

УДК 621.31

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

Петрова А.А., Семёнов А.С.

*Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном, Мирный, e-mail: as.semenov@s-vfu.ru*

В данной статье рассмотрена возможность замены традиционного электропривода переменного тока шахтной подъемной установки на рекуперативный частотно-регулируемый электропривод на руднике по добыче алмазосодержащих пород. Представлена краткая информация о руднике «Интернациональный» акционерной компании «АЛРОСА» (ПАО). Представлены сведения о параметрах и режимах работы скиповой подъемной установки рудника. Произведен краткий обзор режимов работы, сравнение схем и описание недостатков и преимуществ традиционного электропривода и частотно-регулируемого электропривода. К ключевым недостаткам действующего электропривода относится: использование коммутационной аппаратуры, отсутствие регулировочных качеств, невысокая точность управления, отсутствие автоматизированного управления, расход значительного количества электроэнергии, потребление из сети значительного количества реактивной мощности. К преимуществам современной системы электропривода можно отнести: формирование точной многопериодной диаграммы скорости, плавный разгон сосудов, рекуперативное торможение с возвратом энергии в питающую сеть, компенсацию реактивной мощности без применения дополнительных компенсаторов.

**Ключевые слова:** электропривод, подъемные установки, преобразователь частоты, асинхронные двигатели, рудник

## MODERNIZATION OF ELECTRIC DRIVE OF MINE LIFTING UNIT

Petrova A.A., Semenov A.S., Ph.D.

*Polytechnic institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov in Mirny, e-mail: as.semenov@s-vfu.ru*

This article considers the possibility of replacing the traditional electric drive of an alternating current mine hoist with a recuperative variable-frequency electric drive at a mine for the extraction of diamond-bearing rocks. The brief information about the mine "International" of the public joint-stock company "ALROSA" is presented. Information on the parameters and operating modes of the mine skip hoisting system is presented. A brief review of the operating modes, a comparison of the schemes and a description of the disadvantages and advantages of the conventional electric drive and frequency-controlled electric drive have been made. The key shortcomings of the current electric drive include: the use of switching equipment, the lack of adjusting qualities, low control accuracy, the lack of automated control, the consumption of a significant amount of electricity, the consumption of a significant amount of reactive power from the network. Advantages of a modern electric drive system include: the formation of an accurate multi-period velocity diagram, smooth acceleration of vessels, regenerative braking with the return of energy to the supply network, compensation of reactive power without the use of additional compensators.

**Keywords:** electric drive, lifting installations, frequency converter, asynchronous motors, mine

Объектом исследований является электропривод подъемных установок – основного транспортного средства, обеспечивающего жизнедеятельность шахт и рудников. Комплексное решение проблемы развития электропривода шахтных подъемных машин в направлении повышения их эффективности работы является актуальным [1-2]. Электроприводы с преобразователями частоты позволяют значительно повысить сроки службы элементов механического оборудования и уменьшить простои, связанные с их выходом из строя благодаря плавному выбору люфтов, зазоров и «преднатяжению» элементов передачи с программируемым темпом в процессе запуска («линейная заводка» или S- характеристика), а также программной стабилизации пускового момента. Эти особенности обуславлива-

ют преимущества использования ЧРЭП в электроприводах в механизмах с тяжелыми условиями эксплуатации [3-4].

Вскрытие и отработка месторождения осуществляется в сложных горно-геологических условиях. Рудник «Интернациональный» АК «АЛРОСА» (ПАО) отнесен к опасным по выделению горючих газов и нефтепроявлениям, поэтому все горные работы должны выполняться в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области промышленной безопасности.

В настоящее время отработаны запасы I очереди месторождения (отм. -200 ... -560 м). Для вскрытия запасов II очереди отработки месторождения (отм. -560 ... -790 м) дополнительно предусматривается строительство слепого скипового ствола с внутришахтной подъемной установкой расположенной на отм. -560.

Основным и самым сложным элементом скиповой ШПУ является подъемная машина, которая находится в машинном отделении и с помощью подъемного каната производит подъем скипа по стволу шахты на поверхность, где руда разгружается в бункер обогатительной фабрики. Подъемный канат проходит через шкив, находящийся на копре. Под землей скип загружается с вагонопрокидывателя через мерный ящик.

