

УДК: 622.647.2

*К.А. Зіборов, Г.К. Ванжа, канд.-ти техн. наук, Ю.В. Поволоцька
(Україна, Дніпропетровськ, ГВНЗ «Національний гірничий університет»)*

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІ ОПОРНОГО ВУЗЛА ВАНТАЖОНЕСУЧОЇ ЦЕНТРУЮЧОЇ РОЛИКООПОРИ СТАЦІОНАРНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Введення. Транспортувальні машини займають важливе місце в комплексній механізації й автоматизації виробничих процесів у гірничій промисловості.

За оцінками фахівців [1, 2, 3, 4], збільшення глибини гірничих виробок зумовить на ряді гірничих підприємств підвищення частки витрат на гірничий транспорт шахт, копалень і кар'єрів до 70% від загальних витрат на видобуток корисної копалини при значному зростанні трудомісткості робіт. Тому підвищення ефективності підземного і кар'єрного транспорту шляхом досягнення високої організації робіт, поліпшення транспортних схем, вдосконалення існуючих і створення нових високопродуктивних транспортних засобів, а також ослаблення преса енергетичних проблем вельми важливо для всієї вугільної галузі.

Серед різноманітності транспортувальних машин, вживаних на кар'єрах і шахтах, для переміщення сипких і однорідних штучних вантажів широко поширені стрічкові конвеєри. Унаслідок інтенсифікації перевезень значно ускладнилися проблеми забезпечення безпечної і безвідмовної роботи конвеєрів, скорочення витрат на їх експлуатацію і ремонт. У цих умовах більшою мірою виявляється необхідність глибокого розуміння фахівцями в області гірничого машинобудування особливостей роботи, характеру навантаження, причин виходу з ладу основних вузлів, опанування методів їх розрахунку.

Можливі межі найважливіших експлуатаційних показників транспортних засобів, які визначають конкурентоспроможність і економічну ефективність роботи систем конвеєрного транспорту, - маса вантажу, що перевозиться, і швидкість руху стрічки, - за інших рівних умов визначаються тяговою здатністю конвеєра.

Зважаючи на умови експлуатації, що активно змінюються, актуальним є вирішення проблем підвищення ресурсу окремих вузлів і продуктивності конвеєрів в цілому. В умовах економічної кризи і браку фінансування на підприємствах галузі часто при обслуговуванні вузлів конвеєра, що вийшли з ладу, встановлюють використані раніше на інших машинах стрічки, опори і інші вузли, що спричиняє за собою зміну характеристик роботи гірничої транспортної машини.

Опубліковані раніше роботи по конвеєрному транспорту присвячені дослідженню окремих його вузлів при обмеженому числі і діапазоні зміни варійованих параметрів, впливаючих чинників і взаємозв'язків між ними. Таке спрощення розрахункових схем при дослідженні процесів взаємодії системи «ролікоопора – конвеєрна стрічка – вантаж», а також недосконалість використовуваних методів досліджень [1, 2, 3, 4, 5] не дозволяла оцінювати навантаженість, характер коливань, стійкість досліджуваних транспортувальних систем.

Поява сучасних інформаційних технологій і швидкодіючих обчислювальних машин надає можливість приймати для досліджень вихідні передумови і розрахункові схеми з врахуванням конструктивних особливостей транспортних систем не лише для квазістатичних умов, а і виконувати дослідження власних і вимушених коливань всіх елементів системи «ролікоопора – конвеєрна стрічка – вантаж».

Тому застосування системного підходу до завдань вибору й обґрунтування параметрів при проектуванні ролікоопор на основі узагальнення існуючого досвіду експлуатації приведе до збільшення ресурсу основних елементів конвеєра і забезпечення стійкої роботи всієї машини.

Мета роботи. Визначення чинників, що впливають на експлуатаційні характеристики опорних вузлів несучих опор стрічкового конвеєра, дозволяють науково обґрунтовано підходити до вирішення різних завдань і розробляти рекомендації при їх проектуванні.

