

П. В. БЕЛИЦЬКИЙ (ст. викл.),
pavlo.belytskyi@donntu.edu.ua,

О. М. ЛЮБИМЕНКО (канд. техн. наук, доц.),
olena.liubymenko@donntu.edu.ua,

О. А. ШТЕПА (канд. техн. наук, доц.),
oleksandr.shtepa@donntu.edu.ua

Державний вищий навчальний заклад
 «Донецький національний технічний університет»

ЗМЕНШЕННЯ АМПЛІТУД НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРИВОД ШАХТНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА КОРИГУВАННЯМ ЙОГО ТРАСИ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Анотація. У статті розглянуто характер залежності амплітуд, які виникають на приводі шахтного стрічкового конвеєра від зміни завантаженості стрічки, від куту транспортування, а також технологічних параметрів транспортування і конструктивних параметрів приводу і механічної частини конвеєра. Встановлено нелінійний характер залежності амплітуд, які виникають на приводі шахтного стрічкового конвеєра від зміни завантаженості стрічки, від куту транспортування. Визначено графічно й аналітично характерний кут установки стрічкового конвеєра, за якого момент опору на приводі останнього не залежить від завантаженості стрічки та залишатиметься постійним за наявних коливань величини маси вантажу на стрічці конвеєра. Гірничотехнічні умови, які відповідають транспортуванню сипкого вантажу стрічковим конвеєром при описаному вище куті установки, рекомендовані як раціональні з точки зору мінімізації амплітуд навантажень на привод конвеєра, від чого очікується підвищення ресурсу конвеєра та його надійності в цілому.

Ключові слова: момент опору на приводі конвеєра, амплітуда навантаження на привод конвеєра, накопичена пошкоджувальність, характерний кут установки конвеєра, технологія транспортування.

Проблема та її зв'язок із науковими та практичними завданнями. Інтенсифікація видобутку корисних копалин, яка широко впроваджується задля зниження витрат на гірництво, призводить до зростання теоретичної продуктивності гірничого обладнання, в тому числі – вантажопотоків на транспортних магістралях гірничого підприємства. Прямим наслідком цього є зростання навантажень на елементи гірничого обладнання, а з урахуванням випадкового нестационарного характеру цих навантажень – і до зростання амплітуд механічних та електричних навантажень. Амплітуди навантажень на елементи технологічного обладнання призводять до накопичення пошкоджувальності зазначених елементів. Це в кінцевому підсумку зумовлює зниження ресурсу обладнання, причому амплітуда навантаження має більш руйнівний характер, ніж частота її виникнення. Коефіцієнт накопиченої пошкоджувальності елементів обладнання оцінюється як

$$НП = \sum_{i=1}^r A_i^m n_i,$$

де A – амплітуда навантаження, m – коефіцієнт, що урахує характер навантаження ($m=3,3\dots20$), n – частота виникнення зазначеної амплітуди; r – кількість критичних амплітуд навантаження.

Підвищення ресурсу гірничошахтного обладнання в умовах інтенсифікації гірничих робіт – актуальна наукова і практична проблема. Воно може здійснюватися чотирма способами: 1) підбір конструкційних та електротехнічних матеріалів, які дозволяють збільшити кількість циклів навантаження на елементи обладнання, що призводить до додаткового збільшення його вартості та капітальних витрат на обладнання в цілому; 2) призначення завищених запасів міцності, стійкості, витривалості для елементів електромеханічного обладнання, що призводить до збільшення його габаритів в умовах обмеженого простору в гірничих виробках; 3) коригування циклу і графіку планово-попереджувальних ремонтів, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат на обладнання; 4) призначення технічних умов експлуатації обладнання, які зумовлюють найменшу кількість критичних амплітуд навантаження на елементи обладнання. Останній спосіб не призводить до здороження обладнання та погіршення умов його експлуатації та обслуговування, тому є перспективним напрямом підвищення ресурсу шахтного обладнання.

Найбільш відповідальним вузлом конвеєра є його привод, і саме робота приводу зумовлює надійність роботи конвеєра в цілому. Втім, привод конвеєра сприймає навантаження від зміни завантаженості стрічки конвеєра при функціонуванні транспортної машини, що істотно впливає на його надійність. Таким чином, підвищення ресурсу приводу конвеєра шляхом призначення технічних умов експлуатації обладнання, які

зумовлюють найменшу накопичену пошкоджувальність обладнання, є актуальним науковим і практичним завданням.

