

Научная статья

УДК 622.62

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-51-62

Труфанова Инна Сергеевна, Невзоров Данил Николаевич

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

E-mail: danilnevzorov@bk.ru

АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ RAILVEYOR НА РУДНИКЕ ДОЛИННЫЙ**Информация о статье**

Поступила:

03 мая 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

15 июля 2024 г.

Принята к печати:

15 августа 2024 г.

Опубликована:

12 сентября 2024 г.

Ключевые слова:транспортная система
Railveyor, эффективность,
автоматизация, безопас-
ность, авария**Аннотация.**

В данной статье представлен анализ аварийных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации транспортной системы Railveyor на руднике Долинный в Казахстане. Система состоит из ряда вагонеток на одноосном рельсовом ходу и перемещается с помощью боковых шин на тяговых приводных станциях. Транспортная система Railveyor работает на электрической тяге и является экологичной. Конвейерные поезда успешно эксплуатируются на руднике Долинный, обеспечивая круглосуточную перевозку грузов со средней скоростью три метра в секунду и производительностью 1500 т/сут. Благодаря автоматической системе управления и гибкости система способна справляться со сложными условиями в шахте, однако на предприятии имеется значительное количество аварийных ситуаций, что говорит об актуальности исследований в этой области. Аварии сгруппированы по общим причинам – проектным, конструктивным, энергетическим и организационным. По каждой группе выявлена причина проблемы и описано подробное решение. В статье предложены возможные варианты решения тех или иных проблем с целью повышения эффективности транспортирования системами конвейерных поездов в условиях горнодобывающих предприятий.

Для цитирования: Труфанова И.С., Невзоров Д.Н. Анализ опыта эксплуатации транспортной системы Railveyor на руднике Долинный // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 3 (173). С. 51-62. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-51-62, EDN: WENDZE

Введение. Горная промышленность играет важную роль в экономике многих стран, обеспечивая сырьем различные отрасли производства. Эта отрасль оказывает большое влияние на международное географическое разделение труда и мировое хозяйство. Рудники играют важную роль в мировой экономике, и эффективность их работы является краеугольным камнем для повышения производительности и снижения издержек [1, 2].

Горный транспорт является неотъемлемой частью этой отрасли, так как он обеспечивает перемещение добытых полезных ископаемых и других материалов между различными участками добычи и переработки.

В настоящее время развитие горного транспорта связано с решением ряда проблем, таких как повышение безопасности, эффективности и экологично-

сти перевозок. Современные технологии позволяют создавать более безопасные и комфортные условия для транспортировки грузов и людей в условиях подземных горных работ [3].

Важную роль в развитии горного транспорта играют инновационные технологии, такие как автоматизация, использование современных технических средств перемещения и применение экологически чистых видов транспорта.

Одним из перспективных видов транспорта являются конвейерные поезда. На данный момент времени опыт эксплуатации таких систем все еще невелик, однако интерес промышленных предприятий к альтернативным видам транспортирования очевиден [4], в том числе это интерес к системам конвейерных поездов [5].



Рис. 1. Аварии транспортной системы Rail-Veyor (составлено авторами)

а – авария на байпасе, б – авария на стрелочном переводе, в – авария между ПС, г – авария на питателе

Fig. 1. Accidents of the Rail-Veyor transport system

а – accident on the bypass, б – accident on the switch, в – accident between substations, г – accident on the feeder

Ввиду незначительного опыта эксплуатации внедрение таких систем не всегда гладкое и может сопровождаться рядом проблем. В данной статье предлагается рассмотреть некоторые из них, возникшие на руднике Долинный, эксплуатирующем транспортную систему RailVeyor.

Значительное число аварийных ситуаций требует глубокого анализа и научных исследований, посвященных определению рациональных параметров систем конвейерных поездов, что позволит повысить эффективность эксплуатации таких систем, а также в целом повысить эффективность транспортирования горной массы в условиях горнодобывающих предприятий (Рис. 1).

Целью данной статьи является обоснование целесообразности применения систем конвейерных поездов в качестве альтернативного вида транспорта, а также анализ эксплуатации данного вида транспорта на месторождениях.

Доля капитальных и эксплуатационных затрат на транспорт в общей структуре затрат горного производства может достигать 40–50% [6]. Кроме

проблемы проскальзывания поезда могут быть решены путем определения оптимального количества приводных станций. Для этого предлагается

того, в современных условиях интенсификации производственных процессов автоматизация транспортных технологических процессов и переход к безлюдным технологиям позволят повысить производительность труда и несколько снизить самый дефицит квалифицированных кадров в горной промышленности [7,8].

Внедрение конвейерных поездов в руднике Долинный позволяет повысить производительность и снизить издержки транспортировки грузов. Однако для успешного функционирования такой системы необходимо учитывать и решать проблемы, связанные с техническими неполадками, безопасностью, природными и климатическими факторами, а также финансовыми расходами. Разработка эффективных стратегий для предотвращения и решения этих проблем является важным шагом для обеспечения успешной работы рудника и улучшения его результативности [9, 10].

Методология. Предлагается классификация аварийных ситуаций, сгруппированных методом анализа и синтеза (Таблица 1). разработать методику расчета количества приводов для конкретных трасс транспортирования.

Таблица 1. Аварии на транспортной системе Rail-Veyor
Table 1. Accidents on the Rail-Veyor transport system

| Вид | Проблема | Причина | |
|--------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Проектные | Разработка месторождений | Сечение выработки | |
| | Дорожное полотно | Балластный слой | |
| Конструктивные Монтажные | Электрификация и электроснабжение | Отклонение напряжения Ведение фаз | |
| | Разгрузочные петли | Жесткость конструкции Очистные устройства | |
| | Вагоны | Подшипниковые узлы Жесткость желоба | |
| | Скребок питатель | Проведение ТО Геометрия питателя | |
| | Стрелочный перевод | Отводной механизм Очистные устройства | |
| | Монтажные | Монтажная техника | Габариты техники Функционал техники |
| | | | Природные |
| Компетентностные | Квалификация | Навыки и обучение | |