Матеріал і результати досліджень. При русі вантажу по конвеєрній стрічці відбуваються складні процеси взаємодії між усіма елементами транспортної системи. Роликоопору, що є складовою частиною складної динамічної системи, можна охарактеризувати властивими механічній системі геометричними, пружно-дисипативними й інерційними показниками. Істотне значення для динамічних систем даного типу мають також їх конструктивні особливості, перш за все характер з'єднань між окремими ланками і вузлами. Параметри роликоопори, конвеєрної стрічки і вантажу в складних умовах експлуатації пов'язані унаслідок їх постійної взаємодії і зміни в процесі експлуатації. Тому будь-яке вдосконалення конструкції, характеристик або навантаженості ланок конвеєра вимагає глибокого вивчення динамічних процесів елементів системи.

Характеристики вантажу, що транспортується, і умови роботи машини багато в чому визначають вибір параметрів конвеєра. У реальних умовах стрічкові конвеєри, використовувані в гірничій промисловості, характеризуються важкими умовами експлуатації, зважаючи на різноманітність фізико-механічних характеристик вантажу, що транспортується, і умови довкілля (для кар'єрних конвеєрів – це значні коливання меж температури, вологість і інше; для шахтних конвеєрів – це вибухонебезпека, велика кількість пилу, вологість та інше). Нерідко зустрічаються конвеєрні установки, протягом терміну експлуатації яких істотно змінюються величина вантажопотоку, довжина транспортування, вигляд вантажу, що транспортується, запиленість і вологість робочого середовища. Як правило, така мінливість може бути викликана: технологією ведення гірничих робіт, наприклад, збільшенням довжини конвеєра в процесі проходки виробки; планомірним уведенням в експлуатацію забоїв, їх поступовим видаленням (наближенням) до місця роботи конвеєра; транспортуванням збірного вантажопотоку від декількох забоїв, у тому числі прохідницьких, що приводить до зміни властивостей (насіпній щільності, шматковатості, абразивності та ін.) вантажу [6]. Таким чином, на етапі проектування необхідно враховувати варіативність умов роботи конвеєра.

Об'єктом транспортування на гірничих підприємствах найчастіше є насипні вантажі, які відрізняються широким діапазоном великості шматків (часток), насипною щільністю, коефіцієнтами внутрішнього і зовнішнього тертя, вологістю, абразивністю, клейкістю, злежуємостю, смерзаємостю, наявністю гострих виступів, ушкоджувальних елементів конвеєра, а також особливими властивостями (хімічною активністю, вибухонебезпекою, самозаймистістю і тому подібне) [2]. Залежності, наведені в роботі [7], показують, що при збільшенні ступені подрібнення часток насипного вантажу його щільність зростає, змінюючи характер і величину динамічних складових реакцій в роликоопорах, тим самим впливаючи на співісну поверхні осі під підшипник і посадочного місця в обичайці, якість і тип ущільнення, характер і стан мастила роликоопори.

Вхідними параметрами при виборі характеристик опор стрічкового конвеєра є: ширина стрічки, яку вибирають залежно від розрахункової продуктивності з урахуванням умови повної відсутності або мінімального просипу вантажу в процесі руху з прийнятною швидкістю; характеристики вантажу, що транспортується; розрахункова швидкість руху стрічки. До ознак, що визначають довговічність роликів роликоопор, можна віднести характер взаємодії обертального і нерухомого елементів підшипника і матеріал його кілець.

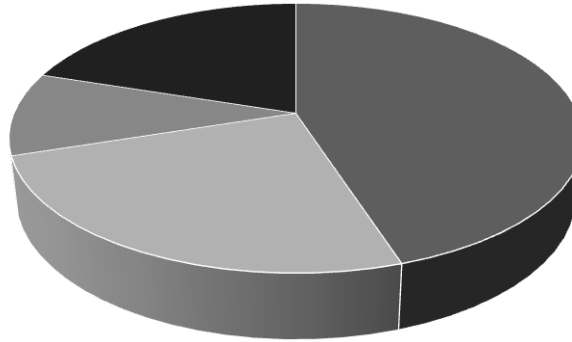
Недоліки використання стрічкових конвеєрів пов'язані перш за все з високою вартістю стрічки і роликів (до 60% від вартості всього конвеєра) [3]. При цьому конвеєрні ролики і стрічка мають найменший ресурс і вимагають найбільших витрат праці на заміну, ремонт і обслуговування. Знос стрічки залежить від швидкості конвеєра, кута желобчатості, міри натягнення, режиму роботи, накопичення пошкоджень при різних видах руйнувань: деформації каркаса, абразивного зношування поверхні, руйнування бортів, стиків з'єднань і торця стрічки об роликоопори.

