

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНВЕЙЕРНЫХ ПОЕЗДОВ

Невзоров Д.Н., Труфанова И.С.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: конвейерный поезд, транспорт, ленточный конвейер, внешний транспорт, оборудование, промежуточный привод, фрикционный привод, railveyor.

Аннотация. За последние несколько десятилетий энергопотребление современных ленточных конвейеров значительно снизилось. Несмотря на то, что были проведены обширные исследования в области производства энергоэффективных ленточных конвейеров, остаются значительные возможности для дальнейшего снижения энергопотребления, особенно при рассмотрении тяжело-нагруженных или длинных наземных ленточных конвейеров. Конвейерные поезда – это высокоэффективная и экономичная система транспортировки сыпучих и кусковых материалов, которая сочетает в себе преимущества как технологии ленточного конвейера, так и локомотивной откатки. В настоящей работе предлагается методика расчета конвейерного поезда включая количество приводных станций и расход электроэнергии. Данная методика позволяет по достаточным исходным данным быстро рассчитать выходные параметры, необходимые для предприятия. Результаты показывают, что конвейерные поезда являются экономичными по сравнению с локомотивной откаткой за счет наименьшего энергопотребления и уменьшенного штата сотрудников.

TRAIN CONVEYOR METHOD OF CALCULATION

Nevzorov D.N., Trufanova I.S.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: train conveyor, transport, belt conveyor, external transport, equipment, intermediate drive, friction drive, railveyor.

Abstract. Over the past few decades, the energy consumption of modern conveyor belts has decreased significantly. Although extensive research has been conducted into the production of energy-efficient belt conveyors, there remains significant scope for further reduction of energy consumption, especially when considering heavily loaded or long ground belt conveyors. Conveyor trains are a highly efficient and economical system for transporting bulk and lumpy materials, which combines the advantages of both belt conveyor technology and locomotive trains. In this paper, a method for calculating a conveyor train is proposed, including the number of drive stations and power consumption. This technique allows you to quickly calculate the output parameters necessary for the enterprise based on sufficient initial data. The results show that conveyor trains are economical compared to locomotive rolling due to the lowest energy consumption and reduced staff.

Введение. К современным обогатительным фабрикам предъявляются высокие требования в части механизации и автоматизации производственных процессов. А перспективы их развития связаны, главным образом, с применением высокопроизводительного оборудования, совершенствования технологических схем и технологических процессов [1, 2]. Одним из необходимых технологических процессов является транспортирование горной массы. Важен как внутрифабричный транспорт, так и внешний - доставка исходного сырья от месторождения до фабрики, отправка концентрата потребителю и удаление хвостов обогащения в отвал; так как в структуре полных затрат на добычу и переработку затраты на транспорт достигают 50% в себестоимости добычи полезного ископаемого [3, 4].

В качестве внешнего транспорта может использоваться автомобильный, железнодорожный, конвейерный и трубопроводный транспорт, грузовые подвесные канатные дороги [5]. Каждый из этих видов транспорта имеет свои преимущества и недостатки, свою собственную область применения, ограниченную горно-геологическими условиями (параметры трассы: преодолеваемые уклоны, минимальные радиусы кривых, требования к прямолинейности трассы), экономическими (рациональное расстояние транспортирования и

связанные с ним эксплуатационные затраты) и экологическими требованиями. Поэтому выбор наиболее эффективной транспортной системы для конкретных условий эксплуатации является ключевой задачей [6].

Перспективным видом транспорта для перемещения взорванных скальных пород являются конвейерные поезда. Данные системы могут представлять единый вид транспорта от забоя с экскаваторной погрузкой до перегрузочного пункта или обогатительной фабрики. Также они могут быть составной частью системы комбинированного транспорта в сочетании с любым действующим на предприятии видом транспорта [7, 8].

В условиях сложного рельефа местности и тяжелых горно-геологических условий конвейерные поезда обладают следующими преимуществами:

- обеспечивают транспортирование взорванной горной массы с размером кусков до 1200-1500 мм, что позволяет использовать их в качестве альтернативы конвейерному транспорту, который требует предварительного дробления материала перед загрузкой;

- преодолевают крутые (до 20-30%) уклоны, что сокращает протяженность транспортных коммуникаций на борту карьера; имеют малые радиусы поворота в плане (до 20 м) и профиле (до 2-3 м), что обеспечивает возможность отработки горизонтов при сравнительно малых размерах рабочих площадок; сравнительно небольшая масса всей системы в целом. Данные преимущества позволяют рассматривать систему конвейерных поездов как альтернативу классическому железнодорожному транспорту [9];

- являются экологичным видом транспорта за счет применения электропривода. В подземных условиях экология имеет большое значение в безопасности рабочих [10]. Кроме того, железнодорожные коммуникации экономят природное пространство, так как требуют меньше территориальных ресурсов, чем, например автомобильные магистрали [11, 12].