Огляд публікацій та досліджень. Підвищенню надійності гірничотранспортного обладнання в умовах інтенсивного ведення гірничих робіт присвячено багато робіт сучасних дослідників [1-3]. Однак усі вони або присвячені визначенню параметрів надійності гірничого обладнання за характером навантажень, що діють на нього в базовому або пропонованому режимах роботи, або пов'язані із ускладненням структури обладнання задля підвищення його надійності. Роботи із підбором раціональних гірничотехнічних умов експлуатації обладнання, які забезпечують максимальну його надійність, у дослідницькій літературі відсутні, що робить доцільним представлення очікуваних результатів від такого способу підвищення надійності гірничого обладнання.

Постановка завдання. Метою роботи є надання рекомендацій щодо умов експлуатації стрічкових конвеєрів вугільних шахт, які сприяють підвищенню ресурсу електричної та механічної частини їх приводу внаслідок зменшення амплітуд навантажень на елементи приводу конвеєра внаслідок зміни завантаженості його стрічки.

Для досягнення мети слід вирішити такі завдання: 1) розробити математичну модель формування амплітуд навантаження на елементи механічної та електричної частини приводу стрічкового конвеєра від коливань завантаженості стрічки; 2) визначити гірничотехнічні умови роботи конвеєрного транспорту горизонтальних гірничих виробок, за яких мінімізуються амплітуди навантаження на елементи приводу конвеєра від зміни завантаженості його стрічки.

Хід дослідження та отримані результати. Припущення, які були прийняті для розробки математичної моделі впливу куту установки конвеєра на момент опору на його приводі: жорсткість стрічки і/або довжина конвеєра **виключають** істотну залежність опору руху стрічки від її натягу; завантаженість стрічки від змінного вантажопотоку характеризується середнім погонним навантаженням на стрічку; швидкість стрічки в усталеному режимі роботи конвеєра є величиною постійною [4].

На величину амплітуд навантаження на привод конвеєра впливає зміна моменту опору від функціонування транспортної машини. Найбільше навантаження на механічну частину приводу в усталеному режимі роботи конвеєра **зумовлено** зміною маси вантажу на стрічці конвеєра від 0 до максимального значення при його завантаженні.

Момент опору на валу (валах) приводу конвеєра на холостому ході останнього

$$M_x = 0,5DkgL(2q_0 + q_p' + q_p'')\omega' \cos \beta, \quad (1)$$

де D – діаметр початкової окружності приводного барабану приводу конвеєра, м; k – коефіцієнт, що ураховує місцеві опори уздовж траси конвеєра; L – довжина конвеєра, м; v – швидкість стрічки, м/с; q_0 – погонна маса стрічки конвеєра, кг/м; q_p' , q_p'' – погонні маси обертових частин верхніх та нижніх роликів конвеєра, кг/м; ω' – коефіцієнт опору руху стрічки; β – кут транспортування.

Кут **транспортування** β вважається додатним, якщо транспортування здійснюється вгору, і від'ємним – якщо вниз.

При **частковому** і повному завантаженні стрічкового конвеєра вхідним вантажопотоком Q і $Q_{\max}$, відповідно, момент опору на валу (валах) приводу конвеєра визначиться

$$M' = 0,5DkgL[(q + 2q_0 + q_p' + q_p'')\omega' \cos \beta + q \sin \beta], \quad (2)$$

$$M = 0,5DkgL[(q_{\max} + 2q_0 + q_p' + q_p'')\omega' \cos \beta + q_{\max} \sin \beta], \quad (3)$$

де q , $q_{\max}$ – погонна маса вантажу на стрічці конвеєра при його неповній та повній завантаженості, відповідно, кг/м,

$$q = \frac{Q}{3,6v},$$

$$q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{3,6v}$$

v – швидкість стрічки, м/с.