При русі стрічки по роликах тягове зусилля витрачається на подолання сил опору. Одним з показників, що визначає ефективність роботи стрічкового конвеєра, є сумарна сила опору руху стрічки по ставу конвеєра, доданки якої визначаються емпіричними коефіцієнтами опорів. На значення коефіцієнта опору руху впливають розміри і конструкція роликоопор, крок їх установки, ширина стрічки, фізико-механічні властивості вантажу, швидкість руху і натягнення стрічки, вологість і запилення робочої зони конвеєра, якість монтажу його ставу [6]. Сили опору руху стрічкового конвеєра розділяють на розподілені по довжині конвеєра і зосереджені в окремих пунктах конвеєра.

З ряду експериментальних робіт [8] можна укласти, що окремі складові загального коефіцієнта опору ω розподіляються приблизно в такому співвідношенні (рис. 1):

Відзначимо, що вказані процентні співвідношення є наближеними і залежать також від довжини конвеєра, погонного навантаження, швидкості руху, температури довкілля, умов експлуатації установки, якості монтажу, типу вантажу, що транспортується, і іншого [9].

У роботі [8] було встановлено, що на сумарний коефіцієнт опору руху істотно впливає кут нахилу бічних роликів опори, зі збільшенням якого на 10% коефіцієнт опору від деформації вантажу зростає на 5-7%. Дослідження Яхонтова Ю.А. [6] присвячені визначенню залежності коефіцієнта опору руху від відстані між роликооперами. Також величина опору руху залежить від перекоосу роликів роликоопор, і визначається силою, що вигинає роликоопору, яка у свою чергу обумовлена дією потоку вантажу і вагою



- опір від деформування вантажу 40-50%
- опір обертання роликів 20-25%
- опір втискуванню роликів в стрічку 10-15%
- опір від вигинів стрічки 10-20%

Рис. 1. Діаграма розподілу складових загального коефіцієнта опору

стрічки [10]. Коефіцієнт опору руху стрічки з вантажем по роликкоопорах стрічкового конвеєра, обумовлений вигином стрічки, залежить від натягу і швидкості стрічки, відстані між роликкоопорами, радіуса ролика, вигинистої жорсткості стрічки, в'язкопружних властивостей стрічки і вантажу, і не залежить від погонного навантаження конвеєра [11].

При русі по роликкоопорах конвеєрна стрічка під дією бічних сил відхиляється від осі, що призводить до нестійкого руху і додаткових опорів. Вказані сили викликані наступними чинниками: відхилення ставу від осі конвеєра, неоднаковий опір бічних роликів, не осьовим завантаженням стрічки матеріалом у пунктах вантаження, перекосом стику стрічки та іншим. Відхилення стрічки призводить до просипі вантажу, заштибовки ставу, і як наслідок, відбувається інтенсивний знос конвеєрної стрічки, зменшуючи термін її служби. Одним з важливих доданків стійкості ходу стрічки є точність монтажу і установки ставу конвеєра.

Відзначимо, що окрім вказаних опорів, необхідно враховувати місцеві складові опори руху, залежні від натягнення стрічки, а саме: сила опору на привідних барабанах, обвідних барабанах, що відхиляються; сила опору в місці завантаження і розвантаження вантажу; сила опору щіткового і скребкового очистників; сила опору на криволінійних ділянках; сила опору в місцях спуску-підйому стрічки. Особливу увагу необхідно приділити питанням визначення складових коефіцієнта опору обертанню роликів, питома вага якого в загальному опорі по матеріалах різних досліджень може досягати 40% (див. рис. 1), а також зважаючи на недостатньо глибоке вивчення даного питання.

На прикладі горизонтально розташованого стрічкового конвеєра (рис. 2) розглянемо складний процес формування опорів. При терті кочення стрічки об підтримуючі ролики виникають опори, залежні від коефіцієнтів тертя кочення стрічки по роликах і в підшипниках роликів, діаметру роликів, умовного діаметру цапфи підшипника і іншого.

Як відомо, розподілені опори визначають як твори сил тяжіння вантажу q_r і рухомих поступально частин установок q_n на відповідні коефіцієнти опору руху ω . Напрям опорів протилежний до руху гілки конвеєра.

