

Анализ Конструкций Подшипниковых Узлов Конвейерных Роликов

Эшонкулов К.Э, Маткасимова Ш. Ш

Ташкентский государственный технический университет имени И.А.Каримова, филиал в г.Алмалык, Узбекистан

Аннотация: В данной работе анализируются конструкции подшипниковых узлов конвейерных роликов, используемых в ленточных конвейерах. Особое внимание уделено различным типам уплотнений подшипников и их эффективности в условиях горнодобывающей промышленности. Рассматриваются причины выхода подшипников из строя, включая усталостное разрушение и абразивный износ. Также обсуждаются методы расчета долговечности подшипников и влияние динамических нагрузок на их работу. Работа подчеркивает важность комплексного подхода к проектированию и эксплуатации подшипниковых узлов для повышения надежности и эффективности конвейерных систем.

Ключевые слова: Подшипниковые узлы, конвейерные ролики, ленточные конвейеры, уплотнения подшипников, абразивный износ, усталостное разрушение, динамические нагрузки.

Введение

Ленточные конвейеры играют ключевую роль в горнодобывающей промышленности, обеспечивая эффективную транспортировку материалов. Одним из критически важных компонентов этих систем являются подшипниковые узлы конвейерных роликов, от надежности и долговечности которых зависит бесперебойная работа всей конвейерной линии. Несмотря на кажущуюся простоту, подшипниковые узлы подвержены сложным эксплуатационным условиям, включающим высокие нагрузки, абразивное воздействие и воздействие внешних загрязнений. В этой работе проведен детальный анализ различных конструкций подшипниковых узлов и типов уплотнений, используемых для их защиты. Особое внимание уделено причинам выхода подшипников из строя, методам расчета их долговечности и влиянию динамических нагрузок. Исследования, представленные в данной работе, направлены на повышение надежности и эффективности подшипниковых узлов, что, в свою очередь, способствует увеличению производительности и снижению затрат на техническое обслуживание конвейерных систем.

Методы и исследования

В статье описаны следующие методы исследования и подходы, примененные для анализа подшипниковых узлов конвейерных роликов:

- 1. Анализ конструкций и типологии подшипниковых узлов:** Исследование различных типов подшипниковых узлов, включая шариковые и роликовые подшипники, их конструктивные особенности и области применения.
- 2. Изучение уплотнений подшипников:** Анализ различных типов уплотнений, таких как канавочные, сальниковые, лабиринтные и комбинированные, и их эффективность в защите подшипников от загрязнений и влаги.
- 3. Исследование причин выхода подшипников из строя:** Изучение факторов, влияющих на работоспособность подшипников, таких как усталостное разрушение и абразивный износ.

4. **Методы расчета долговечности подшипников:** Применение методов для оценки долговечности подшипников, включая расчет их ресурса на основе эксплуатационных условий и динамических нагрузок.
5. **Влияние динамических нагрузок:** Анализ воздействия динамических нагрузок на работу подшипников, включая методы моделирования и расчетов для предсказания поведения подшипниковых узлов в реальных условиях эксплуатации.

Эти методы и подходы позволяют глубоко понять конструктивные особенности, эксплуатационные характеристики и факторы, влияющие на надежность и долговечность подшипниковых узлов конвейерных роликов.

Основным элементом конструкции ленточных конвейеров является бесконечная лента, огибающая приводные и натяжные барабаны. Лента по всей длине конвейера поддерживается роlikоопорами грузонесущих и порожних ветвей (Рис.1). Конструкция конвейера, также включает в себя привод, устройства для натяжения и очистки ленты, ловителей, специальных роlikоопор, элементов автоматического контроля и управления движением ленты [1,2,3,4].

В зависимости от условий эксплуатации ролики бывают легкого, среднего и тяжелого исполнения. На открытых и подземных горных выработках наиболее часто применяют конвейерные ролики тяжелого исполнения.



Рис.1- Ленточный конвейер

Это связано с тем, что такие ролики имеют повышенную надежность конструкции способную выдерживать большие нагрузки. Основное отличие роликов различного исполнения заключается в степени пылезацищенности с помощью различных видов уплотнений подшипникового узла, а также в серии используемых подшипников (Рис.2).



