

ШЛЯХИ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ МАГІСТАЛЬНОГО КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ

ПРОКУДА В.М. канд. техн. наук, асистент кафедри електроенергетики Національного ТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: prokuda.v.m@nmu.one;

БУРТНИЙ Д.І. студент, гр. 141-18-1, кафедри електроенергетики Національного ТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: burtnyi.d.i@nmu.one.

Мета роботи. Ґрунтуючись на проведених дослідженнях, за узагальненими даними потенціал зниження витрат електроенергії на конвеєрному транспорті знаходиться в межах 40 - 50%. Одним з перспективних методів вирішення проблеми є впровадження перетворювачів частоти і систем регулювання швидкості руху стрічки, які згідно з розрахунками дозволять знизити витрату електроенергії на 28-35%. Виходячи з викладеного, основною метою є розробка більш досконалих та інноваційних методів спрямованих на аналіз можливостей підвищення енергоефективності шахтного конвеєрного транспорту. Робота ставить перед собою мету дослідження потенціалу зниження енерговитрат для шахтного комплексу шахтоуправління «Покровське» шляхом розробки імітаційної моделі енергоспоживання шахтного конвеєрного транспорту з урахуванням динаміки вантажопотоків. Також перед роботою поставлена мета розробки імітаційної моделі, яка повинна дозволити задавати в широкому діапазоні величину вантажопотоку, що надходить, задавати механічні параметри конвеєрів, таких як: кут установки, масу рухомої частини, швидкість стрічки та продуктивність комплексу у цілому.

Методи дослідження. Марківські процеси, елементи теорії вірогідності та математичної статистики, котрі були використані для розробки імітаційної моделі вантажопотоків шахтного конвеєрного транспорту у середовищі моделювання «Matlab».

Отримані результати. Показано розрахунок електроспоживання магістрального конвеєрного транспорту шахти шахтоуправління «Покровське» за допомогою розробленої імітаційної моделі. Отримані розрахункові дані для обладнання, яке бере участь у технологічному процесі підприємства, що дає можливість підвищити його продуктивність та оптимізувати виробничі витрати у майбутньому. Розроблена імітаційна модель, яка дозволяє задавати в широкому діапазоні величину вантажопотоку що надходить (час надходження / відсутності, математичне сподівання і дисперсію); задавати механічні параметри конвеєрів (кут установки, масу рухомих частин, максимальну продуктивність, номінальну швидкість руху стрічки); моделювати зниження швидкості при установці регульованого приводу; задавати ємність і продуктивність бункерів в вузлах схеми; автоматизувати розрахунок електроспоживання окремо кожного конвеєра і схеми транспорту в цілому за будь-якої конфігурації перерахованих вище параметрів.

Наукова новизна. Розроблена імітаційна модель дозволяє автоматизувати розрахунок електроспоживання окремо кожного конвеєра і схеми шахтного конвеєрного транспорту в цілому за будь-якої конфігурації основних технічних параметрів розглянутого обладнання.

Практична цінність. Практичним значенням результатів роботи є розроблена модель ділянки системи конвеєрного транспорту шахти шахтоуправління «Покровське», яка на основі проведених досліджень дозволяє зробити висновок, що застосування частотно регульованого приводу дозволить знизити електроспоживання конвеєрного ланцюжка на 25-50%. Також за отриманими даними, з частковим розрахунком додаткових параметрів можна зробити висновок про перспективи та можливості впровадження запропонованих методів на виробничому процесі.

Ключові слова: конвеєр; шахтна мережа; вантажопотік; електроспоживання; частотний перетворювач.

І. ВСТУП

На сучасних вугільних шахтах конвеєрний транспорт є основним видом транспортування корисних копалин безпосередньо з місця видобутку на поверхню [1], [2]. З причини особливостей технологічного процесу завантаження конвеєра є не рівномірним і як наслідок за період робочої зміни конвеєр працює із завантаженням менше номінального або в режимі холостого ходу [3]-[6]. Такі режими роботи призво-

дять до значних невиробничих витрат електроенергії, що перевищують нормативи в три рази [8].