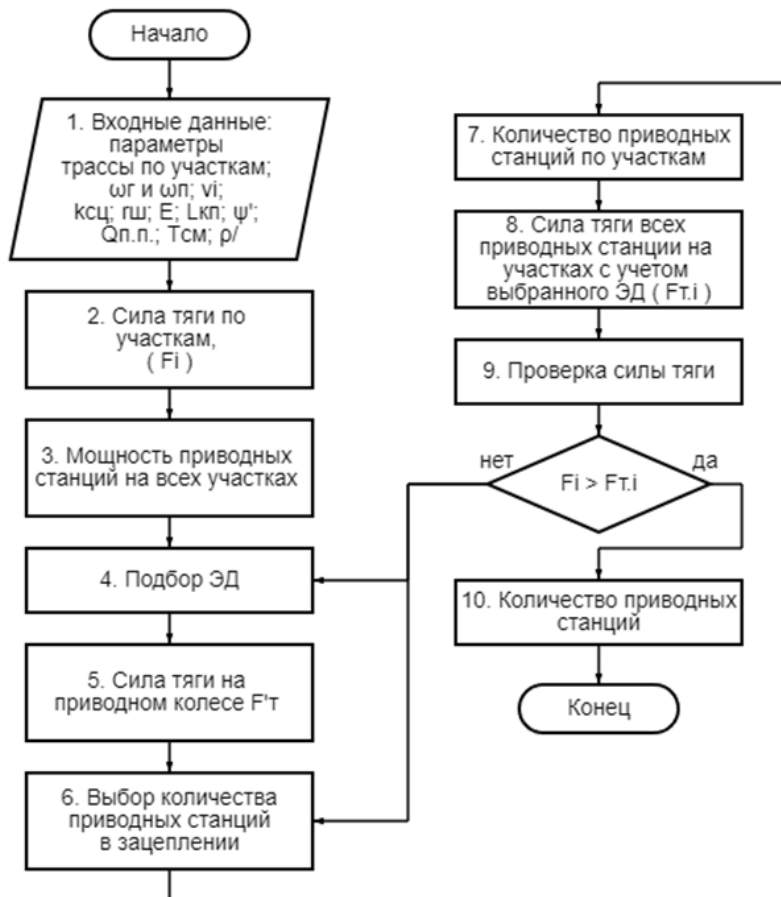


Рис. 2. Блок-схема расчета количества приводных станций конвейерного поезда

Fig. 2. Block diagram for calculating the number of drive stations of a conveyor train

Блок-схема расчета количества приводных станций конвейерного поезда представлена на Рис. 2.

Результаты и обсуждение.

Аварии транспортной системы RV происходят достаточно часто по вине инженерных проектных решений. Аварии происходят по причине недоработки следующих элементов: приводных станций, петель разгрузки, пунктов загрузки, питателей, байпасов, стрелочных переводов и т. д.

Проектные ошибки: по проекту Rail-Veyor был предусмотрен балластный слой из гравия. Неверный выбор материала и толщины балластного слоя привел к неустойчивости всех конструкций транспортной системы [11] в связи с чем при проезде поезда по байпасам и стрелочным переводам конструкция расшатывалась и деформировалась под весом поезда, который составляет около 1000 кН. По проекту в наклонном стволе предлагалось установить байпасы с двухэтажной компоновкой, но из-за неустойчивости основания произошла авария [12].

Сечение горной выработки было недостаточным для размещения в ней конвейерных поездов, что привело к дополнительному расширению сечения выработки. Расширение проектного сечения выработки привело к увеличению времени монтажа и росту затрат.

Решение: на этапе проектирования транспортной системы необходимо учитывать устойчивость горных пород и подбирать соответствующее верхнее и нижнее строение пути. В данном случае вместо балласта из гравия предлагается заливать бетонное основание на байпасах и стрелочных переводах, а на прямолинейных участках устанавливать бетонные или деревянные шпалы. На бетонное или деревянное основание укладывается рельсошпальная решетка с жесткой фиксацией (Рис. 3) [13]. Заявленные канадской фирмой-производителем Railveyor особенности конструкции рельсового пути в сравнении с рельсовыми

путями классического рельсового транспорта (для открытых и подземных работ) в условиях реально-го производства не имеют различий.

Решением проблемы аварий на двухэтажных байпасах является применение более простой конструкции с размещением грузовой и порожней ветви в одной горизонтальной плоскости с применением классического стрелочного перевода [14, 15], но так как транспортная система в предложенном варианте занимает всю ширину выработки, ограничивается проезд вспомогательного транспорта во время транспортирования.

Электрификация и электроснабжение: в состав транспортной системы входит электрическое оборудование, которое разработано в Канаде и не соответствует стандартам местного энергоснабжения Казахстана. В энергетических установках RV допустимое колебание напряжения в сети не должно превышать пределы 3% от номинального, а по ГОСТу в Казахстане и России лимитом является 10%, что приводит к отключению всех электрических объектов системы, а также к выходу из строя ЧРП [16, 17, 18].

В Канаде и в США по линии энергоснабжения ведутся всего 2 фазы напряжением 120В и частотой

60 Гц, в то время как в России и Казахстане 3 фазы напряжением 230В и частотой 50 Гц. Заземление энергетических установок также имеет различные способы, что подразумевает дополнительные работы по установке их в других условиях. Зануление установок осуществляется также разными способами. При некорректной работе электрических установок происходит рассинхронизация в управлении приводными станциями таким образом, что, если одна станция вращается с большей скоростью, чем другая, происходит складывание поезда на путях и авария [19].

Решение: на этапе проектирования необходимо подбирать электрическое оборудование, соответствующее требованиям электроснабжения на конкретном предприятии. Также есть возможность переоборудования или преобразования энергетической системы предприятия в целом. Подбор электрического оборудования страны или предприятия со схожими требованиями позволит уйти от огромного ряда проблем [20].

Для устранения складывания поезда по причине рассинхронизации приводных станций предлагается протяжка аварийного троса (Рис. 4). Трос натягивается между приводными станциями по оси



Рис. 3. Установка железнодорожного полотна на почве выработки
Fig. 3. Installation of a railway track on the ground of a mine

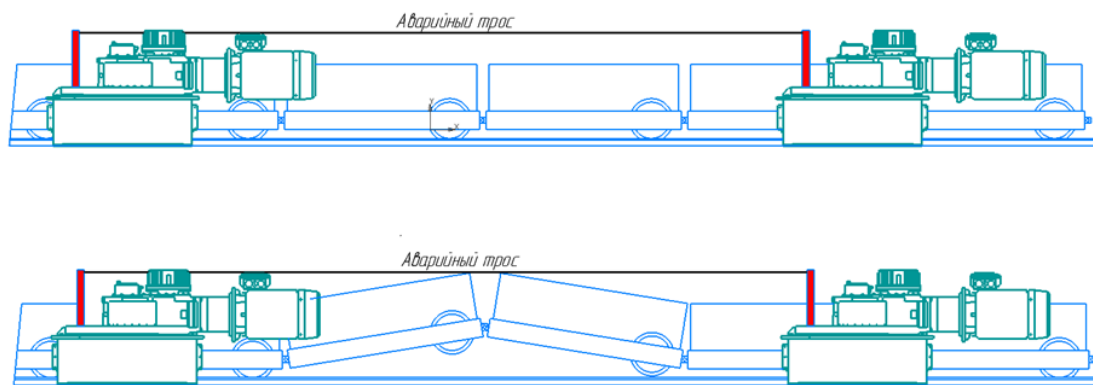


Рис. 4. Схема установки аварийного троса
Fig. 4. Emergency cable installation diagram

движения и расположен чуть выше самого поезда. Тем самым в момент складывания поезд войдет в контакт с тросом и произойдет остановка всей системы [21].

