

УДК 621.314.26:622.647.2

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

ВПЛИВ УЗГОДЖЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ ВИБІЙНОГО КОНВЕЄРА І КОМБАЙНА НА ВИХІДНИЙ ВАНТАЖОПОТІК З ЛАВИ

Інтенсифікація процесів, яка притаманна сучасним системам гірничого виробництва, передбачає збільшення навантажень на технологічне, транспортне і допоміжне обладнання вугільних підприємств. Вантажопотоки на шахтному транспорті мають високу нерівномірність, що істотно підвищує величину питомих енерговитрат на транспортування вантажу. Причиною нерівномірності вантажопотоку з лави є нерівномірність швидкості подачі комбайна протягом технологічного циклу його роботи [1]. Вихідний вантажопотік із лави в умовах нерівномірності швидкості подачі очисного комбайна коригується: а) регулюванням швидкості лавного скребкового конвеєра; б) встановленням під лавою механізованого бункера, який згладжує вихідний вантажопотік із лави; в) в комбінований спосіб – і регулюванням швидкості лавного конвеєра, і встановленням бункера під лавою. Коригування вихідного вантажопотоку з лави регулюванням швидкості вибійного конвеєра за сприятливих умов надає змогу максимально зменшити потрібну величину технологічної ємності підлавної бункера, його масу, вписати його габарити в розміри поперечного перерізу штреку.

Отже, питання визначення можливостей регулювання швидкості транспортування корисної копалини лавним конвеєром є актуальним і може значно спростити вирішення проблеми впровадження регульованого приводу на машинах і обладнання внутрішньошахтного транспорту гірничого підприємства.

В [1] запропоновано спосіб оптимізації питомого енергоспоживання транспортування за рахунок адаптації швидкостей очисного комбайна і лавного конвеєра. Однак у роботі не розглянуто вплив даної адаптації в умовах нерівномірності руху комбайна на величину і нерівномірність вихідного вантажопотоку з лави, а саме: а) при плавному регулюванні й б) при ступінчастому регулюванні швидкості лавного скребкового конвеєра. В роботах [2, 3] фіксується випадковий характер вихідного вантажопотоку з лави та надається його математичний опис як випадкового процесу, в тому числі в [3] – з кореляційною функцією довільної складності. Однак не приділяється уваги причинам нерівномірності потрапляння вантажу на транспортний ланцюжок шахти та шляхам її зниження. У дисертаційній роботі [4] розроблено математичну модель навантаження на магістральний конвеєр. В модель закладено методіку визначення коефіцієнту нерівномірності вантажопотоку з лав, де вугілля видобувається буропідливним способом, – тобто, із відносно невеликими вантажопотоками. Однак, сучасні гірничі комплекси характеризуються високою продуктивністю, і визначення коефіцієнту нерівномірності за даною методикою може давати неточні результати.

Для визначення впливу способу регулювання швидкості вибійного конвеєра на нерівномірність вихідного вантажопотоку з лави слід здійснювати за коефіцієнтом нерівномірності вихідного вантажопотоку в три етапи: а) розробка математичної моделі вихідного вантажопотоку з лави інтенсивного видобутку з урахуванням нерівномірності руху та виробничого циклу очисного комбайна; б) визначення коефіцієнту нерівномірності вихідного вантажопотоку розрахунковим шляхом за результатами експерименту без регулювання швидкості лавного конвеєра; в) знаходження коефіцієнту нерівномірності вихідного вантажопотоку розрахунковим шляхом для різних способів регулювання швидкості конвеєра, які не передбачають зміну конструкції його приводу, та визначення раціонального способу регулювання швидкості лавного конвеєра за критерієм мінімізації коефіцієнту нерівномірності вантажопотоку з лави.

Метою даної роботи є визначення аналітичним способом із використанням результатів експериментальних досліджень впливу способу регулювання швидкості лавного конвеєра на нерівномірність вихідного вантажопотоку з лави.