Кроме того, системы конвейерных поездов позволяют полностью автоматизировать процесс транспортирования и требуют небольшой штат обслуживающего персонала, что позволяет повысить производительность труда рабочих [13, 14].

В конвейерных поездах компании Rail-Veyor уменьшен штат людей по сравнению с локомотивной откаткой, в частности, исключены машинисты, которые находятся в опасности и подвергаются рискам. По результатам исследований [15] выявлено, что наибольшее количество несчастных случаев на производстве приходится на процесс транспортировки и по причине личной неосторожности. Тем самым можно сделать вывод, что конвейерные поезда повышают безопасность на производстве [16, 17].

Методология. Приведенные данные свидетельствуют о целесообразности разработки, создания и внедрения конвейерных поездов на отечественных предприятиях. В данной работе были использованы теоретические и эмпирические методы исследования.

Был изучен опыт создания и применения конвейерных поездов за всю историю их существования. Было выяснено, что фирмой «Hemscheidt-Grebe» (ФРГ) на базе пластинчатого конвейера были созданы три конструкции конвейерного поезда с грузонесущим органом пластинчатого и ленточного типов. Другая конструкция конвейерного поезда была предложена компанией «Becker-Prunte» (ФРГ). Следующим перспективным проектом стал конвейерный поезд компании «Seccam» (Франция) в 1957 году. Основной отличительной чертой французского проекта являются приводные станции [18]. Почти одновременно с системой «Seccam» в США фирмой «Dashaveyog» была создана система конвейерных поездов с грузонесущим органом вагонеточного типа, предназначенных для транспортирования дробленого сыпучего груза. Наиболее прогрессивное решение осуществлено фирмой «Merlin Gerin», создавшей автоматизированную систему конвейерных поездов с приводом от линейного асинхронного двигателя. Над проблемой создания конвейерных поездов для подземных и открытых горных разработок в СССР работал целый ряд институтов – ДонУГИ, ИГТМ АН УССР, ИГД им. А. А. Скочинского, ИГД Минчермета СССР, Казахский и Карагандинский политехнические институты, Криворожский горнорудный институт, ВНИИПТМАШ и др. [19, 20].

Был проанализирован опыт применения конвейерных поездов на базе решений компании Rail-Veyor. Первый конвейерный поезд был произведен в 1999 году и применялся для транспортирования фосфатного мусора и доказал способность эффективно загружать и быть экономичной и экологичной системой. Первая в мире система конвейерных поездов Rail-Veyor была установлена Южноафриканской золотодобывающей компанией Harmony Gold в Факисе для подземной транспортировки горной массы к соседнему руднику Ньялы на расстояние 47 км, где она поднимается на поверхность. Следующим шагом была установка конвейерного поезда Rail-Veyor 2-го поколения компанией Vale S.A. на руднике Copper Cliff в декабре 2011 года. В 2016 году была введена в эксплуатацию очередная установка конвейерных поездов золотодобывающей компанией Agnico Eagle в Квебеке. Заключение контракта производителя конвейерных поездов с компанией MAROIL в 2017 году позволило компании транспортировать нефтяной кокс с низкими эксплуатационными затратами. В 2018 году шахта Casteel стала первым рудником в США и вторым коммерческим предприятием в мире, на котором была установлена система непрерывной железнодорожной перевозки. Monarh Gold – золотодобывающая компания в Канаде для увеличения производительности приняли решение установить систему конвейерных поездов Rail-Veyor в 2019 году. Добыча руды осуществляется по технологии Rail-Veyor с применением метода перекрытия длинных стволов сверху вниз. 11 января 2020 года Rail-Veyor сообщили о подписании лицензионного и сервисного соглашения с ТОО «Казцинк», одной из крупнейших и инновационных горнодобывающих предприятий в Казахстане [21].

Система включает собственно конвейерные поезда, рельсовые пути, стрелочные переводы, загрузочные и разгрузочные устройства, приводные станции и систему управления [22].

