

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВУГІЛЛЯ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ ШАХТИ

¹Стаднік М.І., ²Семенченко Д.А., ²Семенченко А.К., ²Белицький П.В.

¹Вінницький національний аграрний університет, ²Донецький національний технічний університет, м. Покровськ

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ УГЛЯ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ШАХТЫ

¹Стадник Н.И., ²Семенченко Д.А., ²Семенченко А.К., ²Белицкий П.В.

¹Винницкий национальный аграрный университет, ²Донецкий национальный технический университет, г. Покровск

INFLUENCE OF COAL TRANSPORT TECHNOLOGIES ON ENERGY EFFICIENCY OF THE MINE CONVEYOR TRANSPORT

¹Stadnik M.I., ²Semenchenko D.A., ²Semenchenko A.K., ²Belitskyi P.V.

¹Vinnitsya National Agrarian University, ²Donetsk National Technical University, Pokrovsk

Анотація. Метою роботи є обґрунтування зниження питомого енергоспоживання на транспортування вугілля стрічковими конвеєрами шахти шляхом зміни технології транспортування корисної копалини із застосуванням на штреку механізованих бункерів і адаптацією режимів роботи стрічкового конвеєра до режимів роботи очисного вибою. Об'єкт дослідження: процес утворення вантажопотоку і середньозважених питомих енерговитрат на транспортування сипкого вантажу конвеєрами шахти. Предмет дослідження: залежності вихідного вантажопотоку з лави і середньозважених питомих енерговитрат на транспортування видобутого вугілля шахтними скребковими і стрічковими конвеєрами від технологічних параметрів функціонування очисних дільниць шахти з адаптацією і без адаптації режимів роботи конвеєрного транспорту і очисних комбайнів шахти.

Вирішено задачу обґрунтування зниження питомого енергоспоживання на транспортування вугілля конвеєрами шахти шляхом поєднання адаптації швидкості лавного конвеєра та очисного комбайну з застосуванням на штреку механізованих бункерів у якості проміжних ємностей. Результати дослідження будуть корисні при проведенні досліджень режимів роботи стрічкових конвеєрів при різних способах адаптації їх режиму роботи до режимів роботи очисних вибоїв при різній кількості останніх, які функціонують у різних гірничо-геологічних умовах; обґрунтуванні способу і алгоритму адаптації швидкості стрічки конвеєра до режимних параметрів роботи обладнання очисних вибоїв, що подають вугілля на стрічковий конвеєр; обґрунтуванні простору і параметрів проектування для оптимізації режиму роботи стрічкового конвеєра з регульованим приводом, адаптованого до режимних параметрів роботи обладнання очисних вибоїв, які подають вугілля на конвеєр, як мехатронної підсистеми.

Ключові слова: вихідний вантажопотік з лави, середньозважені питомі енерговитрати на транспортування, адаптація режимів очисного комбайна і конвеєрів, підлавний механізований бункер, часовий зсув між циклами виймання вугілля

Постановка проблеми та її зв'язок із актуальними науково-практичними задачами. Однією з особливостей сучасного гірництва є інтенсифікація вуглевидобутку з метою зменшення експлуатаційних витрат на виробничий процес. Це призводить до збільшення навантажень на елементи технологічного гірничого обладнання, в тому числі – транспортного. Прямим наслідком є підвищення енерговитрат на транспортування корисної копалини у вибої та на конвеєрах внутрішньошахтного транспорту, які за різними оцінками складають від 10 % до 20 % від загальних витрат енергії по шахті [1; 2].

Отже, зниження енерговитрат на транспортування корисної копалини є актуальною проблемою гірництва, вирішення якої даватиме суттєве скорочення витрат на гірниче виробництво. Зниження енерговитрат на транспортування в межах однієї шахти хоча б на 1 % при енергоємності вуглевидобутку 39 кВт·год./т [1] (найнижчій по підприємствах вугільної галузі), обсягах видобутку 4 млн. т/рік надаватиме змогу заощаджувати 1,6 МВт·год. на рік.

Нерівномірність вантажопотоку корисної копалини, яка притаманна усім комбайновим лавам, негативно впливає на питоми енергоспоживання на транспортній ланці технологічного процесу, - як у вибої, так і на магістральних виробках [3; 4; 5]. Якщо середня по вуглевидобувній галузі продуктивність комбайнових лав для пласту потужністю 1,55 м, згідно із [6], складає 1100 т/добу, то при використанні комбайна КДК500 в якості засобу механізації очисних робіт, а також двох робочих змінах, середня швидкість подачі комбайна становитиме 2,2 м/хв. при максимально можливих значеннях швидкості подачі 10...20 м/хв. В умовах експерименту з визначеними вище гірничо-геологічними та технічними умовами, які мають місце на шахті «Південнодонбаська» № 3 [4], середня швидкість подачі очисного комбайна складає 2,9 м/хв., максимальна – 7,5 м/хв., що є числами одного порядку із наведеними вище. Дана нерівномірність швидкості подачі викликає підвищення енергоємності транспортування в лаві. Максимальна адаптація швидкості ланцюга лавного скребкового конвеєра із величиною швидкості подачі та напрямом руху очисного комбайна дозволяє знизити питоми енергоспоживання на транспортування гірничої маси в очисному вибої в 4,7 разів.

Таким чином, пошук шляхів зниження енерговитрат на транспортування корисної копалини через зниження нерівномірності вихідного вантажопотоку з лави – актуальна науково-практична задача.

Критичний аналіз попередніх досліджень. У [3; 7; 8] розглянуто проблему зниження енерговитрат на транспортування вугілля стрічковими конвеєрами в умовах нерівномірного вихідного вантажопотоку з очисних і підготовчих вибоїв. Однак не вирішується питання пошуку шляхів стабілізації вихідного вантажопотоку з вибоїв із метою зниження енерговитрат на транспортування сипкого вантажу конвеєрами.

У [4; 9] піднімається проблема адаптації лавних конвеєрів гірничих підприємств із роботою виймального обладнання. Однак питання максимальної адаптації пов'язане із розробкою та впровадженням складних алгоритмів взаємного узгодження компонент всередині системи «виймальна дільниця – система транспорту» за рахунок плавного регулювання швидкостей та її функціонування. Через це даний підхід широкого застосування не отримав. Крім того, недостатньо уваги приділяється питанню адаптації режимів роботи систем внутрішньошахтного транспорту до режимів роботи вибоїв.

У [10] розглянуто питання використання бункерів в якості проміжних ємностей для згладжування шахтних вантажопотоків, які представлені як випадкові процеси. Однак не вирішуються питання функціонування бункера в умовах реального нерівномірного вантажопотоку з лави і рухомого фронту

гірничих робіт.

Таким чином, подальшого розв'язання потребують наступні питання: використання штрекових механізованих бункерів в умовах рухливості фронту гірничих робіт з адаптацією і без адаптації технологічного обладнання в очисному вибої; вплив нерівномірності вантажопотоку і адаптації режимів роботи стрічкового конвеєра до режимів роботи очисного вибою на формування швидкісних режимів роботи стрічкового конвеєра та енерговитрати на транспортування; вплив проміжної ємності в дільничній виробці на енерговитрати на транспортування вугілля стрічковими конвеєрами.