Для досягнення даної мети слід вирішити наступні задачі: розробити математичну модель вихідного вантажопотоку з лави інтенсивного видобутку з урахуванням нерівномірності руху та виробничого циклу очисного комбайна; визначити з використанням результатів експериментальних досліджень коефіцієнт нерівномірності вихідного вантажопотоку розрахунковим шляхом в умовах експерименту без регулювання швидкості лавного конвеєра; визначити коефіцієнт нерівномірності вихідного вантажопотоку аналітичним шляхом для різних способів регулювання швидкості лавного конвеєра та обрати раціональний спосіб регулювання швидкості лавного конвеєра за критерієм мінімізації коефіцієнту нерівномірності вихідного вантажопотоку з лави.

Для розробки математичної моделі процесу формування вихідного вантажопотоку з лави час, яким індексовано даний процес, дискретизується із кроком квантування $\Delta t = 1$ с. Поточна координата часу функціонування, $t_i = i\Delta t$, $i \in [0; N]$.

Вихідний вантажопотік з лави в момент часу t_i в залежності від величини швидкості подачі та напряму переміщення комбайну, швидкості конвеєра у відповідні моменти часу та інших параметрів робочого процесу визначиться як:

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

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 ; 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 :

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

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 проходженню 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_{ck} – 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 :

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

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

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

Швидкість транспортування вантажу лавним конвеєром визначається алгоритмом керування регульованим приводом конвеєра, входними 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:

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

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:

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

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

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.

Для визначення параметрів технологічного циклу очисного комбайну в умовах інтенсивного вуглевидобутку, а також розробки із урахуванням отриманих даних математичної моделі вихідного вантажопотоку з лави були проведені експериментальні дослідження. Схему і план експериментальних досліджень впливу величини і нерівномірності швидкості подачі очисного комбайна на показники роботи очисного комплексу в умовах шахти «Південнодонбаська» № 3, які проводив інститут «Дондипровуглемаш» у 2013 році, наведено в [1].

Зміна швидкості подачі комбайна v_{Π} при прямому та зворотному ході останнього від часу функціонування очисного комплексу t , за даними результатів експерименту та його обробки, наведена на рисунку 1. З рисунку 1 видно, що величина швидкості подачі комбайну є нерівномірною, характеризується широким діапазоном зміни $[0 \dots 7,5]$ м/хв. Математичне очікування швидкості подачі комбайну, знайдене за продуктивними режимами його функціонування, складає $v_{\Pi,cp} = 2,8$ м/хв. Це в свою чергу впливає на вихідний вантажопотік, та ураховується в розробленій математичній моделі.

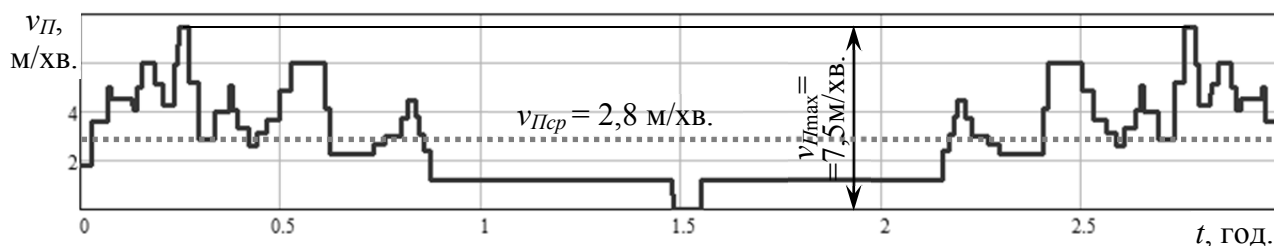


Рис. 1. Залежність швидкості подачі комбайна при прямому та зворотному ході від часу функціонування очисного комплексу

З рис. 1 можна зробити висновок: зміна швидкості подачі комбайна за час його функціонування характеризується високою нерівномірністю процесу із коефіцієнтом варіації 0,64, що впливає на величину вантажопотоку на лавному конвеєрі та ураховано в наведеній вище математичній моделі процесу формування вихідного вантажопотоку з лави.

