УДК 622.6

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СКИПОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РУДНИЧНОГО ПОДЪЕМА

Сушков В.С. – аспирант,
Каразаева А.С. - студент 4 курса,
Иващенко Е.С. – студент магистратуры
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»» (НИТУ МИСИС),
Россия, г. Москва

Рудничные подъемные установки являются одним из наиболее важных звеньев в технологической цепочке любого горнодобывающего предприятия, обеспечивающих транспортировку полезных ископаемых, породы, материалов и людей из шахты на поверхность или между горизонтами [1,2]. От надежности, производительности и экономичности их работы напрямую зависит успех всего производственного процесса. Важным элементом большинства подъемных систем для транспортировки массовых грузов являются скипы – специализированные подъемные сосуды для перемещения сыпучих материалов. Параметры скипов (вместимость, масса, конструкция, аэродинамика) напрямую влияют на эффективность эксплуатации подъемной установки. Ошибки в проектировании оборудования подъемных установок ведут к снижению общей эффективности рудничного подъема, увеличению затрат на подъем, износа и аварийности. Целью данной работы является систематизация и обоснование влияния различных параметров скипов на ключевые показатели эксплуатации рудничных подъемных установок.

Прежде чем перейти к анализу влияния скипов на общие показатели рудничного подъема, выделим основные параметры скипов: грузоподъемность (объем/масса полезного груза; собственный вес (тара), габаритные размеры (высота, ширина и глубина скипа); форма и конструкция (аэродинамическая форма, элементы подвески, направляющие, тип разгрузки: донная, боковая, опрокидная); материалы конструкции (стали, композиты); динамические характеристики (собственные частоты колебаний, жесткость конструкции, распределение масс).

Для обоснования влияния параметров скипов на работу подъемных установок применяются следующие методы:

1. Теоретические расчеты и математическое моделирование. Прежде всего выполняются расчеты на прочность и жесткость, в том числе оценка перечисленных параметров методами сопротивления материалов, методами конечных элементов (МКЭ) [3,4] для анализа напряженно-деформированного состояния конструкции скипа под различными нагрузками [5]. Более точные данные будут получены при помощи динамических расчетов, например,

моделирование движения скипа в стволе, определение собственных частот колебаний, анализ взаимодействия с направляющими, расчет динамических нагрузок при разгоне, торможении и прохождении стыков. Сопротивления движению могут быть уточнены в аэродинамических расчетах при помощи методов вычислительной гидродинамики (CFD) для оптимизации формы скипа с целью снижения сопротивления воздуха. На сегодняшний день важный этап проектирования подъемных установок – расчеты энергоэффективности для определения энергетического баланса системы с учетом массы скипа [6], полезной нагрузки, аэродинамического сопротивления и потерь в трансмиссии [7].

2. Лабораторные и стендовые испытания: испытания материалов на прочность, усталость, износостойкость, а также испытания отдельных узлов и механизмов скипа (например, разгрузочных устройств, направляющих элементов) на специальных стендах.

3. Полномасштабные экспериментальные исследования (на действующей установке): вибродиагностика и тензометрия, измерение энергопотребления и мониторинг износа [8].

4. Анализ эксплуатационных данных: статистический анализ данных о производительности, отказах, авариях, затратах на ремонт и техническое обслуживание для выявления корреляций с параметрами скипов.

На основе проведенного анализа исследований можно определить следующие направления по выбору рациональных параметров скипов:

- Исследование скипа как часть подъемной системы с учетом взаимодействия с канатами, подъемной машиной, направляющими проводниками при оценке энергопотребления на рудничном подъеме [3,4,5].
- Минимизация веса за счет применения легких и прочных материалов (высокопрочные стали, сплавы, композиты) для снижения энергопотребления и нагрузок [6].
- Оптимизация формы скипов для учета аэродинамики и снижения сопротивления воздуха при высоких скоростях движения подъемной системы [7].
- Уменьшение времени и повышение надежности погрузочно-разгрузочных операций [8,9].
- Повышение ресурса скипов при использовании износостойких материалов в качестве футеровки [9].
- Снижение динамических нагрузок за счет исключения резонанса и снижения колебательных процессов при обеспечении устойчивости движения подъемной системы [10-12].
- Обеспечение мониторинга и обслуживания оборудования для своевременного выявления возможностей аварийных ситуаций [13,14].

