

споживачів електроенергії шахт, так і на роботу субабонентів шахтних підстанцій (міські електромережі, міський комунальний електротранспорт, насосні станції водопостачання).

### Список літератури

1. Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б., Максимов М.М., Ялова А.М. «Методологія оцінки та формування енергоефективних режимів споживання електроенергії на залізрудних підприємствах». Вісник Криворізького національного університету, вип. 42, 2016. – С.146-150
2. Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б. До проблеми реновації систем енергоспоживання залізрудних підприємств. Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика, вип. 1/2018. – С. 20-22.
3. Філіпп Ю.Б., Максимов М.М., Коваль О.В. Режими енергоспоживання субабонентів на підстанціях ПАТ «Кривбасзалізрудком». Вісник Криворізького національного університету, вип. 38, 2014. – С.74-77.
4. Сінолиций А.П., Момот В.Ю., Філіпп Ю.Б., Максимов М.М. Режими енергоспоживання на підстанції Ленінська-2 в умовах шахти ім. Леніна ВАТ «Кривбасзалізрудком». Вісник Криворізького технічного університету, вип. 23, 2009. – С.137-140.
5. O. Sinchuk, Yu. Filipp, M. Maksimov, R. Zaytsev. The effects of adjustable electric drives of mine hoisting equipment on the electricity quality in the power supply circuits. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Випуск 1/2017 (37). – С. 49-55.
6. Філіпп Ю.Б. Автоматизований електропривод гірничо-металургійного виробництва: Підручник / Під. ред. О.М.Сінчука. – Кривий Ріг, 2018. – 236 с.
7. Электропривод шахтных стационарных установок. Современное состояние и перспективы. [Электронный ресурс] / Л.Х. Дацковский, Роговой В.И. // Электромашинобуд. та електрообладн. 2006, Вип.66, С.94-102.
8. Литвак В.В., Маркман Г.З., Харлов Н.Н. Энергосбережение и качество электрической энергии. Томск, 2005. – 157 с.
9. Билоус О.А., Сагизов А.Б. Математическое моделирование влияния работы непосредственного преобразователя частоты на сеть электроснабжения. /Вестник ПНИПУ, Электротехника, информационные технологии, системы управления, Пермь. 2013, №8. С.106-113.
10. Дацковский Л.Х., Роговой В.И., Кузнецов И.С., Жидков А.А., Воликов А.А. Электропривод современных шахтных подъемных машин. Известия ТулГУ. Технические науки, 2010. Вып.3, ч.2. С.157-165.
11. Комбинированное управление с задающей моделью позиционным электроприводом шахтной подъемной установки / А.В. Чермалых, А.В. Данилин, А.В. Босак, А.О. Петрученко // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика : наукове видання. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 1/2016 (4) – С. 29-31.
12. Пустоветов М.Ю. Расчет параметров и компьютерное моделирование синусных фильтров в частотно-регулируемом электроприводе. /Вестник Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону. 2012. С.56-64.
13. Сінчук О.М., Філіпп Ю.Б., Сінчук І.О., Максимов М.М. Дослідження енергоефективності роботи стаціонарних установок залізрудних шахт. Зб. тез допов. «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві». – Кіровоград, 2015. – С.14-16.
14. Фокин А.В. Технические аспекты применения статического тиристорного компенсатора для электропривода шахтной подъемной машины // Известия ТулГУ. – 2011. – Вып.6. С.273-281.
15. Зюзев А.М., Степанюк Д.П., Бубнов М.В. Применение ФКУ для улучшения электромагнитной совместимости с сетью устройств плавного пуска асинхронных двигателей / Электроэнергетика и электромагнитная совместимость электроприводов переменного тока. ЭППТ, Екатеринбург. 2015. С.83-88.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018

УДК 621.914.02

С.В. АРТЕМОВ, директор, Г.С. КОНОНОВ, заст. директора

ТОВ «ФЕРУМ-СТРОЙ-СЕРВІС»

С.С. ДУБРОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., О.В. КАЧУР, аспірант

Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ РОЛИКІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

В роботі наведено результати досліджень направлених на пошук рішень по підвищенню надійності деталей конвеєрів. Наведено аналіз технологічних та експлуатаційних недоліків існуючих конвеєрних роликів. Визначено необхідність підвищення надійності і ресурсу роботи роликів шляхом створення досконалішої і технологічнішої конструкції. Що дозволить підвищити надійність стрічкових конвеєрів в цілому. В даній роботі запропоновано зміни в конструкції ущільнення, а саме використання комбінованого ущільнення, що б забезпечило потрібний рівень герметичності.

