

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Агафонов А.А.¹, Васильева М.А.¹, Талеров К.П.²

¹*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург;*

²*ООО «Институт Гипроникель», Санкт-Петербург*

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, подъемный сосуд, канаты, электропривод, системы автоматизированного управления, тормозные системы, частотное регулирование, производительность, мониторинг.

Аннотация. В работе представлен обзор основных направлений модернизации шахтных подъемных установок, целью которых является повышение производительности транспортирования полезного ископаемого на поверхность. В статье уделено внимание таким направлениям как: модернизация конструкции и использование современных материалов для футеровки подъемных сосудов, для повышения производительности и увеличения глубины подъема; повышение эксплуатационных характеристик подъемных канатов, в том числе с использованием модифицированных смазочных материалов; снижение динамических нагрузок в процессе торможения, а также способы повышения эффективности функционирования тормозных систем. Рассмотрены способы повышения энергоэффективности, снижения энергопотребления, обеспечения более точного и плавного цикла движения подъемного сосуда посредством применения частотного регулирования, систем управления электроприводом и систем автоматизированного управления шахтной подъемной машиной. Также рассмотрена работа современных систем мониторинга и контроля, как отдельных элементов шахтной подъемной установки, так и всей ее работы в целом.

ACTUAL DIRECTIONS OF MODERNIZATION OF MINE HOISTING INSTALLATIONS OF MINING ENTERPRISES

Agafonov A.A.¹, Vasilieva M.A.¹, Talerov K.P.²

¹*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg;*

²*"Institute Gipronickel" LLC, Saint-Petersburg*

Keywords: mine hoisting installation, hoisting vessel, ropes, electric drive, automated control systems, braking systems, frequency control, productivity, monitoring.

Abstract. The paper presents a review of the main directions of modernization of mine hoisting installations, the purpose of which is to increase the productivity of transportation of minerals to the surface. The article pays attention to such directions as: the use of advanced materials for lining, including the modernization of the skip design, to increase productivity and increase the depth of lift; improving the performance characteristics of hoisting ropes, including the use of modified lubricants; reduction of dynamic loads during braking, as well as ways of improving the efficiency of braking systems operation. Ways to improve energy efficiency, reduce energy consumption, ensure a more accurate and smoother cycle of the lift vessel movement through the use of frequency regulation, electric drive control systems and automated control systems of the mine hoisting machine are considered. The work of modern systems of monitoring and control of both individual elements of the mine hoisting installation and its operation as a whole is also considered.

Введение

Подъемные установки являются наиболее эффективным видом транспорта при подъеме полезного ископаемого с относительно больших глубин, обладающим наименьшими капитальными затратами, наибольшим КПД в сравнении с другими видами транспорта. Шахтный подъемный комплекс увязан с капитальными сооружениями (копер, надшахтное здание, здание подъемных машин, шахтный ствол с оснащением, сопряженные подземные горные выработки и т.д.), изменение которых в процессе эксплуатации является практически невозможным без продолжительных остановок производства или крайне затратным, поэтому при проектировании шахты (рудника) шахтному подъемному комплексу уделяется особое внимание. Шахтная подъемная установка должна обеспечивать проектную производительность предприятия на протяжении всего рассматриваемого периода отработки месторождения.

Актуальность

Анализируя последние отчеты горнодобывающих компаний можно наблюдать тенденцию разработки проектов, связанных с увеличением производительности разрабатываемых месторождений или увеличением высоты подъема при сохранении текущей производительности [1]. Это связано с результатами проведенных геологоразведочных работ непосредственно на эксплуатирующихся горнодобывающих объектах, подтверждающими наличие дополнительных горизонтов добычи, углублением разработки месторождения, а также с совершенствованием применяемого горного оборудования, обладающего большей производительностью. Так, например, на Таштагольском руднике (г. Таштагол) были приняты решения о реконструкции существующих промплощадок Западная и Новая с целью увеличения производственной мощности по добыче и переработке руды до 3,25 млн. т [2]. В проектной работе по поэтапному увеличению производительности Яковлевского рудника (Белгородская обл.) до 4,5 млн. тонн проводятся работы, которые включают в себя разработку плана развития очистных работ, расчёт производительности проходческо-очистных комплексов, вентиляции, закладочных работ и транспорта [3]. Увеличение производительности проходческо-очистных комплексов и транспорта, обеспечивающие возможный рост производительности объекта, обуславливает необходимость модернизации подъёмной установки. Однако, при разработке подобных проектов, конструкционные особенности шахтных подъёмных комплексов накладывают существенные ограничения в области их совершенствования. Размеры ствола и горнотехнических сооружений, а также требования правил безопасности зачастую не позволяют полностью реализовать проектные мощности и потенциал современных машин и оборудования, которые используются в горной промышленности. Это делает вопрос модернизации оборудования шахтного подъёма актуальным для горной промышленности.