Постановка задачі. *Метою* роботи є обґрунтування зниження питомого енергоспоживання на транспортування вугілля стрічковими конвеєрами шахти шляхом зміни технології транспортування корисної копалини із застосуванням на штреку механізованих бункерів і адаптацією режимів роботи стрічкового конвеєра до режимів роботи очисного вибою.

Для досягнення мети слід вирішити наступні *задачі*:

а) запропонувати технологію транспортування корисної копалини дільничним конвеєрним транспортом із адаптацією та без адаптації режимів роботи технологічного обладнання, яка знижує нерівномірність вантажопотоку на конвеєрах і підвищує ефективність роботи транспортного обладнання шахти;

б) здійснити оцінку впливу адаптації режимів роботи стрічкового конвеєра до режимів роботи очисного вибою зі ступінчастим регулюванням швидкості стрічкового конвеєра для вантажопотоку із заданою нерівномірністю на енерговитрати транспортування сипкого вантажу;

в) встановити вплив функціонування проміжної ємності в дільничній виробці та завдання фіксованих значень швидкостей стрічки магістрального конвеєра на енерговитрати на транспортування вугілля стрічковими конвеєрами.

Викладення матеріалу і результати. Для вирішення першої задачі рекомендовано два варіанти часткової зміни технології транспортування вугілля з лави: а) з адаптацією режиму роботи лавного скребкового конвеєра до режиму роботи очисного комбайна, б) з використанням підлавної бункера на транспортному штреку виймальної дільниці. Для ілюстрації обрано результати експериментальних досліджень в лаві пласту c_{11} в умовах шахти «Південнодонбаська» № 3 [4], які є характерними для гірничо-геологічних і технічних умов більшості очисних вибоїв Донецького басейну.

Стосовно адаптації режимів роботи технологічного обладнання очисного вибою, досліджувався вплив останньої на характеристики вихідного вантажопотоку з лави і середньозважені питомі енерговитрати на транспортування вугілля в лаві скребковим конвеєром.

Математична модель процесу формування вихідного вантажопотоку з лави при дискретизації робочого процесу очисного комбайна з кроком $\Delta t=1$ с має наступний вигляд:

$$q_i = 3600BH\gamma v_{\Pi.i-n_i} \frac{v_i}{60v_{i-n_i} \pm v_{\Pi.i-n_i}}, \text{ т/ГОД.}, \quad (1)$$

де B – ширина захвату виконавчого органу комбайна, м (за умовами експерименту, $B=0,63$ м); H – робоча потужність вугільного пласту, м (за умовами експерименту, $H=1,2$ м); γ – щільність вугілля в масиві, т/м³ (за умовами експерименту, $\gamma=1,3$ т/м³); n_i – кількість порцій вантажу на лавному конвеєрі на ділянці між комбайном і нижнім вікном лави в момент часу t_i , $t_i=i \cdot \Delta t$; v_i , v_{i-n_i} – швидкість лавного конвеєра в момент часу вивантаження порції вантажу t_i , а також в момент часу, що відповідає завантаженню зазначеної порції вантажу на конвеєр, м/с; $v_{\Pi.i-n_i}$ – швидкість подачі очисного комбайна в момент часу, що відповідає завантаженню зазначеної порції вантажу на конвеєр, м/хв.

Кількість порцій вантажу на конвеєрі в момент часу t_i :

$$n_i = \begin{cases} \lfloor t_{e,i} \rfloor, & 0 \leq i < N_1, x_i < L \cup [N_2 + t_{e,i}] \leq i < N, x_i < L \\ \left[t_{e,N_1} - (i - N_1) \frac{L}{v_{ск}} \right], & 0 \leq i < N_2, x_i = L, (i - N_1) \frac{L}{v_{ск}} \leq t_{e,N_1}, \\ i - N_2, & N_2 \leq i < [N_2 + t_{e,i}], x_i < L \\ 0, & otherwise \end{cases}, \quad (2)$$

де $t_{e,i}$ – час проходження порції вантажу, завантаженої в момент часу t_i , від комбайна до нижнього вікна лави, с; N_1 – момент часу, який відповідає доходженню очисного комбайна до верхнього вікна лави та закінченню прямого ходу (за умовами експерименту, $N_1=5328$); L – довжина лави, м (за умовами, $L=260$ м); $v_{ск}$ – швидкість скачування вантажу конвеєром під час вимкненого приводу очисного комбайна, м/с (визначається технічними можливостями та економічністю роботи приводу конвеєра при певному способі та алгоритмі регулювання); N_2 – момент часу, який відповідає початку зворотного ходу комбайна (приймається $N_2=5576$).

Положення комбайну в лаві в момент часу t_i :

$$x_i = \begin{cases} \frac{\Delta t}{60} \sum_{i=1}^i v_{\Pi,i}, & 0 \leq i < N_1 \\ L, & N_1 \leq i < N_2 \\ L - \frac{\Delta t}{60} \sum_{i=N_2}^i v_{\Pi,i}, & N_2 \leq i < N \\ 0, & otherwise \end{cases}, \text{ м.} \quad (3)$$

Час проходження порції вантажу, завантаженої в момент часу t_i , від комбайна до нижнього вікна лави знаходиться із залежності:

$$t_{e,i} = \begin{cases} \frac{x_i}{v_i}, & i > 0 \\ \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i v_i, & \text{с.} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

Швидкість транспортування вантажу лавним конвеєром визначається алгоритмом керування регульованим приводом конвеєра, вхідними величинами якого є швидкість подачі очисного комбайна та напрям його руху. Наприклад, для плавного регулювання швидкості лавного конвеєра в діапазоні $[v_H D^{-1}; v_H]$, де v_H – номінальна швидкість конвеєра, м/с; D – глибина регулювання швидкості, яка визначається відношенням номінальної до мінімальної швидкості конвеєра, одна із умов алгоритму керування має наступний вигляд:

$$v_i = \begin{cases} \frac{v_{\Pi,i}}{60} \left(\frac{HB\gamma}{hb\gamma'} \pm 1 \right), & \frac{v_{\Pi,\max}}{v_{\Pi,i}} \leq D \\ \frac{v_{\Pi,\max}}{D}, & \text{otherwise} \end{cases}, \text{ м/с,} \quad (5)$$

де h – висота лінійної частини перерізу ставу конвеєра, м; b – ширина лінійної частини перерізу ставу конвеєра, м; γ' – насипна щільність вугілля, що транспортується конвеєром, т/м³; $v_{\Pi,\max}$ – максимальна швидкість подачі очисного комбайну.

Для ступінчастого регулювання швидкості конвеєра двошвидкісними приводними двигунами із співвідношенням високої та низької швидкостей D_1 , одна із умов алгоритму керування конвеєром має наступний вигляд:

$$v_i = \begin{cases} \frac{v_H}{D_1}, & v_{\Pi,i} \frac{hb\gamma'}{HB\gamma} \left(\frac{HB\gamma}{hb\gamma'} \pm 1 \right) < \frac{v_{\Pi,\max}}{D_1}, \text{ м/с.} \\ v_H, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

У формулах (1), (5) і (6) знак «+» відповідає прямому ходу очисного комбайна, знак «-» - його зворотному ходу.

