

Научная статья

УДК 622.732

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-33-42

Зверев Валерий Юрьевич*, Трифанов Геннадий Дмитриевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

* для корреспонденции: zvva92@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С БОЛЬШОЙ НАРАБОТКОЙ**Информация о статье**

Поступила:

01 ноября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2024 г.

Принята к печати:

24 ноября 2024 г.

Опубликована:

12 декабря 2024 г.

Ключевые слова:

шахтная подъемная установка, подъемный сосуд, срок службы, динамическая нагрузка, долговечность, режим работы

Аннотация.

В статье рассмотрена проблема эксплуатации шахтных подъемных сосудов с большой наработкой, превышающей назначенный срок службы оборудования. Описанные в статье случаи разрушения скипов шахтных подъемных установок показали не только механический износ такого оборудования, но и их усталостное повреждение. Это свидетельствует о воздействии динамических нагрузок. Ремонт такого оборудования недостаточно регламентирован и при низком его качестве возможно полное разрушение сосудов. В статье описаны примеры соответствующих инцидентов. Комплексный анализ работы оборудования бадьевого шахтного подъема позволил выявить влияние режима работы привода на износ оборудования. Авторами представлены результаты проведенных динамических испытаний, включающих в себя запись вертикальных ускорений бадьи при работе подъемной установки, и информация о токах двигателя и скорости подъема сосуда. Тахограмма подъема обуславливает возбуждение переходных процессов и колебаний сосуда на канате. С учетом сопровождаемого при этом взаимодействия с проводниками шахтного ствола подъемные сосуды испытывают динамические нагрузки. Авторами на примере бадьевого подъемной установки показано, что возможно достичь сохранения исправного технического состояния подъемных сосудов за счет оптимизации тахограммы и обеспечения плавного движения сосудов.

Для цитирования: Зверев В. Ю., Трифанов Г. Д. Обеспечение безопасной эксплуатации сосудов шахтных подъемных установок с большой наработкой // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 6 (176). С. 33-42. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-33-42, EDN: MHSJKJ

Основным видом транспорта по вертикальным стволам горнодобывающих предприятий является шахтный подъем. В зависимости от назначения в качестве подъемных сосудов при этом применяются скипы, клетки и бадьи. Заводы-изготовители устанавливают назначенный срок службы подъемных сосудов исходя из требований обеспечения надежной работы шахтного подъема с учетом изменения технического состояния оборудования в ходе его эксплуатации. Однако установленный срок службы далеко не всегда является предельно допустимым, что вытекает из многолетних наблюдений за эксплуатацией подъемных сосудов [1]. Их эксплуатация не единожды продлевается по результатам обследования в рамках экспертизы промышленной безопасности [2, 3]. Это возможно за счет

простоты конструкции подъемных сосудов и большого заложенного запаса прочности несущих металлоконструкций при условии номинального режима эксплуатации и проведения регулярного, соответствующего состоянию оборудования, технического обслуживания и ремонта [4].

В настоящее время парк оборудования подъемных установок горнодобывающих предприятий сильно состарился. При типичном назначенном сроке службы подъемных сосудов в 7 лет, на предприятиях России можно встретить скипы и бадьи, изготовленные еще до 2000 года. Недостаточное внимание к вопросам эксплуатации и обслуживания такого оборудования не только снижает его еще возможную наработку, но и приводит к аварийным ситуациям. Для надежной эксплуатации

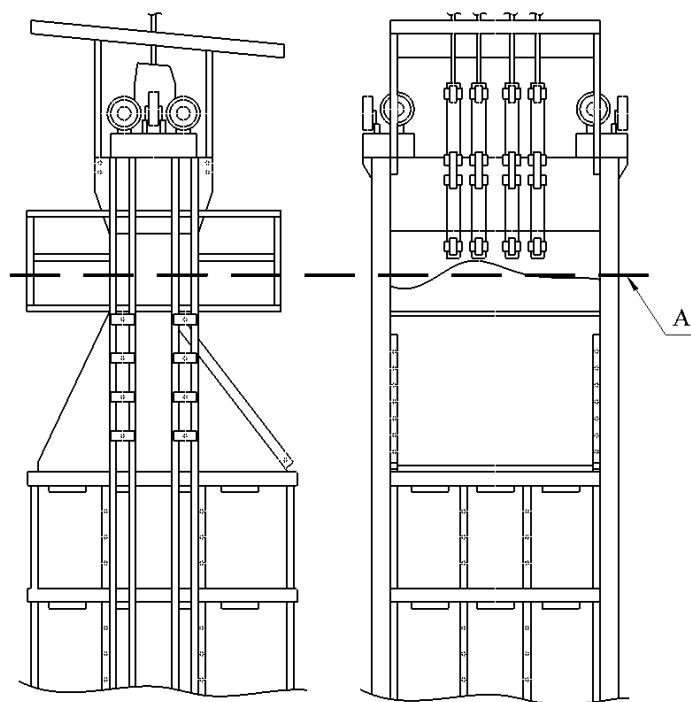


Рис. 1. Схема скипа 2CH35-2 в районе верхнего пояса с указанием места разрушения рамы
 Fig. 1. Scheme of skip 2SN35-2 in the area of the upper chord with indication of the location of the frame destruction

подъемных сосудов с большой наработкой требуется реализация дополнительных мероприятий по сохранению ресурса и качественной оценки технического состояния, как в ходе эксплуатации, так и при проведении ремонта, технического обслуживания и экспертного обследования.