Уявивши конвеєр як недеформовану систему, рівняння його руху має вигляд [2]:

$$F = W_0 + B + W, \tag{1}$$

де F – повне тягове зусилля, що розвивається приводом, Н; W_0 – статичне тягове зусилля, яке необхідно прикласти до тягового органу для його переміщення з постійною швидкістю, Н; B – гальмівне зусилля, що виникає при замиканні гальм, Н; W – нерційний опір руху, Н.

У рішенні поставленої задачі за визначенням чинників, що впливають на експлуатаційні характеристики опорних вузлів, використовують методику тягового розрахунку, що охоплює значне число різних параметрів, шляхом обробки результатів експериментального дослідження промислових конвеєрних установок. Формула для розрахунку тягового зусилля W_0 на горизонтальному конвеєрі набирає наступного вигляду [12]:

$$W_0 = [K\theta \cdot (W' + \omega' \cdot q_n + 0,015 \cdot q_n) + \omega' \cdot q_r] \cdot L + \sum W_{\text{доп}}, \tag{2}$$

де L – довжина конвеєра, м; $K\theta$ – температурний коефіцієнт; q_n – погонна вага вантажу, кг/м; q_r – погонна

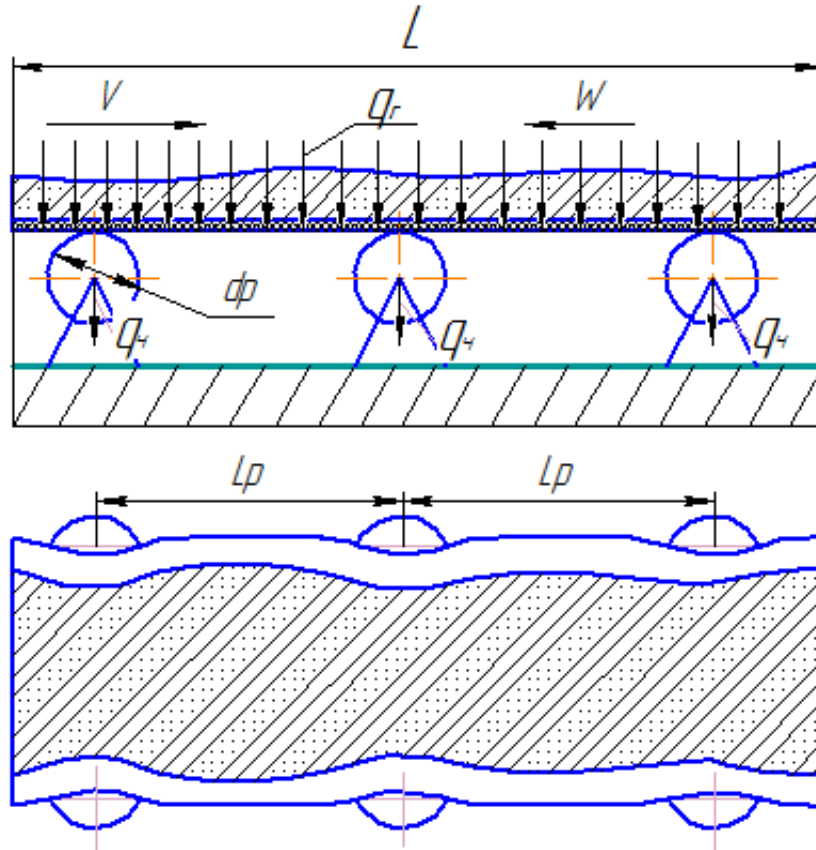


Рис. 2. Схема ділянки горизонтального стрічкового конвеєра

вага стрічки, кг/м; W' – величина питомого опору від обертання роликів і їх втискування в стрічку, кг/м; ω' – коефіцієнт опору, що враховує спільну деформацію вантажу і стрічки на роликотпорах; $\sum W_{\text{доп}}$ – сума додаткових опорів, кг.

Для зниження зносу і збільшення ресурсу підшипників роликотпор застосовують різні види мастила. Залежності для сили опору обертанню ролика $U_{\text{вр}}$ від його окружної швидкості обертання V при мірі наповнення підшипника змащувальним матеріалом 1, 2, 3 – відповідно на 45, 30, 10% і 4 – температури t доквілля приведені на мал. 3 [13].