У формулах (5) і (6) добуток $HB=F_1$, $hb=F_2$, де F_1 – переріз смуги вугілля, яка знімається комбайном, м²; F_2 – робочий переріз несучого органу лавного конвеєра, м². Отже, внаслідок ідеальної адаптації режиму роботи лавного конвеєра з режимом роботи очисного комбайна при повному навантаженні відбитого об'єму вантажу повинна виконуватися умова:

$$F_1 \gamma (v_{\Pi,i} \pm v_i) \cdot \frac{\Delta t}{60} = F_2 \gamma' v_i \cdot \Delta t. \quad (7)$$

Таким чином, формули (1) – (5) є математичною моделлю процесу утворення вихідного вантажопотоку з лави, обладнаної очисним комбайном і лавним скребковим конвеєром із регульованим приводом, яка враховує параметри технологічного циклу роботи комбайна, швидкість і напрям

переміщення комбайна, швидкість транспортування вантажу конвеєром.

Математична модель процесу формування питомих енерговитрат на транспортування вугілля в лаві скребковим конвеєром при дискретизації робочого процесу очисного комбайна із кроком $\Delta t=1$ с має наступний вигляд:

$$W_i = \frac{(F_0 + k_m q_{cp,k}) v_i}{q_i L \eta_i}, \text{ кВт}\cdot\text{год.}/(\text{т}\cdot\text{км}), \quad (8)$$

де F_0 – окружне тягове зусилля холостого ходу конвеєра; k_m – приращення окружного тягового зусилля при збільшенні завантаженості конвеєра на 1 т; η_i – коефіцієнт корисної дії режиму роботи лавного скребкового конвеєра в момент часу t_i [4].

Середня еквівалентна погонна маса вантажу на конвеєрі:

$$q_{cp,i} = \frac{m_i}{L}. \quad (9)$$

де m_i – завантаженість конвеєра масою транспортованого вугілля,

$$m_i = \begin{cases} \sum_{i=i-n_i}^i \Delta m_i, & 0 \leq i < N_2 \\ \sum_{i=i}^{i+n_i} \Delta m_i, & otherwise \end{cases}; \quad (10)$$

Δm_i – маса порції вантажу, що завантажується в момент часу t_i :

$$\Delta m_i = \frac{60 H v \rho v_{\Pi,i}}{3600} \frac{60 v_i}{60 v_i \pm v_{\Pi,i}} \frac{v_H}{v_i} \Delta t, \text{ т.} \quad (11)$$

Коефіцієнт корисної дії лавного конвеєра визначається з урахуванням реальної завантаженості його ставу, а також часткових коефіцієнтів корисної дії елементів електричної та механічної компонент конвеєра [3].

Після статистичної обробки отриманого масиву значень W_i , отримуємо розподіл вищеназваної випадкової величини у вигляді гістограми розподілу, яка складається з r класів, - W_k , де k – індекс класу гістограми розподілу W_i , а також середньозважені питомі енерговитрати на транспортування вугілля лавним конвеєром [4]:

$$W_{св} = \sum_{k=1}^r W_k p_k, \text{ кВт}\cdot\text{год.}/(\text{т}\cdot\text{км}), \quad (12)$$

де p_k – імовірність виникнення k -го класу питомих енерговитрат на транспортування вугілля лавним конвеєром.

Таким чином, формули (1) – (12) є математичною моделлю процесу утворення середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля лавним скребковим конвеєром.

Математичні моделі процесів утворення вихідного вантажопотоку з лави і

середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля лавним скребковим конвеєром ураховують реальний режим роботи очисного комбайну лави та режим роботи скребкового конвеєра, - як із адаптацією із режимом роботи комбайна, так і без адаптації.

Результати математичного моделювання вихідного вантажопотоку з очисного вибою, обладнаного лавним конвеєром, режим роботи якого може бути як не адаптованим під режим роботи комбайна, так і адаптований різними способами, дали на виході з лави нерівномірний вантажопотік, який характеризується коефіцієнтом нерівномірності, - тобто, відношенням максимального значення вантажопотоку до його математичного очікування, - який змінюється в діапазоні 2,92...3,04, тобто в межах 4,1 %.

Отже, регулювання швидкості ланцюга лавного скребкового конвеєра з метою адаптації режиму роботи конвеєра зі швидкістю подачі та напрямом руху очисного комбайна істотно не знижує нерівномірність вихідного вантажопотоку з лави.

Втім, результати моделювання середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля лавним скребковим конвеєром дали сприятливі результати щодо можливості зниження енергоспоживання на транспортування сипкого вантажу. Так, згідно із [4], максимальна адаптація режимів роботи лавного конвеєра і очисного комбайна знижує значення середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля в лаві у 4,7 разів, - з 17,8 кВт·год./т·км до 3,08 кВт·год./т·км).

Таким чином, адаптація швидкості лавного скребкового конвеєра до напрямку руху і швидкості подачі очисного комбайна здатна зменшити в рази питоме енергоспоживання на транспортування вугілля лавним конвеєром, однак не дозволяє суттєво знизити нерівномірність вихідного вантажопотоку з лави, що зумовлює необхідність застосування складних алгоритмів для адаптації режимів роботи усіх конвеєрів у транспортному ланцюжку шахти.

Суттєве зниження нерівномірності вихідного вантажопотоку з очисної ділянки шахти можливе шляхом застосування механізованого бункера на транспортному штреку очисної ділянки [10; 11].

На рисунку 1а наведено базовий варіант технології транспортування, який не передбачає наявності бункерних ємностей на транспортному штреку. В результаті, вантажопотоку вугілля на штрековій конвеєрній лінії притаманна висока нерівномірність, яка призводить до підвищення питомих енерговитрат на транспортування.

На рисунку 1б наведено пропонування варіант технології транспортування вугілля, який передбачає наявність напівстаціонарного механізованого бункера 10, який згладжуватиме вантажопотік з лави у штреку 7. До бункера вугілля подається лавним конвеєром 3, підлавним перевантажувачем 6 і телескопічним стрічковим конвеєром 5. З бункера вугілля видається підбункерним перевантажувачем 9 і стаціонарними стрічковими конвеєрами 8. Через кожні 210 м, що є кратним кроку пересування штрекового обладнання очисного вибою і корелює із телескопічністю відповідного стрічкового конвеєра,

відбувається пересування бункера вслід за просуванням очисного вибою зі зміною довжини останнього стаціонарного конвеєра лінії.

Отже, згідно із рисунком 1, включення в систему конвеєрного транспорту очисної ділянки механізованого напівстаціонарного бункера сприяє згладжуванню вихідного вантажопотоку з лави і нівелюванню негативного впливу нерівномірності вантажопотоку на енерговитрати транспортування вугілля стаціонарними стрічковими конвеєрами без ускладнення структури їх приводу і розробки алгоритмів керування конвеєрними лініями, які складно впровадити у виробництво.