**Мета.** Є визначення основних причин відмов роликоопор стрічкових конвеєрів які призводять до зупинок та передчасного руйнування деталей опор. Розробка пропозицій по підвищенню надійності та терміну безвідмовної експлуатації опор роликів стрічкових конвеєрів.

**Методи.** Використано методи комп'ютерного моделювання, розрахунковий модуль FloSimulation, процесу руху повітря в лабиринтовому ущільненні з метою визначення можливих течій повітря в проміжках лабиринтових ущільнень підшипникового вузла.

**Наукова новизна.** Наведено результати моделювання які доводять, що в каналах лабиринтового ущільнення присутній рух повітря внаслідок обертання другої частини ущільнення, яке в даному випадку працює як робоче колесо відцентрового насоса, та в наслідок нагрівання корпусу при взаємодії із стрічкою в процесі роботи, що спричиняє підвищення тиску в середині корпусу та збільшує перепад тиску в порівнянні із зовнішнім.

**Практична значимість.** Наведено практичні рекомендації для запобігання проникненню абразивних частинок під час зупинок конвеєру та доведено необхідність використання комбінованих ущільнень.

**Результати.** Визначено основні причини проникнення абразивних часток крізь лабиринтне ущільнення. Запропоновано при визначенні ресурсних можливостей ролику також враховувати кількість зупинок в процесі експлуатації. На основі отриманих результатів спрогнозовано термін служби лабиринтового ущільнення.

Результати можуть бути використанні гірничо-металургійній і інших галузях промисловості.

**Ключові слова:** ролики, підшипник, ущільнення, лабиринт, конвеєр, моделювання, корпус.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-47-26-32

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Стрічковий конвеєр один з найбільш високопродуктивних транспортних засобів. Сфера застосування його дуже велика, це і гірничорудна промисловість, яка представлена як великими гірничозбагачувальними комбінатами, шахтами, кар'єрами, так і малими підприємствами, що спеціалізуються на добуванні корисних копалин. Сукупна довжина стрічкових конвеєрів на підприємстві може досягати від сотень метрів до декількох сотень кілометрів [1-3].

Аналізуючи надійність вузлів стрічкових конвеєрів на різних підприємствах з'ясувалося, що мають найменший ресурс, при цьому вимагають найбільших трудових і матеріальних витрат такі вузли конвеєра, як конвеєрні ролики і конвеєрна стрічка. Згідно із статистичними даними на долю роликів конвеєрів доводиться до 40% усіх витрат на ремонт і обслуговування і до 30% від вартості усього конвеєра. Ресурс конвеєрних роликів на гірничорудних підприємствах у вузлах завантаження складає від 0,5 до 1 року, по ставу конвеєра від 0,7 до 2,5 років, складаючи в середньому 1,7 року [3,4]. Розрахунковий термін служби середнього опорного ролика, як найбільш навантаженого в середньому складає від 25 до 35 тис. годин, що перевищує фактичний термін служби у декілька разів. В середньому за увесь термін служби кожен ролик в конвеєрі міняють від 3 до 5 разів, тобто потреба в роликах існує постійно і у міру збільшення довжини конвеєрів вона зростає [3].

Таким чином, опорні ролики є одними з масових складових стрічкового конвеєра. Ролики є однією з найважливіших складових, що визначають працездатність і надійність стрічкового конвеєра.

В Україні потреба в роликах складає за середніми статистичними даними близько 250000 штук в рік, і ця потреба росте з введенням в експлуатацію нових підприємств [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Загальним питанням теорії і практики виготовлення і складання опорних роликів конвеєрів і їх конструктивному виконанню присвячена велика кількість публікацій, патентів і наукових праць. Зокрема це роботи Співаковського А.О., Александрова М.П., Пертена Ю.А., Зенкова Л., Колобова Л.Н. [5, 6]. У згаданих роботах відзначається, що багато в чому надійна експлуатація роликоопор і роликів конвеєра залежить від декількох важливих чинників, це характеристики вантажу, що транспортується, наявності ударних навантажень, особливо це помітно у вузлах завантаження, від якості виготовлення самих роликів і різних технологічних чинників [7].