В ходе эксплуатации основными критериями исправного состояния подъемных сосудов является отсутствие признаков предельного состояния металлоконструкций. Основные характеристики приводятся в техническом паспорте на сосуды и руководстве по эксплуатации. Алгоритм проведения осмотров регламентирован в методических указаниях по проведению экспертизы промышленной безопасности оборудования шахтных подъемных установок [3, 4]. Оборудование бракуется при наличии трещин в основном металле и сварных соединениях, сквозных отверстиях в обшивке и кожухе пружины парашютного устройства, деформации валиков подвесных и парашютных устройств. При этом основным способом выявления этих дефектов является визуальный осмотр, эффективность которого ограничена чистотой узлов и доступностью для прямого осмотра. Инструментальному контролю, в том числе с помощью средств ультразвуковой дефектоскопии, подвергаются обшивка сосуда, проушины подвесных устройств, измеряется зазор между направляющими скольжения и проводниками ствола, ход штока ловителя при напуске каната, усадка пружины парашютных устройств. Нормируется допустимое утонение футеровки кузова скипа и направляющих втулок для канатных проводников. Требования к подвесным и парашютным устройствам указываются в техническом паспорте и руководстве по

эксплуатации. При превышении измеренных величин свыше допустимых значений сосуд выводится из эксплуатации [3]. Каждый рассматриваемый в ходе обследования элемент обеспечивает надежность и безопасность работы оборудования в целом и не может быть выделен по значимости.

Основной причиной деформации и потери несущей способности конструкции сосудов является воздействие сверхнормативных нагрузок. Они возникают из-за нарушения режима эксплуатации сосудов, инцидентов при их зависании или заклинивании в проводниках, обрыве канатов и др. [5]. При выявлении таких случаев в обязательном порядке проводится экспертиза подъемных сосудов с целью оценки их технического состояния [2]. Штатный режим эксплуатации характеризуется накоплением механического износа и появлением усталостных трещин в металлоконструкции. Их причинами являются статические нагрузки от веса самого сосуда и груза, а также повторно-переменные напряжения, возникающие при движении подъемного сосуда в шахтном стволе, динамическое взаимодействие с армировкой ствола и разгрузочными кривыми [3].

Из анализа инцидентов, связанных с разрушением подъемных сосудов из-за усталости металлоконструкций, следует, что большое влияние на нагруженность оборудования оказывает режим работы подъемной установки. В процессе подъема сосуды испытывают большие динамические нагрузки, вызванные ускорением и рывками при движении в стволе, а также взаимодействием с армировкой ствола [6]. Даже при возникновении напряжений, значение которых намного меньше предела прочности металла, в конструкции оборудования накапливаются микрповреждения, кото



a



b

*Рис. 2. Положение верхнего пояса скипа при инциденте, вызванном его обрывом
 а – вид под промежуточной площадкой копра; б – вид над промежуточной площадкой копра*

*Fig. 2. Position of the upper skip chord during an incident caused by its breakage
 a – view under the intermediate platform of the headframe; b – view above the intermediate platform of the headframe*

рые в дальнейшем развиваются в сквозные трещины вплоть до потери несущей способности конструкций [7, 8].

Так, скип одного из горнодобывающих предприятий Воркутинского угольного месторождения 1983 года изготовления, допустимый срок службы которого был продлен до 2023 года, был разрушен

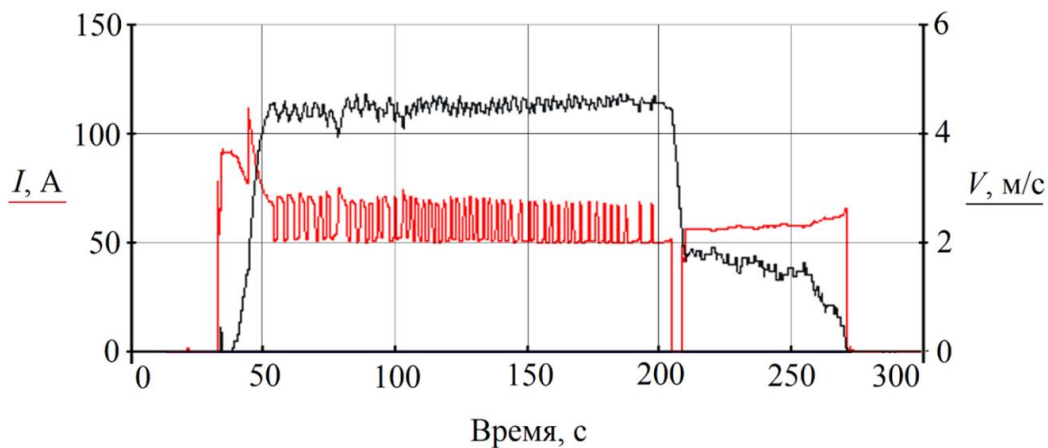


Рис. 3. Ток двигателя (I , А) и скорость подъемной машины (V , м/с) за цикл подъема грузеной бадьи в штатном режиме работы подъемной установки