1 – вентиляційний штрек; 2 – очисний вибій; 3 – лавний скребковий конвеєр; 4 – очисний комбайн; 5 – штрековий стрічковий телескопічний конвеєр; 6 – підлавний скребковий перевантажувач; 7 – транспортний штрек; 8 – штрековий стрічковий конвеєр; 9 – підбункерний скребковий перевантажувач; 10 – штрековий механізований бункер. Стрілками позначений напрям транспортування корисної копалини

Рисунок 1 – Базова (а) і пропонувана (б) технологія транспортування корисної копалини на виймальній ділянці вугільної шахти

Потрібна ємність бункера для повного згладжування вантажопотоку [11]:

$$V_a = cQ_{зм, Т}, \quad (13)$$

де c – розрахунковий коефіцієнт, який вказує на кількість конвеєрів у підбункерній лінії, для 3 і більше конвеєрів $c=0,12$; $Q_{зм}$ – середньозмінний вантажопотік вугілля з лави.

Оцінка середньозмінного вантажопотоку з лави, умови функціонування якої описані в [4], здійснюється по формулі:

$$Q_{зм} = 60BHv_{n, \max} \rho' / t_{зм} k_M k_H^{-1}, \text{ Т/зміна}, \quad (14)$$

де B – ширина захвату виконавчого органу очисного комбайна, $B=0,63$ м; H – середня потужність пласту, $H=1,5$ м; $v_{n, \max}$ – максимальна швидкість подачі очисного комбайна протягом циклу виймання вугілля, $v_{n, \max}=7,5$ м/хв.; ρ' – щільність вугілля в масиві, $\rho'=1,4$ т/м³; $t_{зм}$ – тривалість робочої зміни, $t_{зм}=6$ год.;

k_m – коефіцієнт машинного часу роботи дільниці, $k_m=0,7$; k_n – коефіцієнт нерівномірності вихідного вантажопотоку з лави, $k_n=3,0$ [3].

Отже, для умов лави пласту c_{11} шахти «Південнодонбаська» № 3

$$Q_{зм} = 60 \cdot 0,63 \cdot 1,5 \cdot 7,5 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 0,7 \cdot 3,0^{-1} = 830 \text{ т/зміна,}$$

$$V_a = 0,12 \cdot 830 = 100 \text{ т.}$$

Пропонується наступний режим завантаження і розвантаження підлавної бункера. На рис. 2 наведено зміну маси вантажу в бункері ємністю 100 т протягом циклу челнокового виймання вугілля в лаві із відомим вихідним вантажопотоком з лави. На рис. 2 видно: зміна маси вантажу в бункері протягом часу характеризується періодами завантаження і розвантаження бункера. Тривалість циклів завантаження і розвантаження визначається продуктивністю розвантаження бункера (приймається постійною, і відповідає приймальній здатності дільничних підбункерних стрічкових конвеєрів) і вихідним вантажопотоком з лави.

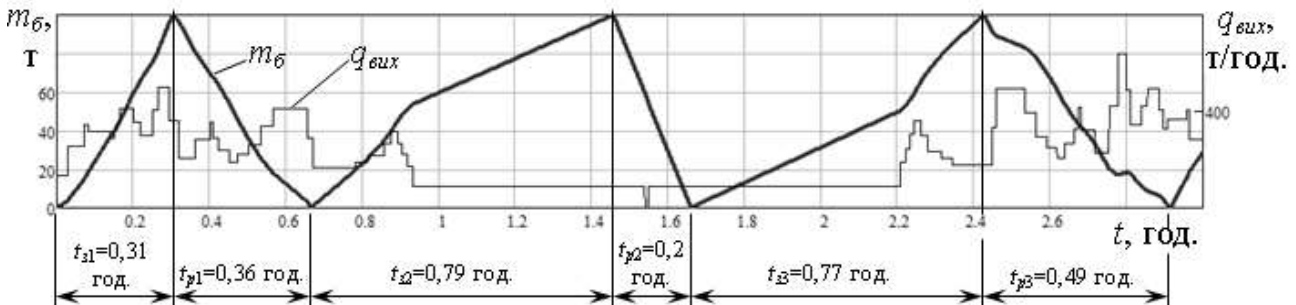


Рисунок 2 – Зміна маси вантажу m_b в бункері ємністю $V_a=100$ т протягом часу t за цикл челнокового виймання вугілля в лаві із відомим вихідним вантажопотоком з лави $q_{вих}$

З рис. 2 можна зробити висновок: протягом циклу виймання вугілля в лаві наявні 4 періоди виключно завантаження бункера загальною протяжністю $\sum t_p=1,98$ год. і 3 періоди завантаження і розвантаження бункера тривалістю 0,36 год., 0,20 год. і 0,49 год., і загальною протяжністю $\sum t_p=1,05$ год., які представляють інтерес для моделювання вантажопотоку на магістральному стрічковому конвеєрі.

Таким чином, наявність у ланцюжку конвеєрного транспорту виймальної дільниці в умовах експерименту [4] механізованого бункера ємністю 100 т створить передумови для повного згладжування вихідного вантажопотоку з лави, і як наслідок – зниження питомих енерговитрат на транспортування вугілля стаціонарними стрічковими конвеєрами системи внутрішньошахтного транспорту без застосування складних алгоритмів їх адаптації до режиму роботи очисних дільниць шахти.

Для вирішення другої задачі визначалася оцінка енергоефективності функціонування магістрального стрічкового конвеєра 2ЛУ120В довжиною 730 м зі швидкістю транспортування $v=2$ м/с, на який потрапляють вантажопотоки з двох очисних вибоїв із вищенаведеними характеристиками.

Критерієм енергоефективності функціонування стрічкового конвеєра в умовах нерівномірного вхідного вантажопотоку також обиралися середньозважені питомі енерговитрати на транспортування сипкого вантажу, які визначаються наступним чином:

$$W(L, T) = \frac{1}{m_{\Sigma} L} \int_{t_1}^{t_2} \frac{[F_0(L) + k_m \cdot m(L, t)]v(t)}{\eta(L, t)} dt, \text{ кВт}\cdot\text{год.}/(\text{т}\cdot\text{км}), \quad (15)$$

де L – довжина конвеєра, км; T – час функціонування конвеєра, t_2, t_1 – моменти часу, що відповідають завершенню і початку функціонування конвеєра, відповідно, с; $T=t_2-t_1$, с; m_{Σ} – сумарна маса вантажу, яка транспортується за час функціонування конвеєра T , т; F_0 – окружне тягове зусилля холостого ходу конвеєра, кН; k_m – прирощення окружного тягового зусилля на приводі конвеєра при збільшенні його завантаженості на 1 т, кН/т; m – завантаженість конвеєра, т; v – швидкість стрічки, м/с; η – коефіцієнт корисної дії приводу конвеєра з урахуванням його поточної завантаженості [8].

Величини, які фігурують у формулі (3), визначаються згідно зі зміною вихідного вантажопотоку з лави, що функціонує в реальних умовах [4] протягом часу функціонування T , за методикою, викладеною в [3; 8].