Ґрунтуючись на проведених дослідженнях, за узагальненими даними потенціал зниження витрат електроенергії на конвеєрному транспорті знаходиться в межах 40 - 50% [9]-[11]. Одним з перспективних методів вирішення проблеми є впровадження перетворювачів частоти і систем регулювання швидкості руху стрічки, які згідно з розрахунками дозволять

знизити витрату електроенергії на 28-35% [12]-[13].

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Об'єктом досліджень виступають технологічні процеси роботи магістрального конвеєрного транспорту шахтної мережі шахтоуправління «Покровське». Дослідження закономірності зміни витрат електроенергії при нерівномірному завантаженні конвеєрної стрічки і розробка шляхів підвищення енергоефективності шахтного конвеєрного комплексу проводилися відповідно до схеми конвеєрного транспортного шахти шахтоуправління «Покровське» (рис. 1), а також отриманої документації паспортних даних використовуваного обладнання.

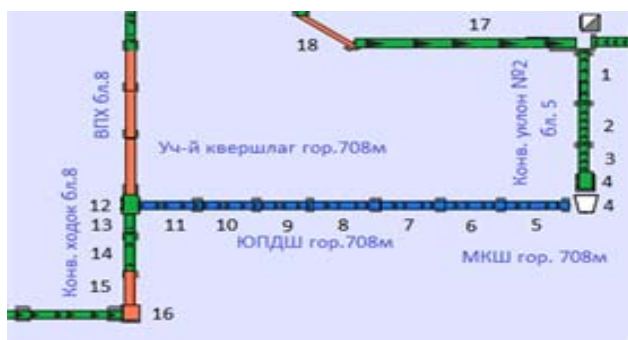


Рисунок 1. Схема підземного конвеєрного транспорту шахти шахтоуправління "Покровське"

III. МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є аналіз шляхів підвищення енергоефективності шахтного конвеєрного транспорту шахти шахтоуправління «Покровське» за допомогою розробленої імітаційної моделі енергоспоживання шахтного конвеєрного транспорту.

IV. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ МАГІСТРАЛЬНОГО КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ

Дослідження були проведені на ділянці, що складається з 16 конвеєрів, що належить до конвеєрного ходу блоку №8, ЮПДШ горизонту 708, МКШ горизонту 708 і конвеєрного ухилу №2.

Змінні умови режимів роботи конвеєрного транспорту дозволили встановити, що регулювання швидкості руху стрічки окремого конвеєра змінює статистичні характеристики вантажопотоку після нього, що призводить до зміни швидкості транспортування наступних конвеєрів і впливає на їх електроспоживання.

3 метою встановлення закономірності впливу надходження вантажопотоку з видобувного забою на електроспоживання очисного комплексу в цілому була розроблена імітаційна модель зміни вугільного потоку з урахуванням регулювання швидкості руху стрічки конвеєра в середовищі моделювання «Matlab» (рис. 2). [7]. Необхідність розробки імітаційної модель

були викликана складними залежностями розрахунку електроспоживання конвеєрної лінії при проходженні стохастичних вантажопотоків [14].

Зміна статистичних характеристик вантажопотоків за допомогою регульованого приводу впливає на електроспоживання шахтних конвеєрів [15]-[16].

Приймемо допущення, що залежність необхідного для пересування частин зусилля від маси вантажу на конвеєрі, має лінійний характер.

Швидкість є функцією від вантажопотоку:

$$v_k(Q_i) = \begin{cases} K_{\Pi} Q_i(t_i) & \text{npu } Q_i(t_i) > 0 \\ K_{\Sigma} \cdot v_{\text{ном}} & \text{npu } Q_i(t_i) = 0 \end{cases}; \quad (1)$$

де $K_{\text{п}}$ - коефіцієнт пропорційності, м / кг.