Конструктивные ошибки

Разгрузочные петли: одной из главных причин недоработки является низкая жесткость конструкции разгрузочной петли. При проезде конвейерного поезда расхлябились направляющие из-за увеличения межрельсового расстояния, и поезд сходил с рельс. Кроме того, сход поезда с рельсовых путей происходит вследствие отсутствия очистных механизмов для рельсов, идущих на верхнюю точку разгрузочной петли, по причине попадания инородного тела под колеса. На Рис. 1 изображена конструкция порожнего пути после разгрузочной петли. Направляющие имеют возможность менять свое положение в горизонтальной плоскости по двум причинам: 1 – по причине температурного расширения или сжатия; 2 – по причине расшатывания конструкции и ослабления болтовых соединений.

Решение: необходимо увеличить жесткость конструкции путем применения ребер жесткости от основания к направляющим под углом, чтобы зафиксировать их в горизонтальной плоскости. Проблему попадания инородного тела между колесами и рельсами предлагается решить путем присоединения на головную тележку поезда самоочищающего устройства [22]. Так как проблема схода с рельс по причине попадания инородного тела имеется не только на разгрузочной петле, а по всей длине транспортирования, то данный способ решит большее количество проблем. На Рис. 5 предлагается существующий вариант конструкции порожней ветви и усовершенствованный [23,24].

При возникновении аварии на разгрузочной петле во время подъема предлагается установить аварийный трос рядом с рельсами. При сходе с рельс конвейерный поезд войдет в контакт с аварийным тросом, и произойдет отключение всей системы. Подобные аварийные устройства установлены по всей длине транспортирования посредством концевых выключателей.

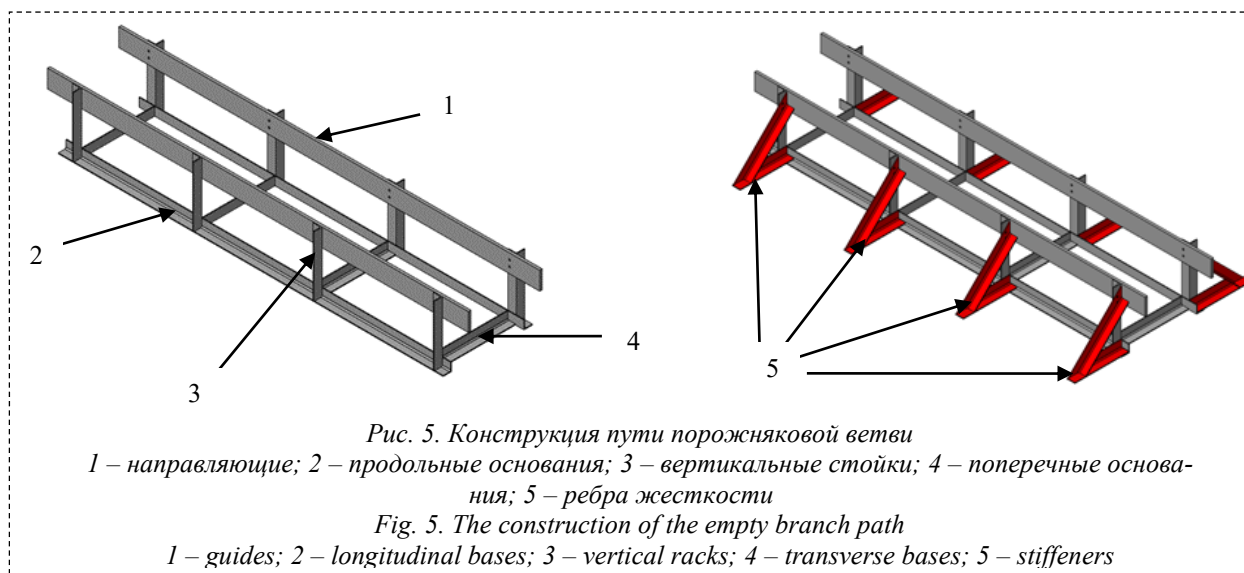


Рис. 5. Конструкция пути порожняковой ветви
1 – направляющие; 2 – продольные основания; 3 – вертикальные стойки; 4 – поперечные основания; 5 – ребра жесткости

Fig. 5. The construction of the empty branch path
1 – guides; 2 – longitudinal bases; 3 – vertical racks; 4 – transverse bases; 5 – stiffeners

Вагонетки: при загрузке конвейерного поезда используются питатели, груз падает с некоторой высоты, и ударная нагрузка приходится на колеса вагонеток, что вызывает отрыв болтов крепления и разрушение ступицы. Ступица вместе с колесом в транспортной системе RV крепится четырьмя болтами М14, прочности которых не хватает при загрузке рудой, и происходит отламывание, недопустимая прочность подшипниковых узлов колес вагонетки приводит к аварии [25].

Желоб вагонеток изготовлен из листовой стали и имеет несколько ребер жесткости из профильной трубы. Жесткость конструкции желоба вагонетки является недостаточной, так как при загрузке попадались негабариты, которые приводили к расширению боковых пластин желоба, вследствие чего при движении поезда в перевернутом виде на порожняковой ветви желоба касались болтов, которыми крепились направляющие между собой, что, в свою очередь, приводило к аварии [26].