Fig. 3. Motor current (I , A) and speed of the lifting machine (V , m/s) per cycle of lifting a loaded bucket in the normal operating mode of the lifting unit

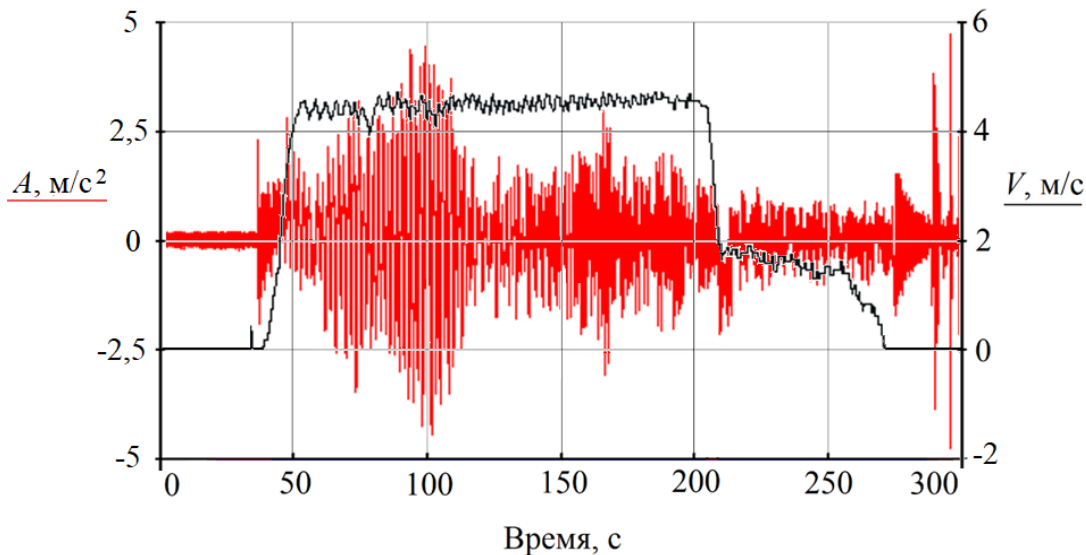


Рис. 4. Вертикальное ускорение бадьи (A , м/с²) и скорость подъемной машины (V , м/с) за цикл подъема грузеной бадьи в штатном режиме работы подъемной установки

Fig. 4. Vertical acceleration of the bucket (A , m/s²) and the speed of the lifting machine (V , m/s) during the lifting cycle of a loaded bucket in the normal operating mode of the lifting unit

в ходе эксплуатации в 2022 году. При очередном цикле подъема полезного ископаемого в полуавтоматическом режиме работы многоканатной подъемной установки в момент подхода скипа к разгрузочным кривым его конструкция разрушилась. Произошел обрыв по раме в верхнем поясе сосуда (прерывистая линия А на Рис. 1). Его кузов с грузом и оборванная часть рамы улетели в ствол, где повредили армировку. Верхняя часть осталась на канатах и была протянута подъемной машиной в копер. На фото на Рис. 2 зафиксировано положение верхнего пояса скипа в копре. Коушами было пробито перекрытие, верхний пояс поперечной части рамы и защитная конструкция смотровой площадки скипа в виде зонта были остановлены и зажаты под перекрытием.

Расследование инцидента выявило, что при одном из осмотров были выявлены дефекты в виде

трещин в раме скипа. Реализуемые операции по ремонту оборудования и своевременно проведенная экспертиза промышленной безопасности не предупредили инцидент. Шахтный подъем был остановлен на ремонт армировки и замену скипа.

Такое разрушение подъемного сосуда характерно при своевременно не выявленном износе или некачественном ремонте. Аналогичный инцидент произошел на одном из рудников Верхнекамского калийного месторождения. При ежесуточном осмотре на несущей металлоконструкции рамы скипа были обнаружены трещины. В качестве ремонта они были закрыты металлическими листами, приваренными по периметру. Оценка прочности конструкции скипа после ремонта не производилась. До проведения очередного текущего ремонта скип потерял свою прочность. Обрыв произошел как раз по несущей металлоконструкции наиболее нагруженного верхнего пояса скипа.

