

4. Ввод в эксплуатацию комбайна Wirtgen 2200SM на ОАО «Ковровское карьероуправление» / **М. Пихлер** и др. // Горная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 110 – 116.
5. **Швабенланд Е.Е.** О потенциале фрезерных комбайнов непрерывного действия при разработке месторождений открытым способом / **Е.Е. Швабенланд** // Рациональное освоение недр. – 2014. – № 1. – С. 54 – 60.
6. **Чебан А.Ю.** Селективная разработка Эльгинского угольного месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса / **А.Ю. Чебан** // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 4. – С. 247 – 254.
7. **Чебан А.Ю.** Классификация технологических схем применения карьерных комбайнов // Системы. Методы. Технологии. 2015. №2. С. 159–163.
8. Wirtgen surface mining for selective limestone mining in the North Caucasus // Russia. Zement-Kalk-Gips Int. 2014. vol. 67, no. 10, p. 18.
9. **Швабенланд Е.Е.** Применение послонно-порционной технологии добычи руды с использованием фрезерных комбайнов для рационального и комплексного освоения недр // Разведка и охрана недр. 2017. №2. С. 38–42.
10. **Drebenshtedt K., Pessler C.** Calculation methods for mining machines. Materials of the international conference «Forum of miners – 2006». – D: National mining University, 2006, pp. 26–32.
11. **Вусик О.О., Пижик А.М.** Аналіз і перспективи застосування кар'єрних комбайнів для розробки гірських порід при безвибуховій технології їх відпрацювання / **О.О. Вусик, А.М. Пижик, Н.О. Голівер** // Іноземна мова як засіб мобільності майбутніх фахівців: міжн. наук.-прак. конф. – Кривий Ріг, 2017 – С. 204-205.
12. **Вусик О.О.** Застосування технології пошарового фрезерування кар'єрними комбайнами при розробці крупноспадних залізородних покладів / **О.О. Вусик** // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: II міжн. наук.-техн. інтер.-конф. – Кривий Ріг, 2017 – С. 19

Рукопис подано до редакції 19.04.2018

УДК 622.647.2

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,
А.М. ТИХАНСЬКА, асистент, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА СТАВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНВЕЄРА ВІД ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ

Мета. Визначення навантаження на став автоматизованого конвеєра від швидкості транспортування шляхом врахування динаміки перехідних процесів і динамічних навантажень від дії крупних кусків вантажу, а також можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень; методи розроблені в механіці, теорії пружності; методи обробки випадкових процесів і математичної статистики; а також методи теорії автоматичного управління.

Наукова новизна. Одержано розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування. Розрахована величина імпульсного удару куском транспортованого матеріалу по жорсткій роликоопорі. Таким чином видно, що коефіцієнт динамічності також залежить від маси куска.

Практична значимість. Ефективність використання стрічкових конвеєрів пов'язана із зниженням металоємності конвеєрного ставу, що є основним елементом, що визначає загальну металоємність конвеєра. Металоємність знижується шляхом розрахунку навантаження на став автоматизованого конвеєра з врахуванням динаміки перехідних процесів і динамічних навантажень від дії крупних кусків вантажу, а також можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Використання автоматизованого регульованого приводу надало додаткові можливості для підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів шляхом зниження металоємності, оскільки гарантоване зниження динамічної дії приводу і крупних кусків вантажу на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність.

Результати. Визначили розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування. При регулюванні швидкості по вантажопотоку навантаження від потоку на елементи ставу зменшується, що дає змогу вибрати конструктивні елементи меншої металоємності

Ключові слова: стрічковий конвеєр, вантажопотік, навантаження опорних конструкцій, динамічне навантаження, коефіцієнт динамічності, автоматична система керування.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-173-178

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. До сучасних металоконструкцій лінійної частини конвеєра, а саме, конвеєрному ставу та роликкоопор пред'являється ряд вимог по міцності, амортизуючій здібності при динамічних навантаженнях, стійкості, мінімальній металоємності, довговічності. Аналіз розрахунків ряду підприємств і науково-дослідних організацій показав, що існуючі методи проектування конвеєрного ставу не повною мірою враховують дійсну картину його навантаження та можливості зниження навантаження за рахунок автоматичного керування режимами роботи конвеєрної установки, а саме, швидкістю транспортування вантажу.