На рис. 2 наведені зміна вихідного вантажопотоку протягом робочого циклу комбайну без регулювання швидкості лавного конвеєра (а), а також гістограма розподілу вантажопотоку з лави як випадкової величини (б) із зазначенням кількості потраплянь n_q значень вихідного вантажопотоку q у відповідний інтервал гістограми. Моделювання зміни вихідного вантажопотоку з лави протягом часу робочого циклу очисного комбайна, а також оцінка його максимального і середнього значення здійснювалося згідно із розробленою математичною моделлю останнього. Зміна вихідного вантажопотоку з лави без регулювання швидкості лавного конвеєра в цілому відтворює зміну швидкості подачі очисного комбайна протягом циклу його роботи, з урахуванням напрямку руху виймальної машини. Максимальне значення вихідного вантажопотоку, $q_{\max} = 637$ т/год., середнє значення – $q_{\text{ср}} = 211$ т/год. Це призводить до недозавантаження лавного конвеєра та нераціонального його використання за критерієм середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вантажу [1].

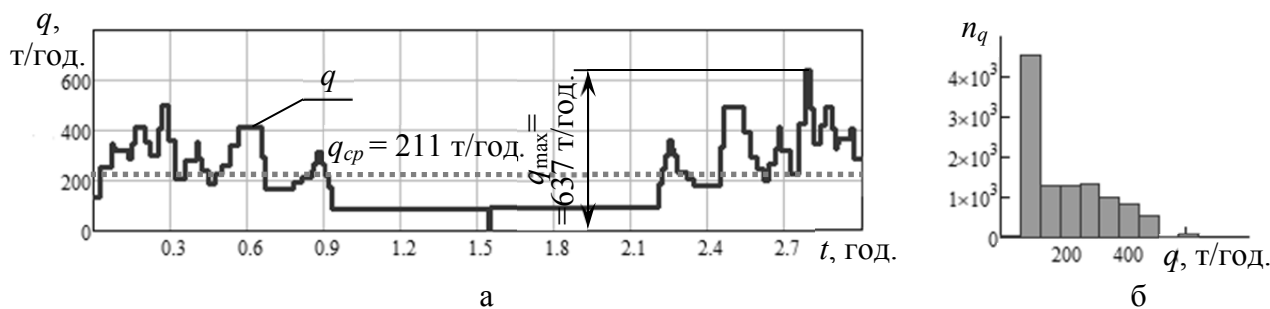


Рис. 2. Зміна вихідного вантажопотоку протягом робочого циклу комбайну без регулювання швидкості лавного конвеєра (а), а також гістограма розподілу вантажопотоку з лави як випадкової величини (б)

З рис. 2 можна зробити висновок: вихідний вантажопотік з лави змінюється в широкому діапазоні $[0; 637]$ т/год., однак математичне очікування вихідного вантажопотоку знаходиться в зоні його малих значень і складає 211 т/год. Висока нерівномірність швидкості подачі комбайна зумовлює високу нерівномірність вихідного вантажопотоку з лави.

Нерівномірність вхідного вантажопотоку на внутрішньошахтному транспорті оцінюється коефіцієнтом нерівномірності [5], який дорівнює відношенню максимального значення вантажопотоку до його математичного очікування, та істотно впливає на параметри транспортних засобів, які обираються для переміщення шахтних вантажів. Для умов експерименту коефіцієнт нерівномірності вихідного вантажопотоку з лави складає:

$$k_H = \frac{Q_{\max}}{Q_{cp}} = \frac{637}{211} = 3,02. \quad (7)$$

Отже, вихідний вантажопотік з лави змінюється в широкому діапазоні [0; 637] т/год., а коефіцієнт його нерівномірності складає $k_{Hn} = 3,02$, що більше значення, яке рекомендоване загальноприйнятою методикою розрахунку засобів внутрішньошахтного транспорту, які переміщують шахтні вантажі з комплексно механізованих лав ($k_H = 2,5$). Це призводить до необхідності обирати більш потужні підлавні транспортні засоби.