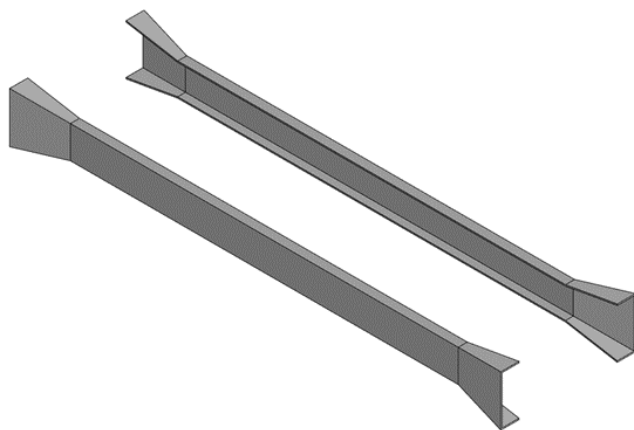
Решение: вместо отдельных колес предлагается установить колесную пару, так как она имеет большую прочность, и отличается принципом крепления. При падении груза нагрузка переходит не на болты, как в существующей схеме, а на ось колесной пары, которая имеет достаточную прочность. Вторым вариантом решения является применение специальных направляющих, которые будут устанавливаться под питателем, чтобы нагрузка передавалась от груза на желоб вагонетки и затем на боковые пластины, которые будут скользить по направляющим. Во время проезда под питателем конвейерный поезд будет заходить боковыми пластинами в направляющие и подниматься в вертикальной плоскости на 10–20 мм, чтобы убрать нагрузку на колеса (Рис. 6), а после проезда питателя спускаться обратно на направляющие под собственным весом.

Во избежание повреждения желобов предлагается упрочнение конструкции вагонеток путем применения ребер жесткости по верхней стороне, которая имеет наименьшую жесткость. Одним из способов является присоединение пластины сварным швом. При авариях на порожней ветви предлагается заменить классические шестигранные головки болтов на полукруглые, которые позволят ис-

новки технологического процесса и зачистки рудоспуска (Рис. 7). Для попадания груза ровно по центральной оси вагонетки необходимо установить в бункере питателя пластину, ограничивающую движение кусков руды по инерции [30, 31].

Стрелочные переводы: подземные стрелочные переводы, применяемые на транспортной системе RV, имеют иное строение в отличие от стандартно-

аксонометрия направляющих



поперечное сечение поезда в направляющих

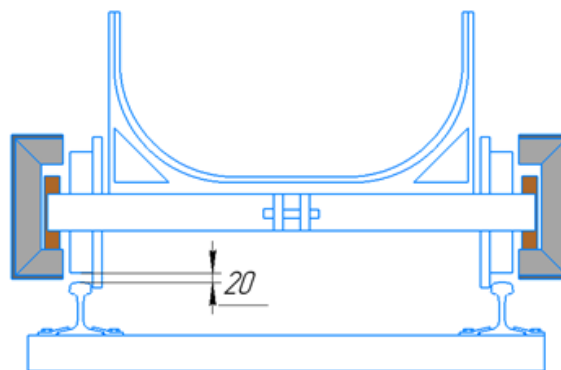


Рис. 6. Направляющие для снятия нагрузки на колеса и ступицы
Fig. 6. Guides for relieving the load on wheels and hubs

ключить механическое зацепление. Установку болтов производить таким образом, чтобы головка болта оставалась с внутренней стороны, где движение поезда, а гайки с наружной [27].

Скребокпитатель: при внедрении транспортной системы RV был предложен скребокпитатель Joy, который не подходит под условия горно-обогатительного комбината. Заявленное оборудование не имеет достаточных характеристик для определенного вида работ. Данный питатель не предусмотрен для доступного просторного обслуживания и ремонта. Геометрия питателя выбрана нецелесообразно, так как огромные и тяжелые куски груза перемещаются сначала горизонтально, а потом вверх по уклону, в связи с чем происходит изгиб тягового органа и попадание кусков породы под него. Данные питатели используются для транспортирования сыпучих грузов, таких как песок, а не для кусковой руды [28, 29].

Следующей проблемой является неточное попадание грузов на ось транспортирования конвейерного поезда, вследствие чего груз ударяется о боковую противоположную стенку желоба.

Решение: необходимо на этапе проектирования учитывать горно-геологические условия месторождения и физико-механические характеристики транспортируемого груза и подбирать питатель, соответствующий этим характеристикам. Перед питателем необходимо устанавливать дробилку для уменьшения крупности транспортируемого материала и исключения попадания негабаритов, что приведет к более эффективной загрузке конвейерного поезда. Также скребокпитатель должен быть установлен таким образом, чтобы обслуживающий персонал мог обслуживать его без оста-

го. Принцип изменения направления поезда отличается и осуществляется с помощью отводного колеса таким образом, что во время проезда по стрелочному переводу поезд начинает опираться ребром на основание перевода, и при наезде на инородное тело может произойти сход с рельс. Отводное колесо устанавливается на некотором расстоянии от стрелочного перевода.

Решение: наиболее простым решением данной проблемы является применение стандартного стрелочного перевода, более простого и надежного, но, так как система автоматизирована и управляется программным обеспечением, следует установить стрелочный электропривод, аналогичный применяемому на поверхности. Используемые стрелочные переводы установлены на платформе, которая ограничивает извлечение просыпей путем проваливания в камеры отходов. Применение очистных устройств является сложным и трудозатратным [32, 33].

Монтажные ошибки

Некорректно подобрана техника для монтажа транспортной системы RV по габаритным размерам и функционалу, вследствие чего сечения выработки для комфортного размещения монтажного оборудования одновременно с конструкциями поезда недостаточно.

Решение: при создании плана производства работ по монтажу транспортной системы необходимо предусмотреть порядок монтажа и большее проектное сечение выработки. Для монтажа приводных станций в выработке подбирать технику с наименьшими габаритными размерами и необходимой грузоподъемности. Предусмотреть порядок

монтажа таким образом, чтобы подача элементов транспортной системы была поточной.