Для порівняння питомого енергоспоживання на магістральних конвеєрах із нерегульованим і регульованим приводом обиралися наступні варіанти функціонування системи конвеєрного транспорту шахти:

а) режим «R1» - вугілля із вибоїв шахти подається на магістральний конвеєр одночасно, без зсуву циклів виймання вугілля у вибоях. Тобто, вантажопотік на магістральному конвеєрі дорівнює, $Q_i=2q_{i-\tau}$, де τ – час проходження порцією вантажу шляху від моменту розвантаження лавного скребкового конвеєра до моменту завантаження магістрального конвеєра;

б) режим «R2» - вугілля із вибоїв шахти подається на магістральний конвеєр із часовим зсувом між циклами виймання вугілля в лавах $t_z=0,5T_{\tau}$, де T_{τ} – тривалість циклу виймання вугілля. Тобто, вантажопотік на магістральному конвеєрі дорівнює, $Q_i=q_{i-\tau}+q_{i-\tau+T_{\tau}}$.

Розглядаються два варіанти функціонування магістрального стрічкового конвеєра, який може працювати у перелічених вище режимах:

а) відсутність зовнішнього регулювання швидкості стрічки магістрального стрічкового конвеєра, - режим роботи магістрального стрічкового конвеєра не адаптований під режим роботи очисних вибоїв;

б) ступінчасте регулювання швидкості стрічки магістрального конвеєра двошвидкісними двигунами зі співвідношенням низької та високої швидкостей 1:2, яке попередньо обране із міркувань роботи на магістральний стрічковий конвеєр двох очисних вибоїв із абсолютно однаковими характеристиками. Тобто, даний режим роботи магістральних стрічкових конвеєрів буде адаптованим під режими роботи очисних вибоїв, вугілля з яких потрапляє на відповідний стрічковий конвеєр.

Під адаптацією режиму роботи стрічкового конвеєра під режими роботи очисних вибоїв, які подають вугілля на стрічковий конвеєр, будемо розуміти

приведення у відповідність поточної швидкості стрічки $v(t)$ магістрального конвеєра і сумарної поточної продуктивності $Q_{\Sigma}(t)$ очисних вибоїв, вугілля з яких подається на конвеєр. Адаптація проводиться з урахуванням реального вантажопотоку на конвеєрі, який залежить від величини і напрямку швидкості подачі комбайнів очисних вибоїв, вугілля з яких подається на стрічковий конвеєр. Це забезпечує зниження енергоспоживання на транспортування вугілля стрічковими конвеєрами при раціональних значеннях швидкості подачі комбайнів у лаві та нерівномірному вантажопотоці на стрічковому конвеєрі.

Використання двохшвидкісного двигуна з співвідношенням низької і високої швидкостей 1:2 в приводі стрічкового конвеєра дозволяє знижувати швидкість при малих вантажопотоках без істотного зниження коефіцієнта корисної дії приводу конвеєра [12].

За оцінкою середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля, виконаною для магістрального стрічкового конвеєра і вхідних вантажопотоків з вибоїв із коефіцієнтом нерівномірності 3,0, оцінка якого наведена для лави пласта c_{11} шахти «Південнодонбаська» № 3 в [4; 7], отримано результати, відображені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати оцінки середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля магістральним стрічковим конвеєром, який транспортує вугілля з двох вибоїв із характеристиками лави пласта c_{11} шахти «Південнодонбаська» № 3

Наявність регулювання швидкості конвеєра	Середньозважені питомі енерговитрати, кВт·год./ (т·км), на транспортування вугілля магістральним стрічковим конвеєром із режимом потрапляння вантажу	
	R1	R2
Без регулювання	2,25	4,30
З регулюванням двошвидкісним двигуном (1:2)	1,07	0,94

З таблиці 1 можна зробити висновки:

а) при наявності часового зсуву між циклами виймання вугілля у вибоях, що дорівнює $0,5T_u$, буде спостерігатися збільшення питомого енергоспоживання на транспортування вугілля магістральним конвеєром довжиною 730 м зі швидкістю 2 м/с в 1,9 разів, - з 2,25 кВт·год./ (т·км) до 4,30 кВт·год./ (т·км), - за рахунок недостатнього завантаження стрічки конвеєра в даному режимі та негативного впливу режиму холостого ходу стрічкового конвеєра на питоме енергоспоживання при його функціонуванні [3];

б) регулювання швидкості магістрального конвеєра двошвидкісними приводними двигунами із співвідношенням швидкостей 1:2 надає можливість знизити середньозважені питомі енерговитрати на транспортування з до 0,94...1,07 кВт·год./ (т·км), - у 2,1...4,6 разів. Даний ефект можна пов'язати зі збільшенням частки маси вантажу на стрічці відносно маси стрічки при регулюванні швидкості тягового органу конвеєра в даних умовах.

Таким чином, адаптація режиму роботи магістрального стрічкового конвеєра із режимами роботи очисних вибоїв, вугілля з яких подається на

відповідний конвеєр, зі ступінчастим регулюванням швидкості стрічки конвеєра двошвидкісними приводними двигунами із співвідношенням низької та високої швидкостей 1:2 в умовах транспортного штреку лави пласта c_{11} шахті «Південнодонбаська» № 3 призведе до зниження питомого енергоспоживання на стрічковому конвеєрі в продуктивних режимах його роботи у 2,1...4,6 разів.

Для вирішення третьої задачі розглядалася енергоефективність функціонування магістральних стрічкових конвеєрів із нерегульованим і регульованим приводом при повному згладжуванні вантажопотоку підлавлними механізованими бункерами.

У випадку використання проміжної ємності на штреку у згаданих вище умовах буде спостерігатися згладжування вантажопотоку до значення коефіцієнту нерівномірності 1,0. Крім того, при максимальному заповненні підбункерного конвеєра зменшиться час транспортування вугілля останнім. Це створюватиме передумови для зниження питомого енергоспоживання на транспортування сипкого матеріалу конвеєрною лінією без використання на підбункерних стрічкових конвеєрах регульованого приводу.

Для порівняння питомого енергоспоживання на магістральних конвеєрах із нерегульованим і регульованим приводом при повному згладжуванні вихідних вантажопотоків з лави обиралися наступні варіанти функціонування системи конвеєрного транспорту шахти:

а) режим «R3» - вугілля із вибоїв шахти подається на магістральний конвеєр зі згладжуванням вихідних вантажопотоків з лави одночасно, без зсуву циклів виймання вугілля у вибоях. Для скачування вантажу конвеєром з нерегульованим приводом довжиною $L=730$ м з номінальною швидкістю стрічки $v=2$ м/с, маємо час завантаження і час розвантаження конвеєра по $t_{zp}=730/2=315$ с=0,09 год. Отже, при навантаженні на магістральний стрічковий конвеєр вугілля з двох лав, обладнаних механізованими підлавлними бункерами, і одночасному потраплянні вугілля з лав на конвеєр, матимемо 3 періоди наявності вантажу на магістральному конвеєрі: $T_1=0,45$ год., $T_2=0,29$ год., $T_3=0,58$ год. З них: тривалість повного завантаження конвеєра: $T_{n1}=0,27$ год., $T_{n2}=0,11$ год., $T_{n3}=0,40$ год.; періоди завантаження-розвантаження конвеєра: $t_{zp1}=t_{zp2}=t_{zp3}=0,18$ год. Для конвеєра з регульованим приводом цикли розвантаження збільшуватимуться удвічі.

