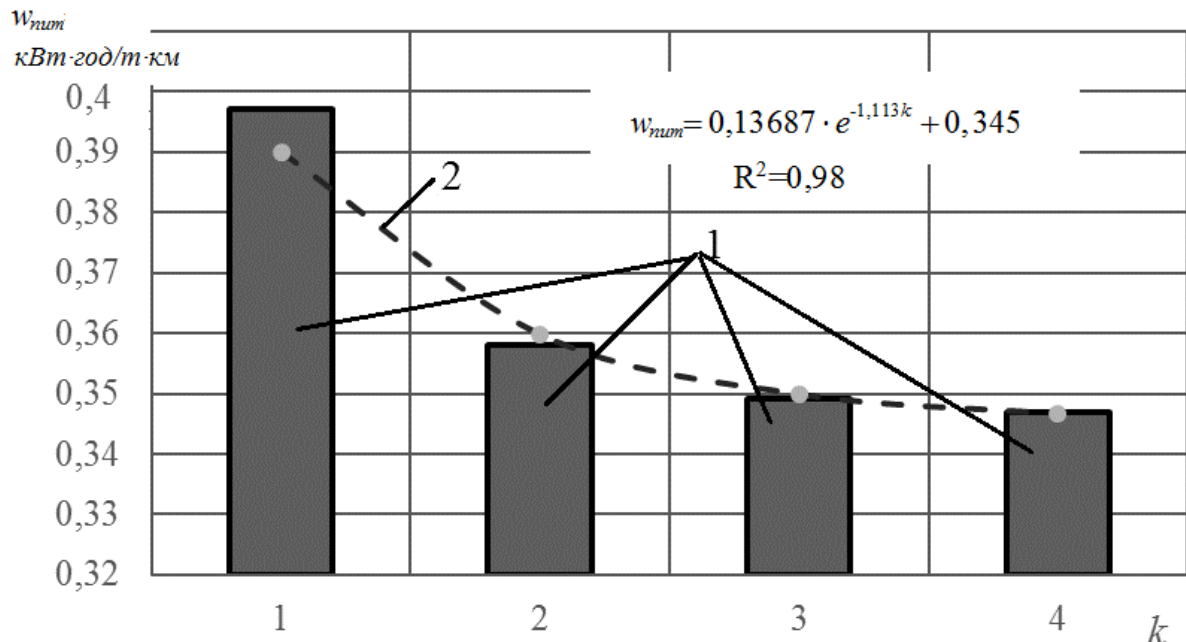


Рисунок 6. Залежність питомої витрати електроенергії  $k$ -им конвеєром в лінії з регульованою швидкістю руху стрічки: 1) розрахункові значення; 2) апроксимуюча крива.

Регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки дозволяє здійснити вирівнювання вантажопотоку за рахунок зменшення тривалості пауз при його надходженні. Використання регульованого приводу в лінії конвеєрів дає додатковий ефект в частині зниження витрат електроенергії за рахунок роботи кожного наступного конвеєра в лінії більш тривалий час на мінімальній швидкості. При зменшенні довжини конвеєрів в лінії такий ефект знижується. Додаткове зниження витрат електроенергії сягає 4-5% за рахунок більш повного використання резерву енергоефективності в лінії, що складається з декількох конвеєрів з регульованою швидкістю руху конвеєрної стрічки.

Розроблений алгоритм оцінки ефективності впровадження регульованого приводу дозволяє визначити найбільш проблемні ділянки транспортного ланцюга, на яких, в першу чергу, потрібне встановлення засобів підвищення енергоефективності, що особливо актуально в умовах обмежень матеріальних ресурсів. Програмна реалізація запропонованих алгоритмів і аналітичних моделей дозволяє в реальному часі здійснювати контроль енергоефективності транспортних ліній, які містять конвеєрні установки з регульованим приводом.