Відомі роботи Б.И. Когана та ін. [8,9], де викладені питання підвищення технологічності і надійності різних деталей і запропонована методологія конструкторсько-технологічного забезпечення якості, яка дозволяє прогнозувати відмови, оцінювати показники якості машин. Розглянутий взаємозв'язок вибору раціональних заготовок, технології і якості деталей. Дані рекомендації по виготовленню корпусів роликів.

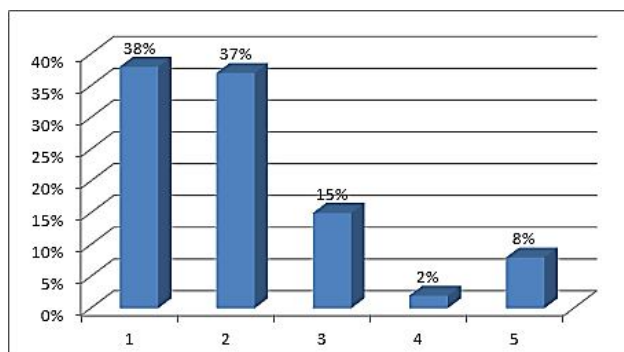
**Постановка задачі.** Багато великих підприємств займається виготовленням стрічкових конвеєрів і їх вузлів, часто пропонують свої конструкторські рішення вузлів стрічкових конвеєрів, у тому числі і роликоопор [10,11]. Усі ці конструкторські рішення об'єднує одне, це влас-

ний оригінальний підшипниковий вузол, спеціально розраховане лабіринтове або комбіноване ущільнення і різні варіанти виконання маточини ролика [11].

Проте наявні статистичні данні свідчать про значний відсоток відмов саме роlikоопор стрічкових конвеєрів які призводять до зупинок а іноді і до виникнення надзвичайних ситуацій. Тому доцільним є продовження досліджень направлених на пошук рішень по підвищенню надійності деталей конвеєрів. Провівши аналіз конструкцій існуючих конвеєрних роликів, їх технологічних та експлуатаційних недоліків визначили необхідність підвищення надійності і ресурсу роботи роликів шляхом створення досконалішої і технологічнішої конструкції.

Викладення матеріалу та результати. Статистичні данні за результатами експлуатації стрічкових конвеєрів працюючих в тяжких умовах і запиленому середовищу показують, що однією з причин аварійних зупинок, які відбуваються на конвеєрах, є вихід з ладу роликів конвеєра. За наявними даними, в шахтах щорічно відбувається 9-11 займань, з них з експлуатацією стрічкових конвеєрів пов'язані до 5 великих пожеж тих, що привели до великих матеріальних витрат і навіть до людських жертв. Наприклад, з 86 аварій, за останні 5 років у вугільній промисловості, 82 сталося в шахтах, 42% з них були підземними пожежами. Статистичні данні свідчать, що майже 30% з них пов'язано із займанням конвеєрної стрічки. Причому пожежі виникають, як правило, на приводних станціях (64%), натяжних станціях (10,8%) і лінійній частині конвеєра (25,2%). Головною причиною займання стрічки на лінійній частині конвеєра стають руйнування підшипника ролика, його подальше заклинювання, надмірне тертя ролика об стрічку і як наслідок, нагрів і займання [11]. Вихід з ладу ролика неминуче впливає на роботу усього конвеєра. Зростаючий опір обертанню стрічки призводить до підвищеного енергоспоживання, тертя ролика, що заклинив, об стрічку і як наслідок нагрівання і можливе займання, чи пошкодження конвеєрної стрічки.

Головними причинами виходу з ладу роликів (рис. 1) є заклинювання підшипникових вузлів роликів, внаслідок їх засмічення пилоподібними частками, недостатності мастила в назначений період експлуатації [11,12].