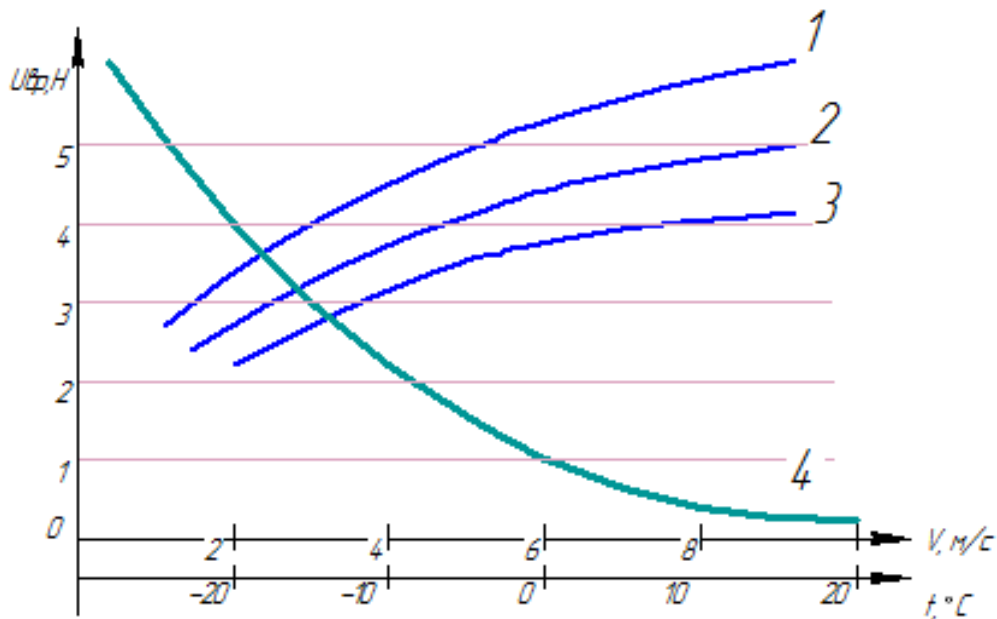


Рис. 3. Графік залежностей сили опору обертанню ролика від його окружної швидкості обертання і температури доквілля

Особливо тип змащувального матеріалу і міра наповнення ним підшипникового вузла істотно впливають на сумарний опір при великому діапазоні зміни температури довкілля, характерному при використанні конвеєрів на відкритих гірських роботах.

Вживання змащувального матеріалу в підшипникових вузлах роликів опор стрічкових конвеєрів при низьких температурах може привести до збільшення $U_{вр}$ на порядок, при цьому тягове зусилля зростає в 2-2,5 рази, що викликає труднощі при запуску конвеєра, оскільки надлишковий пусковий момент приводу може виявитися рівним або менше тягового зусилля [13].

Значення питомого опору W' при стандартних конструкціях ущільнень підшипників роликів опор залежить від конструктивних параметрів ролика, погонного навантаження на ролик, температури довкілля і відстані між роликоопорами. З експериментальних досліджень встановлено [12], що при русі стрічки по роликоопорі додаткові $\sum W_{доп}$ сили опору включають сили опору від деформації вантажу $U_{дефГ}$ і деформації стрічки $U_{дефЛ}$.

Участь авторів в дослідженні роботи стрічкових конвеєрів в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів (Проянський ГЗК) показала що, на експлуатованих конвеєрах є певний відсоток (до 15%) необертальних роликів, основними причинами виходу з буд яких є: заштибовка ставу конвеєра (викликана розсіпом і залипанням вантажу) а також перекіс стрічки, що викликає значні динамічні навантаження при інтенсивному транспортуванні вантажу, що несприятливо впливають на підшипникові вузли. Тому при вивченні процесу взаємодії контактуючих ланок опорних вузлів роликоопор необхідно враховувати їх конструктивні особливості, а також пружні й упругодисипативні характеристики. Особливо це важливо при вивченні процесу взаємодії рухомих тіл при високому рівні динамічної навантаженості.