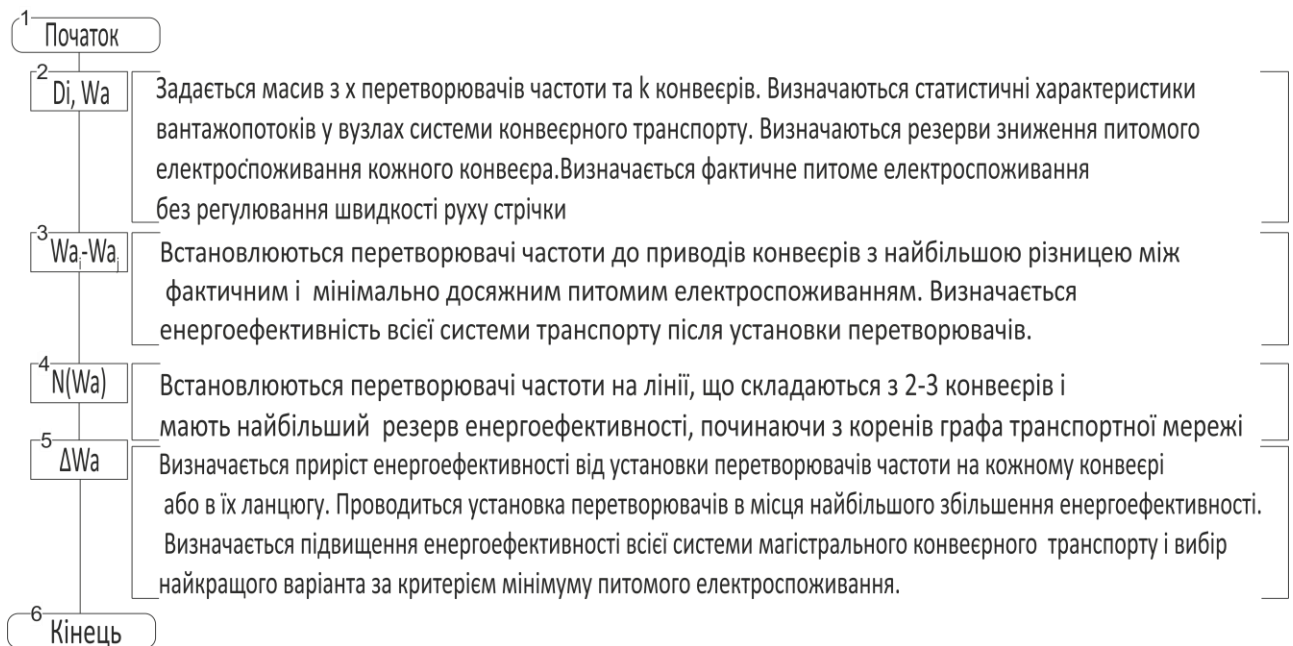


Рисунок 7. Алгоритм визначення ефективності впровадження регульованого приводу

Залежність питомого електроспоживання бремсбергового конвеєра від частки часу надходження вантажопотоку набуває лінійний характер (рисунок 8), за умови вирівнювання вантажопотоку попереднім конвеєром з регульованою швидкістю руху стрічки. Характер залежності, на відміну від канонічного гіперболічного, пояснюється частковим вирівнюванням вантажопотоку: після конвеєра з регульованою швидкістю руху стрічки рівні хвилинних значень вантажопотоку перерозподіляються.