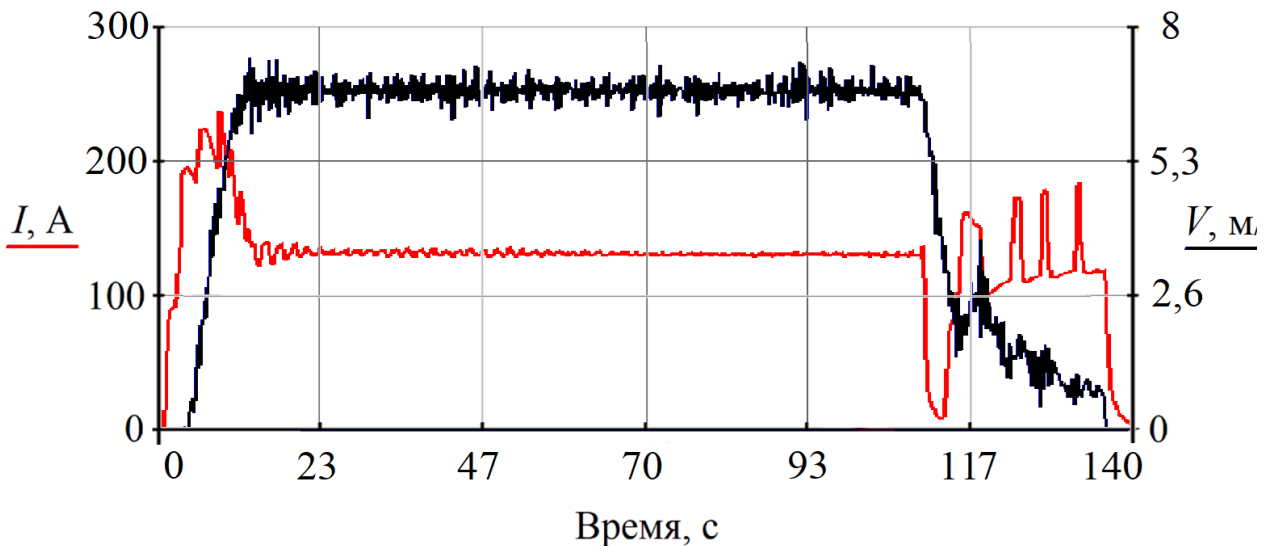


Рис. 5. Ток двигателя (I , А) и скорость подъемной машины (V , м/с) за цикл подъема груженого скипа в штатном режиме работы подъемной установки

Fig. 5. Motor current (I , A) and hoisting machine speed (V , m/s) per skip load lifting cycle in normal hoisting unit operation mode



Рис. 6. Фото скипа типа СН после ремонта по завариванию трещин в нижнем поясе

Fig. 6. Photo of a type SN skip after repairs to weld cracks in the lower belt

Описанные инциденты произошли при одних и тех же обстоятельствах, т. е. в штатном режиме работы подъемной установки, при массе полезного ископаемого в кузове, не превышающей допустимую грузоподъемность скипов. Основной официальной причиной разрушения являлось накопление и рост усталостных трещин. В то же время обстоятельства интенсивного усталостного износа выявлены не были.

Выявление причин усталостного износа и его влияние на продолжительность эксплуатации подъемного оборудования возможно при комплексном анализе работы подъемного оборудования [9, 10].

Такие исследования были проведены на бадьевом подъеме одного из рудников Кольской горно-металлургической компании. Основанием для проведения исследования являлся интенсивный износ дужек и разрушение применяемой бадьи типа БПСМ-3.

В процессе эксплуатации в конструкции бадьи регулярно возникали трещины, которые заваривались, но при дальнейшей работе подъема снова раскрывались. В один из циклов подъема бадьи произошел обрыв дужки в районе пластины усиления поперечины с одной стороны с последующим разрушением дужки в плоскости проушины с дру-