Аналіз досліджень та публікацій. Питаннями оптимізації металоконструкцій ставу стрічкового конвеєра займався ряд вітчизняних вчених [1-5, 14]. Аналіз розрахунків ряду заводів виробників, проектних організацій та НДІ (УкрНДПроект ІГТМ АН України) показав, що науково-дослідні інститути працюють, в основному, над створенням нових типів конструкцій, а існуючі методи проектування підтримуючих конструкцій конвеєрної стрічки не повною мірою враховують дійсне його навантаження. В деяких методиках науково – дослідних інститутів додатково враховується, відповідно, частота власних коливань секції і внецентрове додаткове навантаження від потоку гірської маси [5-7]. У роботі [8, 9, 15] автор запропонував уточнений науково-обґрунтований метод розрахунку металоконструкцій стрічкового конвеєра з перевіркою полегшеного ставу на стійкість, що надає можливість більш раціонального його проектування.

Загальним недоліком розглянутих методів проектуванні є те, що при визначенні навантажень на став беруться статичні складові, не враховується динаміка перехідних процесів і динамічні навантаження від дії крупних кусків вантажу, не використовуються можливості зменшення навантажень на конструкції шляхом управління режимами транспортування, а саме швидкістю стрічки.

Постановка завдання. Відомо, що оцінка навантажень на елементи конвеєрного ставу при транспортуванні крупнокускового вантажу в основному, виконувалася за допомогою коефіцієнта динамічності для насипного вантажу і крупних кусків, які йдуть один за одним при постійній швидкості транспортування. Впровадження регульованого приводу із змінною швидкістю транспортування викликає необхідність додаткових досліджень, як в частині насипного вантажу, так і при проходженні окремих кусків.

З'являється необхідність враховувати вплив тягового зусилля на навантаження опорних конструкцій, як в сталому режимі, так і в момент пуску.

Навантаження на став від коливань, викликаних дією стрічки з вантажем, роликами і крупними кусками, в сталому режимі і в момент пуску, не враховувалися. Облік вказаних чинників дозволить точніше визначити навантаження, понизити запаси міцності елементів конструкцій, як для конвеєрів з постійною швидкістю транспортування, так і для гнучкого автоматизованого виробництва з регульованим приводом.

Викладення матеріалу та результати. Транспортування потоку крупнокускової гірської маси передбачає можливість різного розташування куска в потоці більш дрібних фракцій матеріалу: великі куски вантажу можуть слідувати один за одним через деякі інтервали, чергуючись з порціями насипного вантажу, куски можуть лежати на стрічці, охоплені більш дрібним вантажем або лежати на підсипці [5, 7, 10, 11]. При цьому найбільш важким для опорних конструкцій є перший випадок. При зустрічі куска вантажу з роликкооперами відбувається імпульсна і ударна взаємодія. Сутність імпульсної взаємодії визначена в [12] і полягає в зміні впливу куска на роликкоопору в момент входу на ролик. Навантаження із розподіленого стає зосередженим на місці зіткнення куска і ролика. Різницею деформацій і визначається динаміка взаємодії куска з роликом. Ударна взаємодія виникає через розбіжність векторів швидкості куска і стрічки при підході до роликів. Механізм цієї взаємодії досліджувався рядом авторів [11-13]. Для визначення ударного імпульсу при ударі зосередженого навантаження (куска) об роликкоопору можна скористатися відомою формулою

$$P_1 = m_{кз} V \sin(\theta_2 - \theta_1)(1+k), \quad (1)$$

де $m_{кз}$ - маса куска, кг; V – швидкість руху стрічки, м/с; θ_1 - кут нахилу дотичної до кривої прогину в точці набігання стрічки на ролик відносно осі X , град; θ_2 - кут між напрямком швидкості руху куска після удару о ролик і віссю X , град; k_1 - коефіцієнт відновлення при ударі о жорстку роликкоопору ($k_1 = 0,5$).