На крупных современных шахтах всегда имеется две-три действующие подъемные установки, при этом каждая из них выполняет свои особые функции (выдачу руды, спуск-подъем людей, выдачу породы и т.д.), а не являются резервом другой. Это придает большое значение подъемным установкам во всем комплексе электромеханического оборудования шахт и предъявляет к ним особые требования в отношении надежности и безопасности работы. От надежной, бесперебойной и производительной работы шахтного подъема зависит ритмичная работа всей шахты в целом.

Электропривод подъемных установок потребляет до 40% (иногда до 50%) всей электроэнергии, расходуемой шахтой [5-6]. Подъемные машины устанавливаются на весь срок эксплуатации шахты.

Работа подъемной установки характеризуется цикличностью, т. е. рядом сменяющихся циклов, следующих друг за другом. В свою очередь каждый цикл можно разбить на четыре основных периода: разгон, равномерное движение, замедление до полной остановки и пауза. Чтобы обеспечить требуемую производительность рудничного подъема, каждый цикл должен укладываться в определенное, наперед заданное время. Для этого необходимо выдерживать расчётные значения ускорения и замедления, максимальной скорости и паузы, т.е. выдерживать заданную диаграмму скорости. Диаграмма скорости подъема (тахограмма) – это зависимость скорости движения подъемных сосудов от времени.

В зависимости от назначения, вида и грузоподъемности подъемных сосудов, числа горизонтов и расстояния между ними диаграммы скорости могут быть трёх-, пяти-, шести- и семипериодными. Наиболее простые трёхпериодные диаграммы целесообразно применять для клетевых подъемных установок с одноэтажными неопрокидными клетями при качающихся приёмных площадках. Наиболее сложные шести- и семипериодные диаграммы скорости необходимы при грузовом подъеме с опрокидными

скипами. Это объясняется необходимостью ограничения скорости движения подъемных сосудов в разгрузочных кривых.

Традиционный электропривод переменного тока шахтной подъемной машины (ШПМ) содержит высоковольтные асинхронные электродвигатели с фазным ротором, высоковольтные статорные реверсоры, роторные пусковые резисторно-контакторные станции управления (ПРКС) и станции динамического торможения (СДТ) [7-9]. Однолинейная структурная схема традиционного электропривода переменного тока ШПМ показана на рисунке 1.

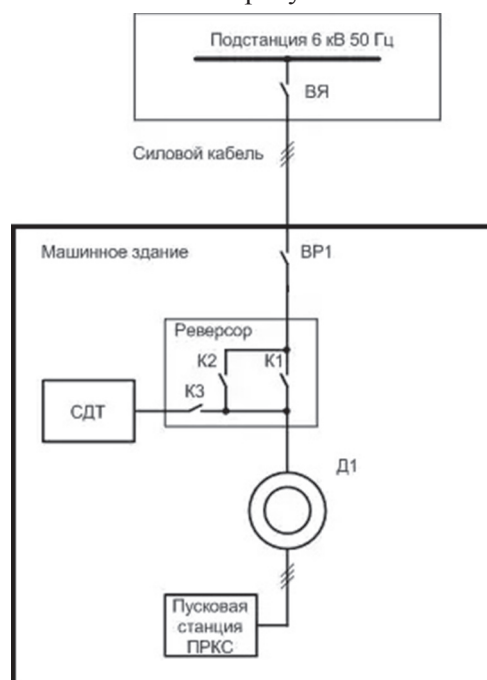


Рис. 1. Однолинейная структурная схема традиционного электропривода переменного тока ШПМ

Упомянутый привод имеет существенные недостатки, которые заключаются в следующем:

- использование коммутационной аппаратуры для пуска и регулирования скорости ограничивает по мощности применение асинхронного привода;

- асинхронный электропривод с роторной резисторно-контакторной станцией управления и динамическим торможением не обладает регулировочными качествами, необходимыми для ШПМ, не обеспечивает высокую точность управления и не позволяет автоматизировать управление ШПМ, что приводит к снижению производительности;

- при разгоне, торможении и работе ШПМ на пониженной скорости расходуется значительная электроэнергия, идущая на на-

грев роторных сопротивлений ПРКС, нагрев электродвигателя и износ механических тормозов. Непроизводительно расходуемая электроэнергия повышает себестоимость продукции и снижает прибыль;

- асинхронный электропривод с пусковой резисторно-контакторной станцией потребляет из сети значительную реактивную мощность, которую необходимо оплачивать, либо компенсировать достаточно дорогими компенсаторами реактивной мощности.