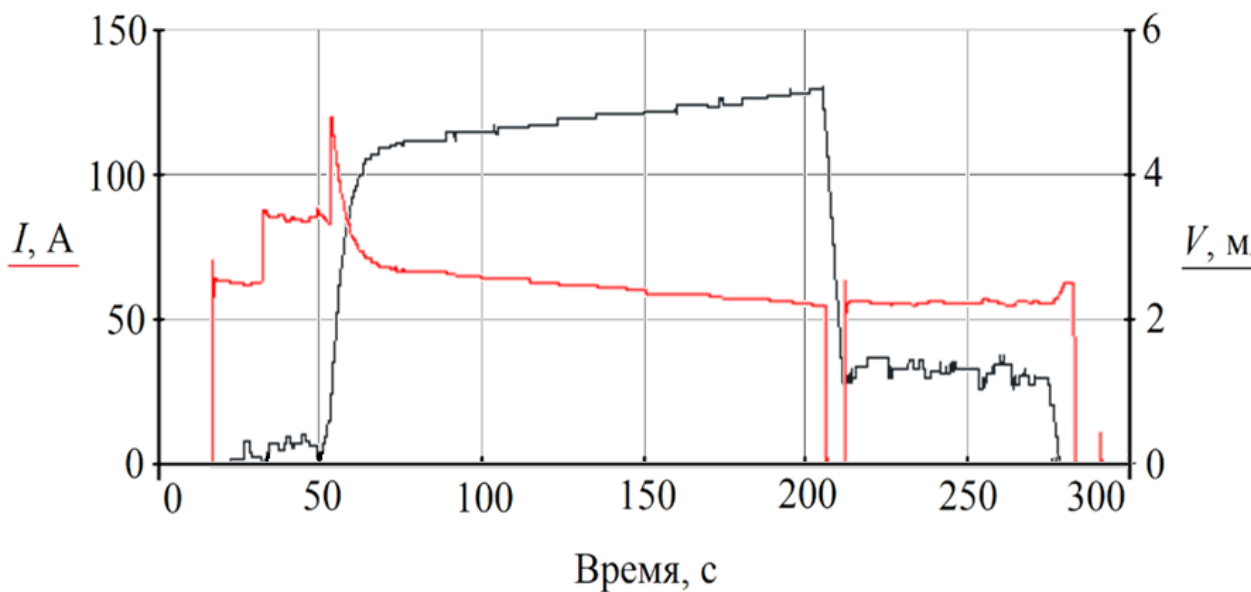


Рис. 7. Ток двигателя (I , А) и скорость подъемной машины (V , м/с) за цикл подъема грузеной бабды в штатном режиме работы подъемной установки после корректировки тахограммы подъема
 Fig. 7. Motor current (I , А) and the speed of the lifting machine (V , m/s) per cycle of lifting a loaded bucket in the normal operating mode of the lifting unit after adjusting the lifting tachogram

гой стороны. Рассмотрев область разрушения конструкции, эксперты заключили, что «...Поверхность излома дужки кристаллическая грубозернистая и характерна для мгновенного хрупкого разрушения. Направление лучей показывает, что излом берет свое начало с поверхности. В этой зоне на поверхности дужки наблюдаются овальные сколы до 5,0 мм. Разрушение дужки бабды характерно для усталостного разрушения, на что указывает поверхность разлома и наличие скола на поверхности дужки, как места зарождения трещины...», т. е. в процессе эксплуатации при внешнем воздействии возникло повреждение поверхности дужки, что привело к зарождению трещины. Вследствие ее интенсивного роста конструкция бабды потеряла прочность и была разрушена. Основным фактором, определившим рост трещины, была знакопеременная нагрузка, источником которой могло быть раскачивание сосуда на канате в процессе подъема.

Анализ работы бабдовой подъемной установки по данным с регистраторов параметров показал, что после разгона для поддержания постоянной скорости асинхронный электродвигатель работал на искусственных характеристиках [11]. Скорость подъема задавалась за счет переключения с одной искусственной характеристики на другую, что видно по информации о токе ротора двигателя (Рис. 3). Такой режим работы привода при каждом переключении формирует переходные колебательные процессы сосуда на канате [12, 13].

Таким образом, представляется возможным обеспечить надежность работы подъемных сосудов за счет снижения действующих динамических нагрузок. Такие мероприятия по сохранению работоспособного состояния оборудования могут быть разработаны на основании анализа работы привода подъемной машины и проведения исследований,

позволяющих оценить динамические процессы, протекающие в системе. Влияние режима работы привода на динамику подъема выявлено по результатам динамических испытаний [9, 14]. Для расследования причин ухудшения технического состояния бабды были проведены измерения ускорений в вертикальном и горизонтальном направлении восстановленной бабды при том же штатном режиме работы подъемной установки. Измерения производились с помощью специализированной аппаратуры «АРМИР», предназначенной для исследований динамики в системе «подъемный сосуд – армировка ствола». С помощью магнитов на бабде крепились акселерометры и производилось несколько замеров при штатном режиме работы подъемной установки.

Совместный анализ результатов измерений и данных, полученных о работе подъема с регистраторов параметров, позволили оценить действующие на сосуд динамические нагрузки.

Многочисленные переключения роторных контакторов и изменение сопротивления роторной цепи вызывали неравномерное движение сосуда и скачки скорости подъема. Возбуждаемые процессы суммировались, что приводило к возрастанию амплитуды колебаний бабды на канате. Измеренные в ходе исследований динамики подъемной системы вертикальные ускорения бабды достигали 4 м/с^2 , а их изменение носило колебательный характер (Рис. 4), что обуславливало воздействие соответствующих динамических нагрузок. Такой процесс приводит к снижению срока службы оборудования [15, 16]. Раскачивание бабды не прекращается вплоть до остановки и разгрузки, но несколько затухает в период замедления (до 1 м/с^2), который характеризуется более плавным движением за счет отсутствия рывков и корректировки работы привода. Действие дополнительных динамических нагрузок,

возникающих в результате многократных переключений контакторов, существенно снизило ресурс элементов подвески бадьи. Не сложно оценить, что за счет динамических нагрузок воздействие на дужку бадьи превысило вес бадьи в $(4+9,81)/9,81 = 1,41$ раз, а переменный характер их воздействия привел к усталостному износу.