Рис. 1. Шахтная подъемная машина, изготовленная ПАО «Уралмашзавод» [4]

За последние годы произошли существенные изменения в области строительства и эксплуатации шахтных подъемных установок. Это связано с возведением подъемных комплексов, оснащенных современным оборудованием, на строящихся новых горных предприятиях и модернизацией оборудования подъемных установок уже находящихся в эксплуатации. При строительстве и реконструкции используется оборудование таких фирм как «ASEA» (Швеция), «Ingersoll Rand» (США), «Demag» (Германия), «Уралмашзавод» (Россия) (рис.1), «Тульский завод горно-шахтного оборудования» (Россия) [5].

В рамках осуществляемых работ по модернизации шахтных подъемных установок можно выделить их основные направления:

- повышение производительности;
- увеличение высоты подъема при сохранении заданной производительности;
- снижение динамических нагрузок;
- повышение надёжности подъёмных установок;
- повышение энергоэффективности электропривода подъёмной установки.

Отдельного внимания заслуживает вопрос применения современных материалов при изготовлении элементов подъемных установок.

Основными способами повышения производительности шахтной подъемной установки является увеличение полезного объема подъемного сосуда или снижение времени, затрачиваемого на операции подъема-опускания и загрузки-разгрузки подъемного сосуда, что можно выразить:

$$Q_{ПВ} = f(V_{ПС}, t_{ц}),$$

где $Q_{ПВ}$ – производительность подъемной установки, м³/ч; $V_{ПС}$ – объем подъемного сосуда, м³; $t_{ц}$ – время цикла, ч.

Увеличение вместимости скипа

На руднике «Скалистый» (Красноярский край) были выявлены факторы, ограничивающие производительность скипового ствола ВСС-1. Для устранения выявленных ограничений производительности скипового подъема были реализованы следующие технологические мероприятия: техническое перевооружение пневматической системы узла загрузки-разгрузки скипов (рис. 2); произведена замена футеровочных материалов внутренней поверхности скипов (рис. 3) на более легкие. Модернизация позволила сократить суммарное время цикла подъема, а за счет снижения собственного веса скипа его грузоподъемность возросла. Таким образом, суммарный прирост производительности скипового ствола ВСС-1 составил 17% [6].



Рис. 2. Скип шахтной подъемной установки [7]



Рис. 3. Внутренняя поверхность скипа [8]

На большинстве отечественных горнодобывающих предприятиях для футеровки скипов применяют плиты из марганцовистой стали 110Г13Л. В работе [9] рассматривается возможность применения биметаллических плит SWIP, которые состоят из двух слоёв – основного и плакирующего в качестве футеровки. Применение биметаллических плит позволяет увеличить вместимость скипа, тем самым увеличивая производительность подъема в целом. Кроме того, данная замена футеровки позволяет повысить её износостойкость. Эксперименты по установке биметаллических плит, в качестве футеровки в скипах на ряде шахт таких, как ш. им Орджоникидзе (г. Кривой рог), ш. №1 им. Артема (г. Кривой рог), ш. им Фрунзе (г. Ровеньки), показали гораздо более высокую стойкость к истиранию по отношению к футеровке из стали 110Г13Л, при гораздо меньшей толщине.

Увеличение глубины подъема

Задача увеличения глубины подъема при сохранении изначально заданной производительности возникает при отработке более глубоких горизонтов шахты или рудника. Однако это является проблемой для предприятия, если подобная реконструкция не была изначально заложена в проект отработки месторождения, так как требует замены практически всех элементов подъема. Данная реконструкция является причиной продолжительного простоя всего предприятия и значительных капитальных затрат. Одним из возможных решений данной задачи является снижение собственной массы подъемного сосуда при сохранении его объема.

Снижение собственной массы скипа при сохранении его прочностных свойств возможно за счет изменения конструкции скипа. Так, например, компанией «Техресурсы» (г. Новосибирск) разработан скип, в котором механизм открывания секторного затвора перенесен в копер, а на затворе установлен фиксатор, что позволило увеличить грузоподъемность скипа при сохранении уровня итоговых нагрузок на канат. Применение стационарного привода открывания секторного затвора позволяет также снизить время цикла подъема за счет совмещения процесса открывания затвора и загрузки скипа в дозаторной камере. Применение скипа подобной конструкции позволяет наиболее эффективно увеличить глубину подъема, так как позволяет снизить собственную массу скипа, сохранив при этом итоговые нагрузки, и уменьшить время цикла движения подъемного сосуда [10].