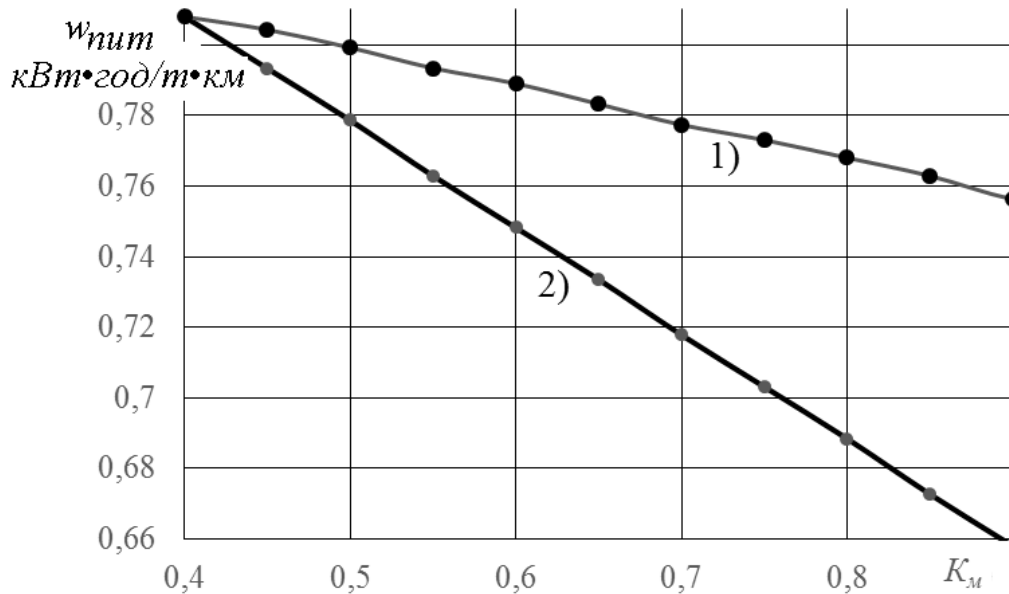


Рисунок 8. Залежність питомої витрати електроенергії бремсберговим конвеєром від  $K_m$  1) при  $K_{ck}=0,1$ , 2) при  $K_{ck}=0,25$  конвеєра з регульованою швидкістю руху стрічки.

Регулювання швидкості руху стрічки в системі шахтного конвеєрного транспорту дає додатковий ефект зниження витрати електроенергії на збірних бремсбергових конвеєрах, на яких не встановлені перетворювачі частоти, що є наслідком зниження динаміки вантажопотоків (рисунок 9). Зниження витрати електроенергії при цьому на бремсберговому конвеєрі сягає 20%.

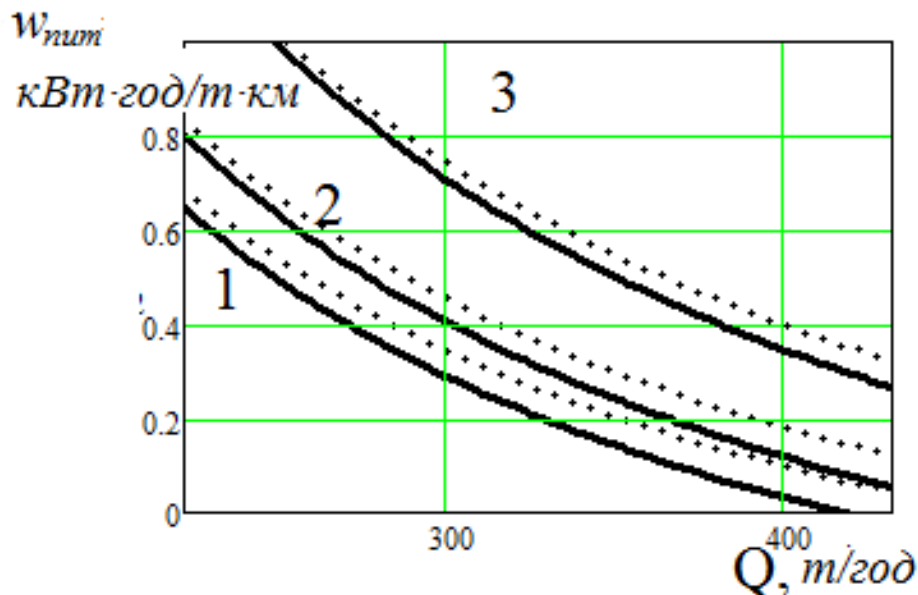


Рисунок 9. Залежність питомої витрати електроенергії при  $\beta = -6^\circ$  від часового вантажопотоку для трьох типів конвеєрів: 1) 2ЛТП80КСП, 2) 2ЛТП1000КСП, 3) 1Л120 при регульованій (суцільні лінії) та нерегульованій (пунктир) швидкості руху стрічки попереднього конвеєра.