Тому при проектуванні і виборі конструктивних параметрів опорних вузлів роликоопор стрічкового конвеєра необхідно врахувати змінні динамічні навантаження, що викликають окрім руйнувань, осьові зсуви в роликах лінійної опори. Такі зсуви викликають додаткове тертя і знос зв'язаних поверхонь ланок підшипникового вузла, перерозподіляючи зусилля між віссю ролика і внутрішнім кільцем підшипника [14]. Вибір підшипників більшої вантажопідйомності приводить до збільшення масогабаритних показників роликоопори. Внаслідок цього для забезпечення стійкого руху конвеєрної стрічки необхідно конструктивно впливати на величину вказаних зсувів, чому сприяє вживання регульованих роликоопор. Також важливо мінімізувати вплив змащувальних матеріалів на ефективність роботи вузла.

Питання обліку і визначення долі впливу всіх складових опору руху стрічки, як видно, вивчене недостатньо повно, що приводить у деяких випадках до невиправданого завищення встановленої потужності приводу і може викликати неточності у виборі робочих параметрів основних елементів конвеєра, що особливо гостро відчувається в період дефіциту енергетичних ресурсів. Враховуючи проведений аналіз, авторами запропонована схема опорного вузла роликоопори стрічкового конвеєра (рис.4) [15], що вводить додаткову місцеву рухливість, яка досягається введенням сферичного тіла (кулі), розміщеного між контактними поверхнями конічної форми, що є втулками, одна з яких встановлена в обичайку ролика, а інша розташована на стійці опори.

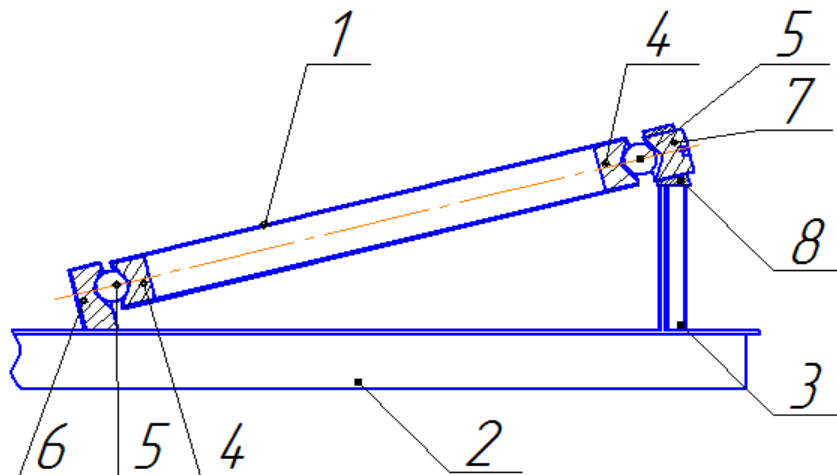


Рис. 4. Схема опорних вузлів роликоопори стрічкового конвеєра

Запропонована конструкція включає опорну балку 2, на якій через підстави 3 розміщені ролики, що складаються з труби 1, в яку встановлюються внутрішні втулки 4 з сформованими отворами конусної форми, в які вкладаються сферичні тіла 5, підпирані з одного боку нерухомою 6 і рухливою втулками 7 з іншого боку, осі, що переміщається уподовж, по нерухомому корпусу підстави 8 за рахунок різьбового з'єднання.

Роликоопора працює таким чином. Поступально рухаючись, конвеєрна стрічка за рахунок сил тертя передає обертання ролику через сферичні тіла, що виконують функцію підшипників. При цьому куля вільно переміщається між втулками, що дозволяє самоустановлюватися ролику і впливати на бічне переміщення стрічки відносно осі конвеєрного става, а, отже, підвищувати стійкість ходу стрічки. Відкрита конструкція опорного вузла перешкоджає заклинюванню, викликаному попаданням сміття у вузол або неспіввісністю, характерними для підшипників. Рухлива втулка переміщається уздовж осі ролика, регулює осьовий зазор при монтажі.

Сам вузол спроектований таким чином, що дозволяє збільшити ресурс роликів за рахунок заміни відомого підшипникового вузла на з'єднання, що містить мінімальну кількість елементів і що не вимагає змащувальних матеріалів. У запропонованому технічному рішенні в парі «сферичне тіло – конічна опора» виникають додаткові місцеві ступені свободи, що призводять до зниження дій несприятливих чинників, наприклад, порушення співвісності, що виникає в результаті робочого процесу. Також, можна передбачити що, зменшення числа рухливих елементів запропонованої конструкції веде до зниження сумарного опору руху, що у свою чергу зменшує енергоспоживання при реалізації необхідного тягового зусилля.