На первом этапе данной работы было предложено оценить влияние коэффициента тары подъемного скипа на энергопотребление рудничного подъема. Были выполнены расчеты для упрощенной модели без учета аэродинамических потерь и трения (рис. 1). График демонстрирует линейный рост

энергозатрат с увеличением коэффициента тары скипа. Снижение коэффициента k с 1,0 до 0,5 позволяет сократить энергопотребление примерно на 25%.

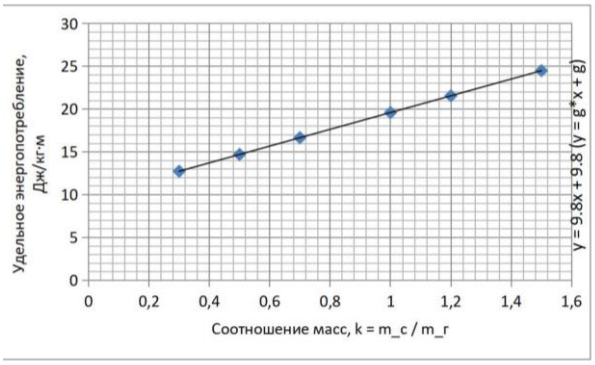

Рисунок 1. Зависимость удельного энергопотребления подъемной установки от соотношения массы скипа и полезной нагрузки.

В данной работе также рассматриваются возможности повышения эффективности подъемных установок за счет выбора эффективной аэродинамической формы скипов. График (рис.2) демонстрирует существенное снижение коэффициента лобового сопротивления (C_x) при приведении геометрии скипа к более аэродинамическим формам. Наибольшей эффективностью обладает обтекаемый профиль, коэффициент сопротивления которого более чем в 2,5 раза ниже, чем у базового скипа прямоугольной формы.

График, представленный на рис. 3, демонстрирует, что с ростом скорости движения подъемной системы влияние аэродинамических характеристик становится определяющим для снижения энергопотребления на рудничном подъеме.

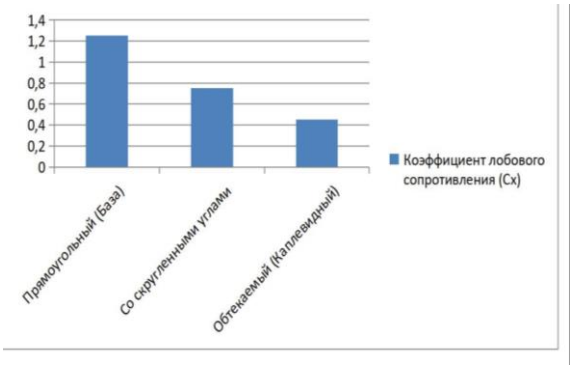

Рисунок 2. Сравнение коэффициентов аэродинамического сопротивления скипов различной формы.

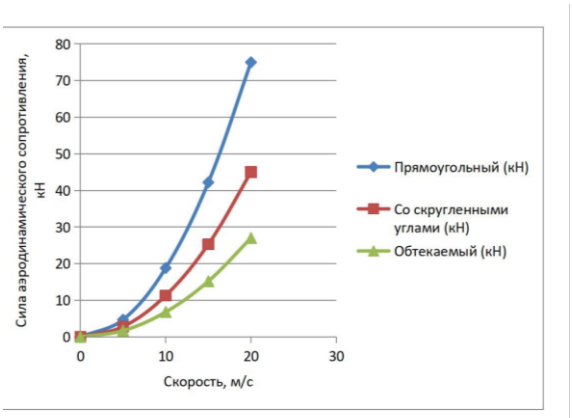

Рисунок 3. Зависимость силы аэродинамического сопротивления от скорости движения для скипов различной формы.

При скорости 20 м/с сила сопротивления для прямоугольного скипа достигает 75 кН, в то время как для обтекаемой формы она составляет всего 27 кН — снижение в 2,8 раза. Это подтверждает, что оптимизация формы скипа

может быть экономически оправдана для высокоскоростных подъемных установок, эксплуатирующийся на шахтах значительной глубины (до 1000 м и больше).