Компания ООО «Росмашхолдинг» совместно с институтом ГП «ГПИ «Кривбасспроект», а также НТК «ИЭС им. Е.О. Патона» разработали опытный образец скипа с применением алюминиевых сплавов при изготовлении секторного затвора и решетки для ш. им Фрунзе. Задачей данного проекта было увеличение грузоподъемности скипа при снижении его собственной массы. Это позволяет увеличить также глубину добычи без полной реконструкции подъема, что в случае максимально допустимой концевой нагрузки на подъемные канаты было бы невозможно при использовании только традиционных материалов при изготовлении скипов [11]. Однако применение алюминиевых сплавов допустимо не для всех шахт и рудников, так как в некоторых из них возможна активная коррозия материала.

Увеличение глубины подъема за счет изменения материалов и конструкции скипа влечет за собой ряд проблем, которые необходимо учитывать при реализации подобных проектов: увеличение длины каната (рис. 4), увеличение веса каната, возрастание динамических нагрузок, снижение коэффициента запаса прочности каната, при использовании барабанных подъемных машин необходима проверка канатоемкости барабана.



Рис. 4. Канаты подъемных установок [12]

Снижение динамических нагрузок и системы торможения

Динамические нагрузки, возникающие в штатном режиме работы шахтной подъемной установки, приводят к снижению прочностных свойств подъемных канатов, от которых зависит безопасная и производительная работа шахтного подъема. Однако наибольшую опасность для работы шахтного подъема представляют нагрузки, возникающие в процессе предохранительного торможения [13]. Предохранительное торможение шахтной подъемной установки является одним из самых сложных динамических режимов в работе шахтного подъема потому что от параметров настройки и режима работы тормозной системы зависят динамические нагрузки во всей механической части подъемной машины, футеровке барабана,

головных и уравнивающих канатах. В настоящее время остается не до конца исследовано предохранительное торможение подъемной машины с помощью собственного тормозного усилия подъемного сосуда в целях снижения динамических нагрузок. В работах [14, 15] было определено, что при осуществлении предохранительного торможения многоканатной подъемной машины с подтормаживанием груженого сосуда максимальное замедление сосуда будет меньше, чем при обычном предохранительном торможении. Таким образом, это позволит снизить риск проскальзывания канатов после экстренной остановки подъемной машины со шкивом трения.

Один из вариантов повышения эффективности предохранительного торможения предложен в работе [16]. Авторами предлагается использовать регулятор давления в тормозном устройстве. На одну обмотку управления регулятора давления подается сигнал постоянного значения, который обеспечивает создание тормозного усилия первой ступени. На вторую обмотку регулятора давления подается сигнал пропорциональный разности значений заданного и действительного замедления. Сигнал разности значений замедления обеспечивает корректировку тормозного усилия первой ступени, увеличивая его или уменьшая.

В работе [17] изучаются характеристики вибрационных и звуковых сигналов тормозной системы шахтной подъемной машины и взаимосвязь между ними. Вибрационные и звуковые сигналы, полученные на испытательной установке при различных условиях торможения, фильтруются с помощью вейвлет-анализа, для извлечения собственного значения восстановленного сигнала. Такой комбинированный метод диагностики неисправностей может быть применен для диагностики неисправностей тормозной системы шахтной подъемной машины.

Другой проблемой, связанной с системой торможения подъемной установки, является частая замена тормозных колодок механического тормоза, вызванная интенсивным их изнашиванием. Наиболее интенсивный износ тормозных колодок происходит при аварийной остановке подъемной машины [18]. Одним из вариантов увеличения срока эксплуатации тормозных колодок является дублирование предохранительного тормоза, которое осуществляется путём перевода двигателя подъемной машины в режим электродинамического торможения. Это реализуется посредством современных схем электродинамического торможения, позволяющих создать тормозной момент без внешнего источника постоянного тока [19].

Датчики контроля параметров и системы мониторинга

Развитие цифровых технологий позволило повысить эффективность контроля работы подъемной установки и состояния ее элементов. В работах [20, 21], представлено обобщение опыта применения систем мониторинга для повышения эффективности и безопасности работы шахтных подъемных установок.

Безопасность эксплуатации шахтных подъемных установок в современных условиях может быть обеспечена применением систем мониторинга и контроля состояния. Известно применение регистраторов параметров подъемной установки РПУ-03.х, предназначенных для непрерывного контроля основных параметров работы шахтной подъемной установки, индикации текущих значений, хранения и предоставления всей зарегистрированной информации. Они широко применяются на предприятиях России, Белоруссии и Казахстана [20]. Аппаратура контроля плавности движения подъемных сосудов Аппаратно-программный комплекс "Карст" (АПК "Карст") предназначена для оценки параметров движения подъемных сосудов шахтных подъемных установок. АПК «Карст» включает в себя измерительные блоки, контролирующие плавность движения каждого сосуда.