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

$$QS = f(Q(t), v_k(Q(t))); \quad (2)$$

Електроспоживання конвеєра за добу або зміну:

$$W = F(QS[Q(t_i), Q(t_{i+1}), Q(t_{i+\tau}), v_k(Q(t_i))] \cdot v_k(Q(t_i)) \cdot t; \quad (3)$$

де $Q(t - \tau)$ - значення процесу $Q(t)$, які відстають від $Q(t)$ і на змінну транспортну затримку τ .

Використовуючи вирази щільності ймовірності розподілу вантажопотоку і швидкості руху стрічки конвеєра для розрахунку витрати електроенергії у літературі [17] використовується співвідношення:

$$W = F(p(QS) \cdot QS_{MIBC} \cdot l) \cdot p(v_k) \cdot v_{HOM} \cdot t, \quad (4)$$

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

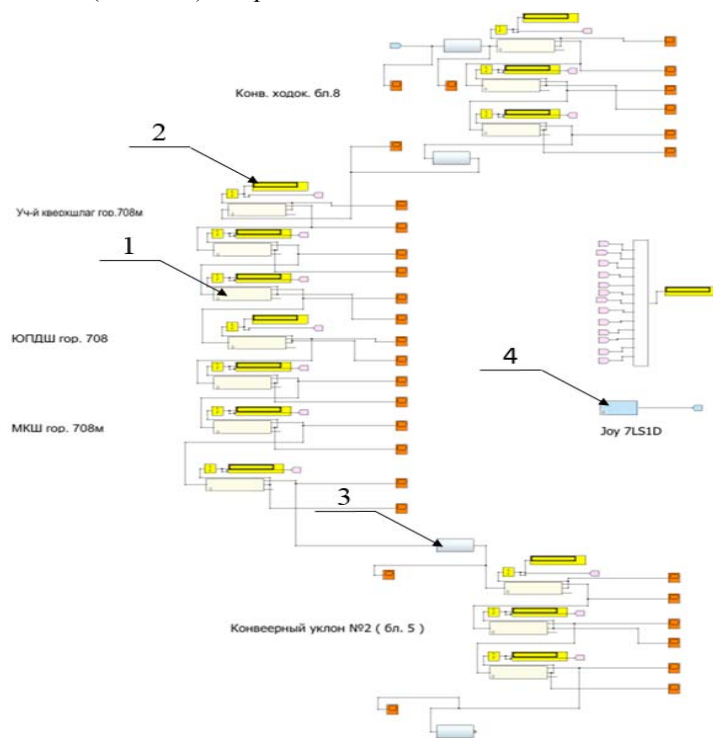
Наприклад, щільність ймовірності розподілу погонного навантаження на конвеєрі при надходженні вантажопотоку з одного очисного забою [18]:

$$p(QS) = \frac{\lambda \cdot K_{CK}}{\lambda \cdot K_{CK} + \mu} \cdot \delta(0) + \frac{\mu}{\mu + \lambda \cdot K_{CK}} \cdot (QS_{MIRC}); \quad (5)$$

Вантажопотік моделювався як стохастична величина, яка задається трьома параметрами: очікува-

ним інтервалом надходження K_m (в відносних одиницях від «робочої зміни»), величиною математичного очікування при надходженні M (в кг / хв) і середньо-

квадратичним відхиленням від математичного очікування D (в кг / хв).



1 - прямокутники, що імітують конвеєри; 2 - осцилографи підрахунку електроспоживання конвеєрів; 3 - проміжні бункера; 4 - очисний забій з комбайном JOY)

Рисунок 2. Імітаційна модель шахтного комплексу шахти шахтоуправління «Покровське»

За допомогою розробленої імітаційної моделі був виконаний аналіз електроспоживання для трьох рівнів математичного очікування надходження вантажопотоку - 6, 9 і 12 т / хв, а також для трьох схем установки регульованого приводу: без установки перетворювачів частоти, з установкою на конвеєрах 1,2,3, і 13,14,15, а також з їх повним впровадженням. Результатами проведення дослідження стали отримані на імітаційній моделі осцилограми вантажопотоків і електроспоживання в вузлах конвеєрної мережі зображені на рисунках.