Конвейерные поезда длиной до 400 м для крупнокусковых скальных пород представляет собой ряд шарнирно соединенных тележек с одноробордными колесами, закрепленными на осях. На раме тележек установлены металлические лотки длиной 1, м, установленные на ось с двумя колесами диаметром 0,2 м. Разрывы между вагонами закрываются с помощью конвейерной ленты, которая перекрывает зазор между соседними вагонами и предотвращает рассыпание материала во время транспортировки, а также действует как разгрузочный желоб при разгрузке поезда. Кузова опираются на раму посредством резинометаллических амортизаторов, снижающих динамические нагрузки при загрузке и в движении поезда. Количество составов и вагонов и, соответственно, длина поезда зависят от параметров проекта [23].

Передвижение поезда осуществляется с помощью стационарных приводов фрикционного типа, установленных вдоль трассы в зависимости от веса поезда и географического рельефа. Приводные станции состоят из двух двигателей переменного тока мощностью 100 л.с., частотно-регулируемых приводов, коробок передач, удаленного ввода-вывода и нескольких датчиков и исполнительных механизмов. Каждый двигатель вращает горизонтально установленную, заполненную воздухом, шину, расположенную с обеих сторон пути. Пневматические резиновые колеса прижимаются к боковым металлическим пластинам (шириной 150 мм), закрепленным с наружной стороны лотков по всей длине состава. Коэффициент сцепления между резиновыми колесом привода и пластинами обычно составляет менее 0,3, а при покрытии пластин составом из смеси песка и эпоксидной смолы может достигать 0,8 [24].

Одним из недостатков системы конвейерных поездов является большое количество распределенных по трассе стационарных приводов. Однако приводные станции потребляют энергию только в контакте с поездом и регенерируют электроэнергию при спуске по склону [25]. Количество приводных станций (два привода) зависит от рельефа трассы и требуемой производительности. В типовой конфигурации минимум 4 приводных станции находятся в контакте с загруженным поездом. Порожний поезд будет контактировать как минимум с 2 станциями [26, 27].

Загрузка состава может производиться из бункера при помощи вибрационных или пластинчатых питателей. Скорость погрузки и поезда связывается для оптимизации потока. Разгрузка производится в стационарных или передвижных устройствах несколькими способами: постоянная разгрузочная петля (180°); мобильная разгрузочная петля; разгрузка в автосамосвал; разгрузочная петля 360° ; разгрузка в штабель [28].

Основными технологическими параметрами конвейерных поездов являются ширина и сечение грузонесущего полотна, сопротивление движению поезда, масса поезда, мощность приводной станции и расход электроэнергии [29, 30].

Ширина полотна и сечение грузонесущего органа зависят от гранулометрического состава перевозимого груза.

При движении конвейерного поезда поочередно воздействуют сжимающие и растягивающие силы, так что попеременно движется в режиме тяги и толкания. Рассматривая движение поезда от одной приводной станции к другой, можно установить, что одна половина поезда движется в режиме тяги, а вторая в режиме толкания. Существует момент, когда весь поезд работает в режиме толкания, при этом возникают дополнительные сопротивления движению под действием, так называемых, расклинивающих сил и возрастает коэффициент сопротивления [31].

Масса конвейерного поезда является одним из факторов, определяющих затраты на транспортирование. Расчет весовых характеристик поезда производится в зависимости от погонной нагрузки.

На мощность приводной станции влияет ряд параметров: масса и длина состава, плотность и объем перевозимого груза, уклон и кривизна трассы, сопротивление движению. Приводные станции Rail-Veyog являются экономичными, потому что потребляют электроэнергию только в контакте с поездом [32]. Также система электропривода позволяет эффективно управлять процессом и регенерировать электроэнергию при спуске по склону. Для наибольшего эффекта энергоэффективности применяется энергетическая развязка электропривода и сети электроснабжения, что позволяет решать такие вопросы как, регулирование потоков тормозной мощности приводного двигателя и регулирование потоков потребляемой электроприводом мощности [33].

Расход электроэнергии является наиболее значимым экономически важным параметром при расчете конвейерных поездов. Этот показатель зависит от всех вышеперечисленных параметров.

За основу расчета конвейерных поездов была принята методика из обзора Потапова М.Г. и Комракова А.Н. [34]. Были внесены изменения по расчету мощности двигателей приводных станций, общего количества двигателей на всем протяжении и расход электроэнергии [35].

Исходными данными для расчета являются: годовая производительность участка, параметры трассы транспортирования с уклонами и радиусами поворота, длина транспортирования, характеристика перевозимого груза, режим работы на производстве.

Необходимую длину конвейерного поезда можно рассчитать исходя из требуемой грузоподъемности поезда по формуле

$$l_{\text{п}} = \frac{q}{s\gamma}, \text{ м} \quad (1)$$

где q – грузоподъемность поезда, т; s – сечение грузонесущего органа, м^2 ; γ – насыпная плотность груза, $\text{т}/\text{м}^3$.