Необходимость разработки систем, осуществляющих постоянный контроль состояния канатов подъемной установки, обуславливается тем, что в настоящее время для контроля состояния стальных канатов подъемных установок применяются периодические инструментальные обследования, которые особенно на многоканатных подъемных установках, занимают значительное время [22, 23].

Одним из способов увеличения срока службы подъемных канатов и их безопасной эксплуатации до полной выработки ресурса является внедрение аппаратно-программный комплекс (АПК) «Баркас», в котором реализованы способы контроля технического состояния канатов, основанные на расчете их жесткости на растяжение. Мониторинг натяжения стальных канатов в режиме реального времени является важным для безопасной эксплуатации шахтных подъемных установок [21].

Разработанный авторами в работе [24] датчик демпфирования частиц способен устранить влияние высокочастотной вибрации, действующей на стальной канат, и позволяет более точно определять нагрузку, действующую на стальной канат.

Разработкой систем мониторинга шахтных канатов занимаются и зарубежные компании. Так, например, компания Ansys Limited из ЮАР разработала и установила на золотодобывающей шахте «Moab Khotsong» в г. Гаутенг (ЮАР) опытный образец системы мониторинга канатов. Система включает в себя несколько магнитных головок (рис. 5) с блоками управления, установленных на отдельных канатах, каналы передачи измерительных данных, систему обработки данных на основе рабочей станции. Основным критерием браковки каната выступает плотность обрывов проволок. Китайская компания Luoyang WECOT Friction Material Co Ltd. установила на шахте в г. Лоян (Китай) систему одновременного контроля двух или четырех канатов шахтной подъемной установки. В системе используется два или четыре дефектоскопа «ИНТРОС» производства ООО «ИНТРОН ПЛЮС» (Россия). Контроль канатов осуществляется попарно или сразу четырех. Информация о состоянии канатов регистрируется в записывающем устройстве и доступна для анализа на персональном компьютере [25].



Рис. 5. Навеска магнитных голов при контроле четырех канатов [25]

В работе [26] предложен новый метод диагностики натяжения канатов подъемной установки на основе сигнала вибрации головного шкива. Данный метод является перспективным в области диагностики подъемных установок. В исследовании авторы подтверждают, что данный метод позволяет добиться высокой точности в определении нагрузки действующей на канат. Также монтаж, передача данных и питание датчиков вибрации намного проще в сравнении с традиционным методом, основанным на датчиках усилий.

Канаты и электропривод

Применение резиновых канатов (рис. 6) обосновано и допущено только в качестве уравнивающих на многоканатных подъемных установках. Однако применению резиновых канатов в качестве тягового органа было уделено мало внимания. В исследовании [27] были установлены зависимости грузоподъемности от высоты подъема при применении конвейерных резиновых лент. Автором определено, что резиновые ленты могут применяться для высот подъема до 600 м со скипами грузоподъемностью до 25 т. Однако высота подъема при этом строго ограничена длиной самих лент, так как не

допускается стыковка и наращивание концов лент. На данный момент максимальная длина отрезков конвейерных лент – 800 м. Эксплуатация резиновых канатов позволяет повысить сроки службы тяговых органов подъемных установок благодаря защите тяговых тросов от внешних воздействий. Кроме того, применение резиновых канатов обеспечит уменьшение периодических давлений на тросы при огибании барабана и шкивов, а также позволит уменьшить их диаметр. Однако резиновые канаты имеют значительную ширину относительно стальных канатов, что может стать причиной парусности, скручивания и перехлестывания ленты из-за использования стволов в качестве магистрали для подачи/выдачи воздуха.



Рис. 6. Резиновый канат [28]

Изучение антифрикционных свойств модифицированных смазочных материалов на основе оксида графена позволило решить трибологическую проблему возникающую между стальными проволоками подъемных канатов, вызванную нарушением смазки в тяжелых условиях подъема. Были получены функционализированный октадециламином оксид графена (ODA-GO) и его восстановленный гидразин гидратом материал (ODA-rGO). Были исследованы их химическая структура, морфология поверхности, межслойное расстояние, а также их диспергируемость в смазке для стальных канатов под названием IRIS. Модифицированные материалы на основе графена будут адсорбироваться на контактных поверхностях и заполнять поврежденные участки, чтобы уменьшить износ. Кроме того, данная смазка снизила коэффициент трения проволок на 10% и значительно снизила усталостный износ стальных канатов [29].