Ефект усереднення вантажопотоку регулюванням швидкості руху стрічки збільшується при малих значеннях параметра  $n$ : вирівняний вихідний вантажопотік у меншій мірі піддається усередненню. Регулювання швидкості руху стрічок конвеєрів дозволяє використовувати потенціал зниження витрат електроенергії на магістральному конвеєрному транспорті вугільної шахти за рахунок вирівнювання вантажопотоків. Додаткове зниження рівня електроспоживання всієї системи магістрального транспорту може сягати 9%, проте точне значення є індивідуальним для кожного гірничого підприємства та залежить від кількості конвеєрів, їх розташування, кутів встановлення і динаміки вантажопотоків.

При використанні засобів підвищення енергоефективності на шахтному магістральному конвеєрному транспорті задача оптимального розподілу перетворювачів частоти для регулювання швидкості руху конвеєрних стрічок при обмеженій кількості фінансових ресурсів наближено вирішується за алгоритмом, що наведено на рисунку 7. Точне рішення задачі розміщення перетворювачів частоти з метою мінімізації електроспоживання системи магістрального конвеєрного транспорту вугільної шахти визначається одним з відомих чисельних методів.

**У четвертому розділі** розроблено імітаційні моделі для визначення енергоефективності режимів роботи конвеєрних ліній і виконано економічну оцінку доцільності впровадження перетворювачів частоти.

Вдосконалений алгоритм моделювання часових характеристик вантажопотоків з очисних вибоїв є лінійним. У порівнянні з запропонованими раніше, містить меншу кількість змінних, операторів і не містить, нелінійних умовних структур, що досягнуто за рахунок використання властивостей елементарних лінійних функцій для формування відповідних значень процесу узагальненої функції. Запропонований алгоритм в сукупності з непрямим методом визначення характеристик потоків вугілля з очисних вибоїв дозволяє в реальному часі оцінювати енергоефективність роботи конвеєрів і управляти процесами на транспортуванні вугілля, у тому числі, за мінімумом витрати електроенергії, наприклад, засобами регульованого приводу.

Розроблені алгоритми та їх реалізація у MATLAB SIMULINK дозволяють моделювати систему конвеєрного транспорту вугільної шахти будь-якої складності, включаючи конвеєри з регулюванням швидкості руху стрічки для визначення енергоефективних режимів роботи транспортної системи.

Економічний ефект від впровадження перетворювачів частоти до приводів конвеєрів збільшується при використанні регулювання швидкості руху стрічки на лінії послідовно встановлених конвеєрів, а також за наявності збірної бремсбергової конвеєра. При регулюванні швидкості руху стрічки на послідовно встановлених конвеєрах термін окупності збільшується на 5% в порівнянні з використанням регулювання швидкості на конвеєрах, що приймають вантаж з різних очисних вибоїв.

При наявності бремсбергової конвеєра з кутом встановлення понад  $-6^\circ$  після конвеєрів з регулюванням швидкості руху стрічки економічний ефект від впровадження перетворювачів збільшується за рахунок зниження витрат



електроенергії на бремсберговом конвеєрі. При цьому термін окупності проекту знижується до 40% залежно від умов роботи конвеєрів.

Збільшення кількості послідовно встановлених конвеєрів з регульованим приводом в лінії певної довжини, в порівнянні з одним конвеєром з регульованою швидкістю руху стрічки тієї ж довжини дозволяє додатково знизити витрату електроенергії до 12%.