Осцилограми вантажопотоків:

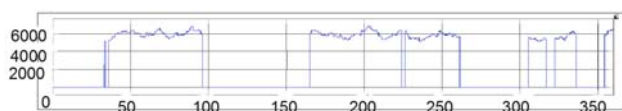


Рисунок 3. Осцилограма вантажопотоку конвеєра № 13 (без установки частотного перетворювача)



Рисунок 4. Осцилограма вантажопотоку конвеєра

№ 13 (з установкою частотного перетворювача)

Осцилограми електроспоживання:

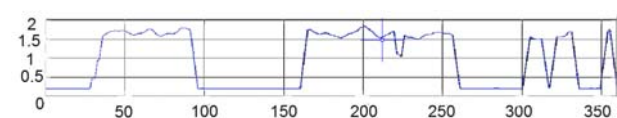


Рисунок 5. Осцилограма електроспоживання конвеєра № 13 (без установки частотного перетворювача)

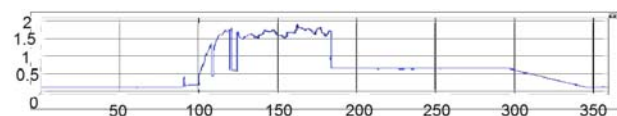


Рисунок 6. Осцилограма електроспоживання конвеєра № 13 (з установкою частотного перетворювача)

При аналізі осцилограм найцікавішим є споживання конвеєра при регулюванні швидкості руху стрічки. Коли потік не надходить автоматика виставляє швидкість рівну приблизно 1/10 від номінальної - в нашому випадку це 0,25 м/с. При це, на

відміну від випадку без регульованого приводу, електроспоживання складає близько 0,2 кВт * год в хвилину проти 1,6 кВт * год в хвилину.

У періоди надходження вантажопотоку (наприклад для конвеєра № 13 це 120 - 150 хв) споживання нижче, ніж для випадку з нерегульованим приводом (приблизно 1,6 кВт * год в хвилину проти 2,7 кВт * год в хвилину). Що цікаво, в зв'язку з перерозподілом вантажопотоку споживання конвеєрів далі по ланцюгу становить ще менші значення - для конвеєра №5 це 0,5 кВт * год в хвилину проти 2,2 кВт * год в хвилину для випадку без регульованого приводу.

Практичним значенням результатів роботи є отримані значення електроспоживання системи конвеєрного транспорту шахти шахтоуправління «Покровське», зведені в табл. 1.

Таблиця 1. Електроспоживання системи конвеєрного транспорту шахти шахтоуправління «Покровське».

	Математичне очікування вантажопотоку 6 т/хв	Математичне очікування вантажопотоку 9 т/хв	Математичне очікування вантажопотоку 12 т/хв
Нерегульований привод	8665,44 (100%)	8829,26 (100%)	12151,1 (100%)
Регульований привод на 1,2,3,11,12,13 конвеєрах	5577,52 (64,36%)	6809,81 (77,12%)	8574,47 (70,56%)
Регульований привод на всіх конвеєрах	1711,69 (19,75%)	1795,65 (20,34%)	6214,15 (51,14%)

На підставі моделі електроспоживання конвеєрного ланцюга на 25-50%.

V. ВИСНОВКИ

Розроблена імітаційна модель аналізу і розрахунку енергоефективності при впровадженні регульованого приводу на шахті шахтоуправління «Покровське», що враховує технічні характеристики встановленого обладнання і передбачувані значення вантажопотоків.