Основной задачей электропривода и системы управления шахтной подъемной машины является выполнение заданной диаграммы движения подъемных сосудов. Во многих шахтах горнорудных комплексов применяются системы электропривода, выполненные на базе асинхронного двигателя с фазным ротором. Режим работы систем электропривода характеризуется как интенсивный повторно-кратковременный с частыми пусками, реверсами и торможениями [30]. Цикл подъема состоит из различных периодов движения подъемного сосуда. Диаграммы скорости бывают от трех- до семипериодных и состоят из периодов разгона, движения с постоянной скоростью и замедления.

Повышение производительности шахтной подъемной установки возможно путем обеспечения высокой точности и плавности отработки заданных скоростей движения подъемной машины в пределах рабочего цикла [31]. Это позволяет реализовать электропривод с асинхронным двигателем с векторным управлением [32].

Одним из возможных путей повышения энергоэффективности и снижения энергопотребления шахтной подъемной машины является внедрение преобразователя частоты и системы управления электроприводом, которые в совокупности позволяют рекуперировать электроэнергию в питающую сеть в режиме генераторного торможения.

Для электропривода шахтной подъемной машины целесообразно применять двухзвенный преобразователь частоты со звеном рекуперации электроэнергии, который позволяет возвращать энергию торможения в питающую сеть в режиме рекуперативного торможения при опускании подъемных сосудов [33]. Построенные таким образом преобразователи частоты обеспечивают большую энергоэффективность и точность управления. Так, в работе авторов Петрова А.А. и Семенова А.С. рассмотрена возможность замены традиционного электропривода переменного тока шахтной подъемной установки на рекуперативный частотно-регулируемый электропривод на руднике «Интернациональный» (Респ. Саха) АК «АЛРОСА» [30].

Повысить безопасность и точность работы шахтной подъемной машины возможно также за счет применения систем автоматизированного управления, построенных на базе современных программируемых логических контроллеров. Система автоматизированного управления определяет текущее положение подъемных сосудов, считывая количество импульсов, полученное от инкрементальных энкодеров, механически связанных с валом подъемной машины [1, 34].

Заключение и выводы

Увеличение производительности горнодобывающих предприятий, а также увеличение глубин шахт и рудников обуславливает актуальность проведения работ, связанных с перспективными направлениями модернизации шахтных подъемных установок, так как они являются наиболее распространенным способом доставки полезного ископаемого на поверхность. Выполненный обзор и анализ позволил выделить главные направления модернизации шахтных подъемных установок. Основное внимание уделяется применению современного оборудования для частотного регулирования, системам автоматизированного управления шахтной подъемной машиной в целях повышения энергоэффективности работы подъемной установки. Активно развивается направление, посвященное снижению динамических нагрузок, возникающих в процессе предохранительного торможения, особое внимание при этом уделено совершенствованию тормозных систем. Все направления модернизации, помимо повышения эффективности эксплуатации, призваны обеспечивать безаварийную работу подъемных установок. Применение датчиков контроля состояния отдельных элементов шахтного подъема позволяет создавать автоматизированные системы мониторинга всей подъемной установки, позволяющие избежать аварийных ситуаций. Модернизация подъемных канатов развивается с меньшим темпом, и, в основном, касается применения модифицированных смазочных материалов. Существующие проекты, связанные с применением полимерных материалов в качестве футеровки подъемного сосуда выполнены в качестве производственного эксперимента и зачастую не сопровождаются научными исследованиями. Развитие данных проектов и разработка научных обоснований, подтверждающих их эффективность, способствует их повсеместному применению.

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. - Paradise Blue Congress Center, Albena Resort & SPA, Bulgaria. 2018, vol. 18, no. 1.3, pp. 63-70. doi.org/10.5593/sgem2018/1.3/s03.009.
2. Реконструкция Таштагольского рудника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spbgipro.ru/marker/rekonstrukcija-tashtagolskogo-rudnik>.
3. Пономаренко Т.В., Цараков О.И., Акинина И.А., Пикалова Т.А. Оценка стратегического проекта по увеличению производственной мощности Яковлевского рудника ООО «Металл-групп» // Записки Горного института. – 2013. – Т. 206. – С. 199-203.
4. Первая шахтная подъемная машина российского производства введена в эксплуатацию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uralmash-kartex.ru/pervaya-shaxtnaya-podemnaya-mashina-rossijskogo-proizvodstva-vvedena-v-ekspluataciju>.
5. Трифанов Г.Д., Зверев В.Ю. Шахтный подъем. Проблемы и решения в современных условиях // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2017. – Т. 1. – С. 134-138.