У літературі [9, 10] широко дано математичний опис крупнокускового потоку. При цьому використані методи теорії ймовірності та математичної статистики для визначення інтенсивності потоку i -ої фракції, розподілу базових кусків фракції за часом і по довжині конвеєра. Середня інтенсивність вантажопотоку i -ої фракції визначається за відомою формулою

$$\bar{n}_{it} = \delta_i \theta_\gamma \ell_{ki} m_\delta^{-1} V^{-1}, \quad (2)$$

де δ_i - дольова участь даної фракції в загальній масі; θ_γ - середня продуктивність вантажопотоку, m^3/c ; γ - об'ємна маса, kg/m^3 ; m_δ - маса базового куска даної фракції, kg ; ℓ_{ki} - ділянка кінцевої довжини між кусками, m ; V – швидкість транспортування, m/c .

У роботі [11] автор показує, що розподіл базових кусків по довжині або часу підкоряється експоненціальному закону, а формування послідовності викиду базових кусків по часу представляє

$$\Delta t_j = 2,3026 \lg(1 - \eta_j) \bar{n}^{-1}, \quad (3)$$

де η_j - закон розподілу $F(\eta_j)$ або число виду

$$\eta_j = j \cdot 10^{-2} \quad (j = 1, 2, \dots, 10^4).$$

Враховуючи, що $\ell_{ki} = V \cdot \Delta t$, запишемо

$$\ell_{ki} = 2,3026 \lg(1 - \eta_j) V \bar{n}^{-1}. \quad (4)$$

При розподілі кусків i -ої фракції порівняно з кроком роликкоопор, тобто $\ell_{ki} \approx \ell_p$, при якому куски однієї фракції одночасно стикаються з рядом роликкоопор, змінюємо швидкість транспортування гірської маси для одержання умови $\ell_{ki} \neq \ell_p$.

Куски, залишившись без підсіпки, збільшують динамічне навантаження на став конвеєра, з введенням регулювання швидкості по вантажопотоку, потік гірської маси ущільнюється, куски охоплюються більш дрібними фракціями. Відбувається перерозподіл кусків по стрічці. Відомо, що динамічний вплив великих фракцій, які перебувають у щільному потоці значно знижується. Отже, при регулюванні швидкості по вантажопотоку навантаження від потоку на елементи ставу зменшується. Крім того, від швидкості транспортування залежить коефіцієнт динамічності. Так, при зменшенні швидкості транспортування на 25% від номінальної при постійному вантажопотоці коефіцієнт динамічності зменшується в 1,47÷1,55 разів, при регулюванні швидкості на 50% від номінальної коефіцієнт динамічності зменшується в 2,1÷2,4 рази. При цьому коефіцієнт динамічності фракцій визначався як відношення сумарного впливу максимального куска даної фракції (статичне плюс імпульсно-ударне) до статичного впливу (табл.1, рис. 1) [12]

$$K_{ди} = 1 + P_{ди} / P_C. \quad (5)$$

У меншій мірі коефіцієнт динамічності залежить від розміру куска i -ої фракції. При збільшенні маси куска від 10 до 100 kg коефіцієнт динамічності збільшується на 25÷35% при швидкості транспортування 2,25 m/c , на 45÷60% при швидкості транспортування 4÷4,5 m/c (дані наведені для натягу конвеєрної стрічки 145,7 kH).

Таблиця 1
Розрахункові значення коефіцієнта динамічності для кусків різної маси при зміні швидкості транспортування

Маса максимального куска i -ої фракції	Швидкість транспортування, m/c			
	1,125	2,25	3,375	4,5
20	1,02	1,07	1,16	1,28
40	1,04	1,14	1,33	1,58
60	1,06	1,23	1,52	1,92
80	1,11	1,45	2,00	2,79
100	1,25	1,67	2,57	3,70

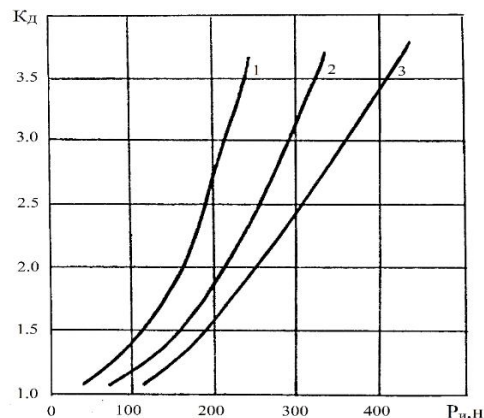


Рис. 1. Залежність коефіцієнта динамічності від величини імпульсного удару куском вантажу по роликкоопорі: 1 – при масі куска, яка дорівнює 60 kg ; 2 – $m=80kg$; 3 – $m=100kg$