б) режим «R4» - вугілля із вибоїв шахти подається на магістральний конвеєр із повним згладжуванням вихідного вантажопотоку з лави і часовим зсувом між циклами виймання вугілля в лавах $t_z=0,5T_{\text{ц}}$. Алгоритм утворення потрібної швидкості стрічки магістрального конвеєра при даному режимі його роботи наведено на рис. 3.

З рис. 3 видно, що сумарний час потрапляння вантажу на магістральний конвеєр більше, ніж для режиму роботи з відсутністю часового зсуву (1,9 год. замість 1,05 год.), крім того при регулюванні швидкості збільшується тривалість завантаження-розвантаження конвеєра, що сприяє збільшенню середньозважених питомих енерговитрат на транспортування сипкого вантажу в останньому режимі роботи магістрального конвеєра.

Визначалися середньозважені питомі енерговитрати на транспортування сипкого вантажу стрічковим конвеєром у продуктивних режимах функціонування, тобто, коли $Q > 0$. Значення середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля магістральним стрічковим конвеєром із регульованим приводом нормувалося по значенню середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля магістральним стрічковим конвеєром без зовнішнього джерела регулювання швидкості стрічки.

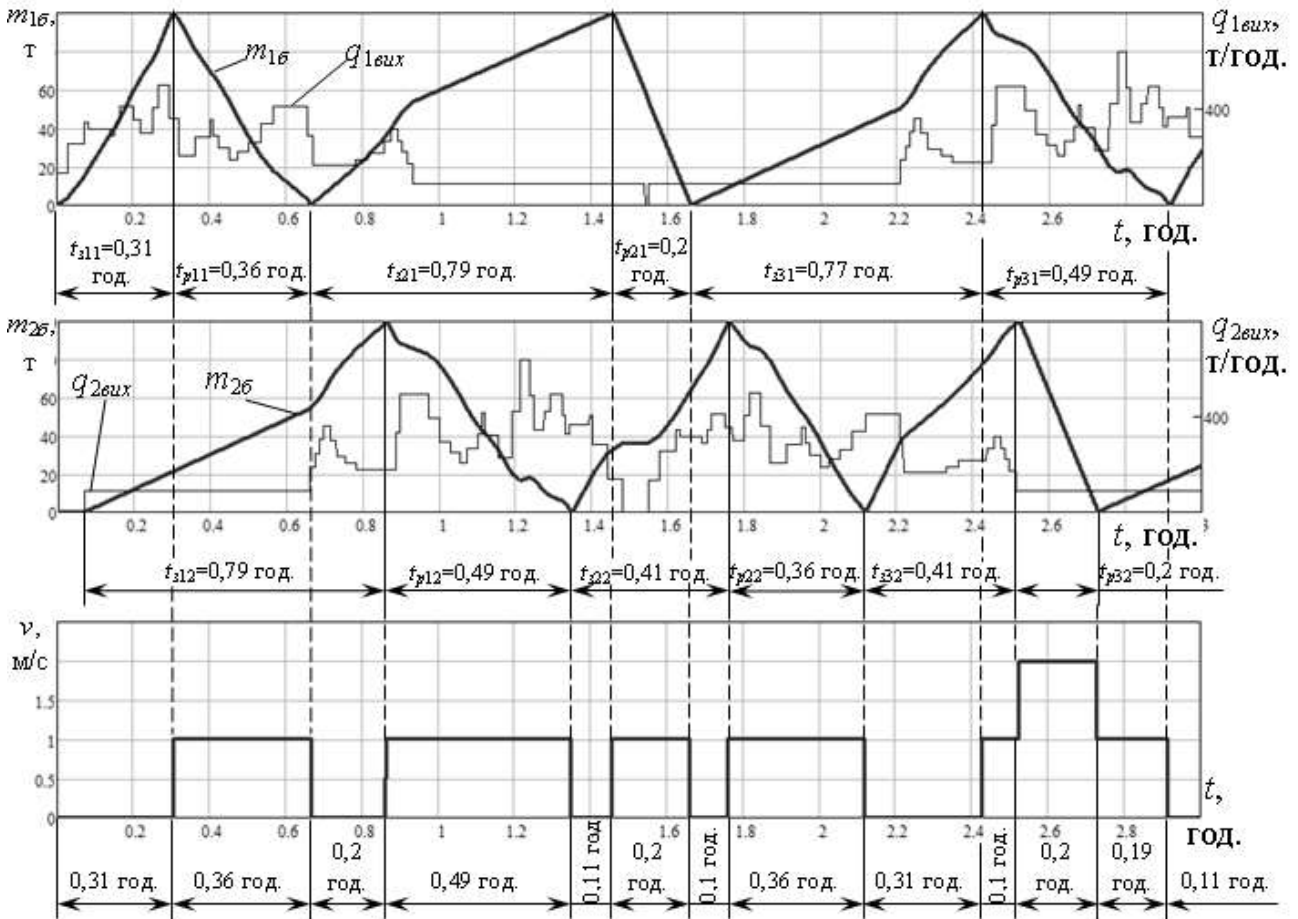


Рисунок 3 – Зміна маси вантажу m_{16} і m_{26} в бункерах ємністю $V_a=100$ т за цикл челнокового виймання вугілля в лавах із відомим вихідними вантажопотоками з лав $q_{1вих}$ і $q_{2вих}$, часовим зсувом між циклами виймання $t_z=0,5T_u$, а також швидкість стрічки магістрального конвеєра v протягом часу t

Для режимів №№ 4 і 5 при застосуванні регульованого приводу зниження швидкості з високої на низьку здійснювалося згідно із умовою (4), а також при скачуванні вантажу конвеєром, який розглядається, без надходження вантажу з попереднього конвеєра.

За оцінкою середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля, виконаною для магістрального стрічкового конвеєра з нерегульованим і регульованим приводом і вхідних вантажопотоків з вибоїв із коефіцієнтом нерівномірності 3,0 і з повним їх згладжуванням, отримано результати, відображені в таблиці 2.

З таблиці 2 можна зробити висновок: при одночасному потраплянні на

стрічковий магістральний конвеєр вугілля з двох очисних вибоїв та повним згладжуванням вихідних вантажопотоків з лави буде відбуватися процес транспортування вугілля магістральним стрічковим конвеєром з постійною швидкістю і з найменшими середньозваженими питомими енерговитратами, - 0,8 кВт·год./($t \cdot km$), що нижче від базового варіанту функціонування конвеєра у 2,8 рази. Регулювання швидкості стрічки магістрального горизонтального конвеєра, на який потрапляють повністю згладжені вантажопотоки з двох очисних вибоїв із часовим зсувом між циклами виймання вугілля в них $t_z=0,5T_u$, дозволяє знизити середньозважені питомі енерговитрати на транспортування вугілля на 36 %, у порівнянні з режимом транспортування без зовнішнього регулювання швидкості. Регулювання швидкості стрічки магістрального конвеєра при таких режимах завантаження конвеєра не принесе бажаного результату (тобто, істотного зниження питомих енерговитрат на транспортування вантажу нижче позначки 0,80 кВт·год./($t \cdot km$)), оскільки збільшується час роботи конвеєра на низькій швидкості з меншим ККД, аніж на високій, за рахунок більш тривалого завантаження і розвантаження конвеєра.