**Рис. 1.** Статистичний розподіл відмов: 1 – засмічення підшипників та їх заклинювання; 2 – відсутнє або недостатнє змащування підшипників; 3 – послаблення посадки підшипників; 4 – витирання корпусу по колу при перевантаженнях; 5 – інші фактори при експлуатації

Також, однією з причин заклинювання підшипника є дія динамічних навантажень, що призводять до надмірного перекоосу внутрішнього і зовнішнього кільця один відносно одного і затискання елементів кочення,

постійні цикли затискання, можуть привести до руйнування підшипника.

У роботі [13] розглядається надійність роlikоопор в контексті підвищення живучості їх підшипникових вузлів. Опираючись на отриману інформацію, можна встановити основні і постійно діючі чинники, що визначають ступінь пилопроникнення ущільнювачів роликів. Досить суттєвий вплив спричиняє порушення герметичності порожнини ролика, особливо враховуючи такзване «дихання» внутрішнього об'єму ролика внаслідок перепаду температури, а також радіальна і осьова гра в підшипниках та неточності виготовлення деталей ущільнень.

Запропоновані фахівцями підприємства «Ферум-строй-сервіс» конструктивні вдосконалення роlikоопор є результатом досвіду з експлуатації та виготовлення об'єднаних загальним принципом - виключення конструктивним шляхом відносного перекоосу зовнішнього кільця підшипника, підвищення герметичності внутрішньої порожнини ролика та зниження собівартості продукції при сталих показниках якості.

Особлива увага приділялась забезпеченню герметичності опори. В запропонованій конструкції було доопрацьовано технологію з'єднання корпусу ролика та корпусу підшипника. Зазвичай для з'єднання використовували посадку з натягом та зварювання. При цьому виникали значні проблеми із забезпечення герметичності з'єднання. Для покращення посадки поверхні потребували додаткової механічної обробки, що значно підвищувало вартість виготовлення, а використання герметизуючих матеріалів було неможливим із застосуванням зварювання. Тому

групою фахівців підприємства «Форум-строй-сервіс» було запропоновано методику, яка вирішила дану проблему. А саме посадочне місце корпусу ролика перед з'єднанням покривалося герметизуючим шаром ґрунту після чого проводилось запресування корпусу підшипника та фіксувалось закручуванням чи продавлюванням корпусу ролика. Що дозволило відмовитись від зварювання та забезпечило потрібний рівень герметичності по даному з'єднанні.

Також проблемним в забезпеченні герметичності є лабіринтове ущільнення. Проведений літературний аналіз з метою визначення методики розрахунку щільності лабіринтових ущільнень показав, що існуючі методики розрахунку призначені для визначення витоків газу за умови різниці тисків перед і за ущільненням. У разі підшипникового вузла ролика конвеєра така різниця тисків не значна, що робить неможливим застосування згаданих методик.

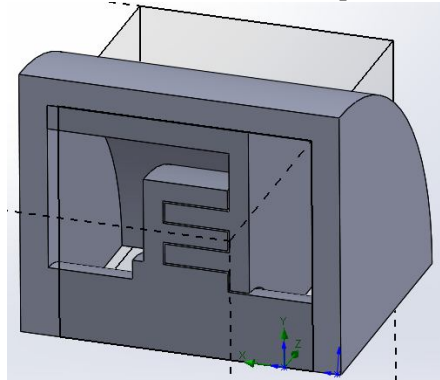


Рис. 2. Модель ущільнення

З метою визначення можливих течій повітря в проміжках лабіринтових ущільнень підшипникового вузла було проведено комп'ютерне моделювання процесу. Розрахункова модель є збіркою з двох деталей - нерухомої осі ролика з половиною горизонтального лабіринтового ущільнення і корпусу ролика, що обертається, з другою половиною ущільнення.

Завдання вирішувалося за допомогою розрахункового модуля FloSimulation. Модель вузла (рис.2) побудована з урахуванням особливостей цього розрахункового модуля.

Поточне середовище: повітря  
Статичний тиск: 101325.00 Pa  
Температура: 293.20 K

Тип підзадачі: завдання з рухливим тілом, що обертається.

Щільність сітки: 3 рівень з автоматичною обробкою вузьких каналів.

В результаті розрахунку було отримано діаграми швидкостей потоку та лінії протікання повітря в лабіринтовому ущільненні і навколо нього (рис. 3-6).