Коефіцієнт динамічності отриманий при середньому натягу тягового органу 145,7 кН. Звідки випливає, що регулювання швидкості транспортування великих кусків гірничої маси без підсипки досить ефективно знижує динамічні навантаження на елементи ставу конвеєра. Так, при зміні швидкості транспортування на 25% (від номінальної до 75% V_H), величина імпульсного удару P_i куска по роликоопорі зменшується в 1,7-1,8 рази, незалежно від розміру куска, при зміні рівня швидкості на 50% (від номінальної до 75 % V_H) величина імпульсного удару зменшується в 4 рази. Зі збільшенням маси куска величина імпульсного удару зростає пропорційно збільшенню маси куска вантажу (табл. 2, рис. 2).

Таблиця 2

Величина імпульсного удару куском
транспортованого матеріалу по жорсткій роликоопорі

Швидкість транс- портування в % від	Маса куска, що транспортується, кг					Примітка
	10	20	30	40	50	
100	26,15	65,8	98,24	131,78	171,11	$V_H=4,5$ м/с
75	14,53	35,14	54,98	74,1	96,1	$V_H=3,375$ м/с
50	6,46	16,4	24,56	32,8	42,7	$V_H=2,25$ м/с
25	1,62	4,0	6,23	8,2	10,7	$V_H=1,125$ м/с

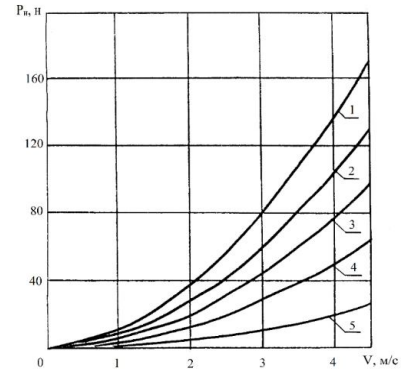


Рис. 2. Залежність величини імпульсного удару від швидкості транспортування при різній масі куска: 1 – $m=100$ кг; 2 – $m=80$ кг; 3 – $m=60$ кг; 4 – $m=40$ кг; 5 – $m=20$ кг

Таким чином видно, що коефіцієнт динамічності також залежить від маси куска (рис. 3, рис. 4). З рисунків видно, що при швидкості транспортування менше 2 м/с маса куска практично не впливає на коефіцієнт динамічності.

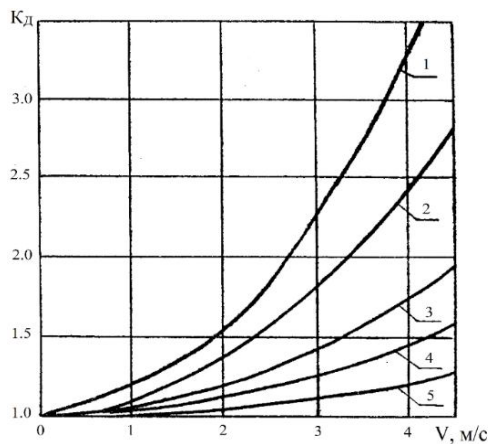


Рис. 3. Залежність коефіцієнта динамічності від маси куска при регулюванні швидкості транспортування гірської маси: 1 – $V=1$ м/с; 2 – $V=2,2$ м/с; 3 – $V=3,4$ м/с; 4 – $V=4,5$ м/с

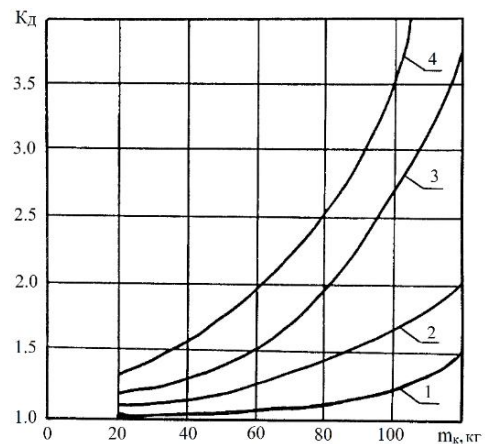


Рис. 4. Залежність коефіцієнта динамічності від швидкості транспортування при різній масі куска: 1 – $m=100$ кг; 2 – $m=80$ кг; 3 – $m=60$ кг; 4 – $m=40$ кг; 5 – $m=20$ кг

При цьому вважаємо, що ударний імпульс спрямований по нормалі до поверхні ролика в точці удару. Величина ж імпульсного удару зосередженого вантажу на роликоопорі визначається тривалістю дії ударного імпульсу. Тривалість удару в свою чергу залежить від довжини поверхні зіткнення куска з роликом і швидкості транспортування.