Параметры скипов играют определяющую роль для достижения эффективности, безопасности и экономичности работы рудничных подъемных установок. Грузоподъемность, собственный вес, габаритные размеры, форма, материалы конструкции и динамические свойства скипов оказывают комплексное влияние на производительность и энергопотребление рудничного подъема.

Важной задачей в обеспечении эффективной работы подъемных установок является оценка возможностей внедрения модернизированных скипов с интеллектуальными системами мониторинга и адаптивного управления подъемной системой.

Список литературы:

1. Зотов, В. В. Определение области использования подъемных установок с ленточным тяговым органом / В. В. Зотов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 8. – С. 276-280. – EDN KKOIHF.

2. Картавый, Н. Г. Применение резинотросовых тяговых лент на подъемных установках / Н. Г. Картавый, В. В. Зотов // Горный журнал. – 2009. – № 1. – С. 75-78. – EDN LHOUHZ.

3. Зотов, В. В. К вопросу анализа конструктивных параметров шкива трения при использовании резинотросовых канатов / В. В. Зотов, А. М. Беляев, Т. С. Беляева // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2024. – Т. 1. – С. 19-24. – EDN DWJRSO.

4. Перекутнев, В. Е. Моделирование приводных шкивов подъемных установок с резинотросовыми канатами / В. Е. Перекутнев, В. В. Зотов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 6. – С. 105-114. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114. – EDN DZDMZG.

5. Моделирование подвесного устройства скипа подъемной установки с резинотросовым тяговым органом / Ж. А. Нишонова, С. Гылымулы, Т. С. Беляева, В. С. Рыжиков // Уголь. – 2024. – № 4(1179). – С. 88-91. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-4-88-91. – EDN EBGPCL.

6. Агафонов, А. А. Обоснование применения альтернативных материалов в конструкции подъемных сосудов одноканатного скипового подъема / А. А. Агафонов, М. А. Васильева // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : Материалы 19-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 09–10 ноября 2023 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2023. – С. 90-94. – EDN SLWIIC.

7. Семакин, М. С. Шахтные скипы высокой эксплуатационной надежности / М. С. Семакин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 12. – С. 145-147. – EDN RMSLAB.

8. Трифанов, Г. Д. Возможности увеличения производительности эксплуатируемых скиповых подъемных установок калийных рудников / Г. Д. Трифанов, В. Ю. Зверев, С. А. Бут // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 9(127). – С. 3-8. – EDN XEEFCV.

9. Фролова, А. Ю. Сравнительная оценка футеровки из высокопрочных материалов применительно к скипам подъемных установок / А. Ю. Фролова, В. В. Зотов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 03–04 апреля 2025 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. – С. 332-335. – EDN XUOCXO.

10. Зверев, В. Ю. Влияние параметров движения скипов на динамические нагрузки в канатах / В. Ю. Зверев, Г. Д. Трифанов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека» в рамках Уральской горнопромышленной декады , Екатеринбург, 07–08 апреля 2016 года / Лагунова Юлия Андреевна (отв. ред.). – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2016. – С. 41-44. – EDN WCRCHJ.

11. Беляев, А. М. К вопросу имитационного моделирования процессов торможения шахтной подъемной установки / А. М. Беляев, В. В. Зотов, С. Гылымулы // 65 лет ДонГТИ. Наука и практика. Актуальные вопросы и инновации : Сборник тезисов докладов юбилейной международной научно-технической конференции, Алчевск, 13–14 октября 2022 года. Том Часть 2. – Алчевск: Донбасский государственный технический институт, 2022. – С. 61-64. – EDN GPZHCL.

12. Зотов, В. В. Математическая модель подъёмной установки с резинотросовой лентой / В. В. Зотов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S16. – С. 300-309. – EDN MDWYMB.

13. Трифанов, Г. Д. Повышение эффективности эксплуатации шахтных подъемных установок, оборудованных системами мониторинга плавности движения скипов / Г. Д. Трифанов, А. Ю. Микрюков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S15. – С. 3-13. – EDN XHPNYH.

14. Трифанов, Г. Д. Испытание системы контроля плавности движения подъемного сосуда в шахтном стволе / Г. Д. Трифанов, А. Ю. Микрюков // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 12(109). – С. 16-22. – EDN TBZLUN.