Зниження коефіцієнта швидкості  $K_{ск}$  конвеєрів підвищує відсоток використання резервів енергоефективності встановлених в одній лінії конвеєрів за рахунок зниження витрат електроенергії в періоди відсутності вугільної маси на вході конвеєра.

## ВИСНОВКИ

У дисертації, яка є завершеною науковою роботою, вирішена наукова задача встановлення закономірностей впливу адаптованої до динаміки вантажопотоків швидкості руху стрічок всього комплексу розгалуженої конвеєрної системи з урахуванням технологічних умов (вузлів перевантаження, довжини конвеєрів і кутів їх встановлення) на витрату електроенергії магістрального конвеєрного транспорту, що створює умови додаткового підвищення енергоефективності.

**Основні висновки та результати дисертаційної роботи** полягають у наступному:

1. Ідентифікацію хвилинних значень вантажопотоку з очисного вибою запропоновано здійснювати за графіком електричних навантажень комплексу з точністю до  $\pm 12\%$  для середніх значень, що дозволяє визначати витрати електроенергії системою магістрального конвеєрного транспорту вугільної шахти.

2. Встановлено, що нормативні значення питомої витрати електроенергії, як критерію для визначення енергетичної ефективності роботи конвеєрної лінії і системи транспорту в цілому, повинні приводитися до умов роботи конвеєра, враховуючи поправку на кут встановлення, масу рухомих частин і коефіцієнт опору руху стрічки. Тому мінімально досяжна витрата електроенергії для кожного конвеєра має специфічне значення, а визначення можливого резерву зниження електроспоживання вимагає урахування технологічних умов роботи конкретного конвеєра.

3. На підставі даних експериментальних досліджень і застосування методу найбільшої правдоподібності для їх аналізу встановлено, що закон розподілу хвилинних значень вантажопотоків є нормальним для одного вантажопотоку і логарифмічним нормальним для випадку декількох вантажопотоків у вузлах транспортної системи шахти.

4. При збільшенні параметра  $n$  (5) і нелінійної залежності електроспоживання від завантаження у бремсбергового конвеєра, його витрата електроенергії знижується за рахунок усереднення вантажопотоку, що надходить. Параметр  $n$  біномного розподілу залежить від середнього часу відсутності та наявності вантажопотоку, довжини конвеєра та швидкості руху

стрічки. Ефект усереднення досягається при збільшенні кількості вантажопотоків, що підсумовуються у вузлах транспортної системи, а також при регулюванні швидкості руху стрічки на конвеєрах, які встановлені до бремсбергового конвеєра.

5. Регулювання швидкості руху стрічки на послідовно встановлених конвеєрах дає додаткове зниження витрат електроенергії за напрямком вантажопотоку на кожному наступному конвеєрі за рахунок роботи кожного наступного конвеєра більш тривалий час на мінімальній швидкості.

6. Раціональне розміщення перетворювачів частоти при обмежених матеріальних ресурсах доцільно визначати з урахуванням динаміки вантажопотоків та зміни їх характеристик регулюванням швидкості руху стрічок. Розроблена імітаційна модель системи шахтного конвеєрного транспорту дозволяє визначати витрату електроенергії конвеєрами з урахуванням динаміки вантажопотоків і регулювання швидкості руху стрічок систем шахтного транспорту будь-якої складності, що сприятиме підвищенню енергоефективності системи конвеєрного транспорту.

7. Імітаційне моделювання при впровадженні засобів підвищення енергоефективності на стрічкових конвеєрах на прикладі шахти «Павлоградська» дозволило встановити, що найменший термін окупності спостерігається при встановленні засобів регулювання швидкості стрічки на послідовно встановлених конвеєрах в лінії. Розподіл конвеєрної лінії довжиною один кілометр на кілька частин знижує споживання електроенергії при встановленні регульованого приводу на кожен конвеєр зі збільшенням їх числа, але з урахуванням вартості додаткових приводних станцій термін окупності зростає до значення понад 5 років. При наявності збірних бремсбергового конвеєра з кутом встановлення менш -6 градусів в транспортній системі та регулювання швидкості руху стрічки на конвеєрах до нього термін окупності знижується в 1,2-1,5 рази.