Таким чином, величина імпульсного удару визначиться виразом

$$P_H = m_{кз} V \sin(\theta_2 - \theta_1) (1+k) \tau^{-1}, \quad (6)$$

де τ - тривалість удару, с; $\tau = a/V$, a - довжина поверхні дотику великого куска з роликом під час удару, м. Тоді

$$P_H = m_{кз} V^2 \sin(\theta_2 - \theta_1) (1+k) a^{-1}. \quad (7)$$

Для визначення навантаження на підтримуючі конструкції має значення не тільки крупність кусків, але і їх кількість як на всій стрічці, так і в перетині роликоопори. Однак при підготовці гірської маси тим чи іншим способом гранулометричний склад її змінюється. В цьому випадку відносний вміст δ_{i6} i -ої фракції в гірській масі може бути визначено відомими способами.

Крім того, потік кусків характеризується інтервалом їх проходження ℓ_{ki} . Довжину інтервалів можна визначити з відомого виразу

$$\ell_{ki} = m_{kci}g / q\delta_i,$$

де m_{kci} – маса куска i -ої фракції, кг; q – середнє значення лінійної маси вантажопотоку, кг/м; δ_i – відносний вміст i -ої фракції у вихідній гірській масі.

У цьому інтервалі можуть перебувати куски будь-якої іншої фракції. Якщо інтервал проходження великих кусків i -ої фракції порівнюємо з кроком роликоопор, створюється ситуація, при якій куски i -ої фракції одночасно зіткаються з низкою роликоопор в секції, що викликає додаткові навантаження на став. У такому випадку навантаження на конструкцію ставу від одночасної взаємодії декількох кусків з роликооперами однієї секції ставу визначиться з виразу

$$P_{Hcm} = \sum_{i=1}^n P_{Hpo}, \quad (8)$$

де n – кількість роликоопор, що піддаються одночасному удару кусків з коефіцієнтом крупності k_{kp}^i .

Ці сумарні удари повторюватимуться через час, рівний

$$t = \ell_{ki} / V, \quad c, \quad \ell_{ki} \approx \ell_p.$$

Крім того, може виявитися, що в одному і тому ж перетині вантажопотоку розміщується декілька крупних кусків однієї або різних фракцій, що відбувається в разі несумірності інтервалу проходження куска i -ої фракції ℓ_{ki} з відстанню між роликооперами. Цей варіант вважається несприятливим для елементів ставу, оскільки величина імпульсного удару від кожного куска підсумовується, що може служити причиною аварійної ситуації.

Виходячи з умови однорідності матеріалу, що транспортується, ймовірність знаходження двох кусків в одному перетині визначається за відомою формулою:

$$P = 0,3025 k_{kp}^4, \quad (9)$$

де 0,3025 – коефіцієнт, залежний від розмірів вантажного бункера; k_{kp} – міра крупності великих кусків.

Проте, оскільки ця подія все ж має місце, розрахунки потрібно виконувати по ймовірно максимальному поєднанні в перетині кусків найбільшої фракції. В цьому випадку імпульсний удар по роликоопорі визначиться з виразу

$$P_{pn} = \sum_{i=1}^6 P_{ni}, \quad (10)$$

де v – кількість крупних кусків, які одночасно знаходяться в перетині роликоопори.

Якщо для спрощення прийняти, що в перетині поєднуються куски однієї фракції, то вираження прийме вигляд $P_{pn} = vP_n$.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На відміну від раніше проведених досліджень, в пропонованій роботі динамічні характеристики опорних конструкцій оцінюються спільно з процесами, що виникають в конвеєрній стрічці, з величиною і характером тягового зусилля, що розвивається приводом.

Використання автоматизованого регульованого приводу надає додаткові можливості для підвищення ефективності використання стрічкових конвеєрів шляхом зниження металоємності, оскільки гарантоване зниження динамічної дії приводу і крупних кусків вантажу на опорні конструкції дозволяє знизити їх металоємність.