Зокрема розроблена імітаційна модель дозво-

ляє:

- задавати в широкому діапазоні величину вантажопотоку що надходить (час надходження / відсутності, математичне сподівання і дисперсію);
- задавати механічні параметри конвеєрів (кут установки, масу рухомих частин, максимальну продуктивність, номінальну швидкість руху стрічки);
- моделювати зниження швидкості при установці регульованого приводу;
- задавати ємність і продуктивність бункерів в вузлах схеми;
- автоматизувати розрахунок електроспоживання окремо кожного конвеєра і схеми транспорту в цілому за будь-якої конфігурації перерахованих вище параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Бурчаков, А.С. Выбор рациональных технологических схем угольных шахт / Бурчаков А.С., Харченко В.А., Кафорин Л.Н. – М.: Недра, 1975. – 271 с
- [2] Котов, М.А. Опыт эксплуатации ленточных конвейеров и конвейерных лент на угольных шахтах / М.А. Котов, Ю.И. Григорьев, Г.А. Загорский и др. М., изд. ЦНИЭИ Уголь, 1970, – 91 с
- [3] Заика, В.Т. Регулировочная способность электроприемников в составе технологических звеньев угольной шахты и способы ее реализации для управления электросбережением / Заика В.Т. // Гірничі електромеханіка та автоматика: Межвед. науч.-техн. сб. – 1998. – Вып. 1(60). – С. 35 – 40.
- [4] Пивняк, Г.Г. Новые способы и проекты повышения эффективности электроэнергетического комплекса угольной шахты / Пивняк Г.Г., Разумный Ю.Т., Заика В.Т. // Науковий вісник НГА України. - Дніпропетровськ: [НГА України] – 1999. – № 6. – С. 95–104/
- [5] Кузнецов Б.А. Динамика пуска длинных ленточных конвейеров. / Кузнецов Б.А. //Транспорт шахт и карьеров. М.: Недра, 1971
- [6] Энергоэффективность магистрального конвейерного транспорта угольных шахт с учетом динамики грузопотоков; диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Прокуда В.Н.
- [7] Mathworks. Accelerating the pace of engineering and science [Електронний ресурс] – Режим доступу до даних: <http://www.mathworks.com/help/simulink/>
- [8] Fu Zhang, Murali Yeddanapudi, Variable transport delay modeling mechanism, US8180608 В1 [Електронний ресурс] – Режим доступу до даних:

- <http://www.google.com.na/patents/US8180608>.
- [9] G. Lodewijks, D. L. Schott and Y. Pang Energy saving at belt conveyors by speed control, (2011) In s.n. (Ed.), Proceedings of the 16th beltcon conference (pp. 1-10). Fourways: Imhc. url: <http://www.beltcon.org.za/docs/B16-12.pdf>
- [10] Lauhoff H. Speed Control on Belt Conveyors – Does it Really Save Energy? (2005) Bulk Solids Handling Publ.; 25(6), pp. 368-377
- [11] Shirong Zhang, Xiaohua Xia, Optimal control of operation efficiency of belt conveyor systems (2010), Applied Energy Publ., vol. 87, pp. 1929–1937. url: <http://www2.ee.up.ac.za/~xxia/APEN2010.pdf>
- [12] Система учета и контроля расхода электроэнергии для угольных шахт / Г.Г. Пивняк, В.В. Ткачев, В.Т. Заика, А.А. Шишацкий, В.В. Надточий, Ю.Т. Разумный. // Промышленная энергетика, 1992, № 7, с.19–21.
- [13] Малиновский, А.К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: Учебник для вузов / Малиновский А.К. – М.: Недра, 1987. – 277 с
- [14] Гаврилов, П.Д. Структура системы управления многоприводным ленточным конвейером / Гаврилов П.Д., Носков А.П.// Электротехника, №5, –2009 с. 17–21.
- [15] Енергобаланс вугільних підприємств. Аудит енергоспоживання. Інструкція. Стандарт Мінпаливенерго України : СОУ 10.1.00174094.001- 2004. – Чинний від 2005-01-01. Наказ Мінпаливенерго України від 17.11.2004 № 726. – Київ, 2004.
- [16] Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов энергопотребления / Под ред. В.В. Дегтярева. –М.: Недра, 1983. – 244 с
- [17] Конвейеры ленточные шахтные. Методика расчета: ОСТ 12.14.130- 79. / Минуглепром СССР; введ 1981.01.01. – М., 1980. – 70 с.
- [18] Кирия, Р. В. Об определении коэффициента сопротивления движению ленты конвейера по роlikоопорам / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Р. Г. Павленко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / [ИГТМ НАН Украины]. – Днепропетровск. – 2003. – Вып. № 47. – С. 98 – 107