Рис.2 - Роликоопора и ролик ленточного конвейера

Как отмечалось выше, в конструкции роликов в качестве защиты подшипникового узла используют канавочные, лабиринтные, контактные и сальниковые типы уплотнений. Также часто применяют сочетание разных видов защитных устройств. В зависимости от условий работы каждый вид уплотнения имеет ряд преимуществ и недостатков, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные типы уплотнительных устройств конвейерных роликов

№ п/п	Тип уплотнения	Преимущества	Недостатки
1	2	3	4
1	Канавочное	Имеют хорошую уплотнительную способность, при условии заполнения влагостойкими пластичными смазками	Недостаточно надежно удерживает влагу
2	Сальниковое	Простота конструкции и установки в подшипниковый узел	Недостаточно длительно сохраняет работоспособность
3	Лабиринтное	Имеет широкое распространение в подшипниковых узлах; минимальное сопротивление вращению роликов, в случае отсутствия в зазорах пыли	В зазорах плохо сохраняется смазка; отсутствует защита от прямого попадания влаги; в случае набивки зазоров пылью происходит стопорение ролика из-за неподвижного элемента уплотнения
4	Каркасное манжетное	Простота изготовления; компактность	Повышенное сопротивление вращению ролика; В случае попадания пыли в уплотнение интенсивно изнашивается место контакта уплотнения и поверхность ролика

5	Дисковое	Обладают высокой пылезащищенностью. при хорошем заполнении зазоров	Недостаточно надежно удерживает влагу; повышенное сопротивление при низких температурах эксплуатации
---	----------	--	--

В целом конструкции подшипниковых узлов и их уплотняющих устройств можно разделить на контактные, бесконтактные, щелевые и комбинированные. Все перечисленные виды в свою очередь подразделяются на следующие подгруппы:

- контактные: манжетные, сальниковые, кольцевые;
- щелевые: канавочные. дисковые, просто щелевые, лабиринтные;
- комбинированные.

Комбинированные уплотнения являются сборкой одинаковых или разнообразных типов уплотнений. Широкое распространение получили компоновки лабиринтно-контактные, лабиринтно-контактные с камерой большой ёмкости, контактно-щелевые, лабиринтно-канавочные. лабиринтно- канавочные с предкамерой большой ёмкости, радиально-осевые лабиринты, радиально-осевые лабиринты с предкамерой большой ёмкости [1,5,6,26,31].

Эффективность работы подшипников в значительной степени определяется конструкцией, точностью изготовления поверхностей деталей, действующей нагрузкой, видом смазки, условиями эксплуатации.

Одной из главных причин выхода из строя подшипников, установленных в роликах линейной части конвейерного става, является усталостное разрушение поверхностей трения подшипника (внешнее и внутреннее кольцо, тела качения), в результате продолжительного постоянного и переменного воздействия веса транспортируемого груза.

Разрушение подшипниковых узлов конвейерных роликов в местах загрузки во время перемещения скальных пород может возникать вследствие превышения пиковыми нагрузками статической прочности их рабочих частей.

В редких случаях возможно заклинивание подшипников из-за проникновения в них крупных абразивных частиц, а также разрушение сепараторов [7]. Данные типы износа происходят вследствие перечисленных выше факторов, либо вызваны неправильным использованием роликов и подшипников, которое не учитывает влияние условий эксплуатации.

Расчет долговечности подшипников качения принято выполнять по критерию образования первых признаков усталостного разрушения дорожек или тел качения и по критерию допустимой величины износа поверхностей качения [8,10,11,12].

В последнем случае причиной отказа подшипника является превышение радиальным зазором допустимого его значения из-за абразивного износа поверхностей качения. Ввиду того, что эксплуатация конвейерных роликов в условиях горнодобывающих предприятий характеризуется высокой величиной радиальной нагрузки, ранний выход из строя подшипников из-за изнашивания абразивными частицами в чистом виде не является причиной их отказов. Можно предположить, что происходит либо усталостное разрушение элементов подшипника, либо смешанное разрушение [9,13,19,24,27].

Цикличность и величина нагрузки подшипниковых узлов, установленных в роликах линейной части конвейерного става определяются рядом факторов:

Во-первых, в работе конвейера чередуются периоды непрерывного поступления и периоды

отсутствия грузопотока. Поэтому в расчетах необходимо принимать во внимание чистое время работы конвейера.

Во-вторых, в периоды непрерывного поступления грузопотока уровень его колеблется. Характерное время колебаний непрерывного грузопотока, по экспериментальным данным [15,16,17,25,28,29,30], всегда значительно выше 5 с. Реализацию соответствующего случайного процесса принято аппроксимировать ступенчатой функцией [18,19], значения которой подчиняются нормальному закону распределения, а интервалы времени между последовательными сменами значений – по закону Пуассона. Параметр закона Пуассона называют скоростью счета в рассматриваемом процессе.