Время движения груженого и порожнего поездов определяют по формулам (2) и (3), соответственно:

$$t_{\text{г}} = \frac{L_{\text{г}}}{v_{\text{г}} \cdot 60}, \text{ мин} \quad (2)$$

$$t_{\text{п}} = \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{п}} 60}, \text{ мин} \quad (3)$$

где $L_{\text{г}}$ и $L_{\text{п}}$ – длина транспортирования в груженом и порожнем направлениях соответственно, м; $v_{\text{г}}$ и $v_{\text{п}}$ – скорость поезда при транспортировании в груженом и порожнем направлениях, соответственно, м/с.

На период операций – загрузка и разгрузка, конвейерный поезд не останавливается, а продолжает движение со сниженной скоростью. Время погрузки и разгрузки можно рассчитать по формулам

$$t_{\text{пог}} = \frac{l_{\text{п}}}{v_{\text{пог}} 60}, \text{ мин} \quad (4)$$

$$t_{\text{раз}} = \frac{l_{\text{п}}}{v_{\text{раз}} 60}, \text{ мин} \quad (5)$$

где $v_{\text{пог}}$ – скорость поезда во время погрузки, м/с; $v_{\text{раз}}$ – скорость поезда во время разгрузки, м/с.

Время рейса конвейерного поезда рассчитывается по формуле

$$t_{\text{об}} = t_{\text{пог}} + t_{\text{гр}} + t_{\text{раз}} + t_{\text{пор}} + t_{\text{м}}, \text{ мин} \quad (6)$$

где $t_{\text{м}}$ – время на маневровые операции, мин.

Количество рейсов конвейерного поезда в сутки определяется по формуле

$$P_{\text{с}} = \frac{t_{\text{с}}}{t_{\text{об}}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{с}}$ – продолжительность работы в сутки, мин;

Рабочее количество конвейерных поездов определяется исходя из требуемой суточной производительности по формуле

$$n_{\text{р}} = \frac{\Pi}{qP_{\text{с}}T}, \quad (8)$$

где Π – годовая объемная производительность, м³/год; T – количество рабочих дней в году.

Инвентарный парк конвейерных поездов находится по формуле

$$n_{\text{и}} = (n_{\text{р}} k_{\text{и}}) + 1, \quad (9)$$

где $k_{\text{и}} = 1, 2$ – коэффициент инвентарного парка;

Погонная масса конвейерного поезда находится по формуле

$$G = 0,75S, \frac{\text{т}}{\text{м}} \quad (10)$$

где S – поперечное сечение груза, лежащего на конвейерном поезде, м².

Полная масса конвейерного поезда находится по формуле

$$G_{\text{п}} = Gl_{\text{п}}, \text{ т} \quad (11)$$

Одним из главных моментов тягового расчета является определение силы тяги конвейерного поезда в груженом и порожнем направлении по формулам

$$F_{\text{г}} = (G_{\text{п}} + q)(\omega_{\text{г}} + i) \cdot g, \text{ Н} \quad (12)$$

$$F_{\text{п}} = (G_{\text{п}})(\omega_{\text{пор}} + i) \cdot g, \text{ Н} \quad (13)$$

где $\omega_{\text{г}}$ и $\omega_{\text{пор}}$ – сопротивление движению состава в груженом и порожнем направлениях, соответственно, Н/кН; i – уклон трассы, ‰.

Количество рейсов всех конвейерных поездов находится по формуле

$$P = \frac{\Pi}{qT} \quad (14)$$

Интервал времени между поездами на горизонтальном участке трассы находится по формуле

$$t_{01} = \frac{t_c}{P}, \text{ мин} \quad (15)$$

Время работы двигателя по перемещению поезда в грузном и порожнем направлениях находится по формулам

$$t_{в.г.} = \frac{l_{п.}}{v_{г.}}, \text{ мин} \quad (16)$$

$$t_{в.п.} = \frac{l_{п.}}{v_{п.}}, \text{ мин} \quad (17)$$

Расчетная продолжительность включения двигателя находится по формуле

$$ПВ_p = \frac{t_{в.}}{t_{в.} + t_0} \cdot 100, \% \quad (18)$$

где t_0 – интервал времени между поездами, рассчитывается по формуле

$$t_0 = \frac{t_{об.}}{n_p}, \text{ мин} \quad (19)$$

Мощность двигателя в грузном и порожнем направлениях определяется по формулам

$$N_{г.} = \frac{F_{г.} v_{г.}}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (20)$$

$$N_{п.} = \frac{F_{п.} v_{п.}}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (21)$$

где η – коэффициент полезного действия КПД электродвигателя.