Стаття надійшла до редакції 15.01.2022

ПУТИ АНАЛИЗА ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

ПРОКУДА В.Н.

канд. техн. наук, ассистент кафедры электроэнергетики Национального ТУ «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: prokuda.v.m@nmu.one;

БУРТНЫЙ Д.И.

студент, гр. 141-18-1, кафедры электроэнергетики Национального ТУ «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, e-mail: burtnyi.d.i@nmu.one.

Цель работы. Основываясь на проведенных исследованиях, по обобщенным данным потенциал снижения расхода электроэнергии на конвейерном транспорте находится в пределах 40 - 50%. Одним из перспективных методов решения проблемы является внедрение преобразователей частоты и систем регулирования скорости движения ленты, которые согласно расчетам позволят снизить расход электроэнергии на 28-35%. Исходя из изложенного, основной целью является разработка более совершенных и инновационных методов, направленных на анализ возможностей повышения энергоэффективности шахтного конвейерного транспорта. Работа ставит перед собой цель исследования потенциала снижения энергозатрат для шахтного комплекса «Покровское» путем разработки имитационной модели энергопотребления шахтного конвейерного транспорта с учетом динамики грузопотоков. Также перед работой поставлена цель разработки имитационной модели, которая должна позволить задавать в широком диапазоне величину поступающего грузопотока, задавать механические параметры конвейеров, таких как: угол установки, массу подвижной части, скорость ленты и производительность комплекса в целом.

Методы исследования. Марковские процессы, элементы теории вероятности и математической статистики, использованные для разработки имитационной модели грузопотоков шахтного конвейерного транспорта в среде моделирования Matlab.

Полученные результаты. Показан расчет электропотребления магистрального конвейерного транспорта шахты шахтоуправления «Покровское» с помощью разработанной имитационной модели. Получены расчетные данные для оборудования, участвующего в технологическом процессе предприятия, что позволяет повысить его производительность и оптимизировать производственные паруса в будущем. Разработана имитационная модель, которая позволяет: задавать в широком диапазоне величину поступающего грузопотока (время поступления/отсутствия, математическое ожидание и дисперсию); задавать механические параметры конвейеров (угол установки, массу подвижных частей, максимальную производительность, номина-

льную скорость движения ленты); моделировать снижение скорости при установке регулируемого привода; задавать емкость и производительность бункеров в узлах схемы; автоматизировать расчет электропотребления отдельно каждого конвейера и схемы транспорта в целом при любой конфигурации вышеперечисленных параметров.

Научна новизна. Разработанная имитационная модель позволяет автоматизировать расчет электропотребления отдельно каждого конвейера и схемы шахтного конвейерного транспорта в целом при любой конфигурации основных технических параметров рассматриваемого оборудования.

Практическая ценность. Практическим значением результатов работы является разработанная модель участка системы конвейерного транспорта шахты шахтоуправления «Покровское», которая на основе проведенных исследований позволяет заключить, что применение частотно регулируемого привода позволит снизить электропотребление конвейерной цепочки на 25-50%. Также по полученным данным, с частичным расчетом дополнительных параметров можно заключить о перспективах и возможностях внедрения предложенных методов на производственном процессе.