Для визначення раціонального способу регулювання швидкості лавного конвеєра з метою зниження нерівномірності вихідного вантажопотоку з лави здійснювалося моделювання та аналітичне визначення коефіцієнту його нерівномірності. Серед варіантів регулювання швидкості лавного конвеєра розглянуто плавне регулювання із глибиною $D = 3$, яке не потребує заміни двигунів лавного конвеєра із самовентиляцією на двигуни із з іншими способами охолодження, а також ступінчасте регулювання швидкості приводними двигунами конвеєра (із співвідношенням високої та низької швидкостей транспортування $D_1 = 3$), передбаченими конструкцією зазначеної транспортної одиниці очисного комплексу.

Гістограми розподілу вихідного вантажопотоку з лави, обладнаної вибійним конвеєром із регульованим приводом, представлені на рис. 3. На рис. 3 приведені результати для випадків плавного регулювання швидкості із глибиною $D = 3$ (а), а також ступінчастого регулювання двошвидкісними приводними двигунами конвеєра із співвідношенням високої та низької швидкостей транспортування $D_1 = 3$ (б). На рис. 3 видно, що розглянуті способи регулювання швидкості лавного конвеєра частково коригують закон розподілення вихідного вантажопотоку з лави, але не змінюють його характер, - тобто, істотно не знижують нерівномірність вихідного вантажопотоку. Результати визначення максимального q_{\max} та середнього q_{cp} значень вихідного вантажопотоку з лави, а також коефіцієнту його нерівномірності k_H для випадків відсутності регулювання швидкості конвеєра, а також для плавного і ступінчастого її регулювання в зазначений вище спосіб, зведені у табл. 1.

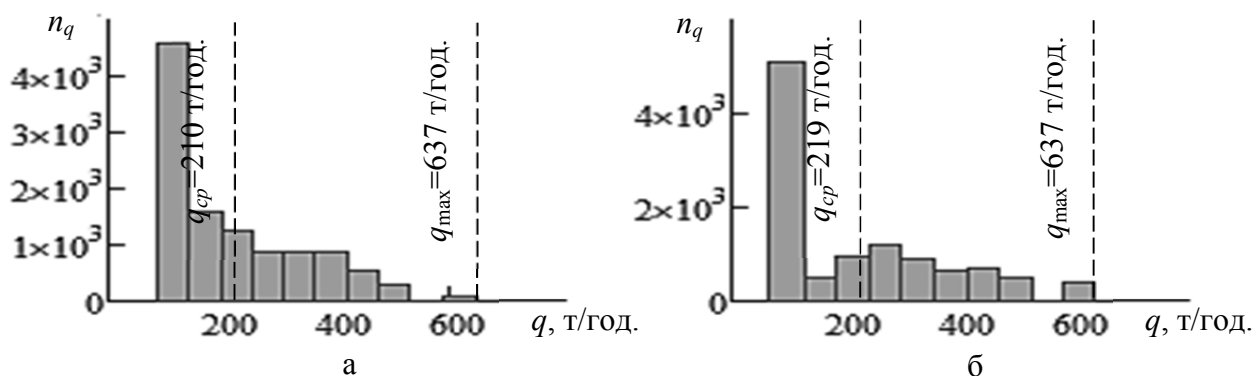


Рис. 3. Гістограми розподілу вихідного вантажопотоку з лави, обладнаної вибійним конвеєром із регульованим приводом: плавне регулювання, $D = 3$ (а), ступінчасте регулювання, $D_1 = 3$ (б)

З рис. 3 та табл. 1 можна зробити висновок, що регулювання швидкості лавного конвеєра частково коригує закон розподілення вихідного вантажопотоку з лави, але істотно не знижує його нерівномірність. Раціональним способом регулювання швидкості конвеєра в умовах експерименту слід вважати ступінчасте регулювання двошвидкісними приводними двигунами лавного конвеєра зі співвідношенням високої та низької швидкостей $D_1 = 3$, оскільки в даному випадку маємо максимальне зниження коефіцієнту нерівномірності вихідного вантажопотоку з $k_H = 3,02$ (за відсутності регулювання) до $k_H = 2,92$, тобто на 3,3 %.