Таблиця 2 – Результати оцінки середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля магістральним стрічковим конвеєром, який транспортує вугілля з двох вибоїв із повним згладжуванням вихідних вантажопотоків з лави

Наявність регулювання швидкості конвеєра	Середньозважені питомі енерговитрати, кВт·год./($t \cdot km$), на транспортування вугілля магістральним стрічковим конвеєром із режимом потрапляння вантажу	
	R3	R4
Без регулювання	0,80	1,38
З регулюванням двошвидкісним двигуном (1:2)	0,78	0,89

Таким чином, використання підлавної механізованих бункерів у комплексі із адаптацією режиму роботи стрічкових конвеєрів із режимами роботи очисних вибоїв, з яких вугілля подається на конвеєри, створює умови для зниження питомого енергоспоживання при транспортуванні останніми сипких вантажів.

Отримані дані слід урахувати при проектуванні конвеєрного транспорту гірничих підприємств, а також систем внутрішньовиробничого транспорту промислових підприємств із вантажопотоками, що характеризуються високою нерівномірністю.

Висновки. В роботі вирішено актуальну задачу обґрунтування зниження питомого енергоспоживання на транспортування вугілля конвеєрами шахти транспортування корисної копалини шляхом поєднання адаптації швидкості лавного конвеєра та очисного комбайну з застосуванням на штреку механізованих бункерів у якості проміжних ємностей, а саме встановлено:

1. Наявність у ланцюжку конвеєрного транспорту виймальної ділянки в умовах експерименту механізованого бункера ємністю 100 т створить передумови для повного згладжування вихідного вантажопотоку з лави, і як наслідок – зниження питомих енерговитрат на транспортування вугілля

стаціонарними стрічковими конвеєрами системи внутрішньошахтного транспорту без застосування складних алгоритмів адаптації режимів роботи транспортного і технологічного обладнання шахти.

2. Адаптація режиму роботи магістрального стрічкового конвеєра із режимами роботи очисних вибоїв, що подають вугілля на стрічковий конвеєр, зі ступінчастим регулюванням швидкості стрічки магістрального конвеєра довжиною 730 м і номінальною швидкістю 2 м/с двошвидкісними приводними двигунами із співвідношенням низької та високої швидкостей 1:2 в зазначених умовах призведе до зниження питомого енергоспоживання на стрічковому конвеєрі у 2,1...4,6 разів.

3. В разі наявності бункера ємністю 100 т створюються умови повної ліквідації нерівномірності вантажопотоку з лави, а середньозважені питомі енерговитрати на транспортування вугілля стрічковим конвеєром довжиною 730 м складатимуть 0,8 кВт·год/(т·км), що нижче від таких у базовому варіанті функціонування конвеєра у 2,8 рази.

Напрями подальших досліджень: проведення комплексу досліджень режимів роботи стрічкових конвеєрів при різних способах адаптації їх режиму роботи до режимів роботи очисних вибоїв при різній кількості останніх, які функціонують у різних гірничо-геологічних умовах; обґрунтування способу і алгоритму адаптації швидкості стрічки магістрального конвеєра до режимних параметрів роботи обладнання очисних вибоїв, що подають вугілля на стрічковий конвеєр; обґрунтування простору і параметрів проектування для оптимізації режиму роботи стрічкового конвеєра з регульованим приводом, адаптованого до режимних параметрів роботи обладнання очисних вибоїв, які подають вугілля на конвеєр, як мехатронної підсистеми.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грядущий Б.А., Лобода В.В., Чехлатый Н.А. Энергоаудит на угольных предприятиях // Уголь Украины. 2013. № 4. с. 14-19.
2. Рухлов А.В., Герман Е.Д. Энергетические характеристики магистрального конвейерного транспорта угольных шахт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: WWW/ URL: <http://vde.nmu.org.ua/ua/science/ntz/archive/84/7.pdf>.
3. Семенченко А.К., Стадник Н.И., Белицкий П.В., Семенченко Д.А. Математическая модель целевой функции оптимизации режимов работы привода ленточного конвейера // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. Дніпро, 2017. Вип. 134. С. 190-205.
4. Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования: сб. науч. тр. ГП «Донгипроуголемаш» под общей редакцией В.В. Косарева, Н.И. Стадника – Донецк: Астро, 2008. -800 с.
5. Пономаренко В.А., Макарова Е.В., Креймер Е.Л. и др. Технология, организация и экономика подземного транспорта. М.: Недра, 1977. 221 с.
6. Николаев П.П. Исследование области рациональной эксплуатации очистного оборудования на шахтах Донбасса с помощью теории графов и программы Statistica [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/150098/56-60.pdf?sequence=1>.
7. Крутков Г.В., Савицкий А.И. Экономическая оценка эффективности инвестиций в энергосберегающие регулируемые электроприводы конвейеров горно-обогатительных комбинатов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: WWW/ URL: <http://www.metaljournal.com.ua/Economic-evaluation-of-the-effectiveness-of-investments-in-energy-saving-electric-adjustable-conveyors-mining-and-processing/>
8. Семенченко А.К., Стадник Н.И., Белицкий П.В., Семенченко Д.А. Повышение энергоэффективности использования ленточных конвейеров при интенсивной угледобыче // Вісті Донецького гірничого інституту. Покровськ, 2018. № 2 (7) 2018. – с. 91-106.
9. Корнеев С.В. Концепция адаптации забойных скребковых конвейеров // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-електромеханічна, № 99. С. 130–137.

10. Кирия Р.В., Максютенко В.Ю., Брагинец Д.Д. Управление бункерами, работающими в системах конвейерного транспорта угольных шахт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/138770/19-Kiriia.pdf?sequence=1>.
11. Юрченко В.М. Расчёт грузопотоков от комплексно механизированных лав и выбор оборудования конвейерных линий. Кемерово: Изд. КузГТУ, 2000. 49 с.
12. Реутов А.А. Имитационное моделирование ступенчатого регулирования скорости конвейера // Проблемы недропользования, № 2 (2017). С. 26-32.