Сравнивая режимы работы привода бадьевого подъемных машин и привода ранее упомянутого скипа 1983 года изготовления по перепадам тока электродвигателя, можно увидеть аналогичные рывки в период замедления (Рис. 5), которые в свою очередь имели даже большее значение. Аналогичный режим работы приводов и обстоятельства разрушения сосудов позволяют предполагать, что такая особенность управления подъемной машиной повлияла на движение скипа в стволе и так же стала причиной дополнительного динамического воздействия и резкого ухудшения технического состояния оборудования.

Стоит отметить, что рассмотренная бадья двигалась в стволе в канатных направляющих и дополнительное воздействие оказывалось только в продольном направлении относительно направления движения. При наличии жестких проводников, которыми, как правило, оборудованы стволы скиповых подъемных установок, добавляется еще и динамическая нагрузка в поперечном направлении относительно движения сосуда [2].

При взаимодействии сосуда с проводниками за счет большой жесткости проводников рельсового типа или коробчатого сечения они не поддаются деформации и не поглощают удар, на сосуд оказывается большая динамическая нагрузка. Повреждению в этом случае подвергаются элементы конструкции сосудов, которые не являются наиболее нагруженными эксплуатационными нагрузками, например, в нижнем поясе рамы или кузова скипа (Рис. 6). Кроме того, при наличии дефектов сами проводники являются причиной ударных воздействий по сосуду. В обоих случаях существенное влияние на снижение срока службы оборудования оказывают несовершенства конструкции армировки ствола [6]:

- изменение ширины колеи, которая выражается в изменении положения проводников и может стать причиной заклинивания или выхода подъемных сосудов из направляющих;

- механический и коррозионный износ дефекты в виде изгиба или кручения проводников, а также разрушение сварных соединений;

Результаты исследований динамики системы «подъемный сосуд – армировка» показали, что основными причинами динамических нагрузок являются:

- дефекты стыков проводников, которые заключаются во взаимном смещении последовательно остановленных проводников одной нитки;

- разрушение болтовых соединений шахтного проводника с расстрелом.

Рекомендации, сформулированные по результатам обследования конструкции бадьи и анализа работы подъемной установки, которые позволили

снизить динамические нагрузки и исключить ухудшения технического состояния оборудования, были направлены на исключение перерегулирования скорости при подъеме грузовой бадьи после выхода на установленную скорость [13, 17]. Движение на основном участке подъема осуществлялось на одной механической характеристике (одной ступени сопротивлений ротора). Это повлияло на тахограмму – не позволило достичь равномерного движения с постоянным значением скорости, но уменьшило число бросков тока из-за переключений характеристик (Рис. 7). Часовая производительность подъемной установки была сохранена. Минимизация величины динамических нагрузок была выражена в сохранении технического состояния бадьи. После ремонта бадьи, наладки подъемной машины и запуска их в эксплуатации резкого ухудшения технического состояния сосуда не происходило. Появление новых трещин в области души прекратилось. Сохранение исправного технического состояния оборудования и надежная работа подъемной установки обеспечено за счет плавного подъема сосудов с минимальным перерегулированием скорости движения и исключением ударного взаимодействия с проводниками ствола.

Таким образом, на примере инцидентов, связанных с обрывами подъемных сосудов, видно влияние режима работы подъемной установки на техническое состояние оборудования. Динамическое воздействие на подъемные сосуды обуславливают их усталостный износ, что при большой наработке может привести к появлению недопустимых дефектов и разрушению. Результаты проводимых исследований показывают имеющиеся несовершенства наладки подъемной машины и технического обслуживания армировки стволов. Обеспечение плавного движения сосудов за счет настройки тахограммы подъема без резких рывков и ускорений, а также своевременный ремонт армировки с учетом анализа динамики работы подъемной системы позволят сохранить исправное техническое состояние подъемных сосудов с большой наработкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин С. Р. [и др.] Механика шахтного подъема: монография / М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. Д. : НГУ, 2014. 247 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года № 505. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372372/.
3. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности сосудов шахтных подъемных установок (РД-15-05-2006). (утв. приказом Ростехнадзора от 26.02.06 № 126). / Сост. Трифанов Г. Д. [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2006. № 6. С. 73–80.
4. Методические указания по проведению экспертных обследований шахтных подъемных

установок (РД 03-422-01) / Государственное унитарное предприятие «Научно-технических центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». М. : Научно-технических центр по безопасности в промышленности, 2001. 172 с.

5. Корняков М. В., Красноштанов С. Ю. Об учете влияния аварийных ситуаций при оценке остаточного ресурса шахтных подъемных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 12(71). С. 105–110. EDN PLVEUD.