Замена пусковой роторной резисторно-контакторной станции управления и станции динамического торможения на рекуперативный частотно-регулируемый электропривод ЧРЭП позволяет устранить все перечисленные выше недостатки электропривода переменного тока с асинхронными электродвигателями с фазным ротором [10-11].

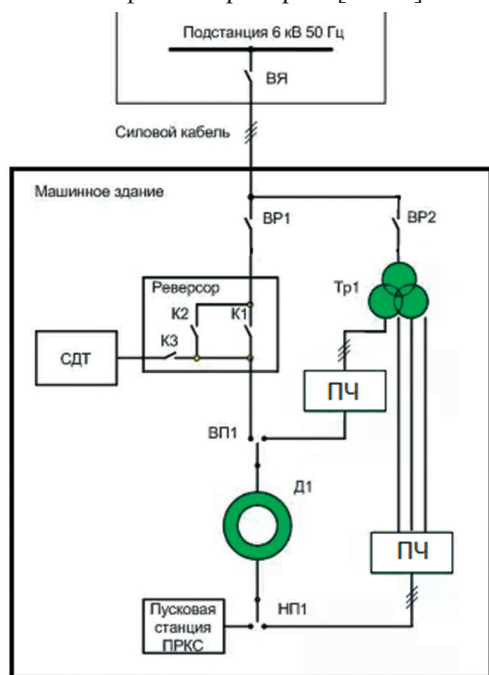


Рис. 2. Однолинейная структурная схема электропривода с ЧРЭП

Преобразователи частоты устанавливаются между цепью ротора асинхронного электродвигателя и питающей сетью, как показано на рисунке 2. Силовая схема преобразователя содержит два трехфазных транзисторных инвертора напряжения: роторный инвертор и сетевой инвертор. Цепи постоянного тока роторного и сетевого инверторов соединены и подключены к общему накопительному конденсатору. Цепь переменного тока роторного инвертора соединена с цепью ротора электродвигателя, а сетевого инвертора – с питающей сетью

(непосредственно или через согласующий трансформатор) [12].

Такая структура обеспечивает:

- выбор зазоров в механических передачах и плавное натяжение канатов в паузах между пусками ШПМ;

- формирование с высокой точностью требуемой многопериодной диаграммы скорости подъемной машины независимо от изменения нагрузки;

- плавный разгон сосудов ШПМ за заданное время без потерь мощности в цепи ротора электродвигателя;

- стабилизацию скорости сосудов ШПМ в периоды равномерного движения с точностью не хуже 1% независимо от степени уравнишенности и характера изменения конечных усилий;

- выравнивание нагрузки электродвигателей на всех интервалах движения сосудов ШПМ;

- рекуперативное торможение с возвратом энергии движущихся масс в питающую сеть;

- замедление сосудов ШПМ за заданное время с формированием требуемого усилия любого знака;

- рекуперативное торможение электродвигателей с возвратом энергии движущихся масс в питающую сеть в периоды замедления сосудов ШПМ при формировании отрицательных тормозных усилий;

- малое время замедления и высокую точность остановки ШПМ без применения механического тормоза, который включается только после полной остановки ШПМ;

- работу ШПМ на пониженных скоростях в режимах маневрирования, дотягивания, постановки на кулаки, движения в разгрузочных кривых, осмотра ствола шахты без непроизводительных потерь электроэнергии в роторной управляющей станции;

- компенсацию реактивной мощности, потребляемой асинхронными электродвигателями ШПМ, без применения дополнительных компенсаторов реактивной мощности.