Для дослідження динамічних процесів, що відбуваються в конструкціях конвеєра, використовують динамічні моделі. При розробці моделей динамічного навантаження ставу конвеєра проводилися дослідження залежності навантаження від типу роликоопор, швидкості транспор-

тування і маси крупних кусків, давалися рекомендації по вибору типу роликоопор і максимальної швидкості транспортування залежно від маси крупного куска.

Проте, питання, пов'язані із зниження навантажень на опорні конструкції і металоємності ставу за допомогою впровадження автоматизованого приводу, вимагають додаткового дослідження, оскільки вибір параметрів системи автоматичного управління конвеєром не передбачає розрахунку і введення гнучких зворотних зв'язків, що забезпечують обмеження динамічних навантажень на конструкції.

Список літератури

1. **Барышев А.И.** Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия / А. И. Барышев [и др.]. Под ред. В. А. Будишевского // Донецк: НордПресс, 2005. – 300 с.
2. **Биличенко Н.Л.** К вопросу совершенствования конвейерных ставов / Н.Л. Биличенко, В.Ф. Кучеренко, О.А. Бейгул // Подъемно-транспортные системы с применением конвейерного транспорта и АСУ: Материалы краткосрочного семинара, проведенного 29-30 ноября. – Л., 1997. – С. 59-62.
3. **Дмитриев В.Г.** Система автоматизированного расчета и оптимизации металлоконструкций става ленточного конвейера / В.Г. Дмитриев, П.Н. Егоров // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: 1990. – с. 52-63.
4. **Шахмейстер Л.Г.** Определение оптимальных параметров линейных секций ленточного конвейера с подвесными роликоопорами на накатном ставе / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев, С.Д. Мягков, Нгуен Хью Киеп // Шахтный и карьерный транспорт – М.: Недра, 1994. – С. 26-30.
5. **Смирнов В.К.** О сопротивлениях движению конвейерной ленты по роликам / В.К. Смирнов, Г.К. Демин. // В кн. Теория машин и рабочих процессов. – Киев: Наук. Думка, 1977. – С.43-50.
6. **Дмитриев В.Г.** Исследование динамических нагрузок в роликоопорах загрузочных и линейных секций ленточных конвейеров при транспортировании крупных кусков / В.Г. Дмитриев, В.И. Галкин // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1975. - №1. – С. 108-112.
7. **Волотковский В.С.** Испытания линейной части конвейерного поезда с ленточным грузонесущим полотном / В.С. Волотковский, Г.Д. Кармаев, А.В. Соболев // Шахтный и карьерный транспорт / Под. ред. А.О. Спиваковского. – М., 1994. – С. 239-244.
8. **Дмитриев В.Г.** Уравнение движения крупных кусков по ставу ленточного конвейера / В.Г. Дмитриев // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1977. – С. 44-49.
9. **Ефименко Л.И.** Оценка влияния отдельных нагрузок действующих на формирование металлоемкости става ленточного конвейера / Л.И. Ефименко, М.П. Тиханский // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. - 2013.- Вип.33. - С. 211-215.
10. **Лобов В.Й.** Автоматизовані системи керування конвеєрними установками / В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан // Монографія: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». - Кривий Ріг. – 2015. – 450с.
11. **Новиков Е.Е.** Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород / Е.Е. Новиков, В.К. Смирнов // Киев: Наукова думка, 1998. – 184 с.
12. **Монастырский В.Ф.,** Экспериментальные исследования грузопотока крупнокускового груза / В.Ф. Монастырский, В.Ю. Максютенко, В.И. Плахотник, В.И. Бесчастный // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1999. – Вып. 11. – С. 7-14.
13. **Коваль А.В.** Исследование динамических нагрузок на выбор конструктивных параметров роликоопор шахтных ленточных конвейеров: дис. канд. техн. наук / А.В. Коваль – М., 1995.
14. **Козлов Е.М.** Определение нагрузок на основные элементы тяжелых ленточных конвейеров ГОКов / Е.М. Козлов // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 2000. – С. 24-27.
15. **Єфіменко Л.І.** Моделювання навантаження на опорні конструкції важких стрічкових конвеєрів / Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2013.- Вип.34. - С. 34-37.

Рукопис подано до редакції 19.04.2018