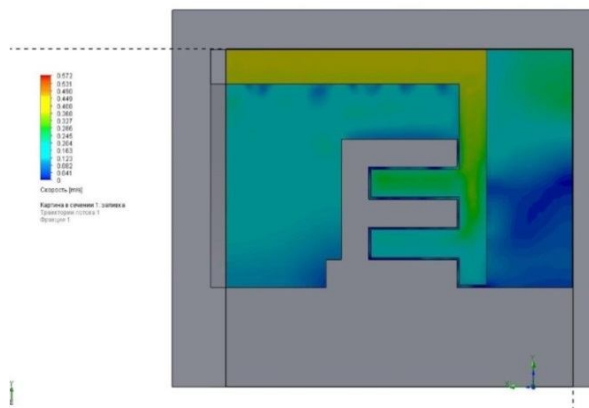


Рис. 3. Швидкість потоку біля лабіринтового ущільнення

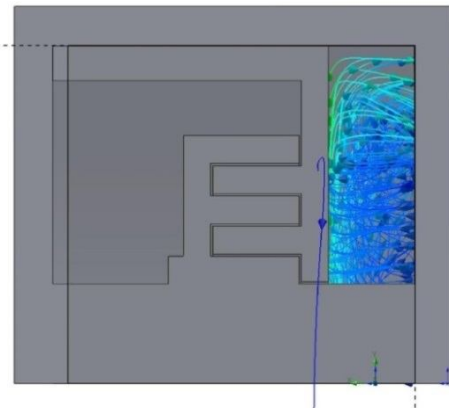


Рис. 4. Лінії потоку повітря із зовнішнього боку ролика

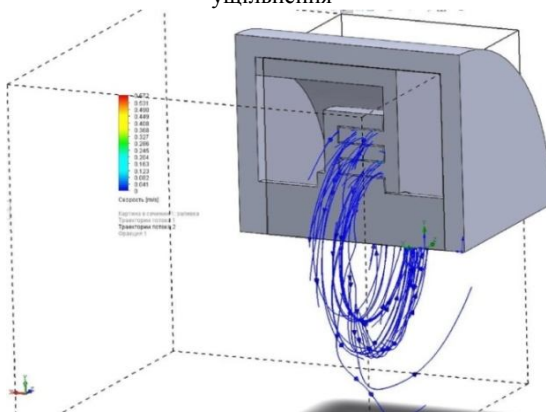


Рис. 5. Лінії потоку всередині лабіринтового ущільнення

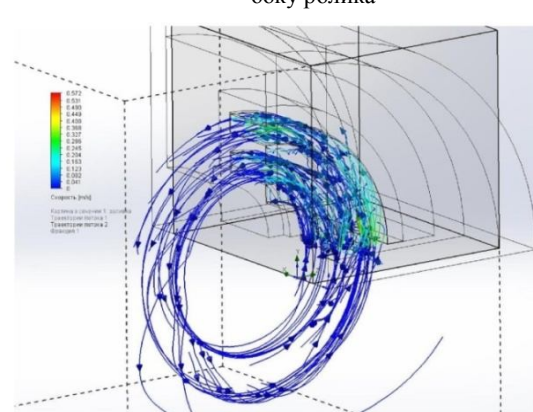


Рис. 6. Лінії потоку в середині лабіринтового ущільнення

Додатково було проведено моделювання руху потоку часток в межах лабіринтового ущільнення в процесі обертання ролика. В якості часток використовувалися частки діаметром 0,1 мм, матеріал цемент.

Результати моделювання показали, що в каналах лабіринтового ущільнення присутній рух повітря внаслідок обертання другої частини ущільнення, яке в даному випадку працює як робоче колесо відцентрового насоса. Незважаючи на відсутність лопаток, обертання частини ущільнення підхоплює і відкидає повітря в радіальному напрямі. Особливо добре це видно із зовнішнього боку ущільнення. Внаслідок цього біля валу і вхідної щілини ущільнення спостерігається зниження тиску (розрідження).

У середині ролика також відбувається подібний рух, але з меншою інтенсивністю. Причому в районі щілини ущільнення спостерігається збільшення тиску.