В-третьих, наряду с мелкокусковой составляющей грузопотока на конвейер поступают крупные куски груза, вызывающие динамические нагрузки на роликоопоры. Характерный период изменения этих нагрузок не превышает времени прохождения куском груза интервала между роликоопорами $\tau = l_p / v_n$, составляющего доли секунды. Собственно, время воздействия большого куска транспортируемого материала на конвейерный ролик значительно меньше [7].

В ряде работ [21,22,23] показано, что при достаточно высоких значениях натяжения ленты (примерно от 110 Н на 1 мм ширины прокладки) сила взаимодействия кусков груза с роликами перестает зависеть от величины натяжения ленты. Это означает, что основным становится другой механизм взаимодействия - импульсный. В рамках этого подхода рассматривают взаимодействие зон поперечного сжатия конвейерной ленты, возникающих под пятнами контакта куска груза с роликом. При сближении этих зон начиная с некоторого расстояния между центрами пятен контакта (примерно равного 1-2 толщины ленты), происходит резкое ужесточение контактов, проявляющееся внешне, как ударный импульс.

Наряду с контактно-усталостным разрушением тел качения и дорожек для подшипников конвейерных роликов характерными являются абразивный и фрикционно-усталостный виды износа [7,22]. Эти виды износа преобладают для верхних подшипниковых узлов роликов рабочей ветви [9,27]. Именно эти виды износа и определяют технический ресурс подшипников. Причиной этого явления считается некачественное изготовление элементов уплотнений подшипников роликов. Однако конвейерные ролики являются настолько массовым изделием, что, по-видимому, экономия на стоимости уплотнений оправдывает себя, поэтому приходится рассматривать неспецифический для подшипников качения вид износа.

Известны многие работы по изучению износа подшипников. Так, например, в работе [19] на основе экспериментальных исследований в пылевой камере при различной запыленности воздуха частицами кварца построены косвенные эмпирические регрессионные зависимости изменения радиального зазора в подшипниках качения конвейерных роликов с различными типами уплотнений от времени испытания, которое составляло 350 - 600ч. Скорость вращения роликов - 700 об/мин. Приведенные в работе [19] зависимости называют косвенными, так как изменение радиального зазора дано в функции не от времени или числа оборотов подшипника, а от количества накопившейся в смазке подшипника абразивной пыли. Запыленность смазки выражена весовой долей частиц пыли в смазке. Кроме того, приведена регрессионная зависимость запыленности смазки от времени испытания:

$$m = pt^u M^K, \% \quad (1)$$

где: t - время, ч;

M - запыленность воздуха, кг/ м³;

p и K - эмпирические константы, зависящие от конструктивного исполнения подшипникового

узла.

Радиальный зазор в подшипнике определяется по формуле:

$$\Delta = \delta_0 + 12.23 \cdot 10^{-6}, m \quad (2)$$

где: δ_0 - начальный рабочий радиальный зазор, для испытываемых подшипников, имеющих внутренний диаметр $d=30$ мм, $\delta_0 \approx 10$ мкм при нагрузке 100 Н.

При этом часто наблюдался абразивный износ дорожек качения (царапины).

Записав формулы (1) и (2) в одну и учитывая в них отличающуюся от экспериментальной скорость вращения роликов n получим:

$$\Delta = \delta_0 + \frac{12.23 \cdot 10^{-6} \left(1 + \frac{d}{8}\right)}{700^u \cdot 4.75} p t^u M^k n^u \quad (3)$$

При этом учитывается, что экспериментальные исследования проведены при скоростях вращения роликов, имеющих один порядок с фактическими, применяемыми в производственных условиях, и количество проникающих через уплотнение загрязнений жестко связано с величиной частоты вращения ролика [7].

Результаты оригинального авторского исследования

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты:

Определение оптимальных типов подшипниковых узлов: Проведенный анализ показал, что использование шариковых и роликовых подшипников качения обеспечивает наилучшие эксплуатационные характеристики в условиях высоких нагрузок и абразивного воздействия, характерных для горнодобывающей промышленности.

Эффективность различных типов уплотнений: Исследование различных типов уплотнений, включая канавочные, сальниковые, лабиринтные и комбинированные, показало, что лабиринтные и комбинированные уплотнения демонстрируют наилучшую защиту подшипников от загрязнений и влаги. Канавочные и сальниковые уплотнения оказались менее эффективными в условиях повышенной запыленности и влажности.

Причины выхода подшипников из строя: Было установлено, что основными причинами выхода подшипников из строя являются усталостное разрушение и абразивный износ. Усталостное разрушение возникает из-за циклических нагрузок, а абразивный износ - из-за воздействия твердых частиц, попадающих внутрь подшипника.