6. Гасанов Р. Устранение узких мест и ограничений технологического процесса: рудник "Скалистый" // Методы менеджмента качества. – 2021. – № 11. – С. 44-48.
7. Скипы шахтные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.soeztula.ru/product/mine-skips>.
8. Поволжский Завод Промышленного Оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://p-zpo.ru>.
9. Панфилов А.И., Копошко А.В., Кусков Ю.М. Перспективы использования биметаллических износостойких листов SWIP в угольной промышленности // Физико-технические проблемы горного производства. – 2011. – №14. – С. 181-187.
10. Власов А.В., Хацкевич Е.В., Каспирович Е.П. Совершенствование скипового подъёма: стационарный привод для разгрузки скипа // Добывающая промышленность. – 2017. – №1. – С. 68-71.
11. Производитель горно-шахтного и нестандартного оборудования ООО «Россмашхолдинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ross-mash.ru>.
12. Канат талевый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mkuralstal.ru/products/115111870-kanat_talevy_38_mm_gost_16853_92.
13. Vlačić J. Theoretical and experimental analysis of mine elevator dynamic characteristics // Tehnicki Vjesnik. 2015, vol. 22, no. 4, pp. 1011-1020. doi.org/10.17559/TV-20150107175453.
14. Кускильдин Р.Б., Александров Р.Б., Васильева М.А. Подтормаживание сосуда с грузом в процессе предохранительного торможения одноконцевой подъемной установки // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 1. – С. 94-100.
15. Кускильдин Р.Б., Левачёва Д.В., Шишебарова И.А., Энглин В.Л. Снижение динамических нагрузок на канат при осуществлении предохранительного торможения на шахтных подъемных установках // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы I международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – С. 135-143.
16. Павловская К.А., Чернышев А.С. Повышение эффективности систем разгона и предохранительного торможения с регулируемым замедлением шахтных подъемных установок // Инновационная наука. – 2016. – №6-2. – С. 122-126.
17. Hao X., Ding Y., Liu B., Yang X. Study on vibration and sound signals for fault diagnosis of hoist disc brake system // Australian Journal of Mechanical Engineering. 2021, pp. 1-12. doi.org/10.1080/14484846.2021.1938951.
18. Малиновский А.К. К вопросу повышения надежности, безопасности и эффективности шахтных подъемных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 5. – С. 313-316.
19. Малиновский А.К., Мазлум А. Анализ состояния предохранительного торможения шахтных подъемных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – №9. – С. 281-285.
20. Трифанов Г.Д., Князев А.А. Опыт использования цифровых технологий для повышения эффективности и безопасности работы шахтных подъемных установок // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2018. – Т. 1. – С. 4-11.
21. Трифанов Г.Д., Князев А.А., Филатов А.П., Лаук В.В. Опыт эксплуатации шахтных подъемных установок, оснащенных системами непрерывного контроля // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – №6. – С. 52-58. doi.org/10.24000/0409-2961-2019-6-52-58.
22. Hansel J. Reliability and safety of mine hoist installations // Journal of Konbin. 2010, vol. 13, no. 1, pp. 187-196. doi.org/10.2478/v10040-008-0147-y.
23. Сухоруков В.В., Котельников В.С. Мониторинг состояния стальных канатов автоматизированными средствами технического диагностирования // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – №9. – С. 72-81. – doi.org/10.24000/0409-2961-2019-9-72-81.
24. Lei G., Xu G., Zhang X., Zhang Y. Study on dynamic monitoring of wire rope tension based on the particle damping sensor // Sensors. 2019, vol. 19, no. 2, pp. 388. doi.org/10.3390/s19020388.
25. Анисимов А.В., Шпаков И.И. Мониторинг технического состояния канатов шахтных подъемных установок // Горный журнал Казахстана. – 2015. – №9. – С. 40-43.
26. Xue S., Tan Ch., Shi Y., Deng H. Rope tension fault diagnosis in hoisting systems based on vibration signals using EEMD, improved permutation entropy, and PSO-SVM // Entropy. 2020, vol. 22, no. 2, pp. 209. doi.org/10.3390/e22020209.
27. Перекутнев В. Е., Зотов В. В. Сравнительная оценка резиновых канатов для рудничных вертикальных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №7. – С. 85-93. – doi.org/10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
28. Уравновешивающие резиновые канаты SAG [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kmsco.ru/rope-sag.html>.
29. Peng Y., Wang C., Zhu Z., Tang W., Wang D., Lu H. Anti-Friction Properties of Modified Graphene Oxide Lubricants for Wire Rope in a Mine Hoist // Мосахуе Хуебао/Tribology. 2021, vol. 41, no. 2, pp. 149-159. doi.org/10.16078/j.tribology.2020135.
30. Петрова А.А., Семенов А.С. Модернизация электропривода шахтной подъемной установки // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – №4-2. – С. 158-161.