Природные ошибки

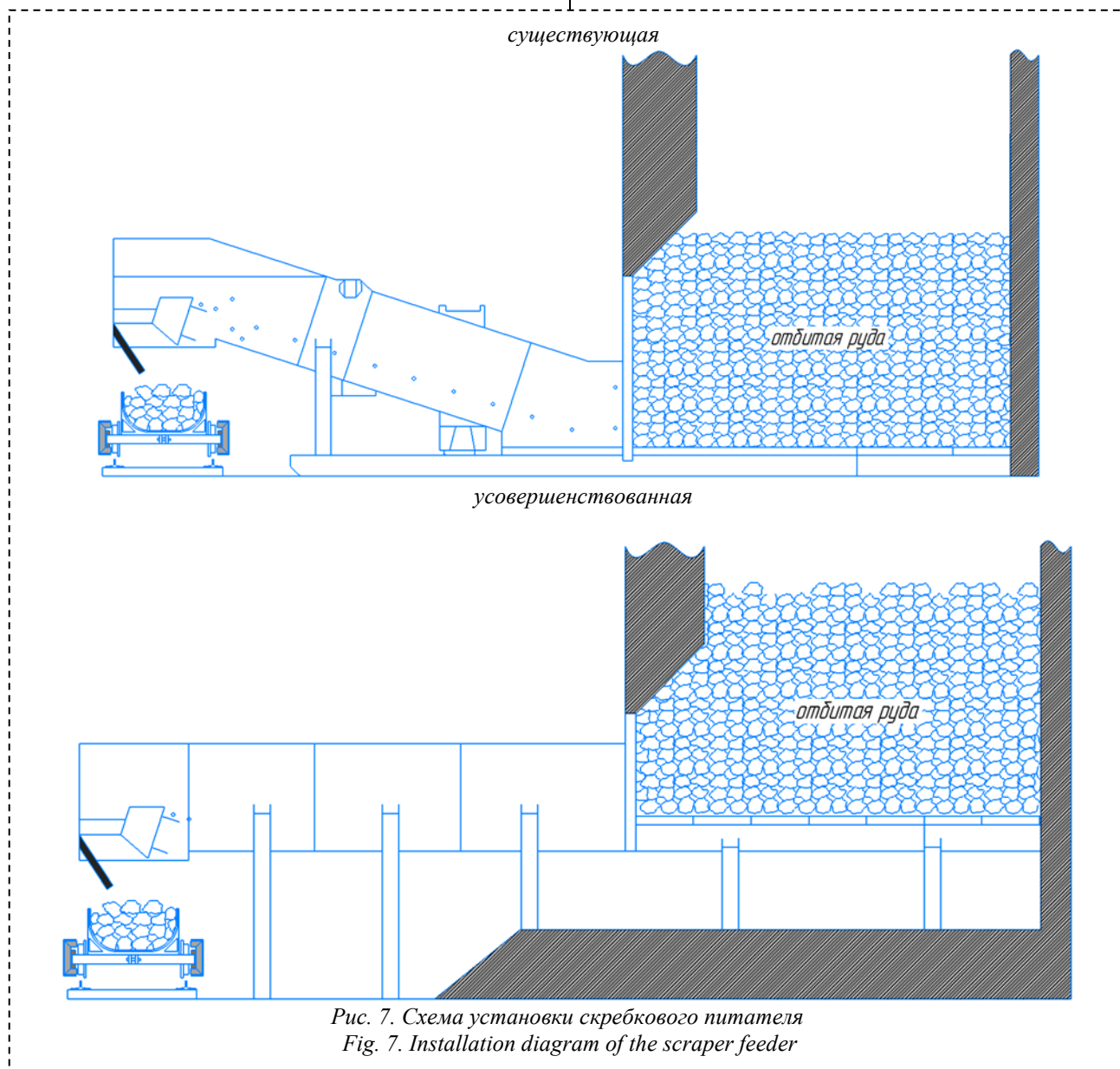
Проскальзывание поезда в приводной станции: причиной проскальзывания в приводных станциях на байпасе является недостаточный коэффициент сцепления, который уменьшается из-за сырости (влажности) боковых пластин. Влажность на боковых пластинах образуется из-за непогоды на поверхности или из-за разности температур, что приводит к появлению конденсата. Вследствие вышеописанных проблем происходит проскальзывание поезда при торможении и аварии с последующим столкновением с другими впереди стоящими приводными станциями [34].

Проскальзывание поезда в приводной станции на разгрузочной петле привело к остановке поезда при вращении приводных шин, что в свою очередь привело к остановке всех конвейерных поездов. Из-за этого произошла фактическая остановка транспортной системы в режиме движения приводных станций [35].

Решение: во избежание появления конденсата на металлических боковых пластинах предлагается установка коридора на поверхности, который будет дополнительно подогреваться в холодное время и защищать от дождя в непогоду. Укрывающий коридор необходимо устанавливать от разгрузочной петли до входа в наклонный ход и до ремонтного цеха.

Также решением данной проблемы является применение материала боковых пластин, фрикционные свойства которого менее зависимы от влажности и конденсата. Таким материалом может быть резина или полиуретан. Для увеличения фрикционных свойств также можно заменить полированные металлические боковины на рифленные или же на совсем другой материал, такой как рифленая резина или рифленый полиуретан [36].

Еще одной причиной аварий на байпасах является уменьшенное количество приводных станций в зацеплении, что приводит к наименьшему общему сцеплению с поездом. На всех остальных участках, кроме поверхности, установлено 4 приводных



станций в зацеплении. Предлагается на порожних путях байпас установить дополнительную приводную станцию с целью увеличения общего сцепного усилия.

На поверхности вблизи разгрузочных петель также предлагается увеличить количество приводных станций, так как угол подъема рельсовых путей увеличивается и необходимо прилагать наибольшее усилие, а в данный момент применяется по одной приводной станции на разгрузочную петлю [37].

Компетентностные ошибки

Компетентность персонала: Работники, которые работают с современной транспортной системой RV, недостаточно компетентны, так как не имеют опыта работы. В электрической части применяются современные частотные преобразователи, которые требуют высококвалифицированного персонала для его управления и обслуживания. Диспетчерский отдел также требует специалистов в данной области, так как нигде в мире нет подобных транспортных систем.

Решение: предлагается создание отдела в учебном комбинате на базе предприятия для повышения квалификации сотрудников в данной области. Необходимое присутствие представителей RVTG при обучении позволит улучшить эффективность преподавания. Возможно оформление командировок на предприятия, где уже применяется данная технология с целью обмена опытом. Необходимо создать отделы по различным видам работ, таких как: диспетчерские, обслуживающие, ремонтные [38, 39].

Выводы и заключение.

При эксплуатации транспортной системы RV имеется ряд технических, эксплуатационных и энергетических проблем, которые требуют решения и последующей модернизации. Из всего количества проблем можно выделить наиболее важные и аварийно опасные, такие как разгрузочные петли, стрелочные переводы и приводные станции. На эти ошибки принято около 80% всех аварий на предприятии.