Мощность двигателя с учетом продолжительности включения в грузном и порожнем направлениях определяется по формулам

$$N'_{г.} = N_{г.} \sqrt{\frac{ПВ_p}{100}} \cdot 1,2 \quad (22)$$

$$N'_{п.} = N_{п.} \sqrt{\frac{ПВ_p}{100}} \cdot 1,2 \quad (23)$$

Рабочее количество двигателей рассчитывается по формуле

$$e = \frac{LN'_{п.}}{0,95 l_{п.} N_{г.}} \quad (24)$$

где $N_{г.}$ – мощность двигателя выбранная, кВт; L – общая длина транспортирования, м.

Инвентарное количество двигателей определяется по формуле

$$e_{и} = ek_{и} \quad (25)$$

где $k_{и} = 1,2$ – коэффициент инвентарного парка.

Количество часов работы двигателей в сутки определяется по формуле

$$t_{м.} = \frac{t_{в.} P e}{3600}, \text{ ч} \quad (26)$$

Расход электроэнергии в год определяется по формуле

$$N_{г.} = N_{г.} t_{м.} T, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (27)$$

Расход электроэнергии (с учетом прочих расходов) в год определяется по формуле

$$N_{в.} = N_{г.} + 0,1N, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (28)$$

Обсуждение результатов

В таблицах 1 и 2 приведены исходные данные и полученные результаты для расчета системы конвейерных поездов.

Основная экономия средств получается за счет снижения электропотребления, так как современная система работает рационально и с применением рекуперативного торможения [36]. Также экономия денежных средств осуществляется за счет уменьшения количества рабочих, что в свою очередь уменьшает фонд оплаты труда. Заработная плата уменьшится, так как оператор будет работать на поверхности и в комфорте, что в свою очередь понизит тарифную ставку и уменьшит районный коэффициент.

Табл. 1. Исходные данные для расчета конвейерного поезда

Наименование	Размерность	Значение
Годовая объемная производительность	м ³	1087500
Грузоподъемность КП	т	400
Скорость в груженом направлении	м/с	3
Скорость в порожнем направлении	м/с	4,5
Сечение груза на КП	м ²	0,5
Коэффициент разрыхления	-	1,5
Плотность груза	т/ м ³	2,4
Общая длина транспортирования	км	3,8
Средневзвешенный уклон	°/°°	3

Табл. 2. Результаты расчетов

Наименование	Размерность	Значение
Длина конвейерного поезда	м	333
Время рейса	мин	48,1
Возможное число рейсов в сутки	-	30
Необходимое число рейсов в сутки	-	19
Необходимое количество КП	-	1
Время включения двигателей -в груженом направлении - в порожнем направлении	с	111,1 74,1
Продолжительность включения двигателей	%	1,6
Сила тяги -груженого состава -порожного состава	Н	10300,5 9810
Требуемая мощность двигателей	кВт	46,5
Время работы двигателей в сутки	ч	0,98
Годовой расход электроэнергии	кВт·ч	16177,35
Годовой расход электроэнергии с учетом прочих расходов	кВт·ч	17795

Выводы, заключение

В ходе проведения работы были изучены конструкции конвейерных поездов отечественных разработок и Rail-Veyor. Была предложена методика тягового и эксплуатационного расчета конвейерного поезда, которая включает в себя формулы, ранее не использованные данных расчетах. К таким формулам относятся: расчетная продолжительность включения двигателя, мощность двигателя с учетом продолжительности, количество часов работы двигателя в сутки. Благодаря этой адаптированной методике оказалось возможным рассчитать применение Rail-Veyor на примере рудника «Таймырский», что показало целесообразность применения этого вида транспорта.