Амплітуда навантаження на привод від завантаження конвеєра

$$A' = M' - M_x = 0,5DkgLq(\omega' \cos \beta + \sin \beta), \quad (4)$$

і максимальне її значення визначиться як

$$A = M - M_x = 0,5DkgLq_{\max}(\omega' \cos \beta + \sin \beta), \quad (5)$$

Зазначена амплітуда навантаження викликати́ме амплітуду електромагнітного моменту двигуну (двигунів) приводу:

$$A'_M = \frac{DkgL}{2u_p\eta_p} \left[\frac{(q + 2q_0 + q'_p + q''_p)\omega' \cos \beta + q \sin \beta}{\eta'_{\text{дв}}} - \frac{(2q_0 + q'_p + q''_p)\omega' \cos \beta}{\eta_{\text{дв.х}}} \right], \quad (6)$$

а при максимальній завантаженості стрічки

$$A_M = \frac{DkgL}{2u_p\eta_p} \left[\frac{(q_{\text{max}} + 2q_0 + q'_p + q''_p)\omega' \cos \beta + q_{\text{max}} \sin \beta}{\eta'_{\text{дв}}} - \frac{(2q_0 + q'_p + q''_p)\omega' \cos \beta}{\eta_{\text{дв.х}}} \right], \quad (7)$$

де u_p – передавальне число редуктора приводу конвеєра; η_p – коефіцієнт корисної дії редуктора; $\eta'_{\text{дв}}$, $\eta_{\text{дв}}$, $\eta_{\text{дв.х}}$ – коефіцієнт корисної дії двигуна конвеєра в режимі неповної, повної завантаженості стрічки і на його холостому ході, відповідно.

Таким чином, із розробленої математичної моделі, яка дозволяє оцінити вплив куту установки конвеєра на момент опору на його приводі, видно: вплив куту установки конвеєра (або куту транспортування) на амплітуди навантаження, що виникають на приводі конвеєра від завантаженості його стрічки, має нелінійний характер. Крім куту установки конвеєра, на величину амплітуди навантаження на приводі впливають маса вантажу на стрічці, яка встановилася в результаті завантаження конвеєра, розміри і маса конструктивних частин транспортної машини, а також опори руху стрічки під час функціонування конвеєра.

Для визначення гірничотехнічних умов роботи конвеєрного транспорту, за яких мінімізуються амплітуди навантаження на елементи приводу конвеєра, здійснено графічну інтерпретацію розробленої математичної моделі. На рисунку 1 наведено графіки залежності від куту транспортування моменту опору на приводі горизонтального стрічкового конвеєра 2ЛУ120В довжиною $L=700$ м із коефіцієнтом опору руху стрічки $\omega'=0,05$ (визначено в представницьких умовах [5]) на холостому ході ($q=0$) та за різної погонної маси вантажу на стрічці ($q>0$). Поле графіку обмежене кутами транспортування $\beta_{\text{min}}=-16^\circ$ і $\beta_{\text{max}}=18^\circ$, оскільки транспортування сипкого вантажу на звичайній стрічці можливе саме в цьому діапазоні.

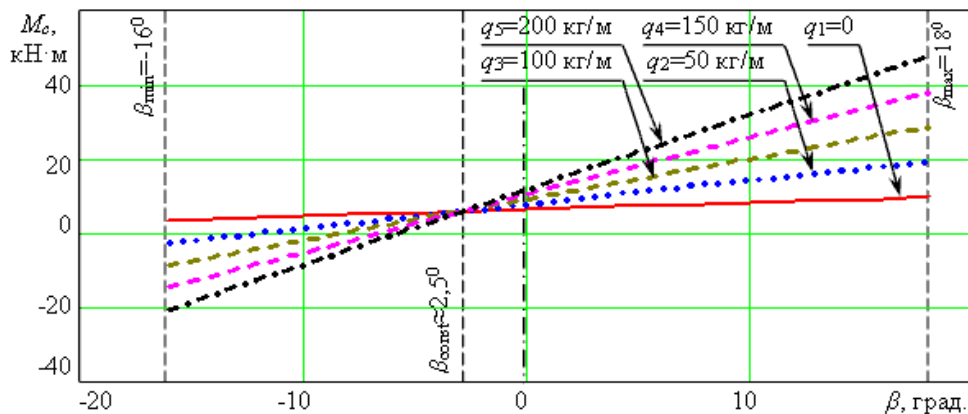


Рисунок 1 – Графіки залежності моменту опору на приводі горизонтального стрічкового конвеєра від куту транспортування

З рисунку 1 видно, що при збільшенні погонного навантаження зменшується значення моменту опору на приводі конвеєра за мінімального куту транспортування β_{min} і збільшується значення моменту опору на приводі конвеєра за максимального куту транспортування β_{max} . Однак у точці, яка відповідає куту транспортування β_{const} , який є близьким до нуля, момент опору на приводі конвеєра не залежить від завантаженості стрічки та залишається постійним за будь-якого режиму роботи конвеєра. Це означає, що режим роботи приводу конвеєра із мінімізацією амплітуд від зміни завантаженості стрічки можливий на горизонтальних і слабопохилих стрічкових конвеєрах, які транспортують вниз.