6. Микрюков А. Ю. Повышение эффективности эксплуатации шахтных подъемных установок на основе мониторинга плавности движения скипов : специальность 05.05.06 «Горные машины»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Микрюков Алексей Юрьевич. Пермь, 2016. 22 с. EDN ZQHHLN.

7. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. / под ред. А. П. Гусенкова. 2-е изд. М. : Машиностроение, 1993. 364 с.

8. Журавков М. А., Николайчик М. А. Конечное-элементное моделирование взаимодействия подъемного сосуда с конструктивными элементами шахтного ствола // Горная механика и машиностроение. 2021. № 4. С. 15–21. EDN GBEJPW.

9. Стрелков М. А. Оценка состояния шахтных подъемных установок по данным системы постоянного контроля параметров // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 2. С. 34–38. EDN NDFOKJ.

10. Johansson B., Steinarson A. A new method for automatic reduction of catenary oscillations in drum hoist installations / Hoist & haul 2015: Proceedings of

the international conference on hoisting and haulage. 2015. P. 125-140.

11. Абрамов Б. И. [и др.] Электропривод современных шахтных подъемных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 5–2. С. 145–162. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_145.EDN EEUUCY.

12. Boroška J., Šaderov J., Rityk J. Dynamic forces and an actual load of a wire rope during its operation // ActaMontanisticaSlovaca. 1996. № 4. P. 296–300.

13. Католиков В. Е., Динкель А. Д. Динамические режимы рудничного подъема. М. : Недра, 1995. 448 с.: 129 ил.

14. Трифанов Г. Д. [и др.] Способы минимизации динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок // Горный журнал. 2015. № 8. С. 92–95. DOI: 10.17580/gzh.2015.08.19. EDN UNKOWV.

15. Журавков М. А. [и др.] Моделирование контактного взаимодействия между элементами подъемного шахтного комплекса при оценках безопасности // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 4. С. 9–25. DOI 10.36535/0869-4179-2021-04-1. EDN AGHFSB.

16. Ma C., Yao J., Xiao X., Di X., and Jiang Y., Vibration analysis of winding hoisting system based on ADAMS/cable Journal of physics: conference series // Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1750. № 1. 012033. DOI: 10.1088/1742-6596/1750/1/012033.

17. Ляпцев С. А. [и др.] Вопросы теории подвоя в области рудничного подъема // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 29. EDN VIDTIP.

© 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:

Зверев Валерий Юрьевич, доцент кафедры «Горная электромеханика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2483-132X>, e-mail: zvva9@mail.ru.

Трифанов Геннадий Дмитриевич, заведующий кафедрой «Горная электромеханика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, (Россия, 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7848-7873>, e-mail: gem@pstu.ru.

Заявленный вклад авторов:

Зверев Валерий Юрьевич – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, написание текста.

Трифанов Геннадий Дмитриевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

IMPLEMENTATION OF SAFE OPERATION FOR THE VESSELS OF MINE HOIST INSTALLATIONS AT HIGH OPERATING TIME



Article info

Received:

01 November 2024

Accepted for publication:

15 November 2024

Accepted:

24 November 2024

Published:

12 December 2024

Keywords: mine hoist installation hoist vessels, operating time, dynamic forces, durability, operating mode

Abstract.

In this paper, the problem of the mine hoist vessels operating with a high service life that exceeding the equipment's designated service life was examined. The cases of mine hoisting installations skips destruction described showed in the article not only mechanical wear of such equipment, but also their fatigue damage. This indicates impact of the dynamic forces. The repair of this equipment is not sufficiently regulated and, with its low quality, complete destruction of vessels is possible. In paper, examples of relevant incidents was describes. A comprehensive analysis of the equipment bucket mine hoist operation made it possible to identify the influence of the drive operating mode on equipment wear. The authors presented the results of the conducted dynamic tests, that including a recording the buckets vertical accelerations are during the operation of the hoist plant, and information at the motor currents and the hoisting speed of the vessels. The hoist speed diagram causes the excitation of transients and vibrations of the vessel with rope. Taking into account the accompanying interaction with the mine shaft conductors, the hoist vessels was experience a dynamic forces. The authors, using the example of a bucket hoist installation, have demonstrated that it is possible to maintain the operational technical condition of these vessels by optimizing speed diagram and ensuring smooth vessel movement.