За счет перечисленных выше достоинств ЧРЭП обеспечивает снижение потребления электроэнергии ШПМ более чем на 30% по сравнению с традиционным электроприводом на базе пусковой резисторно-контакторной станции и позволяет повысить производительность ШПМ за счет сокращения интервалов движения сосудов ШПМ с малой скоростью и формирования требуемой диаграммы скорости с высокой точностью. За счет обеспечения высокой точности управления с плавным замедле-

нием и точной остановкой сосудов ШПМ частотно-регулируемый электропривод исключает проскакивания и удары скипа по разгрузочным кривым, что продлевает срок службы механизмов и снижает эксплуатационные затраты. К одному существенному недостатку при использовании частотно-регулируемого электропривода можно отнести искажение линейности напряжения питающей сети, ухудшение показателей качества электроэнергии, появление неблагоприятных гармонических составляющих [13-18]. Все эти негативные влияния можно устранить путём внедрения активных фильтрокомпенсирующих устройств [19], затраты на установку которых не превысят благоприятного экономического эффекта от внедрения ЧРЭП.

### Список литературы

1. Семенов А.С. Снижение экономических потерь в электрических сетях / Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире // Материалы докладов I Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Якутский государственный университет. 2009. С. 106-111.
2. Semenov A.S. Lower economic losses in electric networks / Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings // Proceedings of the 3th International scientific conference. Editor Ludwig Siebenberg. 2013. С. 139-141.
3. Саввинов П.В., Семёнов А.С. Обзор вентильно-реактивных двигателей // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-2. С. 342-344.
4. Саввинов П.В., Семёнов А.С. Обзор вентильно-реактивных двигателей / Студенческий научный форум // Материалы V Международной студенческой электронной научной конференции: электронная научная конференция (электронный сборник). Российская Академия Естественных наук. 2013.
5. Бондарев В.А., Семёнов А.С. Оценка основных факторов энергосбережения // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 228-229.
6. Бондарев В.А., Семёнов А.С. Оценка основных факторов энергосбережения / Студенческий научный форум // Материалы VI Международной студенческой электронной научной конференции: электронный ресурс. 2014.
7. Кацман М.М. Электрический привод : учебник для студ. образовал учреждений сред. проф. образования / М.М. Кацман. - 6-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 384 с.
8. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов.- 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 704 с.: ил.
9. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для студ. сред. проф. образования / В.В. Москаленко. - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 368 с.
10. Семёнов А.С., Шипулин В.С. Электропривод – многофункциональное, высокопроизводительное, энергоэффективное устройство / Наука XXI века: новый подход // Материалы II молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 28 сентября 2012 года, г. Санкт-Петербург. Науч.-изд. центр «Открытие». Петрозаводск, 2012. С. 63-65.
11. Семёнов А.С., Саввинов П.В., Рушкин Е.И. Внедрение частотно-регулируемых электроприводов как метод энергосбережения на горных предприятиях / Достижения и перспективы естественных и технических наук // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. Центр научного знания Логос. 2012. С. 60-63.
12. Петрова А.А., Семенов А.С. Замена электропривода шахтной подъемной установки на рекуперативный частотно-регулируемый электропривод / Студенческий научный форум - 2017 // IX Международная студенческая электронная научная конференция. 2017.
13. Бондарев В.А., Семенов А.С. Высшие гармоники и их влияние на работу электроустановок / Студенческий научный форум - 2016 // VIII Международная студенческая электронная научная конференция, электронное издание. 2016.
14. Карташев И.И., Тульский В.Н., Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Мониторинг показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения горных предприятий // Монография / Москва, 2013.
15. Кузнецов Н.М., Семенов А.С., Бебихов Ю.В., Рыбников А.В. Результаты мониторинга показателей качества электрической энергии потребителей подземного рудника // Горный журнал. 2014. № 1. С. 23-26.
16. Семенов А.С., Кузнецов Н.М. Анализ результатов мониторинга показателей качества электрической энергии в подземном руднике // Измерительная техника. 2014. № 4. С. 31-34.
17. Семёнов А.С. Определение нелинейных нагрузок в системе электроснабжения подземного рудника // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9-3. С. 445-451.
18. Semenov A.S., Kuznetsov N.M. An analysis of the results of monitoring the quality of electric power in an underground mine // Measurement Techniques. 2014. С. 417-420.
19. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Применение активных фильтров для обеспечения качества электроэнергии / Молодежь в науке: новые аргументы // Сборник научных работ V международного молодежного конкурса. 2016. С. 164-167.