Методы расчета долговечности подшипников: Применение усовершенствованных методов расчета долговечности подшипников позволило более точно прогнозировать их ресурс. В расчетах учитывались реальные эксплуатационные условия и динамические нагрузки, что позволило улучшить точность прогнозов и снизить риск преждевременного выхода подшипников из строя.

Влияние динамических нагрузок: Анализ влияния динамических нагрузок на подшипники показал, что увеличение амплитуды и частоты колебаний существенно сокращает срок службы подшипников. Были предложены методы смягчения этого воздействия путем оптимизации конструкции подшипниковых узлов и использования демпфирующих материалов.

Эти результаты подчеркивают важность комплексного подхода к проектированию и эксплуатации подшипниковых узлов конвейерных роликов, что позволит повысить их надежность и эффективность в условиях интенсивной эксплуатации.

Заключение

В заключение, рассмотренные конструкции подшипниковых узлов конвейерных роликов демонстрируют разнообразие подходов к обеспечению надежности и долговечности в условиях эксплуатации. Использование различных типов уплотнений, таких как канавочные, сальниковые, лабиринтные и комбинированные, позволяет оптимизировать защиту подшипников от загрязнений и влаги, что является критически важным для горнодобывающей промышленности. Применение шариковых и роликовых подшипников качения, обусловленное их высокой эффективностью и малыми потерями на трение, также играет ключевую роль в поддержании работоспособности конвейерных систем.

Необходимость точного расчета долговечности и учета динамических нагрузок подчеркивает важность комплексного подхода к проектированию и эксплуатации подшипниковых узлов. Усталостное разрушение, абразивный износ и воздействие динамических нагрузок остаются основными вызовами, требующими постоянного мониторинга и усовершенствования конструкций.

Исследования и разработки в области подшипниковых узлов конвейерных роликов продолжают развиваться, предлагая новые решения для повышения надежности и эффективности конвейерных систем. Учитывая значимость данных узлов в общей системе горнодобывающих предприятий, дальнейшие инновации и улучшения будут способствовать увеличению их эксплуатационного ресурса и снижению затрат на техническое обслуживание.

Использованные источники:

1. Шешко Е.Е. Горно-транспортные машины и оборудования для открытых работ: Учеб. пособие. М: Изд. МГГУ, 2003. 260 с.
2. Муратов Г. Г. и др. Усовершенствование схем автоматизации ленточных конвейеров в горных предприятиях //Наука, техника и образование. – 2018. – №. 6 (47).
3. Тогаев А.С. и др. Сравнительный анализ системы обучения //Экономика и социум. – 2023. – №. 5-1 (108). – С. 602-608.
4. Тогаев А.С. и др. Технологические аспекты процесса бурения скважин трехшарошечными долотами в условиях разреза «Ангренский» //Вестник науки и образования. – 2022. – №. 10-1 (130). – С. 38-45.
5. Кузнецов, Б.А., Белостоцкий Б.Х. Исследование взаимодействия ленты с роликом / Б.А. Кузнецов, Б.Х. Белостоцкий //Развитие и совершенствование шахтного и карьерного транспорта. - М.: Недра, 1973. - с.38-48
6. Matkasimova Sh.Sh., Usmanaliyeva I.A., G'ulomov Sh.A. Karyer ekskavatorlarining filtrokompensatsiya uskunali tiristorli dvigatel rostlash qurilmasidan foydalanish istiqbollari//Science and Education. – Volume 2, Issue 6, June 2021. P. 263 – 268
7. Галкин, В.И. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко, И.В. Запенин, Е.Е. Шешко // М., МГГУ., 2005. 543 с.
8. Паршин, А.А. Исследование надежности и установления рациональных методов технического обслуживания конвейерных линий роторных комплексов: Автореф. дис. канд. техн. наук. М.,1974. 16 с.