Список литературы

1. Gromov E. V. Analysis of contemporary state and development prospects for trunk mine transport in deep mining // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2018, vol. 18, no. 1, pp. 63-70.
2. Громов Е.В. Обоснование возможности реконструкции подземной транспортной схемы рудника при переходе на перспективные способы транспортирования руды (на примере гор. +170 м Кукисвумчоррского месторождения) // Проблемы недропользования. – 2017. – Т. 12, №. 1. – С. 37-47.
3. Yakovlev V.L., Bersenev V.A., Glebov A.V, Selecting Cyclical-and-Continuous Process Flow Diagrams for Deep Open Pit Mines // Journal of Mining Science. 2019, vol. 55, no. 5, pp. 783-788.
4. Gromov E., Belogorodtsev O. Efficient application of stripping schemes for mineral deposits: Conventional and advanced transportation of ore in dependence of annual productive capacity of underground mines // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2017, vol. 17, no. 13, pp. 305-311.
5. Wheeler C. A. Development of the rail conveyor technology // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2019, vol. 33, no. 2, p. 118-132.
6. 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. – Т. 3, №1(38). – С. 88-96.
7. Труфанова И.С., Попова Ю.М. Особенности применения транспортной системы rail-veyor // Globus. – 2019. – №7(40). – С. 67-70.
8. Wheeler C. A. Rotating resistance of belt conveyor idler rolls // Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME. 2016, vol. 138, no. 4, pp. 19.
9. Popov S.O., Malinowski Y.A., Daniina G. V., Kozyrev S.N. The application features of conveyor trains at mining on deep horizons // Metallurgical and Mining Industry. 2015, vol. 7, no. 9, pp. 1163-1167.
10. Пашкевич М.А., Анциферова Т.А. Оценка степени воздействия предприятий топливно-энергетического комплекса на окружающую природную среду при укрупнении производства // Записки Горного института. – 2013. – Т. 203. – С. 229-232.
11. Куцевол Н.А., Соколова В.С. Железнодорожный транспорт с точки зрения экологии в сравнении с другими видами транспорта // E-Scio. – 2020. – № 9(48). – С. 227-232.
12. Handayani F.S., Pramesty F.P., Setyawan A. Reducing the release of greenhouse gases in the rigid pavement material transportation process unit // Lect Notes Civ Eng. 2023, vol. 225, pp. 763-769.
13. Лакота О.Б., Елихин А.С. Совершенствование рудничного электровозного транспорта на базе автоматизации // Молодой ученый. – 2015. – № 24(104). – С. 149-151.
14. Уваров А.В. Автоматизированная система управления конвейерами и конвейерными линиями АСУК-ДЭП // Записки Горного института. – 2008. – № 177. – С. 36-39.
15. Гридина Е. Б., Боровиков Д. О. Выявление причин травматизма на основе карт оценки профессиональных рисков на угольном разрезе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6-1. – С. 114-128.
16. Журавлев А.Г., Семенкин А.В., Черепанов В.А. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров // Горная промышленность. – 2022. – №1. – С. 53-62.
17. Кочиш К. К. Есть новые технологии // Горное дело. – 2017. – Т. 69, №10. – С. 54-60.
18. Gromov E.V., Bilin A.L., Belogorodtsev O.V., Nagovitsyn G.O. Substantiation of Mining-and-Transportation System Type and Parameters for Mining of Ore Deposits in the Conditions of the on the Kola Peninsula // Journal of Mining Science. 2018, vol. 54, no. 4, pp. 591-598.
19. Потапов М.Г., Комраков А.Н., Мелихов Л.В. Применение конвейерных поездов на открытых разработках. – М.: ЦНИЭИуголь, 1976. – С. 3-13.
20. Конвейерные поезда в горной промышленности / Под ред. акад. Н.С. Полякова; АН УССР. Ин-т геотехн. механики. – Киев: Наук. думка, 1974. – 207 с.
21. Официальный сайт "Rail-Veyor Smart move" [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.railveyor.com>.
22. Bobojanov M.K., Ziyudulla O.E., Ismailov M.T., Arziev E.I., Togaeva G.Z. Study of the efficiency of conveyors of mining transport systems of mining complexes // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 177, p. 030237.
23. Trubetskoy K.N., Zharikov I.F., Shenderov A.I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines // Gornyi Zhurnal. 2015, vol. 1, p. 21-25.
24. Труфанова И.С., Лавренко С.А. Горные транспортные машины и оборудование. Применение промежуточных линейных приводов с прижимными элементами для ленточных конвейеров. – СПб.: Политехника Сервис, 2019. – 88 с.
25. Wheatley G., Rubel R. I. Analysis of conveyor drive power requirements in the mining industry // Acta Logistica. 2021, vol. 8, no. 1, pp. 37-43.
26. Huang X, Huang Q, Cao H, Yan W, Cao L, Zhang Q. Optimal design for improving operation performance of electric construction machinery collaborative system // Method and application. Energy. 2023, vol. 263, p. 12-19.