Ключевые слова: конвейер; шахтная сеть; грузопоток; электропотребление; частотный преобразователь.

WAYS OF ANALYSIS OF ELECTRIC CONSUMPTION OF MAIN CONVEYOR TRANSPORT

PROKUDA V.N.

Ph.D. in Technology, assistant of the Department of Power Engineering of the National Technical University "Dneprovskaya Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail: prokuda.v.m@nmu.one;

BURTNYI D.I.

student, gr. 141-18-1, Department of Power Engineering of the National Technical University "Dneprovskaya Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail: burtnyi.d.i@nmu.one.

Purpose. Based on the conducted research, according to generalized data, the potential for reducing electricity costs on conveyor transport is in the range of 40 - 50%. One of the promising methods of solving the problem is the introduction of frequency converters and tape speed control systems, which according to calculations will reduce energy consumption by 28-35%. Based on the above, the main goal is to develop more advanced and innovative methods aimed at analyzing the possibilities of improving the energy efficiency of mine conveyor transport. The work aims to study the potential for reducing energy consumption for the mine complex of mine management "Pokrovske" by developing a simulation model of energy consumption of mine conveyor transport, taking into account the dynamics of freight flows. Also before the work is the goal of developing a simulation model, which should allow to set a wide range of incoming cargo, set the mechanical parameters of conveyors, such as: installation angle, weight of the moving part, belt speed and productivity of the complex as a whole.

Methodology. Markov processes, elements of probability theory and mathematical statistics, which were used to develop a simulation model of freight flows of mine conveyor transport in the modeling environment "Matlab".

Findings. The calculation of electricity consumption of the main conveyor transport of the mine of the Pokrovske mine management is shown, with the help of the developed simulation model. Estimated data for equipment involved in the technological process of the enterprise, which allows to increase its productivity and optimize production winds in the future. A simulation model is developed. It allows set in a wide range the amount of incoming cargo flow (time of arrival / absence, mathematical expectation and variance); set the mechanical parameters of the conveyors (installation angle, mass of moving parts, maximum productivity, nominal speed of the belt); to simulate the reduction of speed when installing a regulated drive; set the capacity and performance of the bunkers in the nodes of the circuit; automate the calculation of electricity consumption separately for each conveyor and the transport scheme as a whole for any configuration of the above parameters.

Originality. The developed simulation model allows to automate the calculation of the power consumption of each conveyor separately and the mine conveyor transport scheme as a whole for any configuration of the main technical parameters of the considered equipment.

Practical value. The practical significance of the work is the developed model of the conveyor transport system of the mine management mine "Pokrovske", which based on research allows us to conclude that the use of frequency-controlled drive will reduce power consumption of the conveyor chain by 25-50%. Also, according to the obtained data, with a partial calculation of additional parameters, it is possible to draw a conclusion about the prospects and possibilities of implementing the proposed methods in the production process.

Keywords. conveyor; mine network; freight traffic; power consumption; frequency converter.