По данным предприятия ТОО «Казцинк», около 30% аварий происходят по причине проскальзывания конвейерного поезда в приводной станции. Тем самым решение данной проблемы имеет огромное значение. Как писалось выше, наибольшее количество случаев проскальзывания происходит на байпасах при движении сверху вниз в порожнем состоянии.

Предложенные решения помогают исключить аварии транспортной системы RV на стадии проектирования, монтажа и эксплуатации. Капитальные вложения в предложенное оборудование на этапе проектирования позволят исключить экономические затраты на восстановление поврежденного конвейерного поезда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трушко В. Л., Трушко О. В. Комплексное освоение железорудных месторождений на основе конкурентоспособных подземных геотехнологий //

Записки Горного института. 2021. Т. 250. С. 569–577. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.10.

2. Журавлев А. Г., Семенкин А. В., Черепанов В. А., Глебов И. А., Чендырев М. А. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров // Горная промышленность. 2022. № 1. С. 53–62. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62.

3. Гридина Е. Б., Боровиков Д. О. Повышение безопасности труда рабочего персонала карьера, расположенного в сложных горно-геологических условиях Крайнего Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 9–1. С. 149–163. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_149.

4. Трейман М. Г., Копанская А. А. Анализ технико-экономических показателей транспортных систем горнообогатительных комплексов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2020. № 4. С. 17–28. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-4-17-28.

5. Громов Е. В., Билин А. Л., Белгородцев О. В., Наговицын Г. О. Обоснование вида и параметров горнотранспортных систем при освоении рудных месторождений в условиях Кольского полуострова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 4. С. 70–78. DOI: 10.15372/FTPPI20180409 EDN XZBLRJ.

6. Абдусаматова Н. С. К. Сопоставительный анализ доставки руды различными видами транспорта из месторождений с глубоких горизонтов // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2021. Vol. 1. № 4. Pp. 463–469.

7. Хазин М. Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2020. Т. 18. № 1. С. 4–15. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15.

8. Тищенко И. В., Ваняг Ю. В. Автоматизация и роботизация добычи твердых полезных ископаемых // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 2. № 3. С. 325–333.

9. Wheeler C. A. Development of the rail conveyor technology // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2019. vol. 33. № 2. Pp. 118–132. DOI: 10.1080/17480930.2017.1352058.

10. Громов Е. В. Анализ современного состояния и перспектив развития магистрального шахтного транспорта при глубокой добыче полезных ископаемых // Международная междисциплинарная научная конференция по геодезической съемке и управлению экологией горных работ, SGEM. 2018. Т. 18. № 1.3. С. 63–70. DOI: 10.5593/SGEM2018/1.3/S03.009.

11. Абу-Хасан М. С., Ельчугина А. С., Макаров Ю. И. Повышение качества железнодорожного земляного полотна // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 12. С. 14–16. EDN: REGNBJ

12. Панченко Н. М., Ганчиц В. В., К вопросу эффективности применения облегченных железнодорожных насыпей из пенополистирольных блоков // Научный альманах. 2021. № 4–2. С. 96–101.

13. Попов Р. О., Малиновский Ю. А., Данилина Г. В. Применение конвейерных поездов для

транспортирования железорудного сырья из глубоких шахт и карьеров // Научные труды sworld. 2015. С. 88–96. EDN: TOVMKX.

14. Стоянова Н. В., Минаков Д. Е., Минаков Е. Ю. Повышение надежности стрелочных переводов пологих марок крестовин с непрерывной поверхностью катания // Транспорт: наука, образование, производство («Транспорт-2022»). 2022. С. 261–265. EDN: TZJUFX.

15. Колесник М. Б., Колошенко Ю. Б., Просолович А. А. Анализ совместимости в задаче управления безредукторным приводом стрелочного перевода // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного университета. Науки о природе и технике. 2020. № 3. С. 14. EDN: BPMNBV.

16. Маклюков А. В., Роль электрификации в индустриализации Дальнего Востока России (1929–1937) // Вестник Томского государственного университета. История. 2021. № 72. С. 63–70.

17. Заварыкин Б. С., Кузьмин С. В., Соломенцев В. М. История электрификации горной промышленности: учебное пособие. Красноярск : СФУ, 2014. С. 228. ISBN 978-5-7638-2995-2.

18. Сарапулов Ф. Н., Смолянов И. А., Родионов И. Е. Исследование тягового линейного асинхронного двигателя для конвейерного поезда // Материалы 17-й Международной Уральской конференции по электроприводам переменного тока ACED -2018. 2018. Т. 18. С. 1–4. DOI: 10.1109/ACED.2018.8341685.

19. Шклярский Я. Э., Скамьин А. Н., Хименес Карриозо М. Энергоэффективность в минерально-сырьевом комплексе // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С. 323–324.

20. Васильев Б. Ю., Нгуен Т. Х., Анализ влияния полупроводниковых преобразователей на батарею и двигатель асинхронного привода шахтных горнотранспортных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 9–1. С. 299–318. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_299.

21. Аявхан К., Усова Е. Д. Разработка системы оперативно-диспетчерского управления на примере разветвлений конвейерной линии горного предприятия // Автоматика. Информатика. 2019. № 2. С. 12–18.

22. Патент РФ 166457. Устройство для очистки поверхности катания ходовых рельсов / Пулытъяков А. А., Мартыновский В. П., Наталин А. Ф., Скоробогатов М. Э. Заявл. 01.06.2016. Опубл. 27.11.2016. EDN: HDEGGV.

23. Труфанова И. С., Невзоров Д. Н. Применение конвейерных поездов как внешнего транспорта обогатительных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 9–1. С. 64–78. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_64.

24. Патен РФ 2019106293. Тяговый трос аварийного отключения для конвейера / Крессман Т. Д. Ж., Марбургер Э. Н. Заявл. 06.03.2018. Опубл. 07.09.2020.

25. Лазуткина Н. А. Исследование показателей надежности колесных пар вагонеток // Творчество

молодых-родному региону. 2023. С. 274–279. EDN: DRPAXZ.

26. Терехин Е. П., Жихарев А. В., Хужамуратов А. Б. Модернизация шахтной вагонетки вг-4, 5 с применением современных методов конструирования // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. 2021. С. 97–102. EDN: VFIVMW.

27. Robinson P. W., Orozovic O., Meylan M. H., Wheeler C. A., Ausling D. Optimization of the cross section of a novel rail running conveyor system // Engineering Optimization. 2021. DOI: 10.1080/0305215X.2021.1956486.

28. Morrison D. M., Labrecque P. O. High-capacity production systems for Block Caving mines // Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining, University of Chile, Santiago. 2022. Pp. 703–715. DOI: 10.36487/ACG_repo/2063_48.