8. Розроблені моделі та алгоритми для визначення питомої витрати електроенергії дозволили обґрунтувати додаткове зниження витрат електроенергії до 5% на послідовно встановлених конвеєрах, що становить 0,02 - 0,06 кВт·год/т·км і до 9% у системі шахтного конвеєрного транспорту при наявності збірних бремсбергових конвеєрів.

#### **Наукові положення та результати опубліковано в наступних роботах:**

##### *Наукові статті:*

1. Заика, В.Т. Влияние регулируемого привода на грузопотоки и энергоэффективность системы шахтного конвейерного транспорта / В.Т. Заика, Ю.Т. Разумный, В.Н. Прокуда // Науковий вісник Національного гірничого університету – 2015. – №3. – С. 82-88. (Наукометрическая база Scopus).

2. Прокуда, В.М. Исследование и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО ДТЭК «Павлоградуголь» / В.М. Прокуда, Ю.А. Мишанский, С.М.Проценко // Гірничя електромеханіка. – 2012. – № 88. – С. 107-111.

3. Разумный, Ю.Т. Определение энергоэффективности магистрального конвейерного транспорта методом распознавания величин минутных значений

угольного потоку /Разумний Ю.Т., Заика В.Т., Прокуда В.М. // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 92. – С. 139-143.

4. Разумный, Ю. Т. Формирование характеристик потока угля конвейерного транспорта по данным моделирования грузопотоков из очистных забоев / Ю. Т. Разумный, В. Т. Заика, В. Н. Прокуда // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер. Електротехніка і енергетика. - 2013. - Вип. 2. - С. 208-213.

5. Разумный, Ю. Т. Анализ влияния регулирования скорости конвейерной ленты на энергоэффективность транспортных систем / Ю. Т. Разумный, В. Н. Прокуда // Уголь Украины. –2014. –№ 12. –С. 43-46.

6. Прокуда, В. Н. Синтез вероятностных моделей контроля энергоэффективности магистрального конвейерного транспорта угольных шахт / В. Н. Прокуда // Електротехнічні та комп'ютерні системи. –2014. –№ 16. –С. 40-47.

7. Патент на корисну модель №98766, Україна. МПК Е 21 С 41/00. Спосіб визначення енергоефективності магистрального конвеєрного транспорту / Разумний Ю.Т., Прокуда В.М.; заявник та патентовласник Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет". Опубліковано 12.05.2015, Бюл. № 9.

#### *Матеріали конференцій*

8. Разумный Ю. Т. Регрессионные модели для определения минутной производительности добычных комплексов / Ю. Т. Разумный, В.Н. Прокуда //Форум гірників - 2014: матеріали міжнар. конф., 1-4 жовт. 2014 р. - Т.3.- Дніпропетровськ: 2014.- С.98-102

9. Прокуда, В.М., Імітаційне моделювання вантажопотоків шахтної конвеєрної мережі / Прокуда В.М., Тутов І.В. // Матеріали четвертої науково – технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених НГУ "Наукова весна". Дніпропетровськ: 2013.- С. 404-405.

10. Заика В.Т., Новый эффект повышения энергоэффективности при регулировании скорости движения ленты магистральных шахтных конвейеров / Заика В.Т., Прокуда В.М. // Матеріали 1-ї міжнародної науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів", Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2013. – С. 121-122.