31. Pechenik M., Burian S., Zemlianukhina H., Voyat H. Analysis of the Given Law Accuracy of a Mine Skip Lifting Unit Movement Using a Vector-Controlled Electric Drive System // Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice, PAEP. – Kremenchuk, Ukraine, 2020. – doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240893.
32. Uzel D., Peroutka Z., Smidl V. Self-sensing control of wound rotor synchronous motor drive for mine hoist // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018, vol. 65, no. 3, pp. 2009-2017. doi.org/10.1109/TIE.2017.2740818.
33. Eshmurodov Z., Holboiv F. Modernization of Control Systems of Electric Drives of Mine Lifting Machines // E3S Web of Conferences. 2018, vol. 41, pp. 03006. doi.org/10.1051/e3sconf/20184103006.
34. Эшмуродов З.О., Арзиев Э.И., Исмоилов М.Т., Махмудов Г.Б., Саидова Ф.А. Модернизация систем управления электроприводов шахтных подъемных машин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник материалов 15-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Минск: БНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 271-277.

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. - Paradise Blue Congress Center, Albena Resort & SPA, Bulgaria. 2018, vol. 18, no. 1.3, pp. 63-70. doi.org/10.5593/sgem2018/1.3/s03.009.
2. Reconstruction of the Tashtagolsky mine [Electronic resource]. – Access mode: <https://spbgipro.ru/marker/rekonstrukcija-tashtagolskogo-rudnik>.
3. Ponomarenko T.V., Tsarakov O.I., Akinina I.A., Pikalova T.A. The assessment of the strategic project on increase of capacity of Yakovlevsky mine JSC «Metall-Group» // Journal of Mining Institute. 2013, vol. 206, pp. 199-203.
4. The first shaft hoisting machine made in Russia is put into operation [Electronic resource]. – Access mode: <https://uralmash-kartex.ru/pervaya-shaxtnaya-podemnaya-mashina-rossijskogo-proizvodstva-vvedena-v-ekspluatacziju>.
5. Trifanov G.D., Zverev V.Yu. Mine hoist plant. Problems and solutions in modern conditions // Current problems of improving the efficiency and safety of mining and oilfield equipment operation. 2017, vol. 1, pp. 134-138.
6. Gasanov R. Removing bottlenecks and process limitations: "Skalistry" mine // Methods of quality management. 2021, no. 11, pp. 44-48.
7. Mine skips [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.soeztula.ru/product/mine-skips>.
8. Povolzhsky Industrial Equipment Plant [Electronic resource]. – Access mode: <https://p-zpo.ru>.
9. Panfilov A.I., Koposhko A.V., Kuskov Yu.M. Prospects for the use of bimetallic wear-resistant sheets SWIP in the coal industry // Physical and technical problems of mining. 2011, no. 14, pp. 181-187.
10. Vlasov A.V., Hatzkevich E.V., Kaspirovich E.P. Improvement of the skip hoist: stationary drive for skip unloading // Mining industry. 2017, no. 1, pp. 68-71.
11. Manufacturer of mining and non-standard equipment "Rossmashholding" LLC [Electronic resource]. – Access mode: <http://ross-mash.ru>.
12. Rope hoist [Electronic resource]. – Access mode: https://www.mkuralstal.ru/products/115111870-kanat_talevy_38_mm_gost_16853_92.
13. Vladić J. Theoretical and experimental analysis of mine elevator dynamic characteristics // Tehnicki Vjesnik. 2015, vol. 22, no. 4. pp. 1011-1020. doi.org/10.17559/TV-20150107175453.
14. Kuskil'din R.B., Aleksandrov V.I., Vasil'eva M.A. Partial braking of a laden container in the process of precautionary braking of a single-extended winding plant // Proceedings of Higher Educational Institutions. Mining Journal. 2016, no. 1, pp. 94-100.
15. Kuskildin R.B., Levacheva D.V., Shishebarova I.A., Englin V.L. Reducing dynamic loads on the rope in the implementation of safety braking on mine hoisting systems // Machines, units and processes. Design, creation and modernization: Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference. – Saint-Petersburg: SPbB SRC MS, 2018. – P. 135-143.
16. Pavlovskaya K.A., Chernyshev A.C. Improving the efficiency of acceleration and safety braking systems with adjustable deceleration of shaft hoisting units // Innovative science. 2016, no. 6-2, pp. 122-126.
17. Hao X., Ding Y., Liu B., Yang X. Study on vibration and sound signals for fault diagnosis of hoist disc brake system // Australian Journal of Mechanical Engineering. 2021, pp. 1-12. doi.org/10.1080/14484846.2021.1938951.
18. Malinovsky A.K. On the issue of improving the reliability, safety and efficiency of mine hoisting machines // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2015, no. 5, pp. 313-316.
19. Malinovsky A.K., Mazlum A. Analysis of the state of safety braking of mine hoisting machines // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2007, no. 9, pp. 281-285.
20. Trifanov G., Knjazev A. Maintenance of safety of operation of mine lifting units by application of digital technologies // Current problems of improving the efficiency and safety of mining and oilfield equipment operation. 2018, vol. 1, pp. 4-11.