Максимальна швидкість потоку повітря із зовнішнього боку ролика складає 0,25 м/с, навколо вхідної щілини ущільнення - 0,05 м/с, в каналах лабіринтового ущільнення - 0,08 м/с.

Було встановлено, що у вхідну щілину лабіринтового ущільнення потрапляє 5 часток із 200 (рис.7).

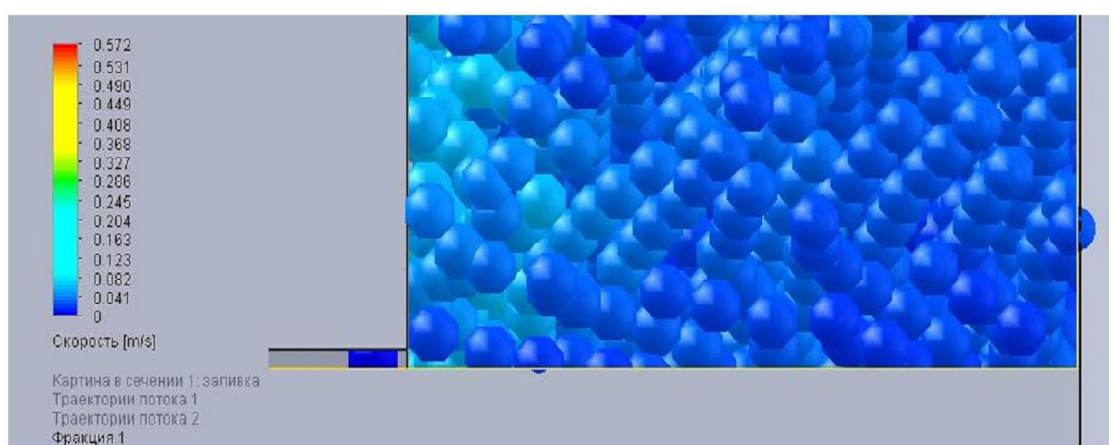


Рис. 7. Попадання часток в щілину лабіринтового ущільнення

На основі отриманих результатів спрогнозуємо термін служби лабіринтового ущільнення. Приблизний об'єм усіх щілин лабіринтового ущільнення складає 132 мм<sup>3</sup>. Якщо припустити, що ущільнення вийде з ладу за умови, що усі щілини заповняться пилом, то для цього знадобиться 132287 порошинок, а в атмосфері біля ролика таких порошинок повинно бути 5291502 або, враховуючи розмір і щільність часток, 37,7 гр. При ГДК по пилу 4 міліграми/м<sup>3</sup> біля ролика повинні пройти 9432 м<sup>3</sup> повітря.

Якщо врахувати, що повітря підходить до ролика з торця із швидкістю 0,2 м/с (згідно з результатами моделювання), то ущільнення повністю заб'ється частками через 47360 годин = 19173 дні = 5,4 року безперервної роботи.

Визначений строк служби приблизно співпадає з реальними даними, що говорить про вірну гіпотезу, покладену в основу зроблених висновків.

За результатами проведеного дослідження було висунуто припущення, що в каналах лабіринтового ущільнення присутній рух повітря. Під час розгону та сталого режиму роботи ролика, його рухомі частини працюють як колесо відцентрового насоса та відштовхують повітря у радіальному напрямі. У середині ролика тиск повітря дещо знижується завдяки тому, що частина повітря відкидається назовні. Частинки пилу не можуть потрапити усередину ролика, оскільки немає потоків повітря, що йдуть всередину ролика. Погіршує стан роботи ущільнень також зміна температури в процесі роботи. При роботі ролик нагрівається, що спричиняє підвищення тиску в середині корпусу, при цьому також деяка кількість повітря витісняється через ущільнення назовні. Під час зупинки конвеєру ролика охолоджуються, що призводить до зниження тиску в середині корпусу, також спричинене дією відцентрової сили відкидання повітря також припиняється, що спричиняє затягування потоків повітря через ущільнення у середину ролика та потрапляння сторонніх частинок пилу.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Забруднення багатоступінчастого ущільнення відбувається не під час роботи, а під час його зупинки. Тому при визначенні ресурсних можливостей ролику потрібно також враховувати кількість зупинок в процесі експлуатації. А для запобігання проникнення абразивних частинок під час зупинок необхідно передбачити так звані стояночні ущільнення, які б забезпечували герметизацію опори після зупинки та не заважали вільному обертанню при роботі ролика [14].