Отже, із рисунку 1 випливає: робота горизонтального і слабопохилого стрічкового конвеєра, що відповідає куту транспортування β_{const} , забезпечує сталість моменту опору на приводі конвеєра за будь-якого вхідного вантажопотоку на конвеєрі, відсутність амплітуд у механічній та електричній частині приводу від колювання завантаженості стрічки, що сприяє збільшенню ресурсу елементів електричної та механічної частини приводу конвеєра.

Згідно із (4) і (5), умовою для забезпечення сталості моменту опору на приводі стрічкового конвеєра за змінної завантаженості його стрічки виглядатиме таким чином:

$$\begin{aligned} \omega' \cos \beta_{\text{const}} &= -\sin \beta_{\text{const}}, \\ \beta_{\text{const}} &= -\arctg \omega'. \end{aligned} \quad (8)$$

При коефіцієнті опору руху стрічки $\omega'=0,05$ значення куту сталого моменту опору дорівнює $\beta_{\text{const}}=-2,8^\circ$, що забезпечує умовам функціонування штрекових (горизонтальних) стрічкових конвеєрів. Задля зменшення куту β_{const} слід максимально зменшувати опори руху стрічки. Так, при $\omega'=0,04$ $\beta_{\text{const}}=-2,3^\circ$, при $\omega'=0,035$ $\beta_{\text{const}}=-2,0^\circ$.

Даний кут транспортування ускладнює застосування шахтного локомотивного транспорту в якості допоміжного на горизонтальних виробках, оскільки в такому разі ухил колії на порядок перевищуватиме рекомендований максимальний кут локомотивної відкатки для шахт, що розробляють похилі, крутопохилі та круті пласти (50 % замість 5 %). Ця обставина втребує перегляду засобів допоміжного транспорту, а також забезпечення роздільної видачі вугілля і породи в разі здійснення основного і допоміжного транспорту однією виробкою, що характерно для дільничного транспорту.

В результаті технологія транспортування в таких виробках може бути скоригована двома способами: а) збереження в якості допоміжного транспорту локомотивного зі зменшенням вагової норми потягу або підвищенням тягової здатності локомотива відомими гірничій практиці методами; б) заміна допоміжного локомотивного транспорту на будь-який інший вид транспорту, використання якого можливе у відповідних гірничотехнічних умовах. В будь-якому випадку, актуальним залишається питання зменшення опорів руху стрічки до мінімально можливого їх значення.

Отже, коригування технології транспортування корисної копалини може розглядатися як один із способів підвищення надійності транспортних машин шахти в умовах інтенсивного ведення гірничих робіт. Гірничотехнічні умови функціонування конвеєрів із мінімальними амплітудами навантаження механічної та електричної частини їх приводу відповідають значенню куту транспортування вниз, модуль якого дорівнює арктангенсу розрахункового або визначеного в представницьких умовах коефіцієнту опору руху стрічки.

Висновки, напрями подальших досліджень. В процесі досліджень встановлено умови експлуатації стрічкових конвеєрів вугільних шахт, які сприяють підвищенню ресурсу електричної та механічної частини їх приводу, а саме:

- 1) розроблено математичну модель формування амплітуд навантаження на елементи механічної та електричної частини приводу стрічкового конвеєра від коливань завантаженості стрічки, яка урахує експлуатаційні параметри конвеєра і технічні параметри його приводу, в тому числі – кут установки конвеєра;
- 2) гірничотехнічні умови функціонування конвеєрів із мінімальними амплітудами навантаження механічної та електричної частини їх приводу відповідають експлуатації горизонтальних і слабопохилих конвеєрів зі значенням куту транспортування вниз, модуль якого дорівнює арктангенсу коефіцієнту опору руху стрічки.

Так, при коефіцієнті опору руху 0,05 кут установки конвеєра, при якому спостерігається мінімізація амплітуд навантажень на привод від коливань завантаженості стрічки, дорівнює $-2,8^{\circ}$.

Напрями подальших досліджень: вплив коливань завантаженості стрічки на ресурс електричних двигунів і механічної частини приводу конвеєра; розробка технологічних схем внутрішньошахтного транспорту із мінімальними амплітудами навантаження механічної та електричної частини приводу горизонтальних конвеєрів; перерозподіл моменту опору між вихідними валами приводу багатоприводного конвеєра.