27. Большунов А.В., Соколова Г.В., Авдеев А.М. Перспективы использования тяговых устройств фрикционного типа в приводах горных, транспортных и технологических машин // Записки Горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 9-21.
28. Dammers M., Barnevoid L., Marchiers A., Development of an Underground Haulage System Evaluation Tool for Feasibility Studies // Mining, Metallurgy & Exploration. 2019, vol. 36, pp. 487-494.
29. Лунев Д.Е. Ленточные конвейеры на катковых опорах и задачи их внедрения // Записки Горного института. – 2004. – Т. 159. – С. 92-99.
30. Stadler A., Smit M.H. Doubling Australia's energy productivity // Australian Academy of Technological Sciences and Engineering. 2015, pp. 25-31.
31. ElMaghraby M.H. The use of mechanical redundancy for fault detection in non-stationary machinery. – Laurentian University of Sudbury, 2014. – 217 p.
32. Sarapulov F.N., Smolyanov I.A., Rodionov I.E. Investigation of traction linear induction motor for conveyor train // Proceedings – 2018 17th International Ural Conference on AC Electric Drives, ACED 2018, vol. 18, pp. 1-4.
33. Васильев Б.Ю., Шпенст В.А., Калашников О.В., Ульянов Г.Н. Обеспечение энергетической развязки электропривода и электрических сетей для промышленных электроустановок // Записки горного института. – 2018. – № 229. – С. 41-52.
34. Тартаковский Б.Н., Вишняков В.С., Пригунов А.С., Бро С.М. Конвейерные поезда конструкции ИГТМ АН УССР: Обзор. – М.: ЦНИЭИуголь, 1980. – 50 с.
35. Лунев Д.Е. Особенности расчета несущей способности конвейера с подвесной лентой // Записки Горного института. – 2007. – Т. 170. – С. 57-66.
36. Никифоров М. М., Каштанов А. Л., Кандаев В. А. Методика оценки потенциала энергоэффективности применения рекуперативного торможения // Известия Трансиба. – 2012. – №1(9). – С. 72-78.

References

1. Gromov E. V. Analysis of contemporary state and development prospects for trunk mine transport in deep mining // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2018, vol. 18, no. 1, pp. 63-70.
2. Gromov E.V. Justification of the possibility of reconstruction of the underground transport scheme of the mine during the transition to promising ways of ore transportation (by the example of the mountain +170 m of the Kukisvumchorrsky deposit) // Problems of Subsoil Use. 2017, vol. 12, no. 1, pp. 37-47.
3. Yakovlev V.L., Bersenev V.A., Glebov A.V, Selecting Cyclical-and-Continuous Process Flow Diagrams for Deep Open Pit Mines // Journal of Mining Science. 2019, vol. 55, no. 5, pp. 783-788.
4. Gromov E., Belogorodtsev O. Efficient application of stripping schemes for mineral deposits: Conventional and advanced transportation of ore in dependence of annual productive capacity of underground mines // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2017, vol. 17, no. 13, pp. 305-311.
5. Wheeler C. A. Development of the rail conveyor technology // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2019, vol. 33, no. 2, p. 118-132.
6. Popov P.O., Malinovsky Yu.A., Danilina G.V. Application of conveyor trains for transportation of iron ore raw materials from deep mines and // Scientific Proceedings of SWorld. 2015, vol. 3, no. 1(38), pp. 88-96.
7. Trufanova I.S., Popova Y.M. Peculiarities of application of the transport system rail-veyor // Globus. 2019, no. 7(40), pp. 67-70.
8. Wheeler C. A. Rotating resistance of belt conveyor idler rolls // Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME. 2016, vol. 138, no. 4, pp. 19.
9. Popov S.O., Malinowski Y.A., Daniina G. V., Kozyrev S.N. The application features of conveyor trains at mining on deep horizons // Metallurgical and Mining Industry. 2015, vol. 7, no. 9, pp. 1163-1167.
10. Pashkevich M.A., Antsiferova T.A. Assessment of the impact of fuel and energy complex enterprises on the environment during the consolidation of production // Journal of Mining Institute. 2013, vol. 203, pp. 229-232.
11. Kutsevol N.A., Sokolova V.S. Railway transport in terms of ecology in comparison with other modes of transport // E-Scio. 2020, vol. 9, no. 48, pp. 227-232.
12. Handayani F.S., Pramesty F.P., Setyawan A. Reducing the release of greenhouse gases in the rigid pavement material transportation process unit // Lect Notes Civ Eng. 2023, vol. 225, pp. 763-769.
13. Lakota, O. B., Elikhin A.S. Improvement of mine electric locomotive transport on the basis of automation // Young Scientist. 2015, vol. 24, no. 104, pp. 149-151.
14. Uvarov A.V. Automated control system of conveyors and conveyor lines ASUK-DEP // Journal of Mining Institute. 2008, vol. 177, pp. 36-39.
15. Gridina E. B., Borovikov D. O. Identification of the causes of injury on the basis of assessment maps of occupational risks in the coal mine // Mining Information and Analytical Bulletin. 2022, no. 6-1, pp. 114-128.
16. Zhuravlev A.G., Semenkin A.V., Cherepanov V.A. Tasks of development of perspective cyclic-flow technologies for deep pits // Mining industry. 2022, no. 1, pp. 53-62.
17. Kochish K.K. There are new technologies // Mining. 2017, vol. 69, no. 10, pp. 54-60.