У роботах, написаних у співавторстві, особистий внесок полягає у наступному: [1, 10] – запропоновано метод визначення щільності ймовірності вантажопотоків у вузлах шахтної конвеєрної мережі з використанням регулювання швидкості конвеєрних стрічок при відомих законах розподілу вугільного потоку з кожного очисного вибою; [2, 8] – методами математичної статистики оброблені експериментально отримано дані вантажопотоків шахти Павлоградська, розроблені імітаційні моделі визначення електроспоживання системи магистрального конвеєрного транспорту, на імітаційних моделях визначено енергоефективність при впровадженні регульованого електроприводу; [3, 7] – отримано регресійну залежність швидкості подачі комбайну від значень електроспоживання очисного вибою, що дозволяє визначити хвилинні значення вантажопотоку; [4, 9] – запропоновано алгоритм

моделювання вугільного вантажопотоку, як Марківського процесу, із очисного вибою для визначення енергоефективності системи стрічкового транспорту вугільної шахти;. Отримано залежності і алгоритми, які доводять додаткове зменшення витрати електроенергії при використанні регульованого приводу на послідовно працюючих конвеєрах; [5] – встановлено залежності регулювання швидкості одиночних стрічкових конвеєрів на енергоефективність магістрального конвеєрного транспорту в цілому.

### АНОТАЦІЯ

Прокуда В.М. Енергоефективність магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт з урахуванням динаміки вантажопотоків. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – "Електротехнічні комплекси та системи". – ДВНЗ "Національний гірничий університет", – Дніпропетровськ, – 2015.

У дисертаційній роботі вирішено наукову задачу, що полягає у встановленні закономірностей впливу адаптованої до динаміки вантажопотоків швидкості руху стрічок всього комплексу розгалуженої конвеєрної системи з урахуванням технологічних умов (вузлів перевантаження, довжини конвеєрів і кутів їх встановлення) на витрату електроенергії магістрального конвеєрного транспорту, що створює умови додаткового підвищення енергоефективності.

Встановлено закономірності надходження вантажопотоків з видобувного вибою в залежності від електроспоживання очисного комплексу, що дозволяє оцінювати енергоефективність магістральних стрічкових конвеєрів.

Встановлено закономірності зміни витрати електроенергії магістрального конвеєрного транспорту при нелінійні залежності електроспоживання, що залежить від маси вугілля на конвеєрі, що дозволяє визначати енергоефективність системи транспорту на етапі проектування розрахунковими методами.

Запропоновано математичну модель зміни вугільного потоку з урахуванням регулювання швидкості руху стрічки конвеєра, його довжини конвеєру, а також статистичних параметрів вантажопотоку, що надходить. Доведено економічну доцільність використання регульованого приводу на декількох встановлених посліпль конвеєрах при обмеженій кількості фінансових ресурсів для підвищення енергоефективності системи транспорту.

*Ключові слова:* магістральний транспорт, стрічковий конвеєр, енергоефективність, вугільна шахта, регульований привід, перетворювач частоти, вугільний потік.

### АННОТАЦИЯ

Прокуда В.Н. Энергоэффективность магистрального конвейерного транспорта угольных шахт с учетом динамики грузопотоков. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – “Электротехнические комплексы и системы”. – ГВУЗ "Национальный горный университет", – Днепропетровск, – 2015.

В диссертационной работе решена научная задача, которая заключается в установлении закономерностей влияния адаптированной к динамике грузопотоков скорости движения лент всего комплекса разветвленной конвейерной системы с учетом технологических условий (узлов перегрузки, длины конвейеров и углов их установки) на расход электроэнергии магистрального конвейерного транспорта, что создает условия дополнительного повышения энергоэффективности.

Проанализировано влияние динамики грузопотоков на энергоэффективность магистральных ленточных конвейеров. Определены зависимости удельного расхода электроэнергии от минимально достижимого холостого хода конвейера при разных значениях параметров установки конвейеров для определения возможного снижения электропотребления.