Таблиця 1

Максимальне та середнє значення вихідного вантажопотоку, а також коефіцієнт його нерівномірності для відсутності регулювання швидкості конвеєра, а також для плавного і ступінчастого її регулювання розрахунку засобів транспорту вугілля з комплексно механізованих лав (2,5)

Параметри вантажопотоку	$q_{амх}$, т/ГОД.	$q_{ср}$, т/ГОД.	k_H
Регулювання відсутнє	637	211	3,02
Регулювання плавне	637	210	3,04
Регулювання ступінчасте	637	219	2,92

ВИСНОВКИ

Отже, теоретичне визначення впливу способу регулювання швидкості лавного конвеєра на нерівномірність вихідного вантажопотоку з лави із використанням результатів експериментальних досліджень вказало на відсутність істотного зниження нерівномірності вантажопотоку при регулювання швидкості конвеєра, а саме:

1) Розроблено математичну модель процесу утворення вихідного вантажопотоку з лави, обладнаної очисним комбайном і лавним скребковим конвеєром із регульованим приводом, яка ураховує параметри технологічного циклу роботи комбайна, швидкість і напрям переміщення комбайна, швидкість транспортування вантажу конвеєром.

2) Встановлено експериментально: вихідний вантажопотік з лави змінюється в діапазоні (0...637 т/год.), а коефіцієнт його нерівномірності складає 3,02, що більше значення, рекомендованого загальноприйнятою методикою.

3) Встановлено аналітичним шляхом: найбільше зниження коефіцієнту нерівномірності вихідного вантажопотоку з лави в умовах експерименту досягається ступінчастим регулюванням швидкості конвеєра двошвидкісними приводними двигунами із співвідношенням низької та високої швидкостей 1:3, однак таке зниження є несуттєвим: з $k_H = 3,02$ (за відсутності регулювання) до $k_H = 2,92$, тобто на 3,3 %.

Напрями подальших досліджень: визначення впливу на вихідний вантажопотік із лави величини технологічної ємності та режиму роботи підливного бункера.

Результати досліджень можуть бути використані при моделюванні вихідного вантажопотоку з лав, обладнаних різними виймальними машинами із різноманітними технологічними циклами їх роботи; при розробці регульованого приводу транспортних машин гірничих підприємств; при розрахунку підлавних транспортних засобів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Stadnik M. Improving energy efficiency of coal transportation by adjusting the speeds of combine and the mine face conveyor [Текст] / М. Stadnik, D. Semenchenko, A. Semenchenko, P. Belytsky, S. Virych, V. Tkachov // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2019. – Т. 4, № 1/8 (97). – С. 60–70.

2. Макарян Л. В. Анализ и моделирование случайного шахтного грузопотока на магистральном сборном конвейере [Текст] / Л. В. Макарян, М. В. Сельниціна // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 5. – С. 67–74.

3. Дмитриева В. В. Корреляционный анализ и методы моделирования случайного грузопотока, поступающего на сборный конвейер [Текст] / В. В. Дмитриева, П. Е. Сизин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 10. – С. 145–155.

4. Буй Чунг Кьен. Автоматизированная система управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев [Текст] : дисс. канд. техн. наук, спец-ть 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)». – М., 2018. – 146 с.

5. Будішевський В. О. Проектування транспортних систем енергоємних виробництв [Текст] / В. О. Будішевський, В. О. Гутаревич, Я. О. Ляшок, О. О. Пуханов ; під ред. В. О. Будішевського, А. О. Суліми. – Донецьк, 2008. – 454 с.