Проаналізувавши наведену інформацію, доцільним є використання крім лабіринтового ущільнення додаткового роторного контактного ущільнення, в конструкції якого використовується ефект відцентрової очистки від пилоподібних частинок. Також конструкція роторного ущільнення дозволяє під час зупинки конвеєра перешкоджати проникненню пилоподібних частинок з навколишнього середовища.

Так фахівцями підприємства «ферум-строй-сервіс» було запропоновано в комбінації із лабіринтовим ущільненням додатково використовувати контактне ущільнення із войлоку просоченого мастилом.

Проте, висунута гіпотеза, отримані результати та запропоновані технологічні рішення потребують уточнення і доповнення експериментальними дослідженнями і промисловими випробуваннями. Дослідження проводяться фахівцями від підприємства.

#### *Список літератури*

1. **Шешко Е. Е.** Горнотранспортные машины и оборудование для открытых горных работ: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Моск. горн. ун-та, 2006. – 260 с.
2. **Кузнецов Б. А.** Транспорт на горных предприятиях: учебник / Б. А. Кузнецов. – М.: Недра, 1976. – 552 с.
3. **Стамов А.И.** Конвейерные ролики улучшенной конструкции // Журнал «Горная промышленность». – 2001. - №3. - С. 47-49.
4. **Шоджаатолхосейни С.А.** Обоснование рациональных параметров роlikоопор линейных секций мощных ленточных конвейеров горных предприятий: автореф. ... канд. техн. наук: 05.05.06. – М.: Московский государственный горный университет, 2009. – 24 с.
5. **Колобов Л.Н.** Зуев В.А. Расчет подшипников роликoв ленточных конвейеров на долговечность от внешних и внутренних нагрузок // Труды МВТУ №315. «Теория, расчет и исследование подъемно транспортных машин». М.: Издательство МВТУ, 1979. - С. 63-93.
6. **Перген Ю.А.** Конвейерный транспорт XXI века // Журнал «Транспорт Российской Федерации». – Санкт-Петербург: ООО «Т-ПРЕССА», 2005. - №1. – С. 42-43.
7. **Шаяхметов Е.Я.** Манежанов Б.А., Мендебаев Т.М., Темиртасов О.Т. Влияние технологических факторов на работоспособность роlikоопор ленточных конвейеров // Вестник КазНТУ. – Алматы, 2015. - №1(107). – С.189- 193.
8. **Коган Б.И.** Технологическое обеспечение качества производства горных машин и инструментов: автореф. док. техн. наук: 05.05.06. – Кемерово, 1996. – 50 с.
9. **Коган Б.И., Голубев А.А., Иванов А.С.** О проблеме изготовления обечаек роликoв ленточных конвейеров из листа // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – №2.
10. Каталог фирмы Superior Industries (США) // <http://superior-ind.com>.
11. **Шахметов Е.Я.** Конструирование и техническое обеспечение качества роlikоопор ленточных конвееров, работающих в тяжелых условиях. Дис. Канд.тех наук. Специальность Машиностроение. Алматы, Казахстан 2017г.
12. **Гусев В.В.** Молчанов А.Д., Вяльцев Н.В. Применение современных материалов в торцовых уплотнениях горношахтного оборудования // Донбас - 2020: наука і техніка - виробництву: матеріали ІІ наук.-практ. Конф. – Донецьк: Донец. нац. техн. ун-т та ін, 2004.- С. 84-88.
13. **Галкин В.И.** Методы расчета и оценка показателей надежности ленточных конвейеров горных предприятий: дис. док. техн. наук: 05.05.06.- М.:, 2000.- 421 с.
14. **Комиссар А.Г.** Опоры качения в тяжелых режимах эксплуатации: Справочник – М.: машиностроение, 1987. 384с.
15. **Монастирський В.Ф.** Определение срока службы роликoв ленточных конвееров для различных типов роlikоопор. / Монастирський В.Ф., Кирия Р.В., Смирнов А.Н./ Геотехнічна механіка. 2014. №115 148-153с. ISSN 2309-6004 (Online).

Рукопис подано до редакції 05.04.2018