Результати досліджень можуть бути використані для розробки раціональних схем підземного транспорту гірничих підприємств із інтенсивним видобутком корисних копалин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ромасевич Ю.О. Аналіз перехідних режимів руху стрічкового конвеєра [Текст] / Ю.О.Ромасевич // *Hebezeuge und Fördermittel*, №1 (57), 2018. – С. 66-75.
2. Тиханський М.П. Узгодження системи керування режимами роботи й системи діагностування технічного стану конвеєра [Текст] / М.П.Тиханський, Л.І.Єфіменко, А.М.Тиханська // *Гірничий вісник*, вип. 102, 2017. – С. 129-134.
3. Монастырский В.Ф. Определение срока службы роликов ленточных конвейеров для различных типов роликотопор [Текст] / В.Ф. Монастырский, Р.В. Кирия, А.Н. Смирнов // *Геотехнічна механіка*, вип. 115, 2014. – С. 147-155.
4. Проектування і конструювання транспортних машин і комплексів [Текст] / В.О.Будішевський, В.М.Маценко, В.І.Дворніков та ін. – Під заг. ред. В.О.Будішевського. – Донецьк, 2009. – 599 с.
5. Semenchenko A. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation [Текст] / A.Semenchenko, M.Stadnik, P.Belitsky etc. // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, т. 4, № 1 (82) (2016). – С. 42-51.

REFERENCES

1. Romasevch Yu.O. (2018). Analiz perexidnyx rezhymiv ruxu strichkovogo konvejera. *Hebezeuge und Fördermittel*, 1 (57), 66-75.
2. Tyhanskyi M.P, Yefimenko L.I. & Tyhanska A.M. (2017). Uzgonzhennia systemy keruvannia rezhymamy roboty j systemy diagnostuvannia texnichnoho stanu konvejera. *Girnychyi visnyk*, 102, 129-134.
3. Monastyrskii V.F., Kirija R.V. & Smirnov A.M. (2014). Opredelenije sroka slezhby rolikov lentochny'x konvejerov dlia razlichny'x tipov rolikootpor. *Geotexnichna mexanika*, 115, 147-155.
4. Budishevskiy V.O., Matsenko V.M., Dvornikov V.I. & et al. (2009). *Proektuvannia I konstruiuvannia transportny'x mashyn i kompleksiv*. Donetsk, NORD-Press.

5. Semenchenko, A.K., Stadnik, M.I., Belitsky, P.V., & et al. (2016). The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovy`x texnologij*, t. 4, 1 (82), 42-51.

P. BELYTSKYI, O.LIUBIMENKO, O.SHTEPA

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Reduction of load amplitudes on the drive of a mine horizontal belt conveyor by transportation route adjusting.

The article examines the nature of the dependence of the amplitudes that arise on the drive of a mine belt conveyor from changes in the belt load, from the angle of transportation, as well as technological parameters of transportation and design parameters of the drive and the mechanical part of the conveyor. These amplitudes have a significantly affect to the resource of the mechanical and electrical parts of the conveyor, in particular: the conveyor belt, reducer, electric motor, etc. A mathematical model of the load amplitude formation on the elements of the mechanical and electrical parts of the belt conveyor drive due to the fluctuation of the belt load has been developed. The nonlinear nature of the amplitudes' dependence that arise on the mine belt conveyor drive from the variable load of the belt and from the angle of transportation has been established. Graphically and analytically, the characteristic angle of installation of the belt conveyor is determined, at which the moment of resistance does not depend on the belt load and will remain constant under the existing fluctuations in the amount of the mass of the cargo on the conveyor belt. Mining technical conditions that correspond to the transportation of bulk cargo by a belt conveyor at the installation angle described above are recommended as rational from the point of view of minimizing the amplitudes of loads on the conveyor drive, which is expected to increase the conveyor's resource and its reliability in general. The functioning of conveyors with minimum load amplitudes by the mechanical and electrical part of their drive corresponds to the operating conditions of horizontal and slightly inclined conveyors with the value of the angle transportation of the cargo down. The modulus of this angle is equal to the arctangent of the tape motion resistance coefficient.

Key words: *moment of resistance on the conveyor drive, load amplitude on the conveyor drive, accumulated damage, characteristic angle of conveyor installation, transportation technology.*