For citation: Zverev V.Yu., Trifanov G.D. Implementation of safe operation for the vessels of mine hoist installations at high operating time. Mining Equipment and Electromechanics, 2024; 6(176):33-42 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-33-42, EDN: MHSJKJ

REFERENCES

1. Il'in S.R. [et al.] *Mehanika shahtnogo podema: monografija / M-vo obra[et al.] zovaniya i nauki Ukrainy; Nac. gorn. un-t. D.: NGU; 2014. 247 s.*
2. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti "Pravila bezopasnosti pri ve-denii gornyh rabot i pererabotke tverdyh poleznyh iskopaemyh". Utverzhdeny prikazom Federal'noj sluzhby po jekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 8 dekabrya 2020 goda № 505. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372372/.*
3. Trifanov G.D. [et al.] *Metodicheskie ukazaniya po provedeniju jekspertizy promyshlennoj bezopasnosti sosudov shahtnyh podjomnyh ustanovok (RD-15-05-2006). (utv. prikazom Rostehnadzora ot 26.02.06 № 126). Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2006; 6:73–80.*
4. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniju jekspertnyh obsledovanij shahtnyh podjomnyh ustanovok (RD 03-422-01) / Gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatje «Nauchno-tehnicheskij centr po bezopasnosti v*

promyshlennosti Gosgortehnadzora Rossii». M.: Nauchno-tehnicheskijh centr po bezopasnosti v promyshlennosti; 2001. 172 s.

5. Kornjakov M.V., Krasnoshtanov S.Ju. *Ob uchete vlijaniya avarijnyh situacij pri ocenke ostatocnogo resursa shahtnyh podemnyh ustanovok. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2012; 12(71):105– 110. EDN PLVEUD.*

6. Mikrjukov A.Ju. *Povyshenie jeffektivnosti jekspluatcii shahtnyh podemnyh ustanovok na osnove monitoringa plavnosti dvizhenija skipov : special'nost' 05.05.06 «Gornye mashiny»: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehničeskijh nauk / Mikrjukov Aleksej Jur'evich. Perm', 2016. 22 s. EDN ZQHHLN.*

7. Kogaev V.P. *Raschety na prochnost' pri naprjazhenijah, peremennyh vo vremeni. / pod red. A.P. Gusenkova. 2-e izd. M.: Mashinostroenie; 1993. 364 s.*

8. Zhuravkov M.A., Nikolajchik M.A. *Konechno-jelementnoe modelirovanie vzaimodejstvija podemnogo sosuda s konstruktivnymi jelementami shahtnogo stvola / M. A. Zhuravkov, M.A. Nikolajchik. Gornaja*

mehanika i mashinostroenie. 2021; 4:15–21. EDN GBEJPW.

9. Strelkov M.A. Ocenka sostojanija shahtnyh podemnyh ustanovok po dannym sistemy postojannogo kontrolja parametrov. *Gornoe oborudovanie i jelektromehanika*. 2011; 2:34–38. EDN NDFOKJ.

10. Johansson B., Steinarson A. A new method for automatic reduction of catenary oscillations in drum hoist installations / Hoist & haul 2015: Proceedings of the international conference on hoisting and haulage. 2015. P. 125–140.

11. Abramov B.I. [et al.] Jelektroprivod sovremennyh shahtnyh podjomnyh mashin. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2022; 5-2:145–162. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_145. EDN EEUUCY.

12. Boroška J., Šaderov J., Rituk J. Dynamic forces and an actual load of a wire rope during its operation. *ActaMontanisticaSlovaca*. 1996; 4:296–300.

13. Katolikov V.E., Dinkel' A.D. Dinamicheskie rezhimy rudnichnogo podema. M.: Nedra; 1995. 448 s.: 129 il.

14. Trifanov G.D. [et al.] Sposoby minimizacii dinamicheskikh nagruzok v kanatah shahtnyh podemnyh ustanovok. *Gornyj zhurnal*. 2015; 8:92–95. DOI: 10.17580/gzh.2015.08.19. EDN UHKOWV.

15. Zhuravkov M.A. [et al.] Modelirovanie kontaktnogo vzaimodejstvija mezhdru jelementami podemnogo shahtnogo kompleksa pri ocenkah bezopasnosti. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij*. 2021; 4:9–25. DOI: 10.36535/0869-4179-2021-04-1. EDN AGHFSB.

16. Ma C., Yao J., Xiao X., Di X., and Jiang Y., Vibration analysis of winding hoisting system based on AD-AMS/cable Journal of physics: conference series. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1750(1):012033. DOI: 10.1088/1742-6596/1750/1/012033.

17. Ljapcev S.A. [et al.] Voprosy teorii podobija v oblasti rudnichnogo podema. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2015; 1–1:29. EDN VIDTIP.

© 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:

Valeriy Yu. Zverev, Associate Professor of department «Mining electromechanics», Perm national research polytechnic university (Russia, 614990, Perm, Komsomolsky prospekt, 29), C. Sc. (Engineering), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2483-132X>, e-mail: zvva9@mail.ru.

Gennadiy D. Trifanov, Head of department «Mining electromechanics», Perm national research polytechnic university (Russia, 614990, Perm, Komsomolsky prospekt, 29), Dr. Sc. (Engineering), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7848-7873>, e-mail: gem@pstu.ru.

Contribution of the authors:

Valeriy Yu. Zverev – reviewing the relevant literature; data collection, data analysis, reviewing the relevant literature, drawing the conclusions, writing the text.

Gennadiy D. Trifanov – research problem statement, scientific management, conceptualisation of research.

Authors have read and approved the final manuscript.