21. Trifanov G.D., Knyazev A.A., Filatov A.P., Lauk V.V. Experience of operation of the mine winding plants equipped with continuous monitoring systems // Occupational safety in industry. 2019, no. 6, pp. 52-58. doi.org/10.24000/0409-2961-2019-6-52-58.
22. Hansel J. Reliability and safety of mine hoist installations // Journal of Konbin. 2010, vol. 13, no. 1, pp. 187-196. doi.org/10.2478/v10040-008-0147-y.
23. Sukhorukov V.V., Kotelnikov V.S. Monitoring of Steel Ropes Condition with Technical Diagnostics Automated Means // Occupational safety in industry. 2019, no. 9, pp. 72-81. doi.org/10.24000/0409-2961-2019-9-72-81.
24. Lei G., Xu G., Zhang X., Zhang Y. Study on dynamic monitoring of wire rope tension based on the particle damping sensor // Sensors. 2019, vol. 19, no. 2, pp. 388. doi.org/10.3390/s19020388.
25. Anisimov A. V., Shpakov I.I. Monitoring the technical condition of ropes of shaft hoisting units // Mining Journal of Kazakhstan. 2015, no. 9, pp. 40-43.
26. Xue S., Tan Ch., Shi Y., Deng H. Rope tension fault diagnosis in hoisting systems based on vibration signals using EEMD, improved permutation entropy, and PSO-SVM // Entropy. 2020, vol. 22, no. 2, pp. 209. doi.org/10.3390/e22020209.
27. Perekutnev V.E., Zotov V.V. Comparative assessment of rubber ropes for mine vertical lifting units // Mining informational and analytical bulletin. 2020, no. 7, pp. 85-93. doi.org/10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
28. SAG rubber rope balancing ropes [Electronic resource]. – Access mode: <http://kmsco.ru/rope-sag.html>.
29. Peng Y., Wang C., Zhu Z., Tang W., Wang D., Lu H. Anti-Friction Properties of Modified Graphene Oxide Lubricants for Wire Rope in a Mine Hoist // Moxue Xuebao/Tribology. 2021, vol. 41, no. 2, pp. 149-159. doi.org/10.16078/j.tribology.2020135.
30. Peterova A.A., Semenov A.S. Modernization of the electric drive of the mine hoisting installation // International Student Scientific Herald. 2017, no. 4-2, pp. 158-161.
31. Pechenik M., Burian S., Zemlianukhina H., Voyat H. Analysis of the Given Law Accuracy of a Mine Skip Lifting Unit Movement Using a Vector-Controlled Electric Drive System // Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice, PAEP. – Kremenchuk, Ukraine, 2020. – doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240893.
32. Uzel D., Peroutka Z., Smidl V. Self-sensing control of wound rotor synchronous motor drive for mine hoist // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2018, vol. 65, no. 3, pp. 2009-2017. doi.org/10.1109/TIE.2017.2740818.
33. Eshmurodov Z., Holboiv F. Modernization of Control Systems of Electric Drives of Mine Lifting Machines // E3S Web of Conferences. 2018, vol. 41, pp. 03006. doi.org/10.1051/e3sconf/20184103006.
34. Eshmurodov Z.O., Arziev E.I., Ismoilov M.T., Makhmudov G.B., Saidova F.A. Modernization of control systems of electric drives of mine hoisting machines // Social-economic and ecological problems of mining, construction and energy: Proceedings of the 15th International Conference on Mining, Construction and Energy. – Minsk: BNTU, 2019. – Vol. 1. – P. 271-277.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Агафонов Артем Андреевич – аспирант	Agafonov Artem Andreevich – postgraduate student
Васильева Мария Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических процессов и машин	Vasilyeva Maria Aleksandrovna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of transport technological processes and machines
Талеров Константин Павлович – кандидат технических наук, главный специалист	TaleroV Konstantin Pavlovich – candidate of technical sciences, chief specialist
agafonov14310@gmail.com	

Получена 17.02.2023