29. Wheeler C. A. Rotating resistance of belt conveyor idler rolls // Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME. 2016. Vol. 138. № 4. Pp. 19. DOI: 10.1115/1.4031552.

30. Ломоносов, Г. Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений: учебное пособие. 2-е изд. Москва : Горная книга, 2013. 517 с. ISBN 978-5-98672-343-3.

31. Абрамов, А. А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Т. 3: учебное пособие: в 2 книгах. Москва : Горная книга, 2005. Т. 3. С. 575. ISBN 5-7418-0346-8.

32. Говоров В. В., Басовский Д. А. Оптимизация конструкций стрелочных переводов железных дорог промышленного транспорта // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте. 2020. С. 91–94. EDN: CLBYEO.

33. Шишкина И. В. Основы проектирования стрелочных переводов // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте. 2022. С. 444–450. EDN: VRBAM.

34. Матвеев А. А., Кампышева О. О., Мандриченко В. Е. Эффективность торможения транспортного средства в зависимости от состояния дорожной среды // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых. 2019. С. 149–153.

35. Малиновский Ю., Ткаченко А., Бондарец А., Рыбак Д., Власенко Д. Особенности расчета сопротивлений движению конвейерных поездов // European Science. 2023. № 2. С. 7–34.

36. Гридюшко Д. В., Брижевич А. В., Пискун Е. В. Выбор материала для облицовки приводного барабана ленточного конвейера // Горные науки и технологии. 2019. Т. 4. № 2. С. 132–143.

37. Труфанова И. С., Невзоров, Д. Н. Методика расчета конвейерных поездов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2023. № 20. С. 160–169. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-20-160-169.

38. Неволина Е. М., Шишкина С. В. Развитие компетентности персонала горнодобывающего предприятия как метод обеспечения безопасных условий труда // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический

журнал). 2021. № 5–1. С. 336–349.
DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_336.
39. Седелников Г. Е., Фомин А. И. Компетентность работников – основа безопасности труда

горняков // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2020. № 1. С. 53–58.
DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.59.93.006.

© 2024 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Труфанова Инна Сергеевна, доцент кафедры Транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2), кандидат технических наук, доцент, Trufanova_IS@pers.spmi.ru

Невzorov Данил Николаевич, аспирант кафедры Транспортно-технологических процессов и машин, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2), danilnevzorov@bk.ru

Заявленный вклад авторов:

Труфанова И.С. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; концептуализация исследования; написание текста.

Невzorov Д.Н. – сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; написание текста; выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-51-62

Inna S. Trufanova*, Danil N. Nevzorov

T t. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

*E-mail: danilnevzorov@bk.ru

ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF OPERATING THE RAILVEYOR TRANSPORT SYSTEM AT THE DOLINNY MINE



Article info

Received:

03 May 2024

Accepted for publication:

15 July 2024

Accepted:

15 August 2024

Published:

12 September 2024

Keywords: RailVeyor

transport system, efficiency, automation, safety, accident

Abstract.

This article presents an analysis of emergency situations that arise during the operation of the RailVeyor transport system at the Dolinny mine in Kazakhstan. The system consists of a number of trolleys on single-axle rails and is moved by side tires on traction drive stations. The RailVeyor transport system runs on electric traction and is environmentally friendly. Conveyor trains are successfully operated at the Dolinny mine, providing round-the-clock transportation of goods at an average speed of three meters per second and a productivity of 1,500 tons/day. Thanks to the automatic control system and flexibility, the system is able to cope with difficult conditions in the mine. However, the enterprise has a significant number of emergency situations, which indicates the relevance of research in this area. Accidents are grouped according to general causes - design, structural, energy and organizational. For each group, the cause of the problem is identified and a detailed solution is described. The article proposes possible solutions to certain problems in order to increase the efficiency of transportation by conveyor train systems in the conditions of mining enterprises

For citation: Trufanova I.S., Nevzorov D.N. Analysis of the experience of operating the Railveyor transport system at the Dolinny mine. Mining Equipment and Electromechanics, 2024; 3(173):51-62 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-51-62, EDN: WENDZE