REFERENCES

- [1] Burchakov, A.S., Xarchenko, V.A., Kaforin, L.N. (1975). Vybora racional'nykh tekhnologicheskikh sxem ugot'nykh shaxst. Moscow, Nedra, 271.
- [2] Kotov, M.A., Grigor'ev, Yu.I., Zagorskij, G.A. (1970). Opyt e'kspluatacii lentochnykh konvejerov i konvejernykh lent na ugot'nykh shaxtax. Moscow, izd. CNIE'I Ugol', 91
- [3] Zaika, V.T. (1998). Regulirovochnaya sposobnost' e'lektro-priemnikov v sostave tekhnologicheskikh zven'ev ugot'noj shaxty i sposoby ee realizacii dlya upravleniya e'lektroberezheniem. *Girnichaya elektromexanika ta avtomatika: Mezhd. nauch.-tehn.* Vol. 1(60), 35-40.
- [4] Pivnyak, G.G., Razumnyj, Yu.T., Zaika, V.T. (1999). Novye sposoby i proekty povyshe-niya e'f-fektivnosti e'lektroe'nergeticheskogo kom-pleksa ugot'noj shaxty. *Naukovij visnik NGA Ukraïni*. Dnipropetrovs'k: [NGA Ukraïni]. No 6, 95–104
- [5] Kuznecov, B.A. (1971). Dinamika puska dlinnykh lentoch-nykh konvejerov. Transport shaxt i ka'erov. Moscow Nedra.
- [6] E'nergoe'ffektivnost' magistral'nogo konvejer-nogo transporta ugot'nykh shaxt s uchetom dinami-ki gruzopotokov; dissertaciya na soiskanie uche-noj stepeni kandidata texnicheskix nauk. Proku-da V.N.
- [7] Mathworks. Accelerating the pace of engineering and science [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu do danix: <http://www.mathworks.com/help/simulink/>
- [8] Fu Zhang, Murali Yeddanapudi, Variable transport delay modeling mechanism, US8180608 B1 [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu do danix: <http://www.google.com/patents/US8180608>.
- [9] G. Lodewijks, D. L. Schott and Y. Pang Energy sav-ing at belt conveyors by speed control, (2011) In s.n. (Ed.), Proceedings of the 16th beltcon conference (pp. 1-10). Fourways: Imhc. url: <http://www.beltcon.org.za/docs/B16-12.pdf>
- [10] Lauhoff H. (2005) Speed Control on Belt Conveyors – Does it Really Save Energy? Bulk Solids Handling Publ.; 25(6), 368-377
- [11] Shirong Zhang, Xiaohua Xia, Optimal control of op-eration efficiency of belt conveyor systems (2010), Applied Energy Publ., vol. 87, pp. 1929–1937. url: <http://www2.ee.up.ac.za/~xxia/APEN2010.pdf>
- [12] Pivnyak, G.G., Tkachev, V.V., Zaika, V.T., Shishackij, A.A., Nadtochij, V.V., Razumnyj, Yu.T. (1992). Sistema ucheta i kontrolya rasxoda e'lektroe'nergii dlya ugot'nykh shaxt. *Promyshlennaya e'nergetika*, No 7, 19–21.
- [13] Malinovskij, A.K. (1987). Avtomatizirovannyj e'lek-troprivod mashin i ustanovok shaxt i rud-nikov: Uchebnik dlya vuzov. Moscow Nedra, 277.
- [14] Gavrilov, P.D., Noskov, A.P. (2009). Struktura sistemy upravleniya mnogoprivodnym lentochnym konvejerom. *E'lektrotexnika*, No 5, 17–21.
- [15] Energobalans vugil'nix pidpriemstv. (2004). Audit ener-gospozhivannya. Instrukciya. Standart Minpalivenergo Ukraïni : SOU 10.1.00174094.001- 2004. – Chinnij vid 2005-01-01. Nakaz Minpalivenergo Ukraïni vid 17.11.2004 No 726, Kiyv.
- [16] Degtyareva, V.V. (1983). Normirovanie toplivno-e'nergeticheskix resursov i regulirovanie rezhimov e'nergopotrebleniya. Moscow Nedra, 244.
- [17] Konvejery lentochnye shaxtnye. (1980). Metodika rasche-ta: OST 12.14.130- 79. / Minugleprom SSSR; vved 1981.01.01. – Moscow, 70.
- [18] Kiriya, R. V., Mishhenko, T. F., Pavlenko, R. G. (2003). Ob opredelenii koe'fficienta so-protivleniya dvizheniyu lenty konvejera po ro-likooporam. *Geotexnicheskaya mexanika: Mezhd-ved. sb. nauchn. tr.* / [IGTM NAN Ukrainy]. – Dnepropetrovsk. No 47, 98-107.