18. Gromov E.V., Bilin A.L., Belogorodtsev O.V., Nagovitsyn G.O. Substantiation of Mining-and-Transportation System Type and Parameters for Mining of Ore Deposits in the Conditions of the on the Kola Peninsula // Journal of Mining Science. 2018, vol. 54, no. 4, pp. 591-598.
19. Potapov M.G., Komrakov A.N., Melikhov L.V. Application of conveyor trains at open-pit mines. – M.: Central Research Institute of Coal Industry. 1976. – P. 3-13.
20. Conveyor trains in mining / Edited by Acad. S. Polyakov, Ukrainian SSR Academy of Sciences. Institute of Geotechnical Mechanics. – Kyiv: Science Dumka, 1974. – 207 p.
21. Official site of "Rail-Veyor Smart move" [Electronic resource]. – URL: <https://www.railveyor.com>.
22. Bobojanov M.K., Ziyudulla O.E., Ismailov M.T., Arziev E.I., Togaeva G.Z. Study of the efficiency of conveyors of mining transport systems of mining complexes // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 177, p. 030237.
23. Trubetskoy K.N., Zharikov I.F., Shenderov A.I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines // Gornyi Zhurnal. 2015, vol. 1, p. 21-25.
24. Trufanova I. S., Lavrenko S. A. Mining transport machines and equipment. Application of intermediate linear drives with clamping elements for belt conveyors. – SPb.: Polytechnika Service, 2019. – 88 p.
25. Wheatley G., Rubel R. I. Analysis of conveyor drive power requirements in the mining industry // Acta Logistica. 2021, vol. 8, no. 1, pp. 37-43.
26. Huang X, Huang Q, Cao H, Yan W, Cao L, Zhang Q. Optimal design for improving operation performance of electric construction machinery collaborative system // Method and application. Energy. 2023, vol. 263, p. 12-19.
27. Bolshunov A.V., Sokolova G.V., Avdeev A.M. Prospects of using friction-type traction devices in drives of mining, transport and technological machines // Journal of Mining Institute. 2014, no. 209, pp. 9-21.
28. Dammers M., Barnevold L., Marchiers A., Development of an Underground Haulage System Evaluation Tool for Feasibility Studies // Mining, Metallurgy & Exploration. 2019, vol. 36, pp. 487-494.
29. Lunev D.E. Belt conveyors on roller supports and tasks of their implementation // Journal of Mining Institute. 2004, vol. 159, pp. 92-99.
30. Stadler A., Smit M.H. Doubling Australia's energy productivity // Australian Academy of Technological Sciences and Engineering. 2015, pp. 25-31.
31. ElMaghraby M.H. The use of mechanical redundancy for fault detection in non-stationary machinery. – Laurentian University of Sudbury, 2014. – 217 p.
32. Sarapulov F.N., Smolyanov I.A., Rodionov I.E. Investigation of traction linear induction motor for conveyor train // Proceedings – 2018 17th International Ural Conference on AC Electric Drives, ACED 2018, vol. 18, pp. 1-4.
33. Vasiliev B.Yu., Spent V.A., Kalashnikov O.V., Ulyanov G.N. Ensuring energy decoupling of electric drive and electrical networks for industrial electrical installations // Journal of Mining Institute. 2018, vol. 229, pp. 41-52.
34. Tartakovskiy B.N., Vishnyakov V.S., Prigunov A.S., Bro S.M. Conveyor trains designed by IGTM AS UkrSSR: Review. – M.: Central Research Institute of Coal Engineering, 1980. – 50 p.
35. Lunev D.E. Features of calculating the carrying capacity of the conveyor with a suspended belt // Journal of Mining Institute. 2007, no. 170, pp. 57-66.
36. Nikiforov M. M., Kashtanov A. L., Kandaev V. A. Methodology of evaluation of energy efficiency potential of regenerative braking application // News of Transsib. 2012, no. 1(9), pp. 72-78.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Невзоров Данил Николаевич – аспирант	Nevzorov Danil Nikolaevich – postgraduate student
Труфанова Инна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин	Trufanova Inna Sergeevna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of transport technological processes and machines
danilnevzorov@bk.ru	

Получена 14.05.2023