REFERENCES

1. Trushko V.L., Trushko O.V. Integrated development of iron ore deposits based on competitive underground geotechnologies. *Notes of the Mining Institute*. 2021; 250:569–577. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.10.
2. Zhuravlev A.G., Semyonkin A.V., Cherepanov V.A., Glebov I.A., Chendyrev M.A. Problems of development of promising cyclic-flow technologies for deep quarries. *Mining industry*. 2022; 1:53–62. DOI: 30686/1609-9192-2022-1S-53-62 3.
3. Gridina E.B., Borovikov D.O. Increasing the labor safety of working personnel in a quarry located in difficult mining and geological conditions of the Far North. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2023; 9–1:149–163. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_149.
4. Treiman M.G., Kopanskaya A.A. Analysis of technical and economic indicators of transport systems of mining and processing complexes. *Scientific journal of NRU ITMO. Series "Economics and Environmental Management"*. 2020; 4:17–28. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-4-17-28.
5. Gromov E.V., Bilin A.L., Belogorodtsev O.V., Nagovitsyn G.O. Justification of the type and parameters of mining transport systems during the development of ore deposits in the conditions of the Kola Peninsula. *Physico-technical problems of mineral development*. 2018; 4:70–78. DOI: 10.15372/FTPRPI20180409 EDN XZBLRJ.
6. Abdusamatova N.S.K. Comparative analysis of ore delivery by various modes of transport from deposits from deep horizons. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*. 2021; 1(4):463–469.
7. Khazin M.L. Robotic technology for mining. *Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after*. 2020; 18(1):4–15. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15.
8. Tishchenko I.V., Vanag Yu.V., Automation and robotization of solid mineral extraction. *Interexpo Geo-Siberia*. 2022; 2(3):325–333.
9. Wheeler C.A. Development of the rail conveyor technology. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2019; 33(2):118–132. DOI: 10.1080/17480930.2017.1352058.
10. Gromov E.V. Analysis of the current state and prospects for the development of main mine transport during deep mining. *International interdisciplinary scientific geoconference on geodetic surveying and environmental management of mining operations, SGEM*. 2018; 18(1.3):63–70. DOI: 10.5593/SGEM2018/1.3/S03.009.
11. Abu-Hasan M.S., Elchugina A.S., Makarov Yu.I. Improving the quality of railway roadbed. *BST: Bulletin of Construction Technology*. 2020; 12:14–16. EDN: REGNBJ .
12. Panchenko N.M., Ganchits V.V. On the issue of the effectiveness of using lightweight railway embankments made of polystyrene foam blocks. *Scientific almanac*. 2021; 4(2):96–101.
13. Popov R.O., Malinovsky Yu.A. Danilina G.V. The use of conveyor trains for transporting iron ore raw materials from deep mines and quarries. *Scientific works world*. 2015; 88–96. EDN: TOVMKX.
14. Stoyanova N.V., Minakov D.E., Minakov E.Yu., Increasing the reliability of turnouts of flat grades of crosses with a continuous rolling surface. *Transport: science, education, production ("transport")*. 2022; 261–265. EDN: TZJUFX .
15. Kolesnik M.B., Koloshenko Yu.B., Prosolovich A.A. Compatibility analysis in the control problem of a gearless switch drive. *Scientific notes of Komsomolsk-on-Amur State University. Sciences about nature and technology*. 2020; 3:14. EDN: BPMNBB
16. Maklyukov A.V. The role of electrification in the industrialization of the Russian Far East (1929–1937). *Bulletin of Tomsk State University. Story*. 2021; 72:63–70.
17. Zavarykin B.S., Kuzmin S.V., Solomentsev V.M. History of electrification of the mining industry: textbook. Krasnoyarsk: SFU; 2014. P. 228. ISBN 978-5-7638-2995-2.
18. Sarapulov F.N., Smolyanov I.A., Rodionov I.E., Study of a traction linear asynchronous motor for a conveyor train. *Proceedings of the 17th International Ural Conference on AC Electric Drives ACED-2018*. 2018; 18:1–4. DOI: 10.1109/ACED.2018.8341685.
19. Shklyarsky Ya.E., Skamin A.N., Jimenez Carrizoza M. Energy efficiency in the mineral resource complex. *Notes of the Mining Institute*. 2023; 261:323–324.
20. Vasiliev B.Yu., Nguyen T.H. Analysis of the influence of semiconductor converters on the battery and motor of the asynchronous drive of mine mining transport machines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2023; 9(1):299–318. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_299.
21. Ayavkhan K., Usova E. D., Development of an operational dispatch control system using the example of branching conveyor lines of a mining enterprise. *Automation. Computer science*. 2019; 2:12–18.
22. RF Patent 166457. Device for cleaning the rolling surface of running rails. Pulyakov A.A., Martynovsky V.P., Natalin A.F., Skorobogatov M.E. Application 06/01/2016. Publ. 11/27/2016. EDN: HDEGGV.
23. Trufanova I.S., Nevzorov D.N. Application of conveyor trains as external transport for processing enterprises. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2023; 9(1):64–78. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_64.
24. Patent of the Russian Federation 2019106293. Emergency shutdown traction rope for a conveyor. Cressman T.D. Zh., Marburger E.N. Appl. 03.06.2018. Publ. 09.07.2020.
25. Lazutkina N.A., Study of reliability indicators of wheel pairs of trolleys. Creativity of young people in the native region. 2023; 274–279. EDN: DRPAXZ .
26. Terekhin E.P., Zhikharev A.V., Khuzhamuratov A.B. Modernization of the mine trolley VG-4, 5 using modern design methods. *Modern problems of the*

mining and metallurgical complex. *Science and production*. 2021; 97–102. EDN: VFIVMW.

27. Robinson P.W., Orozovic O., Meylan M.H., Wheeler C.A., Ausling D., Optimization of the cross section of a novel rail running conveyor system. *Engineering Optimization*. 2021; DOI: 10.1080/0305215X.2021.1956486.

28. Morrison D.M, Labrecque P.O. High-capacity production systems for Block Caving mines. *Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining, University of Chile, Santiago*. 2022; 703–715. DOI: 10.36487/ACG_repo/2063_48.

29. Wheeler C.A. Rotating resistance of belt conveyor idler rolls. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. 2016; 138(4):19 DOI: 10.1115/1.4031552.

30. Lomonosov G.G. Production processes of underground mining of ore deposits: textbook. Moscow: Mining Book; 2013; 517. ISBN 978-5-98672-343-3.

31. Abramov A.A., Technology of processing and enrichment of non-ferrous metal ores. Mining Book. 2005; 3:575. ISBN 5-7418-0346-8.

32. Govorov V.V., Basovsky D.A., Optimization of designs of turnouts on industrial railways. *Innovative technologies in railway transport*. 2020; 91–94. EDN: CLBYEO.

33. Shishkina I.V. Fundamentals of design of turnouts. *Innovative technologies in railway transport*. 2022; 444–450. EDN: VRBABM

34. Matveev A.A., Kampysheva O.O., Mandrichenko V.E. Effectiveness of vehicle braking depending on the state of the road environment. *Fundamental and applied research of young scientists*. 2019; 149–153.

35. Malinovsky Yu., Tkachenko A., Bondarets A., Rybak D., Vlasenko D., Features of calculating resistance to the movement of conveyor trains. *European Science*. 2023; 2:7–34.

36. Gridyushko D.V., Brizhevich A.V., Piskun E.V., Selection of material for lining the drive drum of a belt conveyor *Mining Sciences and Technologies*. 2019; 4(2):132–143.

37. Trufanova I.S., Nevzoro, D.N., Methodology for calculating conveyor trains. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023; 20:160–169. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-20-160-169.

38. Nevolina E.M., Shishkina S.V., Development of competence of personnel of a mining enterprise as a method of ensuring safe working conditions. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2021; 5(1):336–349. DOI: 25018/0236_1493_2021_51_0_336.

39. Sedelnikov G.E., Fomin A.I. Competence of workers is the basis of labor safety for miners. *Bulletin of the Scientific Center of the Eastern Research Institute for Industrial and Environmental Safety*. 2020; 1:53–58. DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.59.93.006.

© 2024 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Trufanova Inna Sergeevna, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II (199106, St. Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 line, no. 2), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Trufanova_IS@pers.spmi.ru

Nevzorov Danil Nikolaevich, graduate student of the Department of Transport and Technological Processes and Machines, St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II (199106, St. Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 line, no. 2), danilnevzorov@bk.ru

Contribution of the authors:

Trufanova I.S. – formulation of the research problem; scientific management; conceptualization of the study; writing text.

Nevzorov D.N. – data collection and analysis; review of relevant literature; writing text; conclusions.

Authors have read and approved the final manuscript.