Установлены закономерности поступления грузопотоков с очистного забоя за период его автокорреляции в зависимости от электропотребления очистного комплекса, позволяющего оценивать энергоэффективность магистральных ленточных конвейеров угольных шахт.

Установлены закономерности изменения расхода электроэнергии магистрального конвейерного транспорта при нелинейной зависимости электропотребления от массы угля на конвейере, что позволяет определять энергоэффективность системы транспорта на этапе проектирования расчетными методами.

Предложена математическая модель изменения угольного потока с учетом регулирования скорости движения ленты конвейера, длины конвейера, а также статистических параметров поступающего грузопотока.

Проанализированы режимы работы магистрального конвейерного транспорта угольной шахты при регулируемой скорости движения ленты конвейеров и определены сочетания параметров энергоэффективных по критерию минимального удельного расхода электроэнергии.

Определена последовательность выбора мест установки преобразователей частоты для повышения энергоэффективности при ограниченных ресурсах на модернизацию системы транспорта. Предложенные принципы размещения средств повышения энергоэффективности в системе магистрального конвейерного транспорта позволяют снизить расход электроэнергии сборного бремсбергового конвейера без регулируемого привода.

Предложено использование регулирования скорости движения конвейерной ленты пропорционально грузопотоку на всех последовательно установленных конвейерах, что дает дополнительный эффект снижения расхода электроэнергии.

Установлено, что рациональное размещение преобразователей частоты при ограниченных материальных ресурсах целесообразно определять с учетом динамики грузопотоков и изменения их характеристик регулированием скорости движения лент. Разработанная имитационная модель системы шахтного конвейерного транспорта позволяет определять расход электроэнергии конвейерами с учетом динамики грузопотоков и регулирования

скорости движения лент систем шахтного транспорта любой сложности, что будет способствовать повышению энергоэффективности системы конвейерного транспорта

Доказана экономическая целесообразность использования регулируемого привода на нескольких установленных подряд конвейерах, которые получают груз из одного очистного забоя, при ограниченном количестве финансовых ресурсов для повышения энергоэффективности всей системы транспорта.

Разработанные модели и алгоритмы по определению удельного расхода электроэнергии позволили обосновать дополнительное снижение расхода электроэнергии до 5 % на последовательно установленных конвейерах, что составляет 0,02 – 0,06 кВт·ч/т·км и до 9 % в системе шахтного конвейерного транспорта при наличии сборных бремсберговых конвейеров.

*Ключевые слова:* магистральный транспорт, ленточный конвейер, энергоэффективность, угольная шахта, регулируемый привод, преобразователь частоты, угольный поток.

## SUMMARY

Prokuda V.M. Energy efficiency of the main conveyor transport in coal mines, with the dynamics of cargo flows taken into account. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of Doctor of Philosophy on a speciality 05.09.03 – "Electrotechnical complexes and systems", – SHEI "National Mining University", – Dnepropetrovsk, – 2015.

An important scientific problem of establishing the laws of influence of belts velocity adapted to the dynamics of the cargo flows in whole complex of extensive conveyor system taking into account technological conditions (overload nodes, conveyer length, angle of setting etc.) on the power consumption of the main conveyor transport is solved, which creates conditions of additional improvement of energy efficiency.

The regularities of cargo flows receipt from production face depending on the complex power consumption are determined, which allows evaluating the efficiency of the main belt conveyors.

The regularities of changes in power consumption at the main conveyor transport under nonlinear dependence of the power consumption on the amount of coal on the conveyor are established, which allows determining the energy efficiency of transport systems at the design stage by calculation methods.

A mathematical model of coal flow changes that takes into account speed control of the conveyor belt, the length of the conveyor and statistical parameters of incoming freight flow is offered. The economic feasibility of using controlled drive for several conveyors installed in a row at a limited number of financial resources is proved to improve energy efficiency in transport.

*Keywords:* main transport, belt conveyor, energy efficiency, coal mine, regulated drive, frequency converter, coal flow.