REFERENCES

1. Gryadushchyi V., Loboda V. and Chekhatyi N. (2013), "Coal energy audits", *Coal of Ukraine*, no. 4, pp. 14-19.
2. Rukhlov, A. and German, E. (2010), "Energy characteristics of the main conveyor transport in coal mines", available at: http://www.nbu.gov.ua/old_jm/natural/Geta/2010_84/7.pdf.
3. Semenchenko, A., Stadnik, M., Belytskyi, P. and Semenchenko, D. (2017), "Mathematical model of target function by optimization of the modes work belt conveyor drive", *Geo-Technical Mechanics*, no. 134, pp. 190-205.
4. *Resheniye nauchno-tekhnicheskikh problem pri sozdanii i vnedrenii sovremennogo gorno-shakhtnogo oborudovaniya. Sb. nauch. tr. GP "Dongiprouglesh" pod obshchey redaktsiyei V.V. Kosareva, N.I. Stadnika* [Decision of scientific and technical problems at creation and introduction of modern mine-colliery equipment. collection of scientific labours of SE «Dongyprourglesh» under the general release of V. Kosarev and N. Stadnik} (2008), Astro, Donetsk, UA.
5. Ponomarenko, V., Makarova, E., Kreymen, E. etc. (1977). *Tekhnologiya, organizatsiya i ekonomika podzemnogo transporta* [Technology, organization and economics of underground transport], Moscow, SU.
6. Nikolayev, P. "Investigation of the field of rational operation treatment equipment in the mines of Donbass using graph theory and the Statistica program", available at: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/150098/56-60.pdf?sequence=1>.
7. Krutkov, G. and Savitskiy A. "Economic evaluation of the effectiveness of investments in energy-saving controlled electric drives of conveyors of mining and processing enterprises", available at: <http://www.metaljournal.com.ua/Economic-evaluation-of-the-effectiveness-of-investments-in-energy-saving-electric-adjustable-conveyors-mining-and-processing/>
8. Semenchenko, A., Stadnik, M., Belytskyi, P. and Semenchenko, D. (2018), "Improving the energy efficiency of the use of belt conveyors in intensive coal mining", *Journal of Donetsk Mining Institute*, no. 2 (7), pp. 91-106.
9. Korneyev, S. (2005), "Adaptation concept for downhole scraper conveyors", *DonNTU scientific works, electromechanical series*, no. 99, pp. 130-137.
10. Kiriya, R., Maksyutenko, V. and Bragynets, D. "Management of silos operating in conveyor systems of coal mines", available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/138770/19-Kiriia.pdf?sequence=1>.
11. Yurchenko, V. (2000). *Raschot gruzopotokov ot kompleksno mekhanizirovannykh lav i vybor oborudovaniya konveyernykh liniy* [Calculation of cargo flows from complex mechanized lavas and selection of equipment for conveyor lines], Kemerovo, RF.
12. Reutow, A. (2017), "Simulation of stepwise control of conveyor speed", *Subsoil Use Issues*, no. 2, pp. 26-32.

Про авторів

Стаднік Микола Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна, stadnik1948@gmail.com

Семенченко Дмитро Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри обладнання видобувних та переробних комплексів, Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), м. Покровськ, Україна, semencenko.da@gmail.com

Семенченко Анатолій Кирилович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри обладнання видобувних та переробних комплексів, Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), м. Покровськ, Україна, anatolii.semenchenko@donntu.edu.ua

Белицький Павло Володимирович, магістр, старший викладач кафедри обладнання видобувних та переробних комплексів, Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), м. Покровськ, Україна, pabel30.04.1980@gmail.com

About the authors

Stadnik Mykolai Ivanovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Professor of the Department of Electrical Systems and Automation Technology in the Agricultural Sector, Vinnitsa National Agricultural University, Vinnitsa, Ukraine, stadnik1948@gmail.com

Semenchenko Dmytro Anatoliiovych, Candidate of Technscal Sciences (Ph.D), Associate Professor in the Department of Equipment of Production and Processing Complexes, Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine, semencenko.da@gmail.com

Semenchenko Anatolii Kyrylovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Professor of the Department of Equipment of Production and Processing Complexes, Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine, anatolii.semenchenko@donntu.edu.ua

Belytskyi Pavlo Volodymyrovych, Master of Science, Head Teacher of the Department of Equipment of Production and Processing Complexes, Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine, pabel30.04.1980@gmail.com

Аннотация. Целью работы является обоснование снижения удельного энергопотребления на транспортировку угля ленточными конвейерами шахты путем изменения технологии транспортировки полезных

ископаемых с применением на штреке механизированных бункеров и адаптацией режимов работы ленточного конвейера к режимам работы очистного забоя. Объект исследования: процесс формирования грузопотока и средневзвешенных удельных энергозатрат на транспортировку сыпучего груза конвейерами шахты. Предмет исследования: зависимости выходного грузопотока из лавы и средневзвешенных удельных энергозатрат на транспортирование добытого угля шахтными скребковыми и ленточными конвейерами от технологических параметров функционирования очистных участков шахты с адаптацией и без адаптации режимов работы конвейерного транспорта и очистных комбайнов шахты.

Решена задача обоснования снижения удельного энергопотребления на транспортирование угля конвейерами шахты путем объединения адаптации скорости лавного конвейера и очистного комбайна, а также с применением на штреке механизированных бункеров в качестве промежуточных емкостей. Результаты исследования будут полезны при проведении исследований режимов работы ленточных конвейеров при различных способах адаптации их режима работы с режимами работы очистных забоев при различном количестве последних, функционирующих в различных горно-геологических условиях; обосновании способа и алгоритма адаптации скорости ленты конвейера до режимных параметров работы оборудования очистных забоев, подающих уголь на ленточный конвейер; обосновании пространства и параметров проектирования для оптимизации режима работы ленточного конвейера с регулируемым приводом, адаптированного к режимным параметрам работы оборудования очистных забоев, подающих уголь на конвейер, как мехатронной подсистемы.

Ключевые слова: выходной грузопоток из лавы, средневзвешенные удельные энергозатраты на транспортирование, адаптация режимов очистного комбайна и конвейеров, подлавный механизированный бункер, временной сдвиг между циклами выемки угля

Annotation. The aim of the work is to justify reduction of specific energy consumption for coal transportation by the mine conveyor belts by way of changing technology of mineral transportation by using mechanized bunkers in the drift and adapting the conveyor belt operating modes to the working faces. Object of research: the process of formation of cargo flow and weighted average specific energy consumption for transportation of bulk cargo by the mine conveyors. Subject of research: dependences of the output cargo flow from the lava and the average weighted specific energy consumption for transporting the extracted coal by mine scraper and belt conveyors on technological parameters of the operation of the mining district with and without adaptation of the operating modes of conveyor transport and shearer.

The problem of substantiating the reduction of specific energy consumption for coal transportation by mine conveyors by combining the adaptation of the speed of the face conveyor and the shearer, as well as using mechanized bunkers for the drift as intermediate tanks, was solved. The results of the study will be useful for studying operating modes of conveyor belts with various ways of adapting their operating mode with operating modes of working faces with a different number of the latter operating in different mining and geological conditions; justification of the method and algorithm for adapting the speed of the conveyor belt to the operating parameters of the working face equipment supplying coal to the conveyor belt; substantiation of the space and design parameters for optimizing the operating mode of the belt conveyor with an adjustable drive adapted to the operating parameters of the working face equipment supplying coal to the conveyor as a mechatronic subsystem.

Key words: face output freight flow, weighted average specific energy consumption for transportation, adaptation of the shearer and conveyor modes, a mechanized floating bunker, a time shift between coal extraction cycles

Стаття надійшла до редакції 8.11.2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.Ф. Монастирським