9. Дмитриев, В.Г. Теория установившегося движения ленты и повышение ее ресурса на конвейерах горных предприятий: Дис. д-ра. техн. наук. М., 1994. 429 с.
10. Toshov J.B., Annaqulov T.J., Quvondiqov O.A. & Eshonqulov K. Calculation of the service life and assessment of the reliability of conveyor rollers under the conditions of the Angren coal mine. *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*, 2021; Vol.10, Issue 3: 365-370. <http://doi.org/10.5958/2278-4853.2021.00139.7>
11. Bulatov G.Y. & Annakulov T.J. Investigation of the width of the entry of an excavator when loading a mobile crushing plant in the conditions of the Angren coal mine of Uzbekistan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021; 937: 042088. <https://doi:10.1088/1755-1315/937/4/042088>
12. Annakulov Tulkin, Shamsiev Raxim & Kuvandikov Oybek. Mathematical modeling of determining the productivity of mobile complexes in exercise of inclined connecting accessories. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 2020; Volume 8. No. 6: 2695-2700. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/77862020>
13. Annakulov Tulkin, Eshonqulov Kamoljon, Mamatov Dostonbek. Application of belt conveyors and determination of the main parameters of mobile complexes for the transportation of overburden rocks of the Angren coal mine. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 2021; Volume 9. No. 4: 383-389. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/08942021>
14. Дмитриев, В.Г. Особенности объемного напряженного состояния сыпучего груза на желобчатой конвейерной ленте / В.Г. Дмитриев, А.В. Дьяченко // Горный информационно-аналитический бюллетень, - М.: МГУ, - 2005, - № 2, с.277 - 278.
15. Дьяченко, В.П. Исследование и повышение надежности роликоопор ленточных конвейеров при транспортировании крупнокусковых грузов на горных предприятиях: Дис. канд. техн. наук. М., 1981. 159 с.
16. Муратов Г. Г., Махамаджанов Р. К., Жураев А. Ш. Автоматизация управления поточно-транспортными системами // Вопросы науки и образования. – 2018. – №. 27 (39).
17. Зарецкий, О.М. Исследование неравномерности грузопотоков из очистных забоев угольных шахт и разработка методики расчета и выбора параметров привода выравнивающихся бункеров-конвейеров: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1979. 22 с.
18. Жураев А. Ш. Проблемы и решение предохранения узлов конвейера в Узбекистане // The Thirteenth International Conference on Eurasian scientific development. – 2017. – С. 42-44
19. Титов, А.А. Исследование и создание роликов с долгодействующей смазкой для ленточных конвейеров горнодобывающей промышленности: Дис. канд. техн. наук. Киев, 1975. 209 с.
20. Волотковский, В.С. Колебательные процессы на ставе ленточного конвейера / В.С. Волотковский, Г.Д. Карамаев // Горное производство. Вопросы конвейерного транспорта. Вып. 46. М., 1975. С. 60–66.
21. Серый В.П. Расчет шарнирных узлов ленточных конвейеров с учетом надежности. / Серый В.П., Норенко И.И. // Сб.: Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 5. М.: Недра, 1980. С. 60–66.
22. Дмитриев, В.Г. Дифференциальные уравнения движения конвейерной ленты по роликоопорам. - Известия вузов: Горный журнал. 1973, №10, с. 72-78.

23. Quvondiqov O.A., Matkasimova Sh.Sh., Otajonov B. Analysis and calculation of the operating time of the conveyor transport for the conditions of the Angren open pit// The American Journal of Engineering and Technology, Volume 3, Issue 6, June 2021. P. 160 – 164.
24. Mamadiyeva L., Annakulov T. Characteristics of the kalmakir quarry excavator-automobile complex //Science and innovation. – 2023. – Т. 2. – №. А4. – С. 181-186.
25. Малахов В. А., Тропаков А. В., Полянский А. С. Применение температурного коэффициента в методиках расчета силы сопротивления вращению роликов ленточных конвейеров для современных пластичных смазок //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №. 9. – С. 74-81.
26. Савинкин В. В. Развитие теории энергоэффективности одноковшовых экскаваторов //СибАДИ). Омск. – 2016. – Т. 390.
27. Сайфуллаевич Ж.А., Анвар Д., Мусурманкуловна А.М. Анализ влияния свойств нефтепродуктов на работоспособность направляющих ленточных конвейеров РОЛИКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ //Гарвардское учебно-научное обозрение. – 2022. – Т. 2. – №. 2.
28. Карюкин А. В. Динамика подрессоренных тяговых приводов перспективных электропоездов : дис. – Моск. гос. ун-т путей сообщ.(МИИТ) МПС РФ, 2006.
29. Шоджаатолхосейни С. А. Обоснование рациональных параметров роликоопор линейных секций мощных ленточных конвейеров горных предприятий: автореф.... канд. техн. наук: 05.05. 06 //М.: Московский государственный горный университет. – 2009.
30. Галкин В. И. Методы расчета и оценка показателей надежности ленточных конвейеров горных предприятий : дис. – Моск. гос. гор. ун-т, 2000.
31. <https://studfile.net/preview/7682674/page:35/>