Висновки: 1. Аналіз рекомендацій по вибору типів і параметрів опорних вузлів стрічкових конвеєрів по критеріях максимальної довговічності, мінімальної вартості і мінімального енергоспоживання показують їх суперечність. 2. Аналіз діючих чинників і динамічних процесів, що відбуваються при транспортуванні вантажу показує, що одним зі способів підвищення ресурсу роликоопори і зниження енерговитрат при переміщенні вантажу є введення в опорний вузол місцевої рухливості замість з'єднання «вісь роликоопори - підшипник», яка знижує кількість рухливих елементів, зменшує трудомісткість виготовлення і монтажу, виключає вживання змащувальних матеріалів. 3. Для підвищення точності результатів розрахунку ефективності вживання нових технічних рішень потрібне уточнення методик оцінки їх терміну служби з врахуванням умов експлуатації і фізико - механічних властивостей вживаних матеріалів.

Список літератури

1. Біліченко М.Я. Транспорт на гірничих підприємствах / М.Я. Біліченко, Г.Г. Півняк, О.О. Ренгевич // Підручник для вузів – Д. : НГУ, 2005. – 3-є вид.. – С. 636.
2. Баришев А.І. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия / А.І. Баришев – Донецьк, 2005. – С. 689.
3. Ромакін Н.Є. Машины непрерывного транспорта / Н.Є. Ромакін – М. : Академия, 2008. – С. 432.
4. Ржевський В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ / В.В. Ржевський – М. : Недра, 1980. – 2-е вид. доп. и перероб.. – С. 631.
5. Ромакін Н.Е. Конструкция и расчет конвейеров / Н.Е. Ромакін //Справочник – Старый Оскол, 2011. – С. 504.
6. Беломестнов Ю.А. Практика рационального выбора конвейерных лент для предприятий угольной промышленности / Ю.А. Беломестнов, А.Я. Грудачев, Н.В. Хищенко // http://www.slavutich-media.ru/catalog/gornaya_tehnika/0/praktika_ratsionalnogo_vibora_konveyernih_lent.html. – Гірнична техніка, 2009.
7. В.Ф. Монастирський. Исследование движения крупных кусков груза по роликам ленточного конвейера / Монастирський В.Ф. , Кірія Р.В. , Смирнов А.Н. – Геотехнічна механіка. – №112. 2013.
8. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитрієв . – Машиностроение. – №112. – М, 1978. – С. 385.
9. Кірія Р.В. Математическая модель взаимодействия ленты и груза с роликоопорами конвейера с лентой глубокой желобчатости. USSN 2309-6004 / Р.В. Кірія, Н.Г. Ларионов // Геотехнічна механіка, 2014. – 119.
10. Єфименко Л.І. Определение нагрузок на конвейерный став от воздействия тягового усилия / Л.І. Єфименко, М.П. Тиханський – Вісник КТУ, 2010. – С. 26.
11. Кірія Р.В. Определение коэффициента сопротивления движению ленты по роликоопорам конвейера, обусловленного изгибом ленты / Р.В. Кірія, В.Ю. Максютенко, Т.Ф. Міщенко – Геотехнічна механіка, 2012. – 106. – С. 140-146.
12. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитрієв – Машиностроение : М, 1987. – С. 336.
13. Шахмейстер Л.Г. Расчет ленточных конвейеров для шахт и карьеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитрієв – МГІ: М, 1972. – С. 294.
14. Поволоцька Ю.В. К вопросу о надежности узлов роликовых опор ленточных конвейеров / Ю.В. Поволоцька // Молодь та інновації / ДВНЗ НГУ – Д, 2013. – С. 92.
15. А.с. 94713 Україна , МПК (2014.01) B65G 39/00. Роликоопора стрічкового конвеєра. / К.А. Зіборов (Україна), В.В. Проців (Україна), Г.К. Ванжа (Україна), Ю.В. Поволоцька (Україна); заявник і патентоволодар ДВНЗ "Національний гірничий університет". – № u 2014 06746; заявл. 16.06.14; опубл. 25.11.14, № 22. – 4 с.: 3 іл.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Коптовцем О.М.